

福岡県農業総合試験場特別報告

第23号

作物の品質向上と生産性安定のための 窒素施肥

平成18年3月

福岡県農業総合試験場

(筑紫野市大字吉木)

SPECIAL BULLETIN
OF
THE FUKUOKA AGRICULTURAL RESEARCH CENTER

NO. 23

Nitrogen Fertilization for Increasing Crop
Productivity
with High Quality Products

by
Masato Araki

THE FUKUOKA AGRICULTURAL RESEARCH CENTER

Chikushino, Fukuoka 818-8549, Japan

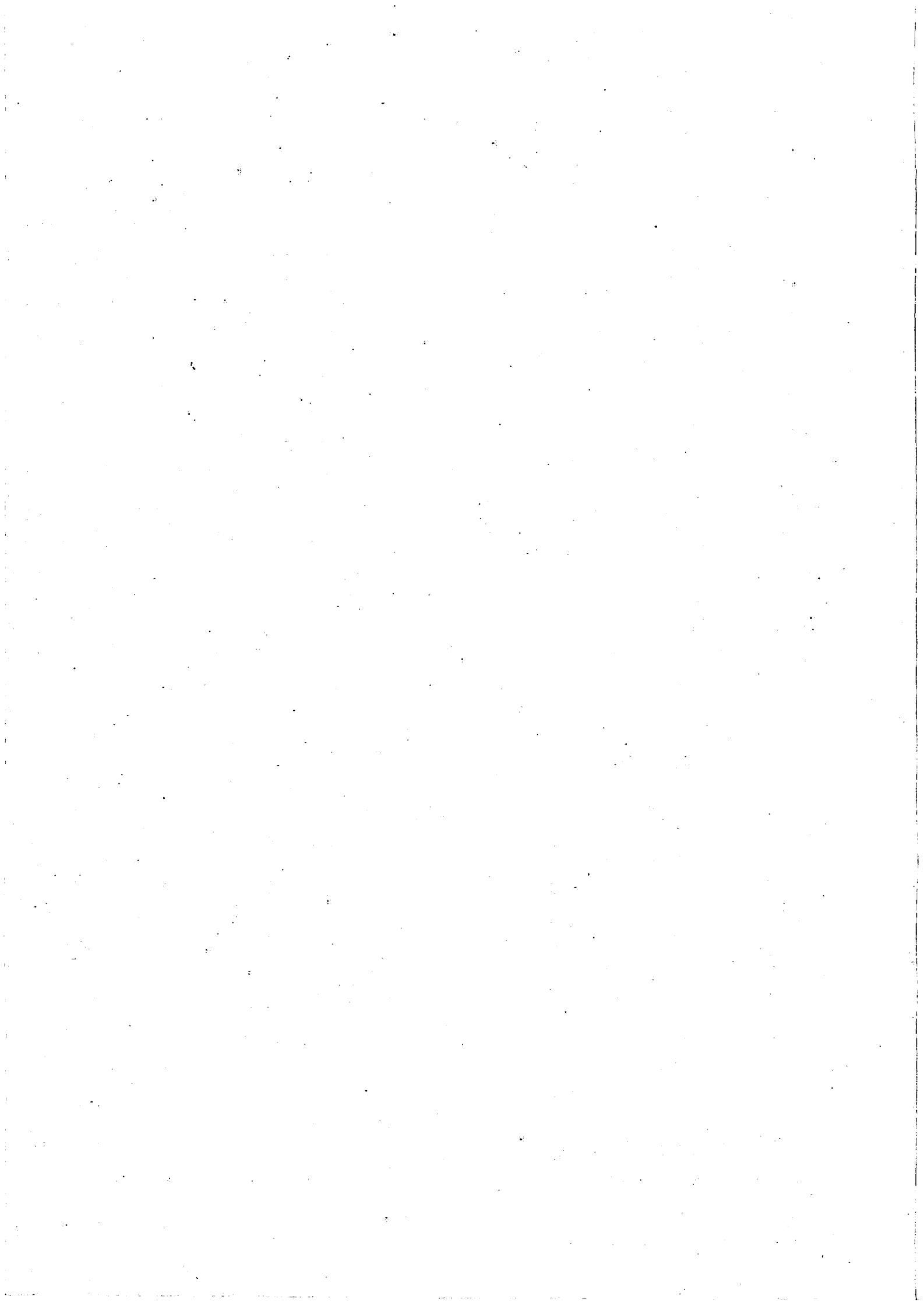
March 2006

作物の品質向上と生産性安定のための窒素施肥

荒 木 雅 登

2006

*** 九州大学大学院審査学位論文**



序

近年、化学農業とともに、化学肥料の使用を控えた持続的農業生産の推進が重要な課題となっている。一方、農産物に対する消費者のニーズは量から質へと変化し、加えて安全性が強く求められている。窒素施肥は作物の収量のみならず品質も大きく左右することから、これらのニーズに対応するため、作物の種類別に適正な施肥法を確立することが喫緊の課題となっている。

本研究は、水稻、野菜、花きを対象作物として、作物の品質に対する窒素施肥の影響について基礎的知見を深めるとともに、環境への負荷軽減を視野に入れた高品質・安定生産のための窒素施肥法の確立を目的として実施したものである。

本報告は、1996年から2004年にかけて、福岡県農業総合試験場生産環境研究所化学部作物栄養研究室および同土壌・環境部施肥高度化チームを中心に行われた試験成績を取りまとめたものである。

本研究の遂行や論文の執筆にあたり、ご指導とご助言を頂いた九州大学大学院農学研究院教授池田元輝博士、同教授江頭和彦博士、同助教授山川武夫博士に厚くお礼申し上げます。また、福岡県農業総合試験場土壌・環境部をはじめとする多くの職員の協力により成果をあげることができたことを付記し、関係各位に深く感謝の意を表する。

平成18年 月

福岡県農業総合試験場

場長 野村泰夫

目 次

第1章 緒論	1
第2章 水稻の生産性、産米の品質と窒素吸収量との関係	3
2.1 水稻品種「つくし早生」の窒素吸収特性	3
2.2 水稻品種「夢つくし」の窒素吸収特性	9
2.3 水稻品種「つくしろまん」の窒素吸収特性	15
第3章 出穂前における生育診断による水稻の窒素吸収量の推定法の改良	21
3.1 出穂前における生育診断による水稻窒素吸収量推定の限界	21
3.2 気温を考慮した水稻窒素吸収量推定法の改良	25
第4章 米の品質向上と環境保全のための窒素施用法	33
4.1 窒素施肥が産米中の遊離アミノ酸含量に及ぼす影響	33
4.2 環境を配慮した被覆尿素の施用法	38
第5章 葉菜類の品質向上のための窒素施肥	46
5.1 ホウレンソウ栽培における土壌のリアルタイム診断に基づく施肥による 硝酸塩低減	46
5.2 ホウレンソウの硝酸塩低減のための葉面散布による窒素施用法	49
5.3 窒素施肥がホウレンソウの糖および遊離アミノ酸含量に及ぼす影響	52
第6章 鉢物花卉の品質向上のための窒素施用法	57
6.1 ファレノプシスのかん水施肥栽培における液肥の適正窒素濃度と 養分吸収量	57
第7章 総合考察	64
総括	67
引用文献	69
謝辞	74
Summary	75

第1章 緒論

地球上における物質の循環ならびに化学変化の中で様々な生物の活動が営まれている。繰り返される物質循環の中から生物はその構成を維持するために必要なエネルギーと元素を摂取する。生物を構成する主要な元素である窒素は地球上に多量に存在する元素の一つであり、大気中のガス成分の大部分を占めており、大気や水の循環の中で移動し、また化学変化により存在形態を変化させる。人間が営む生活活動によってこれら窒素の循環や化学変化に偏りを生じ、人間の活動そのものに支障をきたすことが指摘されている。農業生産は、植物の生長に必要な養分を効率的に供与して、農産物として得ようとする産業であるが、農業分野において行われている生産活動についても、人間の生活への支障が危惧されている。代表的な例として、地下水や河川水の窒素汚染が挙げられる。特に、水田における表面流去による灌がい排水の生活用水への悪影響（水田ら 2001）や畑地における下方浸透による地下水の硝酸態窒素汚染があり、これらの懸念を払拭する技術確立が求められている。

欧米諸国と比べて集約的なわが国の農業においては、肥料の三要素である窒素、リン、カリウムをいかに効率的に供給するかが、生産性を向上させるための重要な課題として昔から取りあげられてきた。特に窒素は、タンパク質の成分として原形質を構成する最も主要な元素であり、酵素として生体内における各種生理代謝反応を司ることから作物の生長反応に直接的に影響を及ぼす最も重要な元素である。農業生産に際しては、必要な窒素は土壌から有機態窒素の無機化によって作物に供給される。しかし、一定の収量水準を満たすために作物が必要とする窒素は、土壌からの供給では不十分である。このことから、窒素の肥料的価値は最も重要視されている。食料が不足した第二次大戦以降、安価な窒素質化学肥料が一般に流通するようになってから、米の収量水準が飛躍的に向上した。しかし、消費量の減少とも相まって、わが国では米の供給過剰が生じ、米の生産調整を余儀なくされるまでになった。副食である野菜や嗜好品である花卉類の生産も盛んに行われるようになり、農産物需要の多様化に対応した農業生産が行われている。この間、消費者の農産物に求めるニーズは量から質へと変化し、質もおいしさに加え安全性が求められるようになっていく。窒素施肥は生産性のみならず品質も大きく左右することから、生産性を制限して消費者ニーズに応える農業生産を実現するために、窒素施用を中心とする適正な施肥法を確立してゆく必要がある。

米生産においては、品質面で最も重視される食味は、米粒中のアミロースやタンパク質含量によって影響を受けることが知られている。前者は、遺伝的要因や出穂期以降の気温により含量が変動する（稲津 1985, 稲津 1990, 松江ら 1991）。これに対して、後者は土壌条件や窒素施肥による窒素吸収量の多少により影響を受ける（本庄 1971, 松江ら 1996a, 平ら 1974）。飽食時代の現在において、消費者需要に応える良食味米生産の面から、窒素施用量を制限した米生産を行うことが重要となっている。しかし、品種によって水稻の窒素吸収量と収量や米粒中タンパク質含量との関係は異なるため、品種毎の窒素吸収特性を明らかにした上で肥培管理を行う必要がある。また、必要とする窒素吸収量を得るためには、栄養診断技術を確立し、作物の生育を調整する必要がある。

消費者にとって嗜好品である花卉類の生産においては、その品目の特性上、外観が最も重視される。このため、生育の促進を図るために充分すぎる量の肥料を施用して株の形を乱すよりも、窒素施用のコントロールにより均整のとれた高品質花卉類を生産する方が、消費者需要を捉えることの難しい現在においては、農家経営の安定につながると考えられる。ファレノプシスは鉢もの洋ラン

類の中でも人気の高い主要品目である。このファレノプシスに関しては、作業の分散化やコスト削減を目的として、栽培技術の改善を図るために、温度、日長等環境要因の花茎発生・開花への影響についての研究（窪田ら 1993, 上島ら 1998a, 上島ら 1998b, 上島ら 1999, 米田ら 1991）が盛んに行われてきた。しかし、窒素施肥が生育・開花等に及ぼす影響については、他の環境要因の寄与が大きいために、解明されておらず、未だ生産者段階で施肥法が確立していないのが現状である。

ところで、近年における JAS 法の改正が物語っているように、化学肥料と化学農薬の使用を控えた生産が安全性の面で注目されており（農経企画情報センター 2002）、資材大量投入型の農産物生産は時代にそぐわないものとなっている。化学肥料の過剰施用は、土壤の健全性を損なうことから危惧する指摘は多い反面、実際の農産物の品質への影響については、十分には明らかになっていないのが実情である。

一方、食品や飲料水中に含まれる硝酸塩が人体内で亜硝酸塩に変化し、これがブルーベビー症や発ガン性物質であるニトロソアミンの生成に関与していることが指摘されており（Sohar et al. 1980）、摂取量をできるだけ低く抑える必要性が唱えられている。生鮮野菜、特に化学肥料の過剰な窒素施肥により生産された葉菜類中の硝酸塩の集積は著しく、野菜の摂取量から試算される硝酸塩の摂取量を勘案すると深刻な問題とされる（孫ら 1996）。飲料水の大半を地下水に頼っている EU 諸国においては、地理的な事情によりその地下水の硝酸汚染源の一つとされている農業分野での窒素肥料の過剰施用を回避するため、野菜中の硝酸塩含量について品目別に規制値を設けて減肥を促す取り組みがなされている（Greenwood 1990）。一方、わが国では、地理的、気候的な背景の違いによって、飲料水の地下水への依存度は EU 諸国ほど高くはなく、野菜中の硝酸塩含量までは現在のところ規制が及んでいない。しかし、近年の一般消費者の農産物の安全性に対する意識の高まりから、販売業者が自主的に基準値を設定して生産者からの買い上げを制限することや、硝酸塩含量の低い付加価値を付与して販売しようとする動きが見られる。このことは、国内では近い将来、「食の安全」の面から野菜中の硝酸塩含量が規制を受け、生産者が硝酸塩含量の低減化を迫られる可能性を示唆している。

本論は、農産物の品質への窒素施肥の影響についての基礎的知見を深めるとともに、環境への負荷軽減を視野に入れた高品質農産物生産のための窒素施肥法確立を目的として実施した試験結果をまとめたものである。

論文の構成は、全 7 章とした。第 2 章で、窒素施肥設計の基になる生育時期別の目標窒素吸収量を明らかにするために、福岡県において育成された水稻品種‘つくし早生’、‘夢つくし’および‘つくしろまん’の三品種の収量水準別窒素吸収パターンについて論じた。第 3 章では水稻の生産性と産米の食味を大きく左右する追肥をコントロールするための手段としての窒素栄養診断技術を、水稻窒素吸収量の推定法の適用場面の拡大という視点からの改良について論じた。第 4 章では、水稻の窒素低投入型栽培の米粒含有食味関連成分への影響や環境負荷軽減効果について論じた。第 5 章では、ハウレンソウにおける硝酸塩低減化という視点からの品質向上を目的とした、窒素施肥法について論じた。第 6 章ではファレノプシスのかん水施肥栽培において、花卉類で最も重視される外観を安定させるための液肥の生育時期別の適正窒素濃度とこれにかかる養分吸収量について論じた。第 7 章では、全体を通しての考察を行った。

第2章 水稻の生産性、産米の品質と窒素吸収量との関係

2.1 水稻品種「つくし早生」の窒素吸収特性

2.1.1 序言

米の生産性は窒素吸収量によって大きく左右されることが知られている。各生育時期までに水稻に吸収された窒素量によって収量構成要素の一部が決定されるとされており、目標とする収量水準に応じて各生育時期別の目標窒素吸収量を設定し、それに応じた施肥を行うことにより生産性をコントロールすることが可能である。一方、米の品質として最も重要になっている食味は、「粘り」が強く、「硬さ」で柔らかいほど優れる（竹生 1990）とされている。「粘り」に関連する米粒中の含有成分としてアミロース、「硬さ」に関連している成分としては窒素（粗タンパク質）があげられる。アミロース含量は、品種固有の遺伝的要因や出穂期および登熟期間中の温度条件によって左右される（稲津 1985, 稲津 1990, 松江ら 1991）。これに対して、窒素含量は土壌条件や肥培管理によって大きく変動する（本庄 1971, 松江ら 1996a, 平ら 1974）。したがって、同一品種での米の食味の違いは米粒中の窒素（粗タンパク質）含量の違いに影響を受け、両者の間に負の相関があることが知られている。このような水稻の窒素吸収量と収量、米粒中の窒素含量との関係は品種によって異なり、これまでに「コシヒカリ」、「ササニシキ」さらに西日本の主力品種となっている「ヒノヒカリ」について報告されている。生産現場においては、土壌の窒素供給量が各々の水田で異なるが、これらの間の関係を明らかにすることによって、水田毎の適正窒素施肥量の決定が可能となる（北田 1991, 上野ら 1988）。すなわち、生育段階毎の水稻が要求する窒素量から各々の水田土壌の窒素供給量を差し引いた量を窒素利用率で除することで、地力に応じた施肥量を算出することができる。穂肥を施用する場合、目標窒素吸収量が水稻の窒素栄養状態を診断する上での指標となり、収量安定と食味向上を図るためには極めて重要である。

水稻品種「つくし早生」は、良食味に加えて、早生、強稈を目標に、「農林 22 号」を母、「キヌヒカリ」を父として 1988 年に交配した後代から育成された品種である（浜地ら 1998）。適期作業、気象災害や病虫害の発生防止等の危険分散、経営規模の拡大や共乾施設の効率的利用を図る上で、極早生から晩生まで各熟期毎にバランスのとれた品種構成が必要な情勢の中、福岡県において日本晴に代わる良食味早生品種として作付の始まった品種である。

本節では、目標とする収量、窒素含量に応じて目標となる窒素吸収量を検討することにより、「つくし早生」の窒素吸収特性について明らかにした。

2.1.2 試験方法

試験 1 は、1995～1997 年に福岡県農業総合試験場内の水田において、水稻（*Oryza sativa* L.）品種「つくし早生」および対照品種として「ほほえみ」を供試して行った。「ほほえみ」は、良食味で穂発芽性難の早生品種である（松江ら 1996b）。窒素施用量は、基肥を 0, 2, 4, 5, 6, 7 g m⁻² の 6 水準、穂肥（I+II）を 0+0, 2+1.5 g m⁻² の 2 水準とした。試験 2 は、1996～1998 年に福岡県農業総合試験場内の造成水田枠圃場（作土に県内の 4 種類の土壌を客土）で行った。窒素施用量を、基肥 0, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 16 g m⁻², 穂肥 0+0, 2+2, 3+3, 4+4 g m⁻² とし、全窒素施用量を 0～24 g m⁻² に変えた試験区を設けた。試験圃場の作土の理化学性を表 2.1-1 に示す。穂肥は、

表 2.1-1 試験圃場の土壌の理化学性

	土壌	土壌群	土性	T-C g kg ⁻¹	T-N g kg ⁻¹	CEC cmol _c kg ⁻¹
試験1	二日市	中粗粒灰色低地土	SL	13.4	1.4	12.1
	二日市	中粗粒灰色低地土	SL	23.1	2.1	15.3
試験2	二日市	中粗粒灰色低地土	SL	7.8	0.8	9.9
	吉木	中粗粒黄色土	SL	2.8	0.3	7.9
	甘木	淡色黒ボク土	CL	38.5	2.9	30.9
	筑後	細粒灰色低地土	LiC	12.4	1.4	21.3

注)「土壌」は客土した土壌の採取地を示す。

T-C:全炭素(チューリン法による), T-N:全窒素(ケルダール法による),

CEC:交換性陽イオン容量(ショーレンベルガー法による)。

SL:砂壤土, CL:埴壤土, LiC:軽埴土。

施肥基準に準じ、出穂前 20～18 日に 1 回目を、その 7～10 日後に 2 回目を施用した。使用した肥料は、基肥に尿素入り硫加磷安 48 号 (16-16-16)、穂肥に尿素入り窒素加里化成 2 号 (16-0-16) を用い、設定した窒素成分量になるように施用した。施肥基準量である 5 g m⁻²に不足分のリン酸は過磷酸石灰 (0-17-0) で、8.5 g m⁻²に不足分の加里は塩化加里 (0-0-60) で補った。なお、一部の区の基肥窒素には被覆尿素 LP コート 100 号 (40-0-0)、LP コート S100 号 (40-0-0)、LP コート SS100 号 (40-0-0) を用いた。移植は、6 月中旬に m²当たり栽植密度を 20.8～22.0 本として、1 株 4 本を手植えで行った。幼穂形成期(最長茎幼穂約 2～3 mm)および穂揃期に平均茎数株を 1 区当たり 5 株、成熟期に 10 株を採取し、穂揃期以降は茎葉と穂に分け、乾物重を測定後、粉碎し分析試料とした。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。搗精は、試験用小型精米機(サタケ社ツーンワンパス)で搗精歩合が 90 %となるよう行った。

2.1.3 結果および考察

1) 気象経過と作柄

4 年とも試験期間の気象は概ね良好で、収量に著しく影響を及ぼす台風の接近もなかった。ただし、1998 年は、9 月上旬～10 月上旬が平年に比べ高温で経過し、9 月上旬～中旬の日照時間も平年を大きく上回り、登熟期間中の気象経過が他の 3 年と比べてやや特異的であった。なお、県内の水稻の作柄は 1995 年で作況指数 103、1996 年で 104、1997 年 99、1998 年 103 であった。

2) 幼穂形成期までの窒素吸収量と穂数、穂揃期までの窒素吸収量と粒数との関係

試験を実施した 4 年の稲作期間を通して、低温寡照や高温多照等の異常気象や台風被害はなかったため、4 年間を込みにして解析を行った。

まず、幼穂形成期までの窒素吸収量と穂数との関係を図 2.1-1 に示す。水稻の穂数は、生育前半の稲体窒素吸収量と相関が高い(松崎 1975, 和田 1969)ことが報告されているように、窒素吸収量が増加するに従って、穂数は増加する傾向にあった。さらに、幼穂形成期までに吸収された窒素の穂数生産効率は品種により異なる(深山ら 1984b)ことが報告されているように、‘ほほえみ’は、幼穂形成期までの窒素吸収量が 11.5 g m⁻²以上になると穂数の増加が停滞するのに対し、‘つくし早生’では 14 g m⁻²まで窒素吸収量の増加に伴って穂数が増加するという品種間での違いが認め

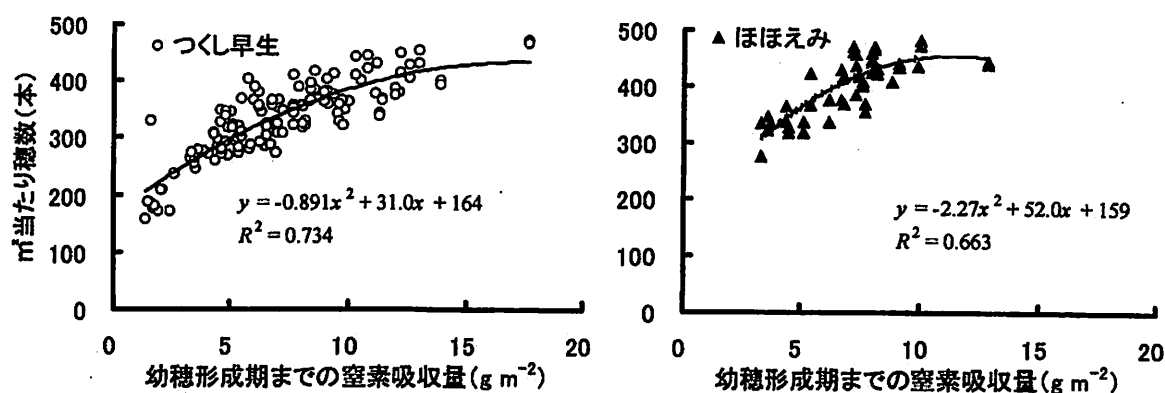


図 2.1-1 幼穂形成期までの窒素吸収量と穂数との関係

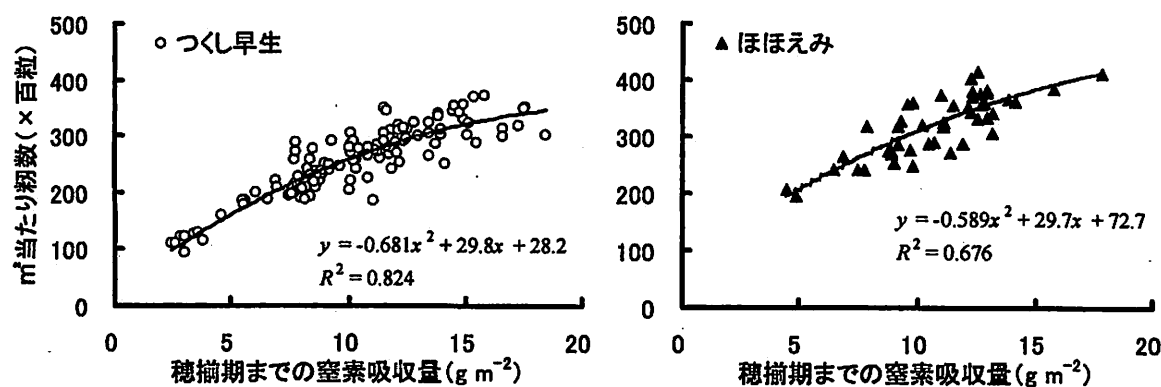


図 2.1-2 穂揃期までの窒素吸収量と穂数との関係

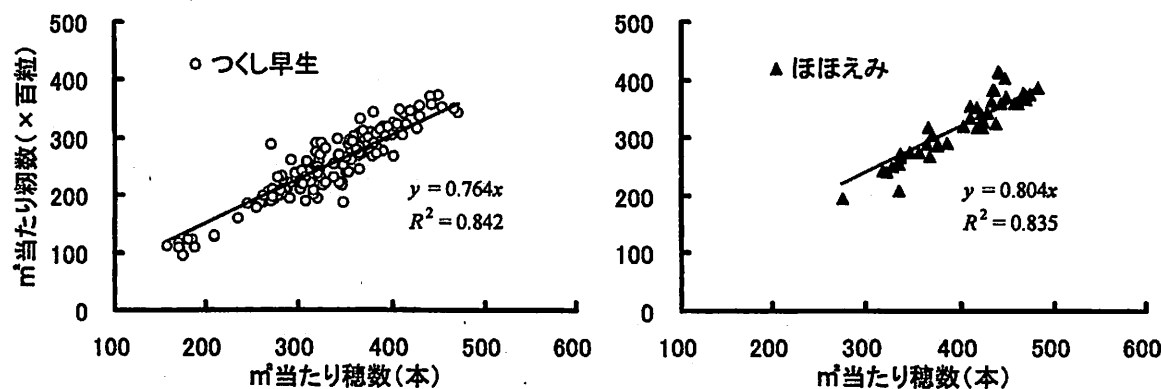


図 2.1-3 穂数と穂数との関係

られた。加えて、同じ穂数を確保するためには、‘つくし早生’が‘ほほえみ’よりも多くの窒素吸収量を要することが明らかとなった。すなわち、 m^2 当たり穂数 400 本を確保するためには、‘つくし早生’で $11\sim 12 \text{ g m}^{-2}$ 必要であるのに対して、‘ほほえみ’での必要量は $6\sim 7 \text{ g m}^{-2}$ であった。

次に、穂揃期までの窒素吸収量と m^2 当たり穂数との関係を図 2.1-2 に示す。 m^2 当たり穂数と出穂期前後の窒素吸収量との間には高い相関があることが報告されている (深山ら 1984b, 和田 1969) ように、窒素吸収量が多いほど m^2 当たり穂数は増加した。同じ穂数を確保するためには、‘つくし早生’が‘ほほえみ’よりも窒素吸収量が多く必要であったことから‘つくし早生’は‘ほほえみ’よりも穂生産効率が低い品種であることが示唆された。両品種とも窒素吸収量が、 15 g m^{-2} を超え

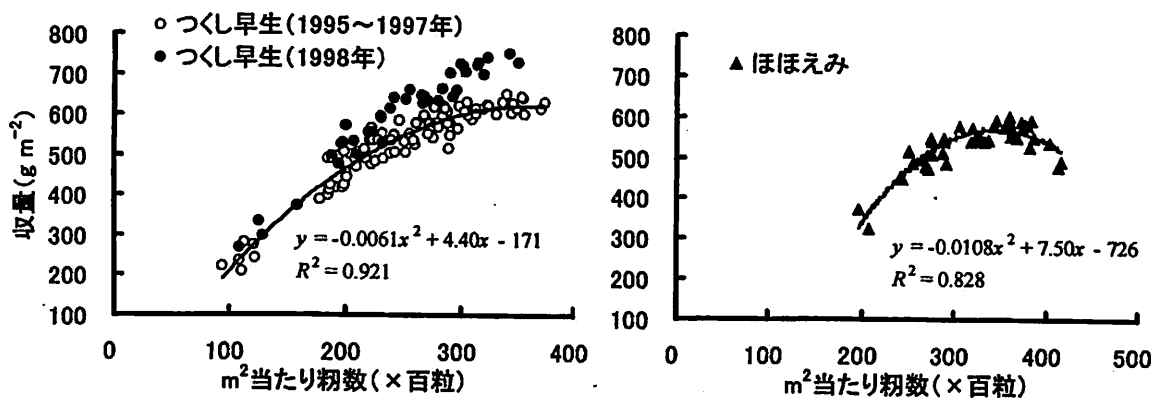


図 2.1-4 粒数と収量との関係

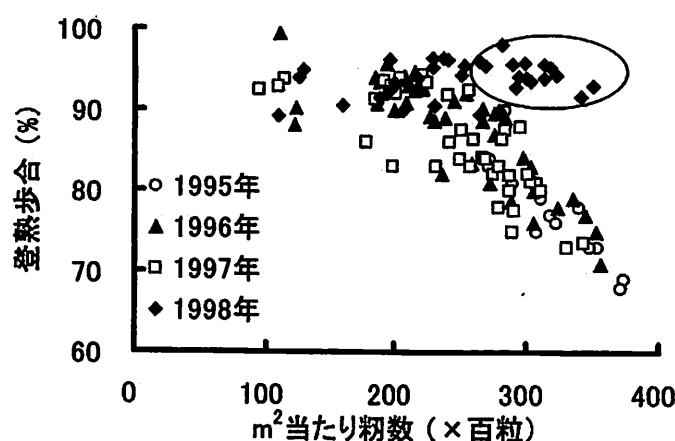


図 2.1-5 m^2 当たり粒数と登熟歩合との関係

注) 品種は‘つくし早生’.

楕円で囲んだ点は他年次と比較して傾向の異なったことを示す.

ると窒素吸収量の増加に伴う粒数の増加割合は次第に小さくなるものの、 $18 g m^{-2}$ 程度までは粒数が増加し続けると推定された。

図 2.1-3 には粒数と穂数との関係を示す。粒数と穂数との間には正の相関が認められ、一次回帰式の回帰係数より、平均的な一穂粒数はつくし早生で 76 粒、ほほえみで 80 粒であることが認められた。

3) 収量水準別窒素吸収パターンと玄米中窒素含量

‘つくし早生’および‘ほほえみ’の m^2 当たり粒数と収量の関係を図 2.1-4 に示す。試験を行った 4 カ年の中で、1998 年の‘つくし早生’は他の年次と異なり、同水準粒数の収量が高かった。その要因としては、1998 年の‘つくし早生’は、 m^2 当たり粒数が 26,000～35,000 粒と多くても登熟歩合が 90 %以上と高かったためと考えられた (図 2.1-5)。これは、1998 年が他の 3 カ年に比べて登熟期間の気温が高く、登熟中期の日照時間が多かったことに起因するものと考えられた。そこで、‘つくし早生’の収量については、1998 年のデータを除外して解析を行った。 m^2 当たり粒数が過多となると倒伏の発生や登熟歩合の低下等により減収する (深山ら 1984b) ことが知られており、図 2.1-4 から‘ほほえみ’は m^2 当たり 34,000～35,000 粒程度で収量は最大となり、それ以上で減収す

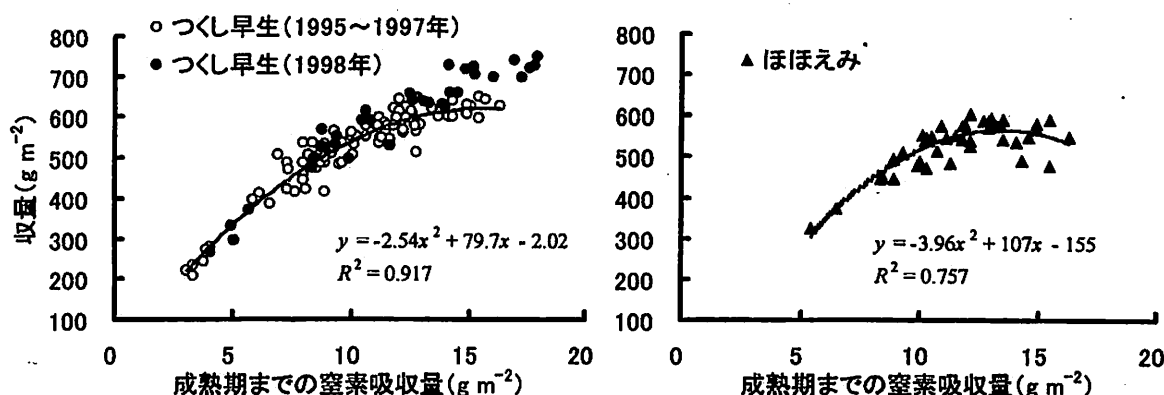


図 2.1-6 成熟期までの窒素吸収量と収量との関係

ると推定された。一方、‘つくし早生’では籾数が m^2 当たり 32,000 粒以上になると収量増加が停滞するものの、著しい収量低下は認められなかった。

成熟期までの窒素吸収量と収量との関係を図 2.1-6 に示す。窒素吸収量は‘ほほえみ’では 5.4～16.3 g m^{-2} 、‘つくし早生’は 3.1～18.0 g m^{-2} 、収量は‘ほほえみ’で 320～600 g m^{-2} 、‘つくし早生’は 210～750 g m^{-2} 、であった。4 カ年の中で 1998 年の‘つくし早生’については他の 3 カ年に比べて同一窒素吸収量における収量がやや高く、窒素吸収量レベルが高い程この傾向が顕著であったが、これは先に論じたように、登熟期間中の気象経過に起因するものと考えられた。水稻の成熟期までの窒素吸収量と収量との間には密接な関係がある (和田 1969) が、両者の関係は‘つくし早生’、‘ほほえみ’ともに二次回帰式で表された。‘ほほえみ’では、窒素吸収量の増加に伴う収量の増加は窒素吸収量 13.5 g m^{-2} で停滞するが、‘つくし早生’は 15.5 g m^{-2} 程度の窒素吸収量まで収量は増加した。これは、‘ほほえみ’では窒素吸収量の増加に伴い籾数が過剰となり屑米歩合が高くなり、収量の増加が停滞するのに対して、‘つくし早生’は玄米千粒重が大きく、粒厚が厚いため (浜地ら 1998)、籾数過剰によって粒が多少小さくとも屑米となりにくいことが要因の一つとして考えられた。一般に多肥条件下では、倒伏のため登熟不良等により減収するが、‘つくし早生’は短稈で耐倒伏性が優れている。そのため、‘ほほえみ’では窒素吸収量が 14 g m^{-2} を超えると倒伏が見られたが、‘つくし早生’では最大 18.0 g m^{-2} であっても倒伏が認められなかったことも、収量の‘つくし早生’の極大が‘ほほえみ’よりも窒素吸収量の高水準側にあることの一因と考えられた。同じ窒素吸収量のレベルで収量を比較すると、‘つくし早生’は‘ほほえみ’よりも収量が高く、玄米生産効率の高い品種であると判断された。

成熟期までの窒素吸収量と玄米中窒素含量との関係を図 2.1-7 に示す。両者の間には正の相関があり、その関係を一次式で表すことができた。

これら図 2.1-1～4、6～7 の関係より、図 2.1-8 に示すフローチャートにしたがって収量水準別に各生育時期までの窒素吸収パターンと玄米中窒素含量を‘つくし早生’で収量 480～600 g m^{-2} の範囲で 4 水準、‘ほほえみ’では 480～560 g m^{-2} の範囲で 3 水準において求めた結果を表 2.1-2 に示す。‘つくし早生’では収量 600 g m^{-2} を得るためには m^2 当たり籾数を 30,000 粒、穂数を 390 本確保し、成熟期までの窒素吸収量を 12～13 g m^{-2} となるよう肥培管理を行う必要がある。このとき、玄米中窒素含量は 13.5～13.8 g kg^{-1} となると考えられた。‘ほほえみ’では収量 560 g m^{-2} を得るために m^2 当たり籾数 31,000 粒、穂数 390 本で、成熟期までの窒素吸収量が 12～13 g m^{-2} であった。また、このときの玄米中窒素含量は 13.2～13.5 g kg^{-1} となる。

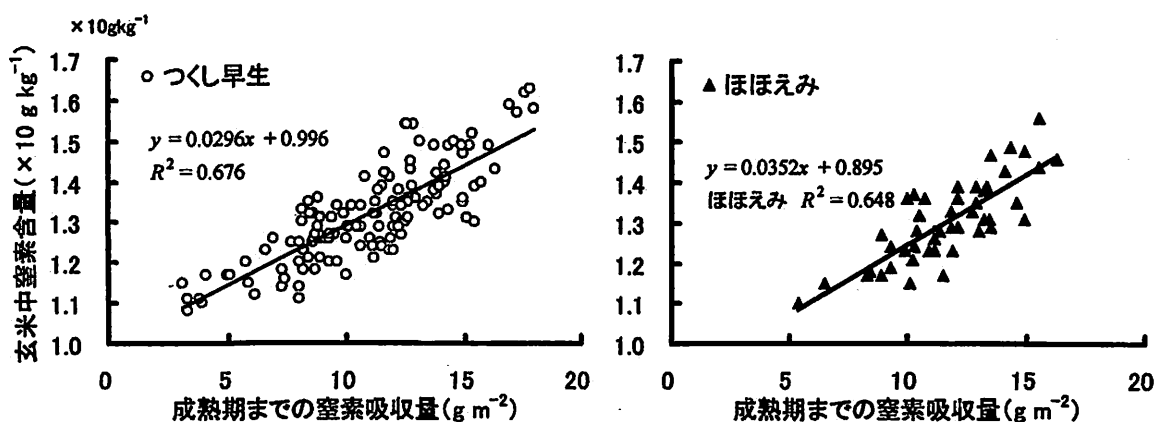


図 2.1-7 成熟期までの窒素吸収量と玄米中窒素含量との関係

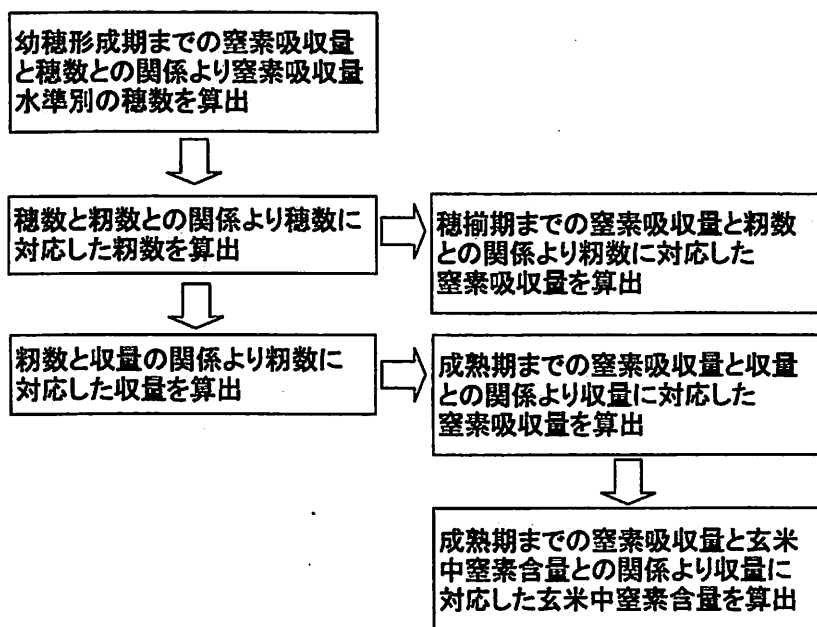


図 2.1-8 収量水準別窒素吸収パターン策定のフロー

表 2.1-2 つくし早生の収量水準別窒素吸収パターンと玄米中窒素含量

品種	収量	幼穂形成期		穂揃期		成熟期		㎡当たり		玄米中窒素含量
	水準	までの		までの		までの		籾数	穂数	
		窒素吸収量		窒素吸収量		窒素吸収量		×百粒	本	
	g m ⁻²	g m ⁻²		g m ⁻²		g m ⁻²				
つくし早生	480	4	5	7	8	8	9	210	270	1.23 ~ 1.26
	520	5	6	8	9	9	10	230	300	1.26 ~ 1.29
	560	7	8	9	10	10	11	260	340	1.29 ~ 1.32
	600	10	11	12	13	12	13	300	390	1.35 ~ 1.38
ほほえみ	480	3	4	7	8	8	9	250	310	1.18 ~ 1.21
	520	4	5	8	9	10	11	280	340	1.25 ~ 1.28
	560	6	7	10	11	12	13	310	390	1.32 ~ 1.35
	600	-	-	-	-	-	-	-	-	-

4) 窒素吸収パターンと食味

米の食味に最も影響を及ぼす米粒中含有成分は窒素であり、窒素含量が高いほど食味は劣る（石間ら 1974, 北田 1991）ことから、いくつかの品種について、米粒中窒素（タンパク質）含量の良食味米目標上限値が提唱されている（岩渕ら 2000, 岩渕ら 2001, 田中ら 1994, 田中ら 1998）。その目標値は‘ほほえみ’については、玄米中窒素含量で 13 g kg^{-1} （田中ら 1998）, ‘つくし早生’については玄米中窒素含量で論議されていないが、精米中タンパク質含量で 72 g kg^{-1} である（岩渕ら 2000）。図 2.1-9 に ‘つくし早生’の玄米中窒素含量と精米中窒素含量との関係を示す。両者の間には高い正の相関が認められ、得られた回帰式から精米中タンパク質含量目標値 72 g kg^{-1} は玄米中窒素含量で 13.1 g kg^{-1} 程度と推定された。これは‘ほほえみ’の 13 g kg^{-1} とほぼ同水準であった。これらを表 2.1-2 に照らし合わせると、これらの目標を達成するためには‘つくし早生’で 560 g m^{-2} , ‘ほほえみ’で 520 g m^{-2} 程度の収量水準の窒素吸収パターンを想定した肥培管理を行う必要がある。

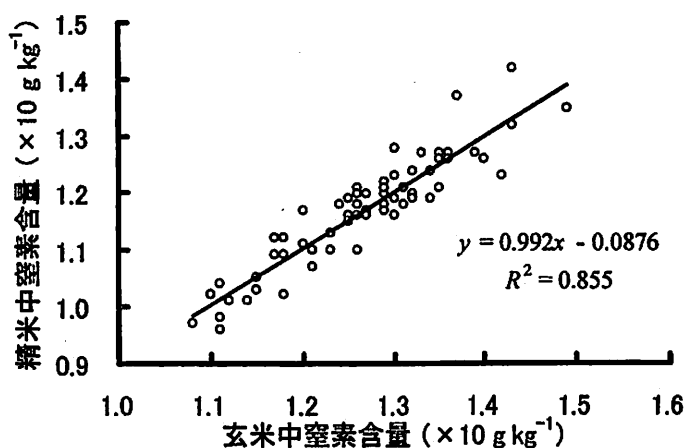


図 2.1-9 玄米中窒素含量と精米中窒素含量との関係
注) 品種は‘つくし早生’

2.1.4 摘要

水稻品種‘つくし早生’を‘ほほえみ’と比較しながら収量および収量構成要素と各生育時期までの窒素吸収量との関連を解明することで、収量水準別窒素吸収パターンを明らかにした。その結果、‘つくし早生’では窒素吸収量が幼穂形成期までに $7 \sim 8 \text{ g m}^{-2}$, 穂揃期まで $9 \sim 10 \text{ g m}^{-2}$, 成熟期まで $10 \sim 11 \text{ g m}^{-2}$ のときに収量 560 g m^{-2} となり、玄米中窒素含量も $12.9 \sim 13.2 \text{ g kg}^{-1}$ と良食味米の目標値をほぼ達成できることが明らかとなった。

2.2 水稻品種「夢つくし」の窒素吸収特性

2.2.1 序言

水稻品種‘夢つくし’は、良食味に加えて穂発芽性が“難”, 強稈を目標に‘キヌヒカリ’を母, ‘コシヒカリ’を父として交配した後代から育成された品種である(今林ら 1995, 尾形ら 1995)。2000年度における作付面積が $11,900 \text{ ha}$ で、福岡県水稻作付面積の 28 %を占めている。生産現場において作付が定着しているばかりでなく、販売の面でも「福岡県産米」として消費者に受け入れ

られている。‘コシヒカリ’を親として育成された食味の優れるとされる品種が、続々と市場に流通していることから、‘夢つくし’の良食味米ブランドとしての評価を維持するために、品質と生産量を肥培管理によりコントロールすることが非常に重要である。

本節では、目標とする収量、窒素含量に応じて目標となる窒素吸収量を検討することにより、‘夢つくし’の窒素吸収特性を明らかにした。

2.2.2 試験方法

試験は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種類の土壌を客土した圃場）で実施した。様々な土壌条件と施肥条件を想定して試験区を設けた。試験区の構成および試験圃場の作土の理化学性について、それぞれ表2.2-1、表2.2-2に示す。試験区として、速効性肥料による分施肥と被覆尿素による1回全量基肥区を設けた。分施肥は県の施肥

表 2.2-1 試験区の構成

年次	試験区	施肥量 ⁶⁾							土壌の種類 ⁷⁾ と試験区設置の有無			
		N			P ₂ O ₅		K ₂ O		二日市	吉木	甘木	筑後
		基肥	穂肥Ⅰ	穂肥Ⅱ	基肥	基肥	穂肥Ⅰ	穂肥Ⅱ				
1999年	L100-10 ¹⁾	10	0	0	8	8	0	0	○	○	○	○
	L100-8	8	0	0	8	8	0	0	○	○	○	○
	L100-6	6	0	0	8	8	0	0	○	○	○	○
	無窒素	0	0	0	8	8	0	0	○	○	○	○
	8+4+0	8	4	0	8	8	4	0	○	-	-	-
	8+2+2	8	2	2	8	8	2	2	○	-	-	-
	6+4+0	6	4	0	6	6	4	0	○	-	-	-
	6+2+2	6	2	2	6	6	2	2	○	-	-	-
	L100-12	12	0	0	8	8	0	0	○	-	-	-
	L100-6+S80-2 ²⁾	8	0	0	8	8	0	0	○	-	-	-
	L100-4+S80-4	8	0	0	8	8	0	0	○	-	-	-
	L100-4	4	0	0	8	8	0	0	○	-	-	-
2000年	L100-6+S80-2	8	0	0	8	8	0	0	○	○	○	○
	L100-4+S80-4	8	0	0	8	8	0	0	○	○	○	○
	分施	6	2	2	8	8	0	0	○	○	○	○
	無窒素	0	0	0	8	8	0	0	○	○	○	○
	L30-10+S80-4 ³⁾	14	0	0	8	8	0	0	○	-	-	-
	L30-8+S80-4	12	0	0	8	8	0	0	○	-	-	-
	L30-6+S80-4	10	0	0	8	8	0	0	○	-	-	-
	基肥+S80-4 ⁴⁾	10	0	0	8	8	0	0	○	-	-	-
	L30-4+S80-3	7	0	0	8	8	0	0	○	-	-	-
	L30-4+S80-2	6	0	0	8	8	0	0	○	-	-	-
	L30-4+穂肥 ⁵⁾	4	2	2	8	8	0	0	○	-	-	-
	L30-12+S80-2	14	0	0	8	8	0	0	○	-	-	-

1)LPコート100号を基肥で施用。ハイフン後の数字は施用量を表す。

2)LPコート100号とLPコートS80号を基肥で施用。

3)LPコート30号とLPコートS80号を基肥で施用。

4)窒素成分量で硫酸6g m⁻²とLPコートS80号を4g m⁻²基肥施用。

5)LPコート30号を基肥施用。

6)単位はg m⁻²。

7)二日市は中粗粒灰色低地土、吉木は中粗粒黄色土、甘木は淡色黒ボク土、筑後は細粒灰色低地土の作土を20cmずつ客土した圃場。

表 2.2-2 試験圃場の作土の理化学性

土壌	土壌群	土性	pH	EC dS m ⁻¹	T-C g kg ⁻¹	T-N g kg ⁻¹
二日市	中粗粒灰色低地土	SL	6.2	0.03	7.8	0.8
吉木	中粗粒黄色土	SL	5.9	0.03	2.8	0.3
甘木	淡色黒ボク土	CL	6.4	0.06	38.5	2.9
筑後	細粒灰色低地土	LiC	6.5	0.05	12.4	1.4

注)「土壌」は客土した土壌の採取地を示す。

T-C:全炭素(チューリン法による), T-N:全窒素(ケルダール法による)。

SL:砂壤土, CL:埴壤土, LiC:軽埴土。

表 2.2-3 耕種概要

(月/日)

	施肥 代かき	移植	穂肥		出穂	収穫	分析試料採取		
			1回目	2回目			幼穂 形成期	穂揃期	成熟期
1999年	6/8	6/10	7/27	8/4	8/12	9/20	7/27	8/20	9/20
2000年	6/6	6/8	7/25	8/1	8/9	9/18	7/24	8/17	9/18

体系に準じて出穂前 20～18 日に穂肥の 1 回目を、その 7～10 日後に 2 回目を施用した。分施肥で使用した速効性肥料は、1999 年は基肥が尿素入り硫加磷安 48 号 (16-16-16)、穂肥が尿素入り窒素加里化成 2 号 (16-0-16) で、設定した窒素成分量になるように施用した。不足分のリン酸は過磷酸石灰 (0-17-0) で、加里は塩化加里 (0-0-60) で補った。2000 年の分施肥の速効性窒素肥料は硫安 (21-0-0) で、リン酸と加里については苦土入り磷酸加里高度化成 40 号 (0-20-20) で施用した。被覆尿素区については、表 2.2-1 の脚注のとおり、溶出日数の異なるリニアタイプおよびシングモイド型 80 日 (日数は窒素成分の 80 % 溶出に要する日数) タイプを使用した。施肥は全面全層とし、移植は 6 月上旬に 1 株 4 本を栽植密度 m² 当たり 20.8 株で、手植えした。その他の耕種概要を表 2.2-3 に示す。稲体の採取は、移植から 25 日後、35 日後、幼穂形成期 (最長茎幼穂約 2～3 mm)、穂揃期に平均茎数株を 1 区当たり 5 株、成熟期に 10 株を採取し、穂揃期には茎葉と穂、成熟期にはわらと初に分け、乾物重を測定後、粉碎し分析試料とした。分析試料として用いた玄米は 1.8 mm 以上の整粒とした。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。食味官能試験は、パネラー 20 名で実施し、各年次において、当場にて標準栽培した「コシヒカリ」を基準とした。

2.2.3 結果および考察

1) 気象経過と生育概況

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。寡照傾向は、その後も成熟期にかけて続いた。このため、初期生育は良好であったが、登熟期間中の寡照のため登熟歩合が低下した。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 半旬にかけて高温で推移したために乳・心白米の発生が見られた。県内水稻の作況指数は 1999 年で 88、2000 年 104 であった。

2) 幼穂形成期までの窒素吸収量と穂数、穂揃期までの窒素吸収量と粒数との関係

‘夢つくし’の幼穂形成期までの窒素吸収量と穂数との関係を図 2.2-1 に示す。幼穂形成期までの窒素吸収量は、最小 1.2 g m^{-2} 、最大 8.6 g m^{-2} で、 m^2 当たり穂数は 200～570 本であった。両者の関係を表す回帰式によると、窒素吸収量 $2 \sim 6 \text{ g m}^{-2}$ では、窒素吸収量の増加に伴って穂数の増加が見込まれるが、 7 g m^{-2} 以上となると、 m^2 当たり約 450 本で穂数の増加が停滞すると推定された。

次に、穂揃期までの窒素吸収量と m^2 当たり粒数との関係を図 2.2-2 に示す。穂揃期までの窒素吸収量は $2.2 \sim 16.6 \text{ g m}^{-2}$ で、 m^2 当たり粒数は 9,000～38,000 粒の範囲にあった。2.1 節の ‘つくし早生’、‘ほほえみ’ と同様、窒素吸収量が多いほど m^2 当たり粒数は多かった。両者の関係を表す回帰式から、窒素吸収量が 13 g m^{-2} を超えると、窒素吸収量の増加に伴う粒数の増加割合が次第に小さくなると推定された。

図 2.2-3 には m^2 当たり粒数と穂数との関係を示す。2.1 節同様、一次回帰式の回帰係数から平均的な一穂粒数を推定すると、68 粒と前節の ‘つくし早生’、‘ほほえみ’ に比べると少なかった。

3) 収量水準別窒素吸収パターン

成熟期までの窒素吸収量と収量との関係を図 2.2-4 に示す。成熟期までの窒素吸収量は $3.3 \sim 15.2 \text{ g m}^{-2}$ で、収量は $190 \sim 630 \text{ g m}^{-2}$ であった。1999 年と 2000 年とで窒素吸収量が同一の場合の収量は、高収年の 2000 年が低収年の 1999 年を上回る傾向にあった。これは、成熟期までの同一窒素吸収量での登熟歩合が 1999 年の方が低い傾向にあったことに起因していると考えられた(図 2.2-5)。成熟期までの窒素吸収量と収量との関係には年次によってズレがあったが、両年次のデータの回帰

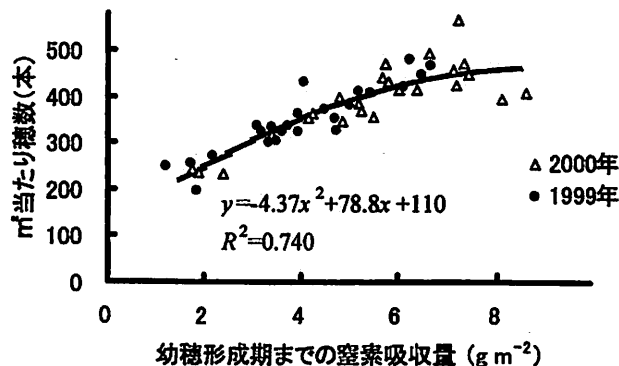


図 2.2-1 夢つくしの幼穂形成期までの窒素吸収量と穂数との関係

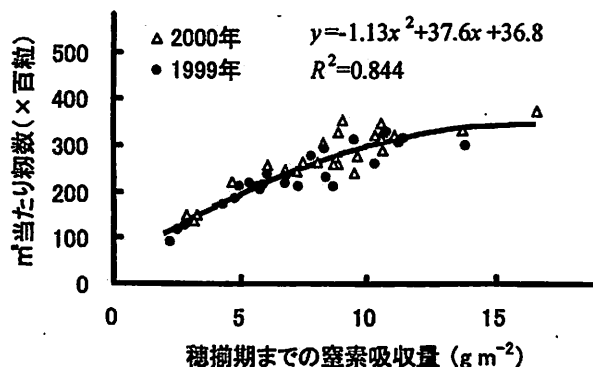


図 2.2-2 夢つくしの穂揃期までの窒素吸収量と粒数との関係

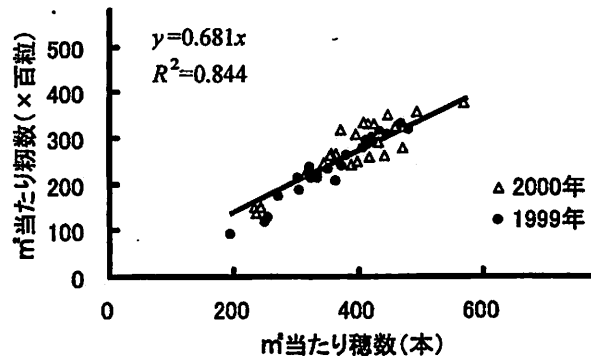


図 2.2-3 夢つくしの m^2 当たり粒数と穂数との関係

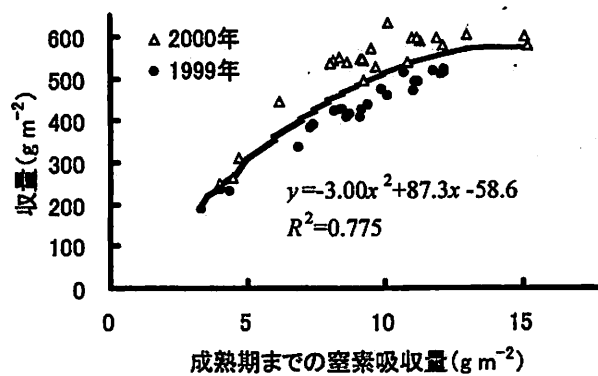


図 2.2-4 夢つくしの成熟期までの窒素吸収量と収量との関係

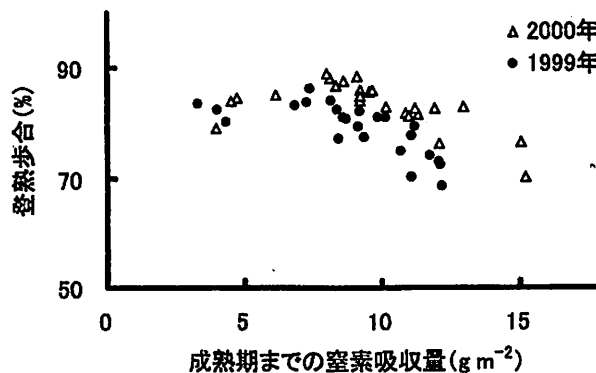


図 2.2-5 夢つくしの成熟期までの窒素吸収量と登熟歩合との関係

式 (図 2.2-4) から、窒素吸収量 12 g m^{-2} までは窒素吸収量の増加に伴って収量の増加が見込めるが、それ以上では収量の顕著な増加は見込めないと推測された。図 2.2-6 に粒数と収量との関係を示す。2.1 節の‘つくし早生’、‘ほほえみ’同様、両者の関係を表す回帰曲線は右肩上がりの放物線となった。これら図 2.2-1～4、6 の関係より、図 2.1-8 に示したフローチャートにしたがって収量水準別に求めた各生育時期までの窒素吸収パターンを表 2.2-4 に示す。‘夢つくし’では、収量 560 g m^{-2} を得るためには m^2 当たり粒数を 31,000 粒、穂数を 460 本確保し、成熟期までの窒素吸収

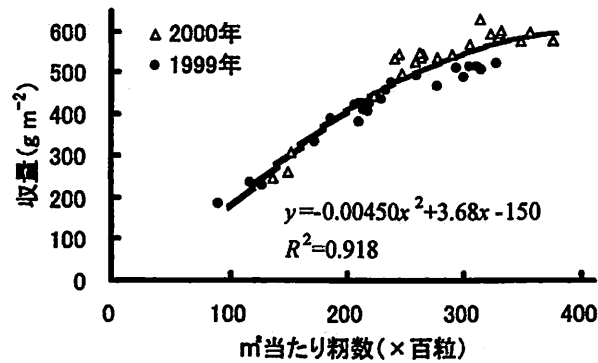


図 2.2-6 夢つくしの㎡当たり粒数と収量との関係

表 2.2-4 夢つくしの収量水準別窒素吸収パターン

収量 水準	幼穂形成期		穂揃期		成熟期		㎡当たり	
	までの		までの		までの		粒数	穂数
	窒素吸収量		窒素吸収量		窒素吸収量		×百粒	本
g m ⁻²	g m ⁻²		g m ⁻²		g m ⁻²			
480	4 ~	5	7 ~	8	8 ~	9	240	360
520	5 ~	6	8 ~	9	10 ~	11	270	400
560	7 ~	8	10 ~	11	12 ~	13	310	460

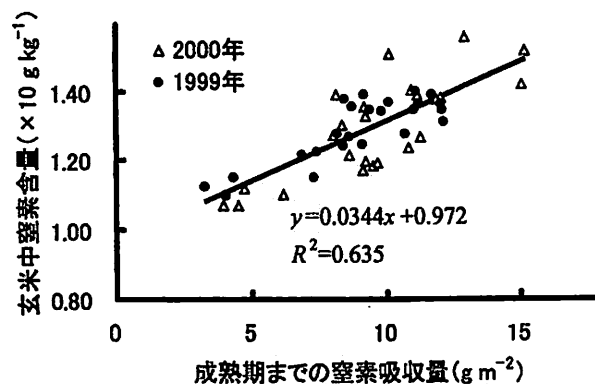


図 2.2-7 夢つくしの玄米中窒素含量と成熟期までの窒素吸収量との関係

量を 12~13 g m⁻² となるよう肥培管理を行う必要がある。

4) 玄米中窒素含量と食味

成熟期までの窒素吸収量と玄米中窒素含量との関係を図 2.2-7 に示す。両者の間には正の相関があり、その関係を一次式で表すことができた。図 2.2-8 には玄米中窒素含量と食味総合評価との関係を示す。両者の間には負の相関が認められ、その関係は図 2.2-7 同様、一次式に回帰された。図 2.2-7 および図 2.2-8 より収量水準別の玄米中窒素含量と食味水準を明らかにし、表 2.2-5 に示す。本県内に作付のある数品種について検討された米粒中窒素含量（タンパク質含量）の良食味米目標

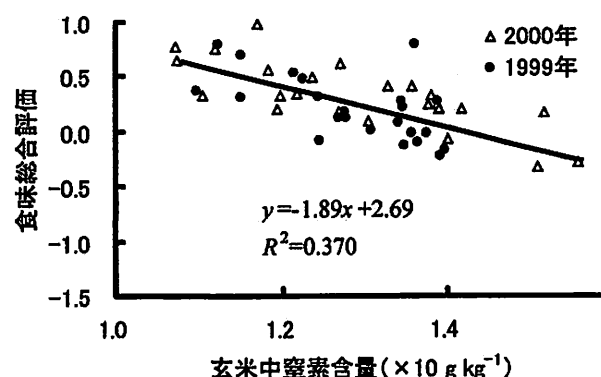


図 2.2-8 夢つくしの玄米中窒素含量と食味総合評価との関係

表 2.2-5 夢つくしの収量水準別玄米中窒素含量と食味総合評価

収量 水準	成熟期 までの 窒素吸収量	玄米中窒素含量	食味総合評価
g m^{-2}	g m^{-2}	$\times 10 \text{ g kg}^{-1}$	
480	8 ~ 9	1.25 ~ 1.28	+0.2 ~ +0.3
520	10 ~ 11	1.32 ~ 1.35	+0.1 ~ +0.2
560	12 ~ 13	1.39 ~ 1.42	0.0 ~ +0.1

上限値は、2.1 節で論じた‘つくし早生’と‘ほほえみ’については、玄米中窒素含量で 13.0 g kg^{-1} とされている（岩渕ら 2000, 岩渕ら 2001, 田中ら 1994, 田中ら 1998）。そこで、‘夢つくし’にもこの値を適用したところ、表 2.2-4 および表 2.2-5 より幼穂形成期までに 5 g m^{-2} 、穂揃期までに 8 g m^{-2} 、成熟期までに $9 \sim 10 \text{ g m}^{-2}$ 以下の窒素吸収量とすると、玄米窒素含有率は 13.0 g kg^{-1} となり、食味総合評価 +0.2 以上を確保できると推測された。このときの収量水準は 500 g m^{-2} 、 m^2 当たり穂数 380 本、粒数 26,000 粒が目安となる。

2.2.4 摘要

水稻品種‘夢つくし’の玄米中窒素含量の目標値 13.0 g kg^{-1} を達成するための収量水準と窒素吸収パターンを明らかにした。窒素吸収量は幼穂形成期までに 5 g m^{-2} 、穂揃期まで 8 g m^{-2} 、成熟期までに $9 \sim 10 \text{ g m}^{-2}$ で、収量は 500 g m^{-2} である。

2.3 水稻品種「つくしろまん」の窒素吸収特性

2.3.1 序言

水稻品種‘つくしろまん’は、良食味に加えて、強稈を目標に‘夢つくし’を母、‘中部 88 号’を父として交配した後代から育成された品種である（浜地ら 2003）。当品種は、福岡県内の主食用米の水稻作付が、極早生の‘夢つくし’と中生の‘ヒノヒカリ’に偏った状況から、適期作業や共乾施設の効率的利用を図る上で、バランスのとれた品種構成を形成するため強く待望されていた早

生の品種で、‘コシヒカリ’よりも優れた食味を有する。

本節では、安定した収量確保を図るため、目標となる窒素吸収量を検討することにより、‘つくし
ろまん’の窒素吸収特性を明らかにした。

2.3.2 試験方法

試験1は、2001～2002年に福岡県農業総合試験場本場（中粗粒灰色低地土）および豊前分場（細
粒灰色台地土）内の水田圃場において行った。窒素施用量は、基肥を3, 5, 7 g m⁻²の3水準、穂
肥（I+II）を0+0, 2+0, 2+1.5 g m⁻²の3水準とした。移植時期は、本場は6月21日、豊前分場
は6月11～12日とし、栽植密度はm²当たり20～23株で、稚苗機械移植とした。試験2は、2001
～2002年に福岡県農業総合試験場本場内の造成水田枠圃場（県内の4種類の土壌を客土）で行った。

表 2.3-1 試験区の構成

年次	試験区	施肥量 ³⁾					土壌の種類 ⁴⁾ と試験区設置の有無			
		N			P ₂ O ₅		二日市	吉木	甘木	筑後
		基肥	穂肥 I	穂肥 II	基肥	基肥				
2001年	L+S-8 ¹⁾	8	0	0	8	8	○	○	○	○
	L+S-7	7	0	0	8	8	○	○	○	○
	6+2+2	6	2	2	8	8	○	○	○	○
	無窒素	0	0	0	8	8	○	○	○	○
	L+S-5	5	0	0	8	8	○	-	-	-
	L+S-6	6	0	0	8	8	○	-	-	-
	L+SS-6 ²⁾	6	0	0	8	8	○	-	-	-
	L+SS-8	8	0	0	8	8	○	-	-	-
	L+S-10	10	0	0	8	8	○	-	-	-
	L+S-12	12	0	0	8	8	○	-	-	-
	L+S-15	15	0	0	8	8	○	-	-	-
	L+SS-15	15	0	0	8	8	○	-	-	-
2002年	L+S-8	8	0	0	8	8	○	○	○	○
	L+S-7	7	0	0	8	8	○	○	○	○
	6+2+0	6	2	0	8	8	○	○	○	○
	6+2+2	6	2	2	8	8	○	○	○	○
	無窒素	0	0	0	8	8	○	○	○	○
	L+S-5	5	0	0	8	8	○	-	-	-
	L+S-10	10	0	0	8	8	○	-	-	-
	L+SS-8	8	0	0	8	8	○	-	-	-
	L+SS-15	15	0	0	8	8	○	-	-	-
	L+S-12	12	0	0	8	8	○	-	-	-
	L+S-15	15	0	0	8	8	○	-	-	-

1)LPコート30号(42-0-0)とLPコートS80号(41-0-0)を窒素成分で2:1の割合で配合して基肥で施用。ハイフン後の数字は窒素施用量を表す。

2)LPコート30号とLPコートSS100号(41-0-0)を2:1の割合で配合して施用。

3)単位は g m⁻²。

4)二日市は中粗粒灰色低地土、吉木は中粗粒黄色土、甘木は淡色黒ボク土、筑後は細粒灰色低地土の作土を20 cmずつ客土した圃場。

表 2.3-2 耕種概要

(月/日)

	施肥 代かき	移植	穂肥		出穂	収穫	分析試料採取		
			1回目	2回目			幼穂 形成期	穂揃期	成熟期
2001年	6/12	6/14	7/31	8/9	8/18	9/25	7/30	8/23	9/25
2002年	6/11	6/13	7/31	8/7	8/21	9/30	7/29	8/26	9/30

様々な土壌条件と施肥条件を想定して試験区を設けた。試験区の構成は表 2.3-1 に示す。試験区として、速効性肥料による分施肥区と被覆尿素による一回全量基肥区を設けたが、分施肥区は県の施肥体系に準じて、出穂前 20～18 日に穂肥の 1 回目を、その 7～10 日後に 2 回目を施用した。分施肥区では窒素肥料として、基肥、穂肥ともに硫安 (21-0-0) を用いた。リン酸と加里については磷酸加里高度化成 40 号 (0-20-20) を用いた。一回全量基肥区については、表 2.3-1 の脚注のとおりリニア型 30 日タイプ被覆尿素とシグモイド型 80 日または 100 日タイプ被覆尿素を窒素成分で 2:1 の割合で配合して用いた。施肥は全面全層とし、移植は 6 月上旬に 1 株 4 本を栽植密度 m^2 当たり 21 株で、稚苗を手植えた。その他の耕種概要を表 2.3-2 に示す。稲体の採取は、幼穂形成期 (最長茎幼穂約 2～3 mm)、穂揃期に平均茎数株を 1 区当たり 5 株、成熟期に 10 株を採取し、穂揃期には茎葉と穂、成熟期にはわらと籾に分け、乾物重を測定後、粉碎し分析試料とした。分析試料として用いた玄米は 1.8 mm 以上の整粒とした。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。搗精は試験用小型精米機 (サタケ社ツインワンパス) で搗精歩合が 90 % となるよう行なった。食味官能試験はパネラー 20 名で実施し、各年次において当場にて標準栽培した 'コシヒカリ' を基準とした。

2.3.3 結果および考察

1) 気象経過と作柄

2 カ年とも試験期間の気象は概ね良好で、収量に著しく影響を及ぼす台風の接近もなかった。2001 年は、8 月下旬～9 月上旬の日平均気温が平年を下回ったものの総じて高温で経過した。2002 年は、6 月～7 月は日平均気温は高めで推移したものの 8 月以降は平年並であった。なお、県内の水稻の作柄は、2001 年が作況指数 104、2002 年が 103 であった。

2) 各時期までの窒素吸収量と収量、籾数等との関係

2.1 節および 2.2 節で検討したように、本節でも、'つくしろまん' について各時期までの窒素吸収量と収量構成要素との関係を明らかにした。

図 2.3-1 には幼穂形成期までの窒素吸収量と穂数との関係を示す。幼穂形成期までの窒素吸収量は $1.1 \sim 10.6 \text{ g m}^{-2}$ で、 m^2 当たり穂数は 210～560 本であった。両者の関係を表す回帰曲線を図中に示したが、実測されたデータ間のバラつきがやや大きかった。回帰曲線によると、窒素吸収量が $3 \sim 7 \text{ g m}^{-2}$ では、窒素吸収量の増加に伴って穂数の増加が見込まれるが、 9 g m^{-2} 以上となると 430～440 本程度で穂数の増加が停滞すると予測された。図 2.3-2 には穂揃期までの窒素吸収量と穂数との関係を示す。穂揃期までの窒素吸収量は $1.6 \sim 16.7 \text{ g m}^{-2}$ で、 m^2 当たり籾数は 12,000～40,000 粒であった。両者の関係を表す回帰曲線より、籾数 25,000 粒の目安となる窒素吸収量は 7 g m^{-2} 、30,000 粒は 11 g m^{-2} 程度と推測された。図 2.3-3 には m^2 当たり籾数と穂数との関係を示す。両者の間には

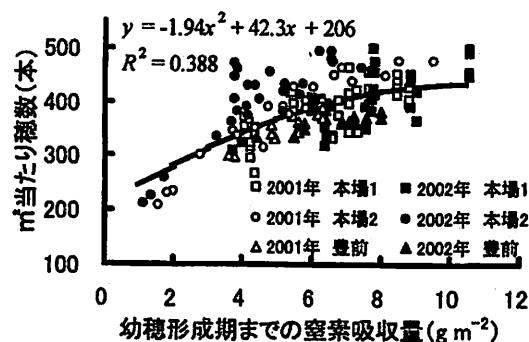


図 2.3-1 つくしろまんの幼穂形成期までの窒素吸収量と穂数との関係

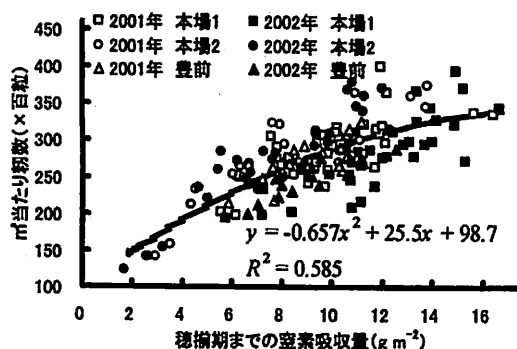


図 2.3-2 つくしろまんの穂揃期までの窒素吸収量と穂数との関係

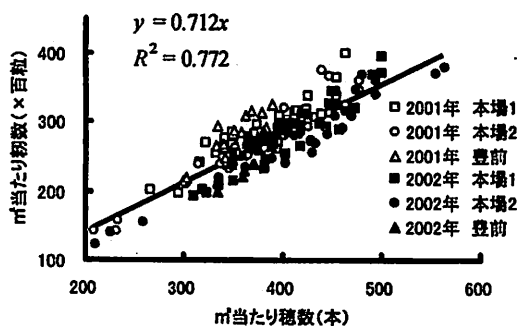


図 2.3-3 つくしろまんの穂数と穂数との関係

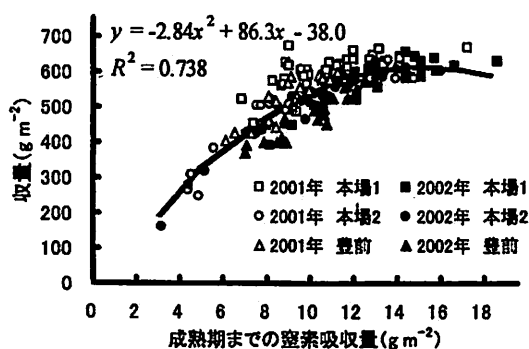


図 2.3-4 つくしろまんの成熟期までの窒素吸収量と収量との関係

正の相関が認められ、その関係は一次式に回帰され、年次でわずかにズレが認められたものの、その回帰係数から平均的な一穂粒数は 71 粒と考えられた。成熟期までの窒素吸収量と収量との関係を図 2.3-4 に示す。成熟期までの窒素吸収量は $3.1 \sim 18.6 \text{ g m}^{-2}$ で、収量は $160 \sim 670 \text{ g m}^{-2}$ であった。

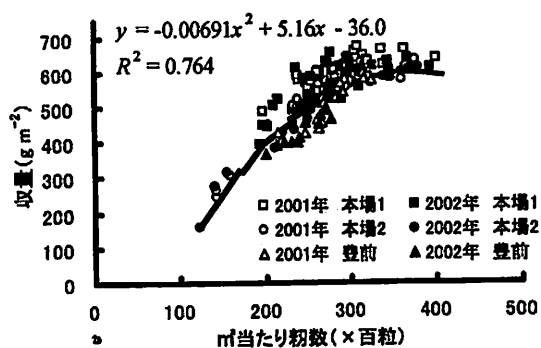


図 2.3-5 つくしろまんの粒数と収量との関係

表 2.3-3 つくしろまんの収量水準別窒素吸収パターン

収量 水準	幼穂形成期 までの 窒素吸収量	穂揃期 までの 窒素吸収量	成熟期 までの 窒素吸収量	㎡当たり	
g m ⁻²	g m ⁻²	g m ⁻²	g m ⁻²	粒数 × 百粒	穂数 本
480	3 ~ 4	6 ~ 7	8 ~ 9	240	340
520	5 ~ 6	8 ~ 9	9 ~ 10	260	370
560	7 ~ 8	10 ~ 11	10 ~ 11	300	410

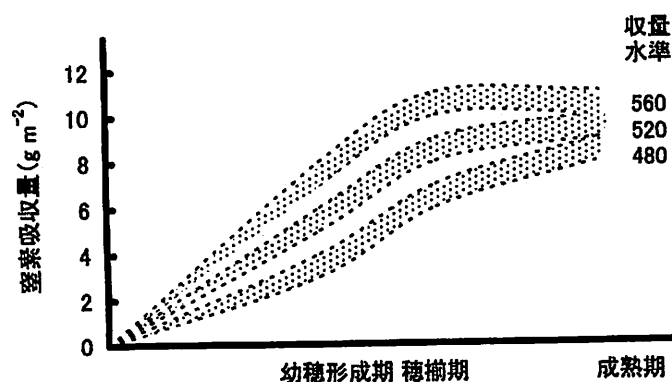


図 2.3-6 つくしろまんの収量水準別窒素吸収パターン

両者の関係を表す回帰曲線より、窒素吸収量 13 g m^{-2} までは窒素吸収量の増加に伴って収量が漸増し、約 600 g m^{-2} で収量増が停滞すると推測された。図 2.3-5 には m^2 当たり粒数と収量との関係を示す。二次回帰式より、 m^2 当たり粒数 37,000 粒で収量水準は 600 g m^{-2} に達すると推測された。これら図 2.3-1~5 の関係より、2.2 節同様、図 2.1-8 に示すフローチャートにしたがって収量水準別に各生育時期までの窒素吸収パターンと目安となる m^2 当たり穂数および粒数を算出し、表 2.3-3 および図 2.3-6 に示した。収量 $480 \sim 560 \text{ g m}^{-2}$ の範囲で 3 つのパターンを示した。収量 560 g m^{-2} を得るためには、 m^2 当たり穂数を 410 本、粒数約 30,000 粒を確保し、成熟期までの窒素吸収量が $10 \sim 11 \text{ g m}^{-2}$ となるよう肥培管理を行う必要がある。

3) 食味および玄米中窒素含量

食味官能試験における総合評価と玄米中窒素含量との関係を図 2.3-7 に示す。食味評価は年次によ

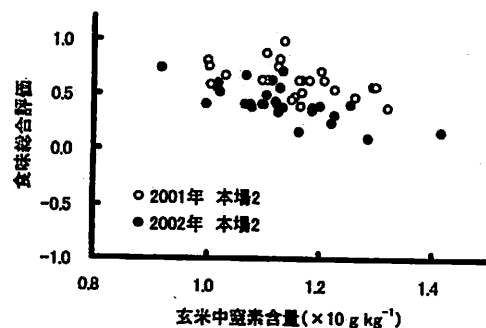


図 2.3-7 玄米中窒素含量と食味総合評価との関係
注) 基準米は農業総合試験場産コシヒカリ。

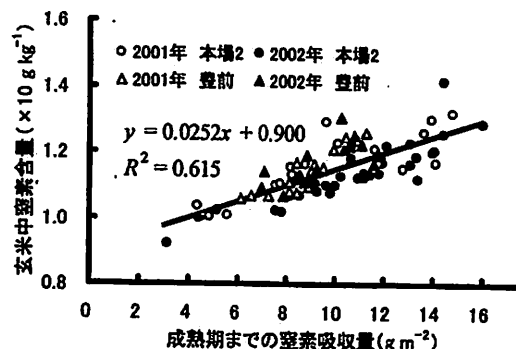


図 2.3-8 成熟期までの窒素吸収量と玄米中窒素含量との関係

表 2.3-4 各収量水準に対応した玄米中窒素含量

収量 水準	成熟期 までの 窒素吸収量	玄米中窒素含量
g m^{-2}	g m^{-2}	$\times 10 \text{ g kg}^{-1}$
480	8 ~ 9	1.10 ~ 1.13
520	9 ~ 10	1.13 ~ 1.15
560	10 ~ 11	1.15 ~ 1.18

って水準が異なるものの、年次毎で見ると両者の間には負の相関が見られた。食味評価は、‘コシヒカリ’を基準とした相対評価であるが、全体的に食味水準が高く0点（‘コシヒカリ’と同水準）を下回ることにはなかった。図 2.3-8 には成熟期までの窒素吸収量と玄米中窒素含量との関係を示す。両者の関係を表す回帰式より成熟期までの窒素吸収量に応じた玄米中窒素（タンパク）含量を推定することができる。表 2.3-3 に示した各収量水準に対応した窒素吸収量に対する玄米中窒素含量を算出した結果を表 2.3-4 に示す。これにより、あらかじめ高い食味水準の確保を前提として、目標とする窒素含量と収量水準を明確にし、それに応じた肥培管理を行うことができる。

2.3.4 摘要

水稻品種 ‘つくしろまん’ の収量水準別窒素吸収パターンを明らかにした。窒素吸収量が、幼穂形成期までに $7 \sim 8 \text{ g m}^{-2}$ 、穂揃期まで $10 \sim 11 \text{ g m}^{-2}$ 、成熟期まで $10 \sim 11 \text{ g m}^{-2}$ のときに、収量 560 g m^{-2} となる。‘つくしろまん’ の食味水準は非常に高く、このときの玄米中窒素含量も $11.5 \sim 11.8 \text{ g kg}^{-1}$ と低い水準である。

第3章 出穂前における生育診断による水稻の窒素吸収量の推定法の改良

3.1 出穂前における生育診断による水稻窒素吸収量推定の限界

3.1.1 序言

米の消費量の停滞、輸入米の増加等に伴う流通量の過剰、市場での良食味ブランド米の氾濫ともなう販売競争の激化等、米情勢の厳しい中、販売戦略の観点から、消費者イメージのよい減農薬・減化学肥料栽培米等の特別栽培米が脚光を浴びている。さらに、食味の優れた米が消費者に好まれることから、施肥を控えめにして生産された低タンパク質米が注目されている。したがって、従来よりも農薬や化学肥料等の生産資材の投入の少ない栽培管理技術の確立が必要である。

施肥において、肥料の過剰施用を回避し、かつ高い生産性を確保するためには、生育期間中の水稻の窒素栄養状態を的確に把握し、その結果に基づいて肥料の量を調整して施用することが必要である。この診断法の主流となっているのが、葉色による診断である(松崎ら 1980, 深山ら 1984a, 田守ら 1981, 丹野ら 1982, 中鉢ら 1982a, 中鉢ら 1982b)。この方法は、水稻の葉色と稲体の窒素濃度の間に高い相関があることを利用したもので、穂肥施用時の診断によく用いられている。しかし、水稻の窒素栄養状態を判断するためには窒素濃度ではなく、保有される窒素量すなわち窒素吸収量を把握する必要があるが、生育時期によって稲体の乾物生産量や葉身の厚さ等の違いがあることから、葉色と水稻の窒素吸収量の関係は一定ではなく、葉色による診断は生育期間を通して水稻の窒素栄養状態を正確に判断するための方法とはなっていないのが実状である。窒素吸収量を知るためには、サンプリングと化学分析による乾物重と稲体窒素濃度の測定が必要である。しかし、随時この測定を行い、結果を施肥に反映させることは実用上困難である。よって、化学分析を要しない窒素吸収量の推定法を確立することが必要である。

これまでに、化学分析によらない水稻窒素吸収量の推定についての報告がいくつかある(熊谷ら 1991, 柴原ら 2000, 末信ら 1994, 武田 1986)。このうち、最も実用的と考えられるのは、稲体中の窒素濃度は葉色と、乾物重は草丈と茎数の積との間の相関が高い(熊谷ら 1991, 末信ら 1994)ことを利用して、草丈、茎数、葉色の積から水稻窒素吸収量を推定する方法である(末信ら 1994, 武田 1986)。しかし、この推定法も、乾物重と草丈・茎数の積との関係および葉色と稲体窒素濃度との関係は、生育時期や年次等の違いによって異なることから、適用範囲が限定されるという問題を抱えている。熊谷ら(1991)は、一定条件の下での測定が困難なことや稲体を痛めやすいことを理由に実用性は低いとしていながらも、茎数の代わりに株の周囲の長さを適用し、草丈、葉色と併せて、出穂 35 日前から穂揃期にかけての窒素吸収量を高精度で推定できるとしている。すなわち、株の周囲を円形に見立てるとその長さの 2 乗は株の断面積に比例することを利用して、窒素吸収量を推定する際に、株の断面積を導入することで生育時期の違いによる推定の障害を克服できるとしている。このことから、上述した実用性の高い草丈、茎数および葉色の積によって窒素吸収量を推定する方法に、茎 1 本当たりの平均断面積の生育時期、年次による違いを表す要因を導入すれば、株周囲の長さを導入した熊谷らの方法により近づけることができ、適用範囲を拡大できると考えられる。

本節では、この草丈、茎数、葉色による推定の問題点を再確認するとともに、茎 1 本当たりの平均断面積に代替するパラメータの必要性について考察した。

3.1.2 試験方法

1999～2002年に福岡県農業総合試験場内の砂壤土水田圃場で試験を行った。品種は、‘夢つくし’、‘つくしろまん’、‘ヒノヒカリ’の3品種で、‘夢つくし’は1999～2000年の2ヵ年、‘つくしろまん’は2001～2002年の2ヵ年、‘ヒノヒカリ’は2000～2002年の3ヵ年試験を行った。窒素施肥量は、‘夢つくし’は0～14 g m⁻²、‘つくしろまん’は0～15 g m⁻²、と幅広い条件で、様々な窒素供給パターンを想定して、‘ヒノヒカリ’については0～8.5 g m⁻²と農家慣行量以内とすることに重点をおいた処理を行った。窒素肥料には、硫安(21-0-0)やリニア型 100 日タイプ被覆尿素(41-0-0)を中心に数種類を用いた。表 3.1-1 に移植日および試料採取日を示す。移植は稚苗で1株4本手植えとし、栽植密度は m²当たり 20.8 株とした。リン酸およびカリの施用量は、‘夢つくし’は基肥のみの8 g m⁻²、もしくはこれに準じた。‘つくしろまん’と‘ヒノヒカリ’はそれぞれ、同様に基肥のみの6 g m⁻²、5 g m⁻²に統一し、磷酸加里高度化成 40 号(0-20-20)で施用した。

稲体採取は、移植日から 25, 35, 45 日後頃の3回、2002年‘つくしろまん’については、一部の試験区で 55 日後頃にも行った。なお、各時期を便宜上、+25 日、+35 日、+45 日、+55 日とした。各区から5株を採取し、草丈、茎数、葉色を測定後、乾物重を測定し、分析試料として粉碎した。葉色は、株中最強茎の展開第2葉の基部から3分の2の部分で葉緑素計 (SPAD-502) で測定した。全窒素の分析は、ケルダール分解後、水蒸気蒸留法にて行った。栽培期間中の気温は、記憶機能付の温度計で1時間毎に測定し、平均した値を日平均気温とした。

2002年のつくしろまんについては、各採取株の株周の長さを測定した。測定は、茎末端部から5 cm のところに紐を巻きつけ、紐を1 kg 重の力で引いたときの長さを測る熊谷ら (1991) の方法に準じて行った。

表 3.1-1 移植日および試料採取日

年次	品種	移植日	試料採取日			
			+25日	+35日	+45日	+55日
1999	夢つくし	6/10	7/5	7/15	7/27	-
2000	夢つくし	6/8	7/3	7/13	7/24	-
2001	つくしろまん	6/14	7/9	7/19	7/30	-
2002	つくしろまん	6/13	7/8	7/18	7/29	8/6
2000	ヒノヒカリ	6/22	7/17	7/28	8/9	-
2001	ヒノヒカリ	6/21	7/16	7/26	8/8	-
2002	ヒノヒカリ	6/20	7/15	7/24	8/5	-

3.1.3 結果および考察

品種別の草丈、茎数と葉色の積と窒素吸収量の関係を図 3.1-1 に示す。各小図中の年次および生育時期の違いにより点の分布に偏りがあり、従来から指摘がある (末信ら 1994) ように、品種別にしても単一の回帰式で両者の関係を高精度で表すことは困難であった。これは、上原ら (1998) が指摘しているように、乾物重を推定する際に、草丈、茎数で表せない稲体の充実度なる要因が影響するためと考えられる。窒素吸収量を推定するに当たって、この要因としては、茎1本当たりの太さや葉の厚さ等が想定される。そこで、2002年‘つくしろまん’について、熊谷ら (1991) の方法に準じて株周囲の長さを測定した。株の周囲を円形に見立てたとき、円周の長さは半径に比例

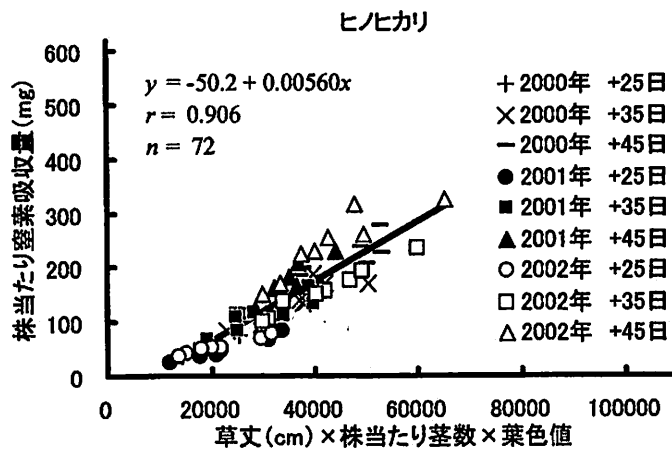
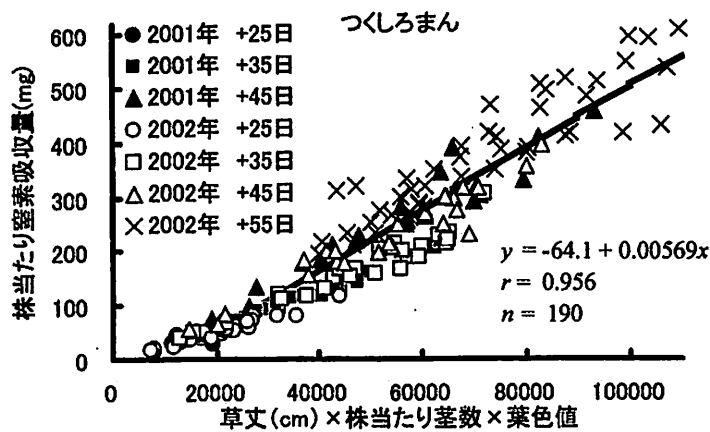
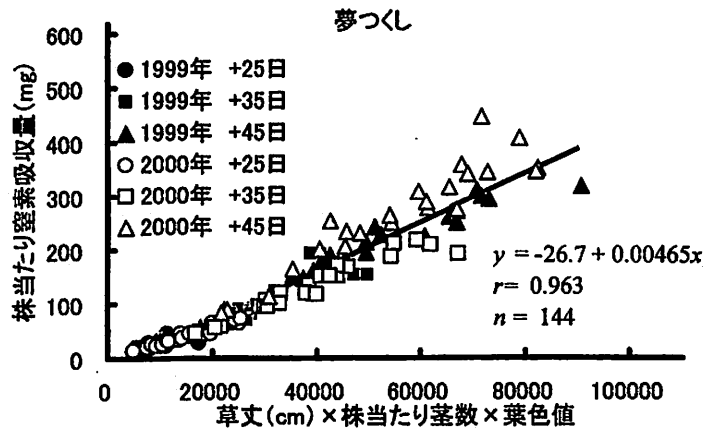


図 3.1-1 草丈、茎数と葉色値の積と窒素吸収量の関係

すること、円の面積（株の断面積）は半径の2乗に比例することを考えると株の断面積は周囲の長さの2乗に比例する。そこで、株周長の2乗を便宜上、株の断面積と考えて、茎数に代替して、窒素吸収量の推定に導入した。図 3.1-2 に 2002 年 ‘つくしろまん’ について、草丈、株周長の2乗と葉色の積と窒素吸収量との関係を、草丈、茎数と葉色の積との関係と対比して示す。前者が、生育時期による点の分布の偏りが少なく、相関係数を見ても 0.979 で、後者の 0.952 よりも高く、単一の回帰式で窒素吸収量を表す場合の適合度は前者の方が優れていると考えられた。しかし、熊谷ら (1991) の指摘したとおり株周囲の長さの測定を一定条件下で行うことの困難さや稲体を痛めや

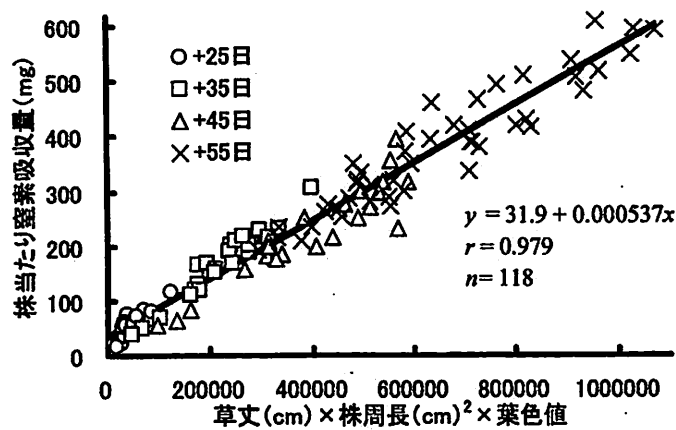
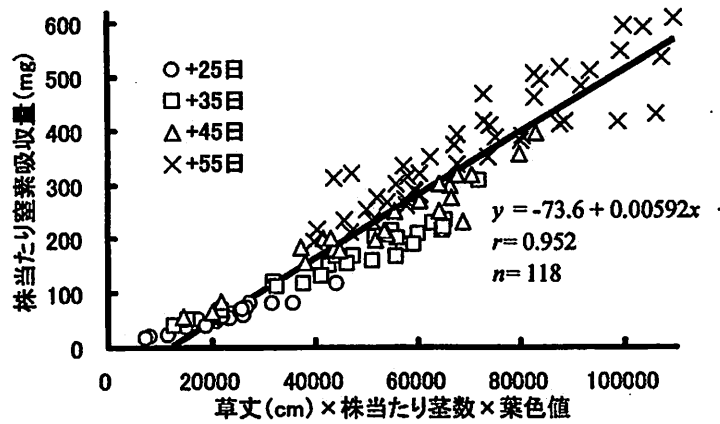


図 3.1-2 草丈、株周長の2乗と葉色値の積と窒素吸収量との関係

注) 上段は草丈、茎数と葉色の積と窒素吸収量との関係
品種: つくしろまん, 年次: 2002 年

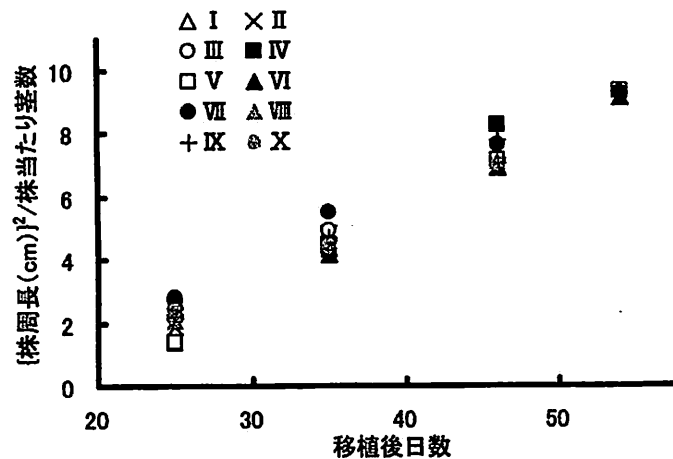


図 3.1-3 株周囲の長さの2乗を株当たり茎数で除した商と移植後日数の関係

注) 窒素施肥の内容

I: リニア型 30 日タイプ被覆尿素 (L30:41-0-0) およびシグモイド型 80 日タイプ被覆尿素 (S80:42-0-0) を各 7.5 g N m^{-2} ,
II: L30 および S80 を各 6.0 g N m^{-2} , III: LPV50 (14-14-14) を 8 g N m^{-2} ,
IV: L30 および S80 を各 2.5 g N m^{-2} , V~VII: 6+2+0 g N m^{-2} 硫酸,
VIII: L30 および S80 を各 4.0 g N m^{-2} , IX: L30 および S80 を各 3.5 g N m^{-2} ,
X: 無窒素

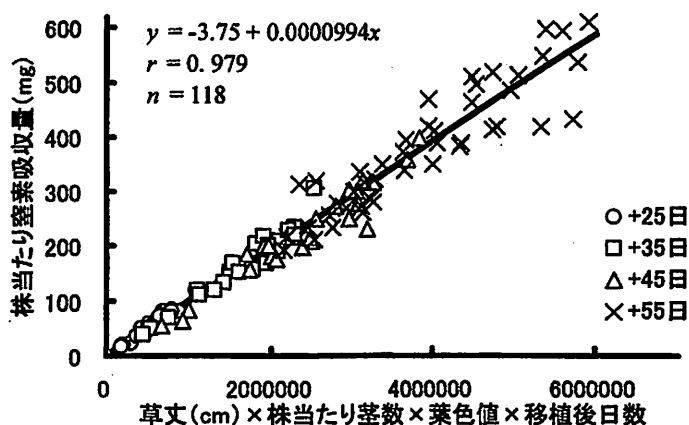


図 3.1-4 草丈、茎数、葉色値と移植後日数の積と窒素吸収量の関係
注) 品種: つくしろまん, 年次: 2002 年

すい等の理由により、本法の実用性は低いと考えられた。一方で、株周長の 2 乗は株の断面積に比例することを考えると、草丈、茎数、葉色の積に茎 1 本当たりの平均断面積を乗じることにより、回帰式の適合性を改善できると推定された。図 3.1-3 には、本文中で便宜上、茎 1 本当たりの平均断面積としている株周長の 2 乗を株あたり茎数で除した商と、移植後日数との関係を示す。茎 1 本当たりの断面積は、移植後日数が同一であっても、窒素栄養状態によって必ずしも一致しないが、各々の処理で生育時期毎の推移を見る限り、直線的に増加していることがうかがえた。このことから、その要因として移植後日数を加えることで、窒素吸収量の推定精度を向上できるのではないかと考えられた。図 3.1-4 には草丈、茎数、葉色に移植後日数を乗じた積と窒素吸収量の関係を示す。+25 日から+55 日までのすべての生育時期を含めると相関係数は 0.979 と非常に高く、図 3.1-2 に示した両小図と比較しても、移植後日数を導入することで、窒素吸収量推定の適用時期の拡大と精度向上が可能であると考えられた。以上のことから、時間パラメータは有効であることが示唆されたが、この方法では年次や作期が異なった場合の気象条件の違いが考慮されないことになるため、気象データを導入する必要があることが予想された。

3.1.4 摘要

水稻窒素吸収量の草丈、茎数、葉色による従来の方法による問題点を確認した。従来法では、年次間の差や生育時期毎のズレが縮小されないと推定精度に問題があった。しかし、従来法での推定で加味されない茎 1 本当たりの平均断面積は、時間軸に対して一次関数的に増加したことなどから、年次間の違いを考慮できる気象条件を加味した時間パラメータの有効性が示唆された。

3.2 気温を考慮した水稻窒素吸収量推定法の改良

3.2.1 序言

3.1 節において茎 1 本当たりの断面積に代替するパラメータとして気象データが必要であることを論じた。長南 (1971) は、気温の違いが水稻の葉肉構造に影響を及ぼすため、葉肉の厚さが異なってくると報告していること、神田ら (2000) は、気温によって簡易に主稈の葉齢予測を行えるこ

とを報告していること等から、気温が、草丈、茎数および葉色で表せない稲体の充実度に大きく関与していることが想定できる。上原ら（1999）は、最高分げつ期～幼穂形成期における水稻窒素吸収量推定で、草丈、茎数および葉色に加えて、気温を導入し、気象条件を加味する試みを行っている。そこで、これに準じて、茎1本当当たりの断面積に代替するパラメータとして気温を採用することが適すると考えられる。

水稻の生長には、ある温度以下では生長が停止してしまう基準温度が存在し、この基準温度を上回った分を有効温度として積算した有効積算温度によって、各種生長過程が論じられている（江幡 1990a, 江幡 1990b, 神田ら 2000, 寺田 1993）。さらに、各種生物の生長反応をモデル化する際に、標準温度変換日数（Number of Days Transformed at Standard Temperature：以後、DTSと略す。）を導入した事例がいくつか報告されている（金野ら 1986, 小元ら 1989, 矢羽田 1995）。DTSは任意の日平均気温での生物の生長日数1日を、Arrheniusの法則に基づき、標準温度25℃における日数に変換した積算日数で、適用温度域の広さに特徴があるとされている。

そこで、気象データとして単に気温ではなく、有効（積算）温度およびDTSを適用し、推定精度の向上と適用範囲の拡大による水稻窒素吸収量の推定法の改良について検討した。

3.2.2 試験方法

2003年に福岡県農業総合試験場の砂壤土水田圃場で、‘夢つくし’、‘つくしろまん’、‘ヒノヒカリ’の3品種を供試して試験を行った。各品種とも、4月29日、5月15日、6月4日に、栽植密度㎡当たり20.0株で稚苗移植した。窒素施肥量は、各品種、移植日とも、基肥で0, 3, 6, 8, 10 g m⁻²の5水準とし、窒素施肥を行った区では3 g m⁻²分は、リニア型30日タイプ被覆尿素(41-0-0)で施用し、不足分を硫安(21-0-0)で施用した。リン酸およびカリの施用量は5 g m⁻²とし、PK化成40号(0-20-20)で施用した。稲体採取は、移植日から15, 25, 35, 45, 55日前後の5回行った。各区から4株ずつ採取し、任意の2株を組にして各株の草丈、茎数、葉色を測定後、乾物重を測定し、各区2組を分析試料として粉砕した。移植15日後については、試料が少量で、調製・分析が困難と判断したため、4株を1組とした。全窒素の分析、気温の測定は、3.1節に準じた。

3.2.3 結果および考察

1) 有効積算温度を導入した窒素吸収量推定式と基準温度

試験は単年のみの実施であるが、年次毎の気温の違いを想定するという視点から、各品種とも移植時期を3時期として実施した。移植*n*日後における窒素吸収量を推定する式として、次式を仮定した。

$$Un = A \times Hn \times Nn \times Cn \times \sum_{i=0}^{n-1} (t_i - t_0) + B \quad \dots (3.1)$$

A, B: 定数, *t*₀: 基準温度 (°C)

Un: 移植*n*日後における株当たり窒素吸収量 (mg),

Hn: 草丈 (cm), *Nn*: 株当たり茎数 (本), *Cn*: 葉色値,

*t*_{*i*}: 移植*i*日後の日平均気温 (°C), ただし *t*_{*i*} < *t*₀ のとき *t*_{*i*} - *t*₀ = 0 とする

有効温度の積算は、移植日当日から調査日前日までとした。上原らの有効積算温度を導入する試み（上原ら 1999）においては、基準温度についての詳細な検討は行われていないため、まず基準温度について検討した。

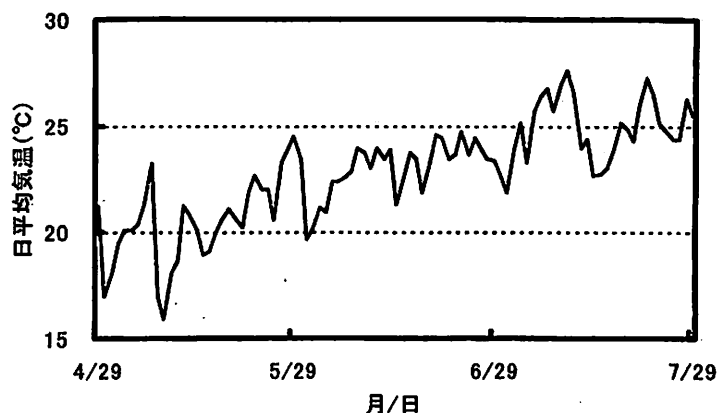


図 3.2-1 栽培期間中の日平均気温の推移(2003 年)

表 3.2-1・想定基準温度別の草丈、茎数、葉色値と有効積算温度の積と窒素吸収量との相関係数と一次回帰式の回帰係数および切片

想定基準			
温度 (°C)	相関係数	A値 $\times 10^{-6}$	B値
10	0.9776	5.55	11.0
11	0.9778	6.02	11.3
12	0.9780	6.57	11.7
13	0.9779	7.22	12.3
14	0.9776	8.02	13.0
15	0.9767	9.00	14.0
16	0.9749	10.2	15.4
参考	0.9298	3650	-12.0

注) A, B は定数。

参考は、草丈、茎数および葉色の積と窒素吸収量との関係。
回帰式は窒素吸収量=

$$A \times \text{草丈} \times \text{株当たり茎数} \times \text{葉色値} \times \sum_{i=0}^{n-1} (t_i - t_0) + B$$

t_0 は想定基準温度。ただし、 $t_i - t_0 < 0$ のとき、 $t_i - t_0 = 0$ とする。

図 3.2-1 に栽培期間中の日平均気温の推移を示す。日平均気温の月平均値は 5 月約 21 °C、6 月約 23 °C、7 月は約 25 °C であった。これをもとに、表 3.2-1 に基準温度を 10 °C～16 °C (江幡 1990b, 寺田 1993) に想定した場合の、草丈、茎数、葉色値と有効積算温度の積と窒素吸収量との相関係数を示す。相関係数が最も高かったのは想定基準温度 12 °C のときで、この基準温度 12 °C は、出穂にかかる温度反応についての報告 (江幡 1990b, 寺田 1993) に非常に近いものであった。

図 3.2-2 に基準温度 12 °C における草丈、茎数、葉色値と有効積算温度の積と窒素吸収量の関係を品種別に示す。品種、移植日、生育時期を含めて回帰される同一の回帰直線を各小図中に示す。表 3.2-2 の相関係数の比較からも分かるように有効積算温度の導入によって、水稻窒素吸収量推定の一次回帰式への適合度は向上し、これらの品種の移植 2～8 週後までの窒素吸収量推定の可能性

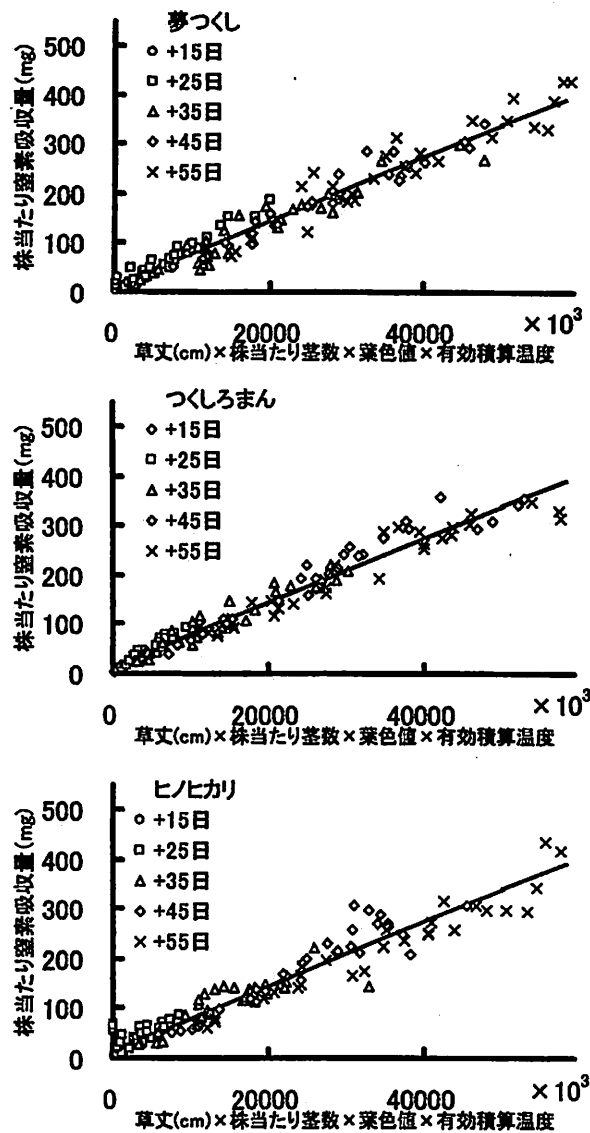


図 3.2-2 品種別の草丈、茎数、葉色値と有効積算温度の積と窒素吸収量の関係
 注) 基準温度は 12 °C としている。
 各小図中の直線を表す一次式はすべて $y = 11.7 + 6.57 \times 10^{-6} x$
 各品種とも $n = 135$

表 3.2-2 有効積算温度導入前後での品種別、作期別での草丈、茎数と葉色値の積と窒素吸収量との間の相関係数

品種	夢つくし		つくしろまん		ヒノヒカリ		全体	
作期	導入前	導入後	導入前	導入後	導入前	導入後	導入前	導入後
4/29 植	0.9874	0.9742	0.9849	0.9795	0.9898	0.9641	0.9865	0.9724
5/15 植	0.9018	0.9869	0.9511	0.9865	0.9155	0.9761	0.9231	0.9819
6/4 植	0.8551	0.9737	0.9363	0.9890	0.9439	0.9895	0.8938	0.9822
全体	0.9093	0.9794	0.9495	0.9814	0.9356	0.9729	0.9298	0.9780

注) 基準温度は 12 °C.

が示唆された。推定式は (3・2) 式で表される。

$$Un = 11.7 + 6.57 \times 10^{-6} \times Hn \times Nn \times Cn \times \sum_{i=0}^{n-1} (t_i - 12) \quad \dots (3\cdot2)$$

Un : 移植 n 日後における株当たり窒素吸収量 (mg),

Hn : 草丈 (cm), Nn : 株当たり茎数 (本), Cn : 葉色値,

t_i : 移植 i 日後の日平均気温 ($^{\circ}\text{C}$), ただし $t_i < 12$ のとき $t_i - 12 = 0$ とする

2) DTS を導入した窒素吸収量推定式と見かけの活性化エネルギー

DTS を導入した移植 n 日後の窒素吸収量推定式として次式を仮定した。

$$Un = C + A \times Hn \times Nn \times Cn \times \sum_{i=0}^{n-1} ts_i \quad \dots (3\cdot3)$$

$$\sum_{i=0}^{n-1} ts_i = \sum_{i=0}^{n-1} \exp(Ea(T - 298)/R/298/T)$$

Un : 株当たり窒素吸収量 (mg), Hn : 草丈 (cm), Nn : 株当たり茎数 (本),

Cn : 葉色, $\sum_{i=0}^{n-1} ts_i$: 移植 i 日後の標準温度変換日数 (DTS), T : 日平均気温 (K),

Ea : 見かけの活性化エネルギー (J mol^{-1}), R : 気体定数 ($8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$),

A, C : 定数

(3・3) 式による推定値と実測値の残差平方和が最小となる Ea 値を算出した。 Ea 値の想定範囲は $50,000 \sim 100,000 \text{ J mol}^{-1}$ とし, 表 3.2-3 にその想定 Ea 値に対応する相関係数と残差平方和を $5,000 \text{ J mol}^{-1}$ 毎に示す。品種別に見ると, 残差平方和が最小となる Ea 値は, ‘夢つくし’ で $85,000 \text{ J mol}^{-1}$,

表 3.2-3 想定 Ea 値に対応する相関係数と残差平方和

見かけの 活性化 エネルギー(Ea) J mol^{-1}	品種			全体
	夢つくし	つくし ろまん	ヒノヒカリ	
50,000	0.9780 (71671)	0.9812 (56796)	0.9722 (82267)	0.9771 (211942)
55,000	0.9786 (69774)	0.9814 (56063)	0.9726 (81066)	0.9776 (208039)
60,000	0.9790 (68209)	0.9816 (55603)	0.9730 (80149)	0.9779 (205036)
65,000	0.9794 (66967)	0.9816 (55410)	0.9732 (79511)	0.9781 (202912)
70,000	0.9797 (66037)	0.9816 (55480)	0.9733 (79144)	0.9783 (201645)
75,000	0.9799 (65410)	0.9815 (55810)	0.9733 (79043)	0.9783 (201215)
80,000	0.9800 (65075)	0.9813 (56393)	0.9733 (79199)	0.9783 (201599)
85,000	0.9800 (65023)	0.9810 (57226)	0.9731 (79606)	0.9782 (202777)
90,000	0.9800 (65243)	0.9807 (58303)	0.9729 (80257)	0.9780 (204728)
95,000	0.9798 (65728)	0.9802 (59620)	0.9726 (81146)	0.9777 (207429)
100,000	0.9796 (66467)	0.9797 (61173)	0.9722 (82265)	0.9773 (210861)
	83,400	66,100	74,500	75,100

注) 上段が相関係数, 下段()内が予測値と実測値との残差平方和。

下線は, 相関係数については最大, 残差平方和については最小であることを示している。

最下段は品種ごとで残差平方和が最小であった見かけの活性化エネルギー。

‘つくしろまん’で $65,000 \text{ J mol}^{-1}$, ‘ヒノヒカリ’で $75,000 \text{ J mol}^{-1}$ と若干差が見られたものの、相関係数の値から、3品種を含めた場合の $75,000 \text{ J mol}^{-1}$ を各品種に適用しても、水稻窒素吸収量の推定には大きな支障はないと判断された。

Ea 値を $75,000 \text{ J mol}^{-1}$ として、回帰分析した結果、得られた移植 n 日後における窒素吸収量の推定式は次のとおりであった。

$$Un = 12.0 + 8.71 \times 10^{-5} \times Hn \times Nn \times Cn \times \sum_{i=0}^{n-1} \exp(75,000(T - 298)/R/298/T_i) \dots (3.4)$$

Un : 株当たり窒素吸収量 (mg) , Hn : 草丈 (cm) , Nn : 株当たり茎数 (本)

Cn : 葉色, R : 気体定数 ($8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$) , T_i : 移植 i 日後の日平均気温 (K)

3) 有効積算温度および DTS を導入した窒素吸収量推定式の年次変動に対する適用性の検証

(3.2) 式と(3.4)式の適用性を 3.1 節で得られたデータで検証した。表 3.2-4 に重相関係数を、草丈、茎数と葉色値の積から推定する方法(従来法)と対比して示す。‘夢つくし’、‘ヒノヒカリ’では重相関係数に年次毎の差が認められたが、有効積算温度および DTS 導入後ではこの格差が縮小された。3品種、各年次を含めて全体でも、相関係数は 0.955 から各々 0.980, 0.979 へと適合度は大きく向上した。このことから、(3.2) 式および(3.4)式は気象条件の異なる異年次においても、十分適用できると考えられた。実用上問題になるのは追肥施用時の推定精度であるが、図 3.2-3 に +45~+55 日のデータを抜粋して、推定値に対する実測値の関係を従来法と比較して示す。従来法では、実測値の方が高く、過少評価傾向にあったが、重相関係数 0.939 に対して、有効積算温度導入で 0.956, DTS 導入で 0.954 と高かったことから判断しても、生育時期を問わない単一の回帰式への適合度が向上し、生産現場での追肥場面において実用性が高まったと考えられた。

基準温度 12°C および見かけの活性化エネルギー $75,000 \text{ J mol}^{-1}$ は、‘夢つくし’(今林ら 1995), ‘つくしろまん’(浜地ら 2003), ‘ヒノヒカリ’(八木ら 1990) の 3 品種を供試することによって明らかにしたものである。品種による違いも予想されたが、実用上問題にならない程度であった(データ略)。このように、品種による差が非常に小さかったことから、他品種についてもこれらが適用可能で、本研究で得られた推定式が十分に適用するものと考えられた。

表 3.2-4 窒素吸収量推定における従来法と改良法の重相関係数の比較

品種	年次	従来法	改良法1	改良法2
夢つくし	1999年	0.980	0.981	0.980
	2000年	0.957	0.982	0.982
つくしろまん	2001年	0.957	0.987	0.987
	2002年	0.952	0.978	0.977
ヒノヒカリ	2000年	0.936	0.970	0.970
	2001年	0.874	0.964	0.964
	2002年	0.895	0.984	0.984
全体		0.955	0.980	0.979

注) 従来法: 草丈、茎数と葉色の積による推定法

改良法 1: 有効積算温度導入, 改良法 2: DTS 導入

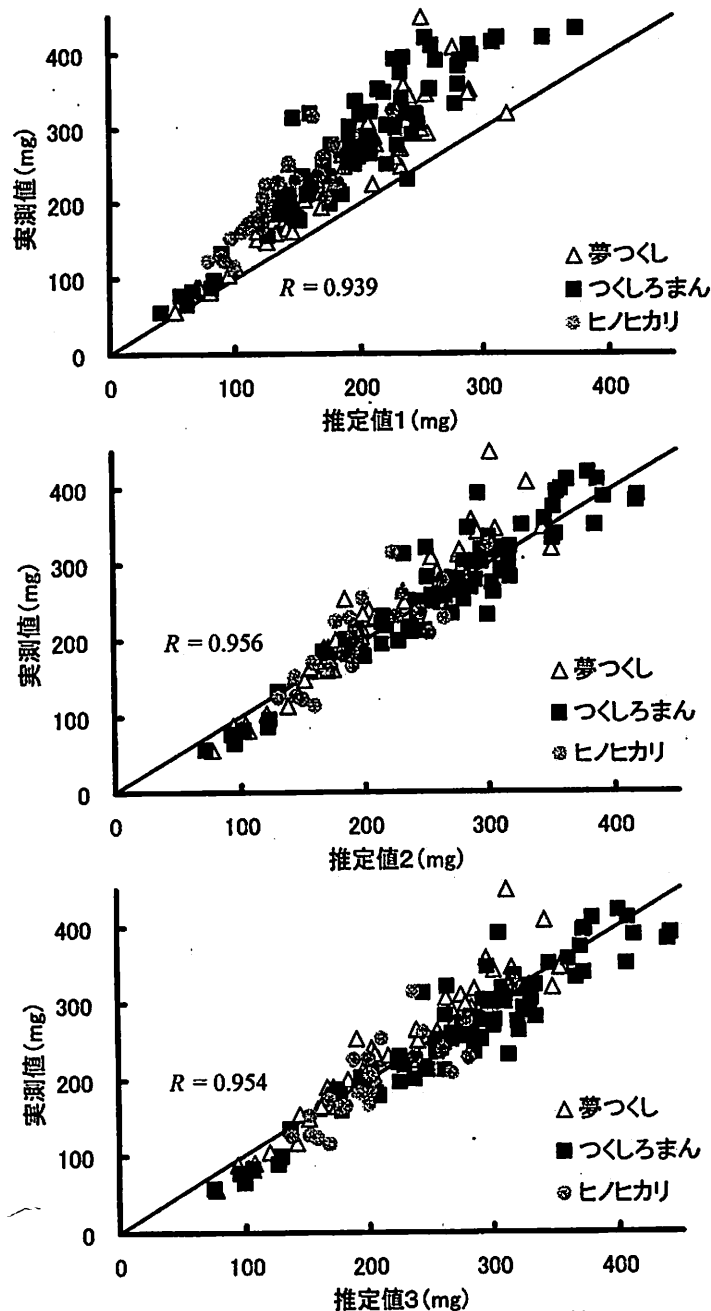


図 3.2-3 穂肥施用時期における推定値と実測値の関係の比較 (1999~2002 年)

注)従来法 推定値1= $365 \times 10^6 \times \text{草丈} \times \text{株当たり茎数} \times \text{葉色値} - 120$

改良法1(有効積算温度法、基準温度は 12°C): 推定値2=

$657 \times 10^6 \times \text{草丈} \times \text{株当たり茎数} \times \text{葉色値} \times \text{有効積算温度} + 117$

改良法2(DTS法見かけの活生エネルギーは $75,000 \text{ J/m}^2$): 推定値3=

$871 \times 10^6 \times \text{草丈} \times \text{株当たり茎数} \times \text{葉色値} \times \text{有効積算温度} + 120$

調査時期は移植後+45~+55 日。

各小図中の直線は $y=x$ を表す。

なお、北海道、東北、北陸地方等の他地域での適用に当たっては、日照時間や日射光量等の違いによる影響が予想されることや温度条件、品種等が異なることから、各地域での検証が必要であると考えられる。

3.2.4 摘要

草丈、茎数、葉色に加えて、気象データとして、有効積算温度および DTS を採用し、水稻窒素吸収量の推定精度の向上と適用範囲の拡大を目指し、推定法の改良について‘夢つくし’、‘つくしろまん’ および ‘ヒノヒカリ’ を供試して検討した。

その結果、改良された推定式として (3・2)、(3・4) の 2 式が得られた。

$$Un = 11.7 + 6.57 \times 10^{-6} \times Hn \times Nn \times Cn \times \sum_{i=0}^{n-1} (t_i - 12) \quad \dots (3 \cdot 2)$$

Un : 移植 n 日後における株当たり窒素吸収量 (mg) ,

Hn : 草丈 (cm) , Nn : 株当たり茎数 (本) , Cn : 葉色値,

t_i : 移植 i 日後の日平均気温 (°C) , ただし $t_i < 12$ のとき $t_i - 12 = 0$ とする

$$Un = 12.0 + 8.71 \times 10^{-5} \times Hn \times Nn \times Cn \times \sum_{i=0}^{n-1} \exp(75,000(T - 298)/R/298/T_i) \dots (3 \cdot 4)$$

R : 気体定数 ($8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$) , T_i : 移植 i 日後の日平均気温 (K)

これらは、従来の方法と比べて移植 15 日後～55 日後と適用時期を大きく拡大するとともに、実用上最も問題にされる追肥施用時期の推定精度を大幅に向上させた。

第4章 米の品質向上と環境保全のための窒素施用法

4.1 窒素施肥が産米中の遊離アミノ酸含量に及ぼす影響

4.1.1 序言

産米の食味に大きな影響を及ぼしている要因の一つはタンパク質含量であり、米粒中のタンパク質（窒素）含量が高まると、食味が低下することが知られている（松江ら 1996a）。このため、産地においては、ある一定の収量水準の確保を前提とした低タンパク質米生産技術の確立が、最大の課題となっている。そこで、第2章では収量水準別の窒素吸収パターンとともに対応する玄米中窒素含量を明らかにした。現在の米の食味に対する研究は、「粘り」及び「硬さ」が主流となっている。一方で、米は元来味のうすいものであるが、味覚を触発する成分に関しての研究も行われている（松崎ら 1992, 八尋ら 1997）。

ヒトを含めた動物の食物に対する一般的な味覚刺激については、「味」を「酸味」、「塩味」、「苦味」、「甘味」の4基本味に「旨味」を加えた5項目に分類した上で行われている。生体内の主要窒素化合物であるタンパク質を構成するアミノ酸はその種類によりさまざまな味を呈することが知られている。例えば、光学活性の上で、天然アミノ酸とされるL型のものについて挙げると、グルタミン酸（ナトリウム）は、「旨味」物質であり、グリシン、アラニン、プロリンなどは「甘味」を有し、ロイシン、トリプトファン等の疎水性アミノ酸は「苦味」を呈する（栗原 1990）。このように多様な味を呈する各遊離アミノ酸の食品中の含量及び組成を知ることが、食品そのものの味を知る上で重要であり、より味を向上させるために不可欠の知見となりうる。

アミノ酸と米の食味については、高野ら（1961）は、米粒中に存在する遊離アミノ酸の量及び煮沸処理後に浸出してくる量から、食味関連アミノ酸としてグルタミン酸、グリシン、アラニンに着目しており、岡崎ら（1961）は食味の良い米は総遊離アミノ酸含量が高く、グルタミン酸、アスパラギン酸、アルギニンが多く、これらが食味に関連があるとしている。しかし、施肥等の栽培条件の違いにより、遊離アミノ酸の含量がどのように変動するかについての知見は極めて少ない（建部ら 1994）。さらに、グルタミン酸やアスパラギン酸といった種類毎の遊離アミノ酸含量及び組成への影響は知られていない。

そこで、施肥法による米の「味」の向上を目的として、窒素施用量の違いによる玄米中遊離アミノ酸含量の変動を明らかにするとともに、各種遊離アミノ酸含量とその組成と収量および各収量構成要素との関係について明らかにした。

4.1.2 試験方法

1996年に福岡県農業総合試験場内の造成水田枠圃場（作土に県内の4種類の土壌を客土）で、供試品種を「つくし早生」として、窒素施肥方法を変えて栽培した。表4.1-1に各土壌の理化学性を示す。試験区は、①無窒素区、②標準施肥区（6-2-1.5）（数字はそれぞれ基肥，出穂前14日，出穂前7日の窒素施肥量 g m^{-2} ），③穂肥重点区（6-3-2）をそれぞれの土壌について設けた。窒素施肥は基肥を尿素入り硫加磷安48号（16-16-16），穂肥を尿素入り窒素加里化成2号（16-0-16）で施用した。①のリン酸については過磷酸石灰（0-17-0）を用い、 6 g m^{-2} を基肥で、カリについては塩化加里（0-0-60）を用い、 6 g m^{-2} 、 2 g m^{-2} 、 1.5 g m^{-2} と3度に分けて分施した。6月14日

表 4.1-1 試験圃場の土壌の理化学性

土壌群	土性	EC	T-C	T-N	CEC	交換性陽イオン			
						Ca	Mg	K	Na
		dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹			cmol _c kg ⁻¹	
I 中粗粒灰色低地土	SL	0.03	7.8	0.8	9.91	5.28	0.71	0.14	0.75
II 中粗粒黄色土	SL	0.03	2.8	0.3	7.91	5.31	0.92	0.17	0.80
III 淡色黒ボク土	CL	0.06	38.5	2.9	30.93	15.69	1.54	0.32	0.95
IV 細粒灰色低地土	LiC	0.05	12.4	1.4	21.29	15.05	2.19	0.22	0.91

注) T-C: 全炭素(チューリン法による), T-N: 全窒素(ケルダール法による),

CEC: 交換性陽イオン容量(ショーレンベルガー法による).

SL: 砂壌土, CL: 埴壌土, LiC: 軽埴土.

に稚苗移植した。移植は、1株4本を栽植密度 20.8 本 m⁻², 手植えで行った。10月4日に収穫した籾を籾摺りし、段ぶるいで 1.8 mm 以上の玄米を粉砕し、分析試料とした。

全窒素は、ケルダール分解後、水蒸気蒸留法で分析した。遊離アミノ酸は、50%エタノール抽出液を PTC 法 (Antherton et al. 1988) に基づき、高速液体クロマトグラフィー (島津社製) を用いて定量した。

4.1.3 結果

土壌の異なる圃場で試験を実施したが、土壌間で水稻の生育・収量に明確な差は認められなかったため、4土壌の結果を平均して、窒素施用の影響について解析した。表 4.1-2 に窒素施用条件別の精玄米重、m²当たり籾数、千粒重、窒素吸収量及び玄米窒素含量を示す。各処理区のうち窒素施用量の最も多い穂肥重点区は、高い窒素吸収量を示し、また千粒重も最も高かった。この結果、精玄米重は穂肥重点区>標準施肥区>無窒素区の順で高い傾向があった。玄米中窒素含量についても、穂肥重点区が最も高く、続いて標準施肥区、無窒素区の順であった。

玄米中の総遊離アミノ酸(測定の対象とした 19 種の遊離アミノ酸の総量を総遊離アミノ酸とする)含量は、2860~7890 nmol g⁻¹と幅があった(データ略)。各区とも、玄米中の最も含量が高い遊離アミノ酸はグルタミン酸であり、含量は 1400~2180 nmol g⁻¹で、約 34~38%を占めており、

表 4.1-2 窒素施用処理別の収量及び収量構成要素と窒素吸収量

処 理	精玄 米重	m ² 当 籾数	千粒重	窒素 吸収量	玄米窒素 含量
	g m ⁻²	×百粒	g	g m ⁻²	g kg ⁻¹
①無窒素	285 a	133 a	24.4 a	4.3 a	10.8 a
②標準施肥	531 b	222 b	26.7 b	9.1 b	11.9 b
③穂肥重点	547 b	217 b	26.9 b	9.8 b	12.6 b

注) 窒素吸収量は、稲体地上部。異文字間には 5%水準で有意差があることを示す(Duncan 法)。

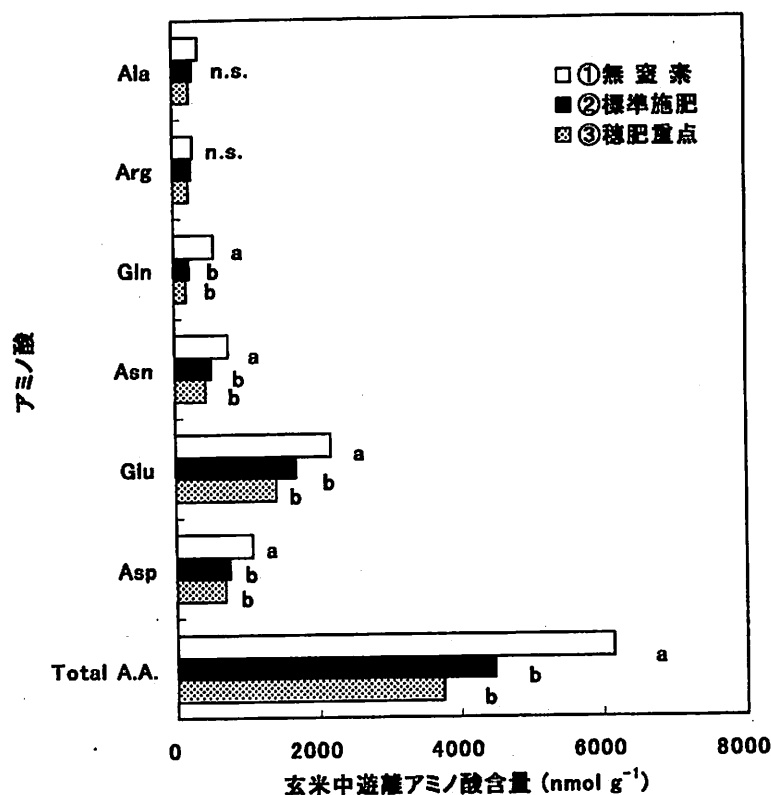


図 4.1-1 玄米中の主要遊離アミノ酸含量

Total A.A.: 総遊離アミノ酸, Asp: アスパラギン酸, Glu: グルタミン酸,
Asn: アスパラギン, Gln: グルタミン, Arg: アルギニン, Ala: アラニン.
異文字間には 5% 水準で有意差があることを示す (Duncan 法).

アスパラギン酸, アスパラギンがこれに次いで高かった。含量の高かった上位 6 アミノ酸は, グルタミン酸, アスパラギン酸, アスパラギン, アルギニン, アラニン及びグルタミンで, これら 6 種で総遊離アミノ酸の約 80% を占めた (図 4.1-1, 図 4.1-2)。窒素施用条件別には, 無窒素区で特徴的な傾向が見られた。すなわち, 無窒素区では玄米中窒素含量が低いにもかかわらず, 総遊離アミノ酸含量が最も高く, 他区に対して有意差があった。遊離アミノ酸の種類別ではグルタミン含量が無窒素区で高く, 遊離アミノ酸の組成においてもグルタミンの割合が他 2 処理区に対して有意に高かった。一方, 他の 5 主要遊離アミノ酸組成の割合は処理間で差がないか, 無窒素区で低かった。玄米中窒素含量と遊離アミノ酸含量との関係については, 玄米中窒素含量は総遊離アミノ酸に対して負の相関を示し, グルタミンとの間にも同様の関係が認められた (図 4.1-3)。

図 4.1-4 に千粒重と総遊離アミノ酸含量, さらに千粒重と遊離グルタミン含量との関係を示す。ともに, 負の相関が認められた。

4.1.4 考察

建部ら (1994) は, 窒素施用量に対して玄米中遊離アミノ酸含量は変動しないとしているが, 本試験においては, 窒素施用量の少ない無窒素区において, 総遊離アミノ酸含量が最も高く, 他区に

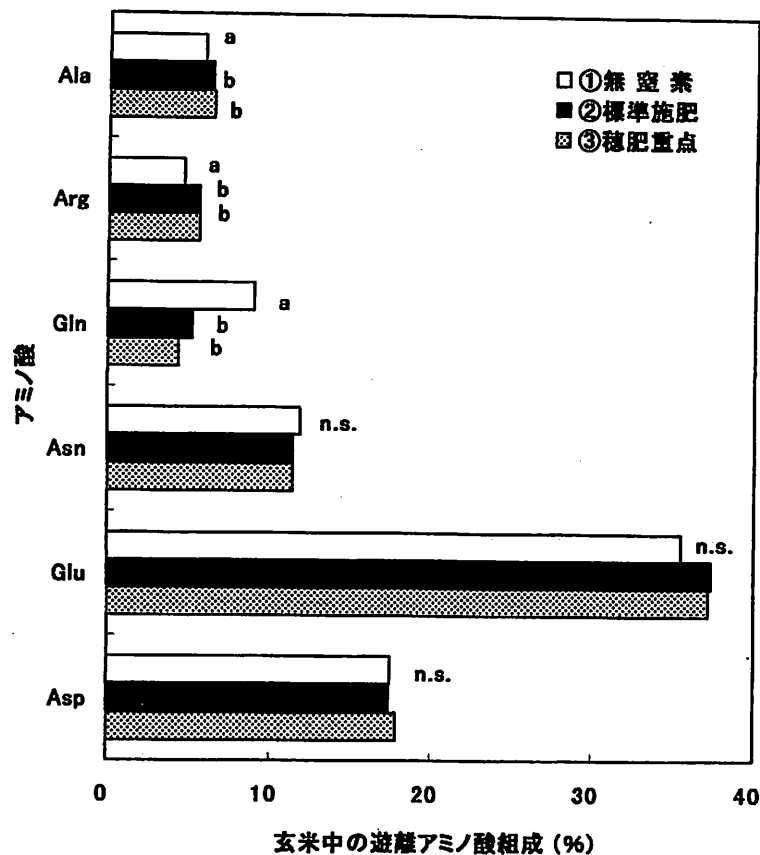


図 4.1-2 玄米中の主要遊離アミノ酸組成
 異なる文字間には 5%水準で有意差があることを示す (Duncan 法)。

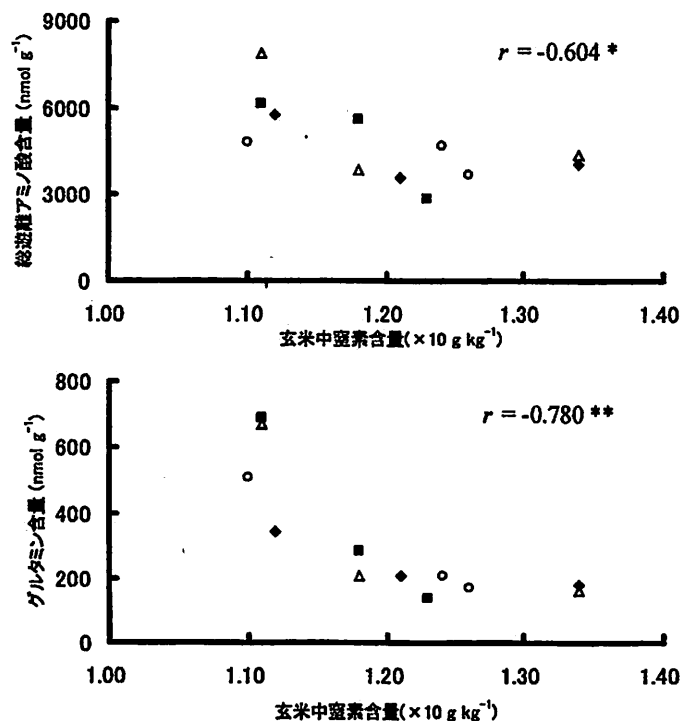


図 4.1-3 玄米中窒素含量と総遊離アミノ酸およびグルタミン含量との関係
 ○中粗粒灰色低地土, ■中粗粒黄色土, △淡色黒ボク土, ◆細粒灰色低地土
 **, *はそれぞれ 1, 5%水準で有意。

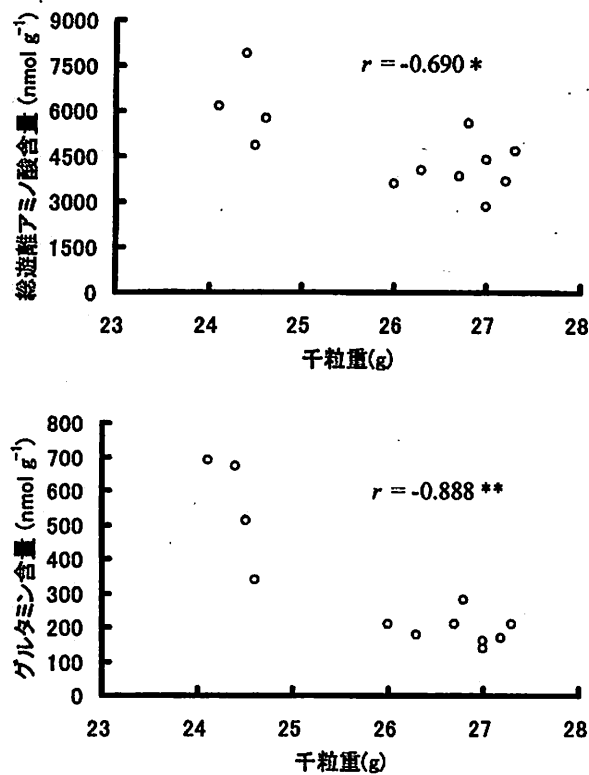


図 4.1-4 千粒重と玄米中総遊離アミノ酸およびグルタミン含量との関係
**, *はそれぞれ 1, 5%水準で有意.

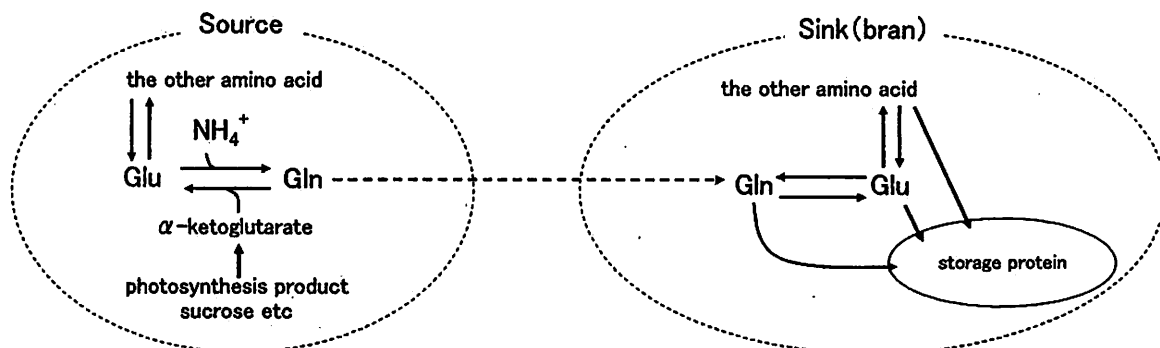


図 4.1-5 子実におけるアミノ酸および貯蔵タンパク質集積の模式図

対して有意差があった。グルタミンについては、含量および組成比ともに無窒素区が他区を有意に上回った。このことから、窒素栄養条件が作物にとってストレスのかからない一定範囲内の条件であれば、その栄養条件は、玄米中の貯蔵タンパク質の蓄積量に反映され、遊離アミノ酸についてはほとんど差を与えず、一方、窒素欠乏のストレス条件下では、作物体への窒素供給量の少なさに加え、各種アミノ酸の骨格となる光合成産物に由来する2-オキソ酸 (Conn et al. 1988, 榊原ら 1997) が少ないために、グルタミンから2-オキソ酸へのアミノ基の転移が最少限にしか行われず、グルタミン酸をはじめとした各種アミノ酸の合成量が相対的に少ないと考えられる。このため、遊離アミノ酸の組成のバランスが崩れ (Watanabe et al. 1997), このバランスの崩れがタンパク質合成の障害となり、遊離アミノ酸含量が高くなっていると推察される (図 4.1-5)。

Hirose ら (1997) はイネ根中において、NADH 依存性グルタミン酸合成酵素の mRNA の蓄積は、アンモニウムイオン存在下で誘導されると報告している。このことから、水稻の葉身から子実への窒素の転流形態であるグルタミンを基質とした子実中でのアミノ酸合成において、窒素欠乏条件下ではグルタミンからグルタミン酸、そして各種アミノ酸へという一連のアミノ酸代謝経路のうち、グルタミンからグルタミン酸が合成されるステップが抑えられ、結果的にグルタミンの組成比が高くなると推察される。

総遊離アミノ酸含量と千粒重との間には負の相関が認められた。これは、建部ら (1994) が粒厚の薄い玄米ほど遊離アミノ酸含量が高いとしていることと部分的に合致していた。粒厚の厚い粒は登熟が進み、その貯蔵物質である高分子化合物 (貯蔵タンパク質) の蓄積がより進行しており、その構成要素 (遊離アミノ酸) の残存量が粒厚の薄いものと比較して少ないためこのような傾向になると考えられる。

総遊離アミノ酸含量で比較すると、各区のうち、無窒素区が標準施肥区と穂肥重点区を上回り、特にグルタミンが増加すること示した。これまで味について、遊離アミノ酸の総量、グルタミン酸、アスパラギン酸及びアルギニンが多いほど優れるとされていた (岡崎ら 1961)。無窒素区で総遊離アミノ酸が多くなることから、食味 (味) に対する窒素施肥の影響は、無窒素の時のみ優れるが、一定量以上の窒素を施用すると、総遊離アミノ酸含量の差は小さくなり、味に寄与する程度には差がなくなると考えられる。グルタミン酸及びアスパラギン酸については、他の遊離アミノ酸に比べて組成比が高いことから考えて、味を左右する可能性が大きい。今後、さらに知見を深めるため、白米及び炊飯米について検討する必要がある。

4.1.5 摘要

窒素施用量を変えて水稻を栽培し、玄米中に含まれる各種遊離アミノ酸と収量および収量構成要素との関係を検討した。

- 1) 玄米中で含量の最も高い遊離アミノ酸はグルタミン酸であり、総遊離アミノ酸の 34~38% を占めていた。含量の高い主要 6 種の遊離アミノ酸 (グルタミン酸、アスパラギン酸、アスパラギン、アルギニン、アラニン及びグルタミン) で総遊離アミノ酸の約 80% を占めていた。
- 2) 玄米中の総遊離アミノ酸含量は、窒素含量に対して負の相関があり、無窒素区において最も高かった。各遊離アミノ酸含量は、各処理区別には無窒素区のグルタミン含量およびその組成比が他区に比べて極めて高いことが特徴的であり、その他の主要遊離アミノ酸 (グルタミン酸、アスパラギン酸、アスパラギン及びアラニン) の含量は、無窒素区が他区を上回った。
- 3) 千粒重が低いほど、総遊離アミノ酸含量及びグルタミン含量が高い傾向があった。

4.2 環境を配慮した被覆尿素の施用法

4.2.1 序言

水田は水の浄化機能を有している (伊藤 1981, 小川ら 1985)。その反面、代かき時には、農業用水の窒素濃度が高くなるとの報告がある (水田ら 2001) ように、施肥された肥料成分の一部が田面水に溶けて水田の外 (以下系外とする) へ流亡し、環境に負荷を与えることが危惧されている。系外へ流亡した肥料成分は、水稻に吸収されないため、農業生産上、非効率的で生産性を低下させる。したがって、環境負荷軽減と米の生産性の両面から、施肥直後の肥料成分の流亡を軽減することは重要である。

近年、輸入農産物の増加に伴って、消費者の農産物に対する「安全・安心」の意識が高まっており、「有機栽培」にみられるように、農産物に付加価値を付与して販売を有利に展開しようとする動きがある。このような状況の下、「有機農産物及び特別栽培農産物に係る表示ガイドライン」が示された。その後のJAS法の改正により「有機農産物」への規制が強化されたが、各県において、特別栽培農産物を認証しようとする取り組みが広がっている。福岡県においては、2002年12月から「減農薬・減化学肥料栽培農産物認証制度」がスタートした。減化学肥料栽培は化学肥料施用量を窒素成分で慣行施肥量の50%以上を削減する栽培法である（農経企画情報センター 2002）。しかし、この栽培法で従来の慣行の収量水準を維持するためには、化学肥料の窒素成分の利用率を高めたり、化学肥料の代替として有機質肥料を利用する等が必要である。

作物による窒素利用率の高い資材としては、被覆尿素等の肥効調節型肥料が挙げられ（井上ら 1994, 柴原ら 1991）、この肥効調節型肥料の利用が、減化学肥料栽培の対策のひとつとして期待できる。通常、肥効調節型肥料を利用する場合は、窒素溶出が始まるまで水稻の初期生育を促すために速効性窒素を配合した肥料が使用されている（井上ら 1994）。しかし、肥効調節型肥料と比べて流亡しやすい速効性窒素成分を使用せず、肥効調節型肥料のみを施用すると窒素利用率がさらに高まり、環境負荷が低減できると考えられる。

そこで、窒素全量を被覆尿素で施用し、慣行施用量と比較して大幅に窒素削減した場合の収量、食味への影響を窒素削減率および資材の配合割合別に明らかにするとともに、環境負荷低減の効果について検証した。

4.2.2 試験方法

供試品種を‘ヒノヒカリ’とし、1999～2000年に福岡県農業総合試験場筑後分場内の水田圃場（細粒灰色低地土、軽埴土、全窒素含量 2.6 g kg^{-1} 、全炭素 26.9 g kg^{-1} ）、2000～2002年に福岡県農業総合試験場（本場）内の水田圃場（中粗粒灰色低地土、砂壤土、全窒素 1.2 g kg^{-1} 、全炭素 10.9 g kg^{-1} ）で試験を実施した。移植期は6月下旬、筑後分場については機械植えで栽植密度 m^2 当たり 20.5株、1区 22 m^2 の2連制で、本場については手植えで1株4本、栽植密度 m^2 当たり 20.8株、1区 20 m^2 の2連制とした。試験区の構成を表4.2-1に示す。試験区として、速効性肥料を基肥と穂肥2回の計3回に分けて施用する対照区と被覆尿素による1回全量基肥区を設けた。対照区は、福岡県の施肥体系に準じて出穂前20～18日に穂肥の1回目を、その7～10日後に2回目を施用した。対照区で使用した速効性肥料は、基肥が尿素入り硫加磷安48号（ $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}=16\cdot16\cdot16$ ）、穂肥が尿素入り窒素加里化成2号（16-0-16）で、設定した窒素成分量になるように施用した。他区のリン酸、カリについては磷酸加里高度化成40号（0-20-20）で両成分が 4 g m^{-2} となるよう施用した。被覆尿素は、シグモイド型100日（日数は、25℃で窒素成分の80%が溶出するのに要する日数）および80日タイプ、リニア型100日および30日タイプの4種類を使用した。シグモイド型の両資材は主として幼穂形成期前後の肥効、リニア型100日タイプは作付期間を通しての緩やかな肥効発現を期待し、1回全量基肥区は速効性の窒素成分をゼロとしているため、リニア型30日タイプは初期生育確保を重視して供試した。施肥は全面全層とし、筑後分場では移植4日前に、本場では移植2日前に、それぞれ施肥・植代かきを行った。

被覆尿素の溶出は、各種被覆尿素 1 g をポリエステル製お茶パックに詰め、試験田の地表面下 5 cm のところに埋設し、経時的に取り出すことで調査した。取り出し後、ケルダール分解・水蒸気蒸留法にて残存窒素量を測定し、窒素溶出率を求めた。田面水は、試験区中央部3ヵ所にて水面表層 1 cm

表 4.2-1 試験区の構成

試験区	窒素施肥量 (g m ⁻²)				対照区に 対する 窒素 減肥率 (%)	筑後分場				本場			
	基肥	穂肥Ⅰ	穂肥Ⅱ	合計		1999年	2000年	2001年	2002年	1999年	2000年	2001年	2002年
対照	5.0	2.0	1.5	8.5	-	○	○	-	-	-	○	○	○
L6 ¹⁾	6.0	-	-	6.0	29	○	○	-	-	-	○	-	-
L4 ¹⁾	4.0	-	-	4.0	53	○	○	-	-	-	○	○	○
L3+SS1 ²⁾	4.0	-	-	4.0	53	○	○	-	-	-	-	-	-
L'2+S2 ³⁾	4.0	-	-	4.0	53	-	-	-	-	-	-	○	○
無窒素	-	-	-	0.0	100	○	○	-	-	-	○	○	○

1) リニア型 100 日タイプ被覆尿素を用いた。

2) リニア型 100 日タイプとシグモイド型 100 日タイプを 3:1 の割合で配合して用いた。

3) リニア型 30 日タイプとシグモイド型 80 日タイプを 1:1 の割合で配合して用いた。

のところから駒込ピペットで採取した。採取時期は、施肥直前、施肥 6 時間後、1 日後および 2 日後とし、さらに筑後分場については施肥 4 日後にも採取した。アンモニア態窒素はインドフェノール法、硝酸態窒素は高速液体クロマトグラフィーにて測定した。有機態窒素は、全窒素を紫外吸光度法（日本分析化学会北海道支部 1994）で測定し、これからアンモニア態および硝酸態窒素量を差し引いて算出した。

4.2.3 結果

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。登熟期間中の寡照と9月24日に襲来した台風18号の影響で著しい不作となった。2000年、2001年、2002年については、各年次とも、水稻作付期間中の気温は平年並〜やや高めで推移し、日照時間は時期による多少はあったが、総じて平年を下回ることにはなかった。このため、これら3カ年の作柄はやや良であった。県内水稻の作況指数は、1999年で88、2000年は104、2001年は104、2002年は103であった。

図4.2-1に施肥・代かき直前から移植までの間の田面水窒素濃度の推移を示す。田面水中の窒素の大半は有機態窒素であり、無窒素区でも認められた。本場、筑後分場ともに、田面水中のアンモニア態窒素濃度は施肥6時間後、各区とも最高値を示した。対照区のアンモニア態窒素濃度は、その後移植日にかけて低下し、本場では、移植直前である施肥2日後において11 mg L⁻¹、筑後分場では5 mg L⁻¹（4日後）と、施肥6時間後に比較して大きく低下していた。しかし、無窒素区と比較すると、対照区の移植直前のアンモニア態窒素濃度は、本場で3倍、筑後分場で20倍以上であり、代かきから移植までの間の大雨による田面水のオーバーフローや移植時の水位調節のための落水等に伴う施肥窒素の系外への流亡が懸念された。一方、被覆尿素を施用したL6区のアンモニア態窒素濃度は、両場ともに、調査期間中終始、無窒素区と同様の挙動を示し、施肥の影響が認められなかった。したがって、このように施肥窒素を全量被覆尿素とすることで、表面流去による系外への窒素流出のリスクを著しく減じうることが明らかとなった。

被覆尿素の溶出試験の結果を図4.2-2に示す。リニア型30日タイプは、供試した2カ年で溶出パターンに大きな差は認められず、両年とも約30日で窒素成分の80%が溶出した。シグモイド型80日タイプについても、2カ年とも約60日で溶出率は80%に達し、大きな差は認められなかった。これに

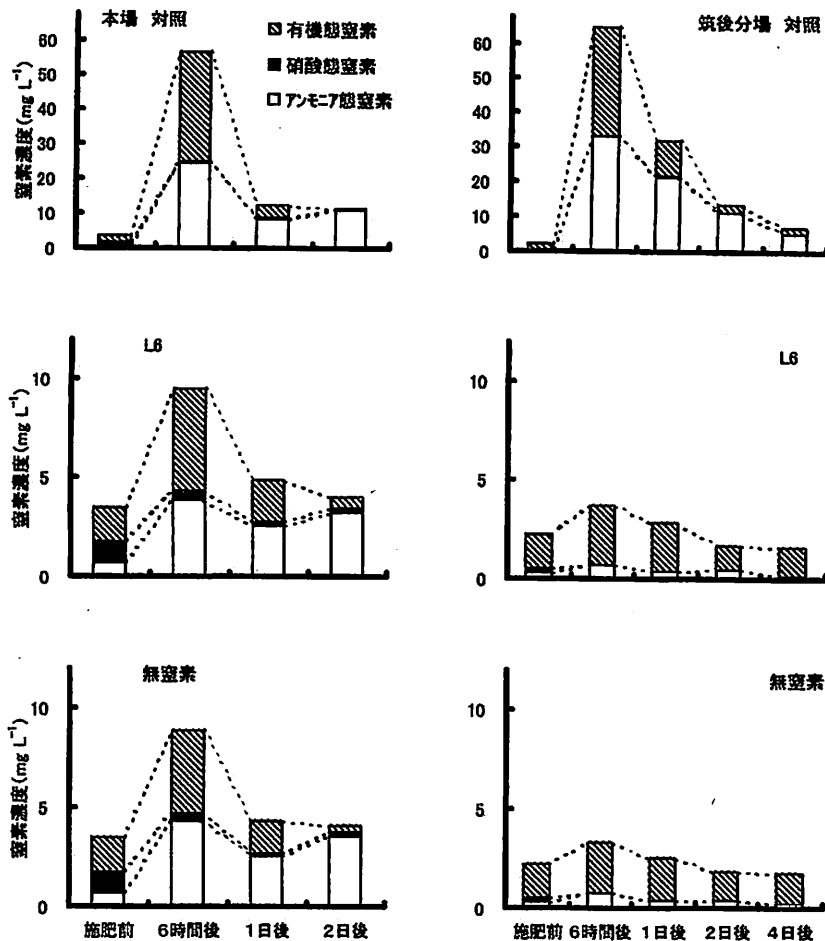


図 4.2-1 施肥直前から移植までの田面水窒素濃度の推移(2000 年 本場, 筑後分場)

対し、シグモイド型100日タイプでは、溶出パターンが1999年と2000年で大きく異なった。すなわち、1999年に比べ2000年は溶出開始が約10日早く、溶出率が80%に達する日数も1999年の90日に対し2000年は約60日と、年次間で大きな差が認められた。これは、2000年が1999年と比較して、日平均地温が6月下旬～7月下旬で約2℃、6月下旬～9月下旬でみると約0.5℃高めで推移したためと考えられた。リニア型100日タイプは、2000年の筑後分場で溶出が若干早まった傾向が認められた以外は、年次および場所によらずほぼ同様の溶出パターンを示した。

水稻の窒素吸収量の推移を図4.2-3に示す。2ヵ年の結果を平均した筑後分場では、窒素吸収量は窒素施肥量に対応していた。窒素施肥量が4 g m⁻²と同じL4区とL3+SS1区は同様の窒素吸収パターンを示し、両者に明確な差は認められなかった。一方、本場では、試験の実施年数は異なるが、窒素施肥量が同一のL4区に対してL'2+S2区が窒素吸収量において上回る傾向にあった。このことから、リニア型100日タイプを単用するよりも、溶出期間が30日と短いリニア型のものとシグモイド型80日タイプを1:1の割合で組み合わせて利用した方が、窒素利用率がわずかながら向上することが示唆された(表4.2-2)。さらに、本試験で供試した被覆尿素と異なるタイプの利用およびその混合割合についても、窒素利用率が向上するケースがあると想定され、今後さらなる検討を要する。

収量とm²当たり籾数を表4.2-3に示す。各年次、各場での試験区間の収量差は1999年の筑後分場

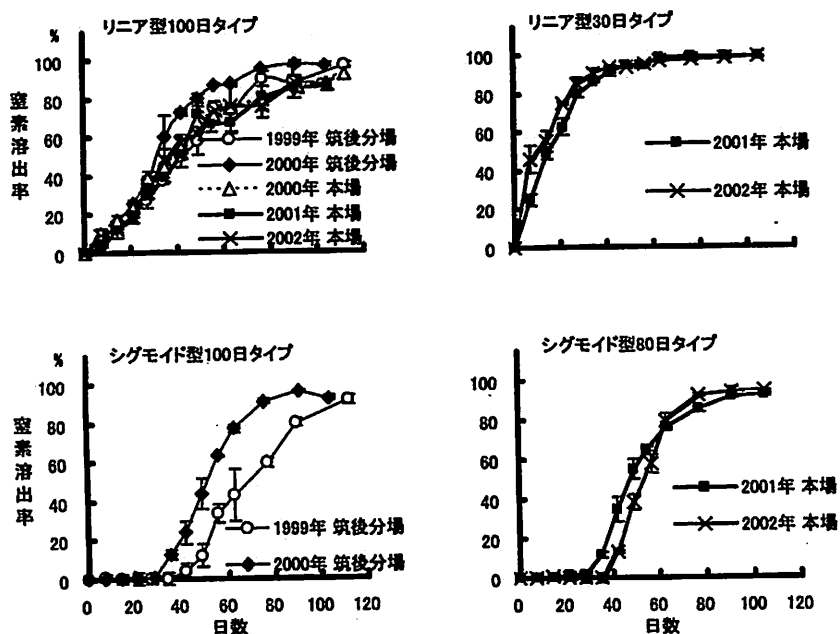


図 4.2-2 湛水土壤中における被覆尿素の溶出パターン

注)バーは標準偏差($n=3$)。

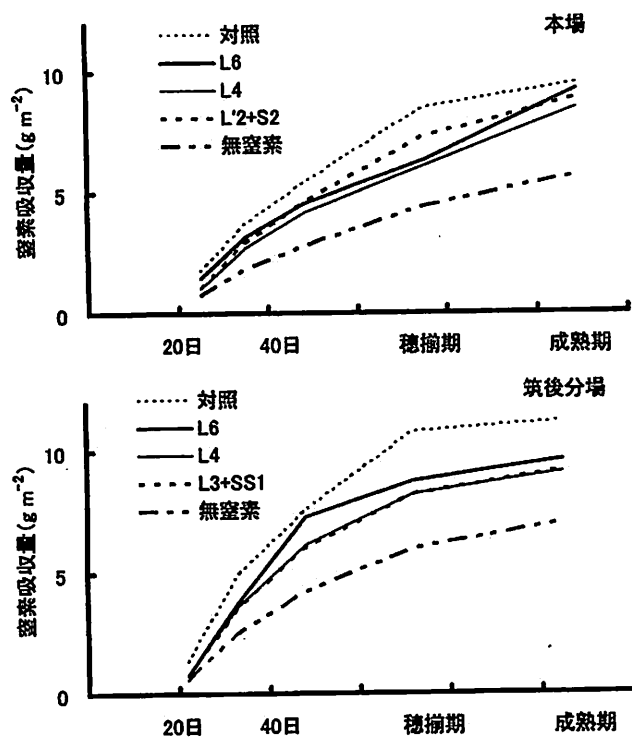


図 4.2-3 水稻の窒素吸収量の推移

注)筑後分場は1999および2000年の2ヶ年、本場は2000～2002年の3ヶ年の平均値。

を除いて同様の傾向を示した。1999年は全体的に収量水準が低かったことから、1回全量基肥区は窒素施用量を対照区に対して減じているにもかかわらず、収量は対照区比で2～3%減に留まった。一方、他年次においては、1回全量基肥区の収量は窒素施用量を反映し、6 g m⁻²施用したL6区で対照区比91～99 %、4 g m⁻²施用で82～96%と対照区を下回る傾向にあった。4 g m⁻²施用では対照

表4.2-2 水稻の窒素利用率

試験区	窒素利用率(%)	
	筑後分場	本場
対照	48.6	44.5
L6	41.9	59.1
L4	50.8	69.7
L3+SS1	52.5	-
L'2+S2	-	78.8
無窒素	-	-

注) 窒素利用率=(窒素吸収量-無窒素区の窒素吸収量)/窒素施用量×100

表4.2-3 各年次、各場における収量と粒数

試験区	収量(g m ⁻²)					m ² 当たり粒数(×百粒)				
	筑後分場		本場			筑後分場		本場		
	1999年	2000年	2000年	2001年	2002年	1999年	2000年	2000年	2001年	2002年
対照	530 (100) a	596 (100) a	557 (100) a	521 (100) a	607 (100) a	310 a	334 a	285 a	251 a	305 a
L6	519 (98) a	545 (91) ab	553 (99) a	- (-)	- (-)	313 a	300 b	283 a	-	-
L4	518 (98) a	531 (89) b	492 (88) a	426 (82) a	558 (92) a	297 a	290 bc	272 a	227 a	312 a
L3+SS1	517 (97) a	543 (91) ab	- (-)	- (-)	- (-)	284 a	291 b	-	-	-
L'2+S2	- (-)	- (-)	- (-)	458 (88) a	582 (96) a	-	-	-	250 a	318 a
無窒素	409 (77) b	501 (84) b	373 (67) b	322 (62) b	416 (69) b	229 b	271 c	200 b	178 b	224 b
分散分析	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**

注)**,*は各々1.5%水準で有意であることを示す。同一文字間には5%水準で有意差がないことを示す(Tukey法)。

()内は対照区を100とした収量指数を示している。

区に対する減収率の幅が大きかったが、用いた被覆尿素の種類により減収幅が若干異なった。すなわち、リニア型100日タイプのみでL4区と比較して、リニア型30日タイプとシグモイド型80日タイプを1:1の割合で配合したものを用いたL'2+S2区が、わずかに収量が上回る傾向にあった。一方、シグモイド型100日タイプをリニア型100日タイプと1:3の割合で組み合わせたL3+SS1区とL4区との間に収量差は認められなかった。収量はm²当たり粒数の影響が大きく、1回全量基肥区のm²当たり粒数が対照区を上回っている場合、対照区に対する減収率は10%以下と比較的小さかった。

表4.2-4に食味総合評価と玄米中窒素含量について示す。1回全量基肥区の食味評価は対照区を上回る傾向にあり、その傾向は筑後分場で顕著であった。しかし、1回全量基肥区間の差は明らかでなかった。米粒中の窒素含量が高いほど、食味は劣る(石間ら 1974)とされているが、玄米中窒素含量を見ると、対照区が有意に高かった。1回全量基肥区間では、4 g m²施用において用いたタイプの違いで一定の傾向は認められなかったが、L6区とL4区を比較する限り、窒素施用量が増加すると被覆尿素を用いても玄米中の窒素含量が高まる傾向にあった。

4.2.4 考察

施肥窒素の全量を被覆尿素とすることで、代かき時から移植直前までの間、田面水のアンモニア態窒素濃度が窒素を施用していない場合と同程度まで低く抑えられていた。全窒素濃度でも同様の傾向であり、このことから、環境負荷低減が可能であることが明らかとなった。被覆尿素には

表 4.2-4 各年次、各場における食味と玄米中窒素含量

試験区	食味総合評価 ¹⁾					玄米中窒素含量 ($\times 10 \text{ g kg}^{-1}$)				
	筑後分場		本場			筑後分場		本場		
	1999年	2000年	2000年	2001年	2002年	1999年	2000年	2000年	2001年	2002年
対照	-0.26	-0.30	0.28	0.53	0.50	1.47 a	1.34 a	1.20 a	1.17	1.24 a
L6	-0.05	0.13	0.30	-	-	1.37 b	1.24 b	1.15 ab	-	-
L4	0.14	0.13	0.43	0.47	0.50	1.36 b	1.18 c	1.11 ab	1.16	1.15 ab
L3+SS1	0.18	0.19	-	-	-	1.33 b	1.23 bc	-	-	-
L'2+S2	-	-	-	0.56	0.50	-	-	-	1.11	1.15 ab
無窒素	0.13	0.14	0.35	0.68	0.74	1.22 c	1.12 d	1.07 b	1.10	1.05 b
分散分析 ²⁾	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**	**	*	n.s.	*

1)基準米は本場産‘コシヒカリ’とした。

2)**,*は各々1.5%水準で有意、また、同一文字間には5%水準で有意差がないことを示す(Tukey 法)。

リニア型 100 日タイプを用いたが、初期に窒素の溶出が抑制されるシグモイド型被覆尿素 (Shoji et al. 1991a, Shoji et al. 1991b) を用いても、田面水の窒素濃度は同様の推移を示すと考えられた。図 4.2-2 の溶出試験の結果を見ると、1 週間後の平均溶出率が、リニア型 100 日タイプの 8~9% に対して、溶出期間が比較的短いリニア型 30 日タイプでは 35% であり、両者で差が見られた。しかし、施肥から移植までの日数は 2~4 日であり、1 週間後ほど差は大きくないと考えられること、L'2+S2 区ではリニア型 30 日タイプの施用量は L6 区のリニア型 100 日タイプの 3 分の 1 に過ぎないこと等を勘案すると、本試験での各 1 回全量基肥区の移植までの期間中の田面水窒素濃度は L6 区と同様であると推察された。

被覆尿素を利用して大幅に施肥窒素を減じた場合の収量性について考察する。被覆尿素区の対照区に対する減収幅が最も小さかったのは、作柄が悪かった 1999 年の筑後分場であり、対照区比で 97~98 % であった。これは、日照不足で乾物生産量が小さく、窒素要求量が少なかったことから差が現れにくかったためと考えられる。しかし、両場とも作柄がやや良であった他年次においては、29 % 窒素を減肥した L6 区では対照区に対する減収率は 10 % 以内に留まったものの、53 % 減肥すると 4~18 % の減収となった。したがって、減化学肥料栽培への取り組みとして、被覆尿素のみを利用して、有機質肥料で代替することなく施肥窒素の総量を 50 % 以下にする場合は、水田の窒素肥沃度や気象条件にもよるが、この程度の収量減になることを想定しておく必要がある。しかし、同施肥量でもシグモイドタイプとリニアタイプ被覆尿素を組み合わせる方が、リニアタイプのみの場合よりも収量が若干上回る傾向にあった。本試験の結果から、6 月中~下旬移植の‘ヒノヒカリ’に対しては、リニア型 30 日タイプとシグモイド型 80 日タイプの 1:1 の配合が適すると考えられたが、さらに他のタイプの被覆尿素の利用について検討する余地が残されている。

1 回全量基肥区は、収量が若干劣るものの、玄米中窒素含量は対照区を下回り、食味評価は対照区を上回る傾向にあり、食味に対してプラスに働いた。これは、被覆尿素を施用すると窒素利用率が向上する (井上ら 1994, 柴原ら 1991) が、窒素施用量が少なく水稻が吸収した総窒素吸収量が少ないためと考えられた (図 4.2-3)。被覆尿素を用いた区の間で窒素施用量の違いは食味と玄米中窒素含量に反映されたが、同じ施肥量での資材の種類の影響は認められなかった。したがって、食味を考慮しても、減化学肥料栽培を行う際には、リニア型 30 日タイプとシグモイド型 80 日タイプの配合が適当と考えられた。

本県でスタートした「減農薬・減化学肥料栽培認証制度」の中では、減肥の基準となる窒素成分の施用量が普通期水稻では 7.25 g m^{-2} とされていることから、本試験の対照区よりも収量水準は若干低い程度と考えられる。このため、「慣行施肥」に対する被覆尿素による「減化学肥料栽培」の減収率については、本試験の結果を適用できると思われる。減収する一方で、被覆尿素区では食味が向上するため、流通上、有利に展開できると考えられる。さらに、化学肥料の減肥分を有機質肥料で代替することにより減収を防止できると考えられるが、①有機質肥料が割高で肥料代がかかること、②食味への影響、③環境負荷軽減効果については明らかにされていない等の問題も残されている。

米の生産調整政策も大きな転換期を迎えており、単位面積あたりの高収量は必ずしも必要でなくなりつつある。本報で論じてきたような収量性に捉われない、環境に配慮した「減化学肥料栽培」も、今後、農家の選択肢の一つとして期待できると考えられる。

4.2.5 摘要

水稻‘ヒノヒカリ’に対して、速効性肥料を配合せずに被覆尿素のみで慣行施肥量に比べて大幅に削減した全量基肥栽培を行い、環境に配慮した減化学肥料栽培の可能性について検証した。その結果、作況不良の異常年を除くと50%窒素施肥量を削減した場合、4~18%程度の減収となった一方で、玄米中窒素含量は低く抑えられ、食味は向上する傾向にあった。用いる被覆尿素の種類は、リニア型30日タイプとシグモイド型80日タイプを1:1で配合した場合が、リニア型100日タイプ単品よりもわずかに収量が上回る傾向にあった。なお、施肥後から移植直前までの田面水中窒素濃度は、被覆尿素を用いることにより著しく低く抑えられ、窒素を全く施用しない場合と同水準で推移したことから、施肥窒素が水田外に表面流去するリスクが軽減されることが明らかとなった。

第5章 葉菜類の品質向上のための窒素施肥

5.1 ホウレンソウ栽培における土壌のリアルタイム診断に基づく施肥による硝酸塩低減

5.1.1 序言

食品や飲料水中に含まれる硝酸塩がブルーベビー症や発ガン性物質であるニトロソアミンの生成に関与していることが指摘されており (Sohar et al. 1980), 摂取量をできるだけ低く抑える必要性が唱えられている。WHO (世界保健機構) では, 一日当たりの硝酸塩の許容摂取量を体重 1 kg 当たり 3.7 mg として制限値を設けている。これにより, 摂取する食品や飲料水の量に基づいて, 硝酸塩濃度が制限を受けることになる。

EU 諸国や WHO においては, 硝酸塩 (硝酸イオン) で 50 mg L^{-1} (硝酸態窒素で 11.3 mg L^{-1}) 以下であることが飲料水の基準として設けられており, わが国では, 環境省が環境基準として, 硝酸態窒素 (および亜硝酸態窒素) が 10 mg L^{-1} 以下であることを定めている。しかし, 加工品に添加物として硝酸塩が用いられていることもあり, 飲料水に比べると食品中の硝酸塩含量に対する一般市民の意識は低いのが現状である。しかし, 生鮮野菜, 特に過剰な窒素施肥により栽培された葉菜類中での硝酸塩の集積は著しく, 野菜の摂取量から試算される硝酸塩の摂取量を勘案すると, 野菜中に含まれる硝酸塩は深刻な問題とされる (孫ら 1996)。EU 諸国においては, 飲料水の大半を地下水に頼っている地理的な事情により, その地下水の硝酸汚染の汚染源の一つとされている農業分野での窒素肥料の過剰施用を回避するため, 野菜中の硝酸塩含量について品目別に規制値を設けて減肥を促す取り組みがなされている (Greenwood 1990)。一方, わが国では, 地理的, 気候的な背景の違いによって, 飲料水の地下水への依存度は EU 諸国ほど高くはなく, 野菜中の硝酸塩含量までは規制が及んでいないのが現状である。しかし, 近年の一般消費者の農産物の安全性に対する意識の高まりから, 販売業者が自主的に基準値を設定して生産者からの買い上げを制限することや, 硝酸塩含量の低いことを付加価値として野菜に付与して販売しようとする動きが見られる。このことは, 国内では近い将来, 地下水の硝酸汚染を回避する視点からだけでなく, 「食の安全」の面から野菜中の硝酸塩含量が規制を受け, 生産者が硝酸塩含量の低減化を迫られる可能性を示唆している。

野菜中での硝酸塩集積の主要因としては, 植物体内中の代謝 (硝酸還元) 力を超えた硝酸態窒素の吸収をもたらす窒素の過剰施肥が挙げられる。これを回避するためには, 根域 (土壌中) における可給化した窒素の含量を診断して, その診断の結果に基づき, 窒素が不足している場合にのみ施肥を行うことが挙げられる。

本節では, 福岡県におけるホウレンソウ栽培で作付の多い水田転換畑露地晩出し栽培における硝酸塩含量の低減化を目的として, 硝酸塩の集積に深く関わっていると想定できる収穫前追肥の施用前の土壌中硝酸態窒素含量の指標値を検討するとともに, それに基づいた施肥による硝酸塩含量低減効果について明らかにした。

5.1.2 試験方法

試験は, 2003 年 10 月～2004 年 1 月に, 福岡県農業総合試験場内の水田圃場 (中粗粒灰色低地

土、砂壤土)にて実施した。ハウレンソウ (*Spinacia oleracea* L.) の供試品種は、‘パンドラ’とした。播種2カ月前にオガクズ入り牛ふん堆肥を10a当たり約4t施用した。施肥は、播種直前に畝表面に行い、土壌とよく混合した。基肥には尿素入り硫加磷安48号(16-16-16)、追肥には1回目に尿素入り窒素加里化成2号(16-0-16)、2回目に硝酸カリ(14-0-47)を施用した。試験区の構成を表5.1-1に示す。圃場は畝幅90cm、条間17cmで1区2.4m²の3連制とした。播種は1m当たり20粒の目安で10月15日に行い、間引きは実施しなかった。施肥日は、基肥を10月15日、追肥の1回目を11月13日、追肥の2回目を12月2日とした。

栽培期間中の土壌の採取は、条間中央部の表層から10cmまでのところを検土丈により行い、数カ所から採取し、混合したものを分析試料とした。生土の5倍量の10%塩化カリウム水溶液を加えて1時間振とう後、アドバンテック No.6 のろ紙でろ過して得られるろ液をプレムナー法(土壌養分測定法委員会 1970)で分析し、無機態窒素量からアンモニア態窒素量を差し引くことで硝酸態窒素量を算出した。

収穫時の調査は、株重、草丈、展開葉数および葉色を測定した。葉色は最大葉をSPAD-502にて測定した。

硝酸イオンの測定は、ハウレンソウ新鮮物に4倍量の蒸留水を加え、ミキサーにて摩砕して得られる抽出液をろ過し、適宜希釈した後、カラムにTSKgel IC-Anion-PW_{XL}(東ソー社製)、溶離液に2%アセトニトリル、0.5%グリセリン、1.1mM ホウ砂、1.5mM グルコン酸カリウムを含む30mM ホウ酸緩衝液(pH 8.5)を用いたHPLC分析により行った。

表 5.1-1 試験区の構成

		窒素施肥量(g m ⁻²)			
試験区		基肥	追肥	追肥	合計
			I	II	
①	I 低—II 略	18	1	—	19
②	I 低—II 低	18	1	1	20
③	I 中—II 略	18	2	—	20
④	I 中—II 中	18	2	2	22
⑤	I 高—II 略	18	3	—	21
⑥	I 高—II 高	18	3	3	24

5.1.3 結果および考察

図 5.1-1 に土壌中の無機態窒素含量の推移を示す。基肥施用後から約2週間は、約300 mg kg⁻¹で推移したが、1回目の追肥施用時には約100 mg kg⁻¹となっていた。その後、追肥の施用に応じた推移を示し、次第に硝酸態窒素の占める割合が大きくなった。2回目の追肥施用直前において、土壌中硝酸態窒素含量は1回あたりの追肥量1~2 g m⁻²の①~④区で40 mg kg⁻¹、3 g m⁻²の⑤~⑥区においては60 mg kg⁻¹であった。2回目の追肥を省略した①、③、⑤区では、収穫時において土壌中硝酸態窒素含量は10~20 mg kg⁻¹となり、残存した硝酸態窒素は非常に少なかった。

表 5.1-2 にハウレンソウの収量と収穫時の可食部の硝酸イオン濃度を示す。1回あたりの追肥量が同量の場合(①区と②区、③区と④区、⑤区と⑥区)、収穫前追肥を省略すると、施用した場合と

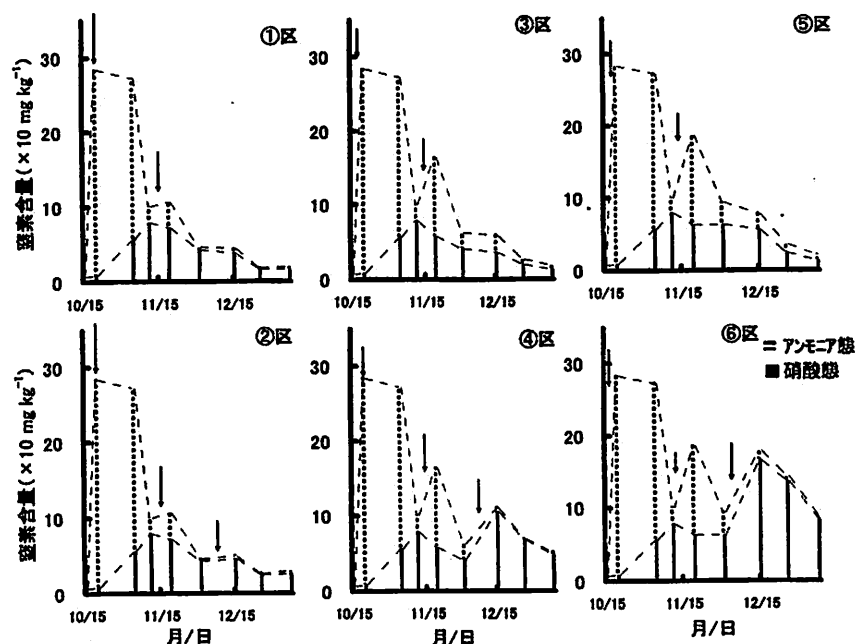


図 5.1-1 土壤中の無機態窒素含量の推移
注) 矢印は、施肥日を表す。

表 5.1-2 ホウレンソウの収量と収穫時の可食部の硝酸イオン濃度

試験区		12/16				12/25				1/6				
		草丈 cm	葉数	㎡当	硝酸	草丈 cm	葉数	㎡当	硝酸	草丈 cm	葉数	葉色	㎡当	硝酸
				たり	イオン			たり	イオン			たり	イオン	
				収量	濃度			収量	濃度			収量	濃度	
				kg	mg kg ⁻¹			kg	mg kg ⁻¹			kg	mg kg ⁻¹	
①	I 低－Ⅱ略	20.1	10.2	1.0	1570	22.8	12.4	1.4	2220	22.9	12.7	44.4	1.6	1130
②	I 低－Ⅱ低	22.2	11.9	1.2	1780	24.1	13.3	1.5	1820	24.1	13.2	46.5	1.7	1560
③	I 中－Ⅱ略	21.6	11.6	1.2	2150	23.1	11.7	1.4	1730	24.3	12.6	46.3	1.8	670
④	I 中－Ⅱ中	22.2	12.0	1.2	1770	24.0	13.0	1.5	2440	24.4	13.2	47.3	1.9	1020
⑤	I 高－Ⅱ略	21.6	11.7	1.2	1530	23.5	12.6	1.4	1490	25.6	13.3	47.5	2.1	1760
⑥	I 高－Ⅱ高	22.8	11.9	1.3	2640	24.0	13.2	1.6	2170	26.2	13.4	47.7	2.2	2420

比べて、草丈、収量はわずかに下回り、硝酸イオン濃度も低くなる傾向にあった。追肥省略による硝酸イオン濃度の低減率は27～34%であった。収穫の目安としては草丈25cm、目標収量は㎡当たり2kgとされているので、これに照らし合わせると、⑤区と⑥区のみがその基準に達していた。1月6日以降も調査を継続したが、収穫前追肥を省略した①、③区は、収穫サイズ、収量で、両基準を満たすことはなかった。以上の結果から、収穫前追肥の省略により収量は低くなるものの硝酸イオン濃度も低く抑えられることが明らかとなった。収穫サイズと目標収量を確保する視点から追肥の省略が可能である土壤中硝酸態窒素含量指標値は、40 mg kg⁻¹と60 mg kg⁻¹の間の50 mg kg⁻¹と想定するのが適当と考えられた。

5.1.4 摘要

ハウレンソウ露地栽培において収穫物中の硝酸塩低減を目的として、収穫物中の硝酸塩集積に最も深く関与していると考えられる追肥施用の必要性の判断をするための土壤中硝酸態窒素含量指標値について明らかにした。追肥施用を控えることで、硝酸イオン濃度は低く抑えられたが、それに伴い収量も低下した。追肥を省略してかつ目標の収量水準を確保するためには、施用時期の土壤中の硝酸態窒素含量が 50 mg kg^{-1} 以上である必要があると判断された。

5.2 ハウレンソウの硝酸塩低減のための葉面散布による窒素施用法

5.2.1 序言

ハウレンソウ、コマツナの水耕栽培において、収穫前に液肥中の窒素の組成を硝酸態主体からアンモニア態主体へと切り替えると、生育は若干遅延するものの収穫物中の硝酸塩の集積を軽減できるとの報告がある（建部ら 1995）。しかし、大半の畑作物が好硝酸植物であり、根圏にある無機態窒素のうち硝酸態窒素を選択的に吸収する。水耕栽培においては、直接根が肥料成分に接触するため、硝酸態窒素と比べると積極的に吸収されないアンモニア態窒素も取り込まれていると考えられる。一方、土耕栽培の場合には、無機態窒素の組成をアンモニア態に偏重した施肥を行っても、根との間に土壤粒子が媒体として存在しているため、アンモニア態窒素は吸収されにくく、硝酸態窒素と比べた肥効発現は、水耕栽培の場合よりもさらに遅れると考えられる。このため、アンモニア態窒素から硝酸態窒素に変化するまでは窒素の吸収が積極的には行われず、一時的に窒素の不足した状態になり、生育が遅延する。その後、大半のアンモニア態窒素が、土壤中の微生物の働きによって硝酸化を受けた後に、硝酸態窒素として吸収されることが考えられる。25℃以上に気温が上昇する季節においては、硝酸化が速やかに進行する（米沢ら 1966, 許斐ら 1984）ため、アンモニア態窒素として存在する時間が短く、著しい生育の遅延は見られない。したがって、土耕栽培において、根から供給する窒素の組成によって、収穫物中の硝酸塩の集積をコントロールすることは、農業生産場面において実用上困難である。

窒素を根から供給せずに直接的に作物に吸収させる方法として、葉面散布技術（武井 1987）がある。この技術は、水耕栽培における根からの吸収と同様、植物体（葉）が直接的に肥料成分と接触するため、強制的な吸収を促すことが可能である。したがって、根からの窒素供給を抑えて、不足分を地上部から硝酸態および亜硝酸態以外の形態の窒素を施用し補填できれば、葉中の窒素含量を一定水準で維持しつつ、硝酸塩含量を低減できると考えられる（図 5.2-1）。

本節では、低硝酸塩野菜の生産を追及するために、追肥窒素肥料の土壌施用に代替した尿素の葉面散布技術による、外観品質である葉色の維持効果について検討した。

5.2.2 試験方法

試験は、2003 年 10 月～2004 年 1 月に、福岡県農業総合試験場内の露地畑圃場（中粗粒黄色土造成相、砂壤土）にて実施した。供試品種は、‘パンドラ’とした。施肥は、播種直前に畝表面に行い、土壌とよく混合した。用いた窒素肥料は、基肥は油かすおよび CDUS555、追肥については 1 回目を尿素入り窒素加里化成 2 号（16-0-16）、2 回目を硝安（34-0-0）とした。試験区の構成を表 5.2-1 に示す。圃場は畝幅 90 cm、条間 17 cm で 1 区 1.5 m^2 の 2 連制とした。播種は 1 m 当たり

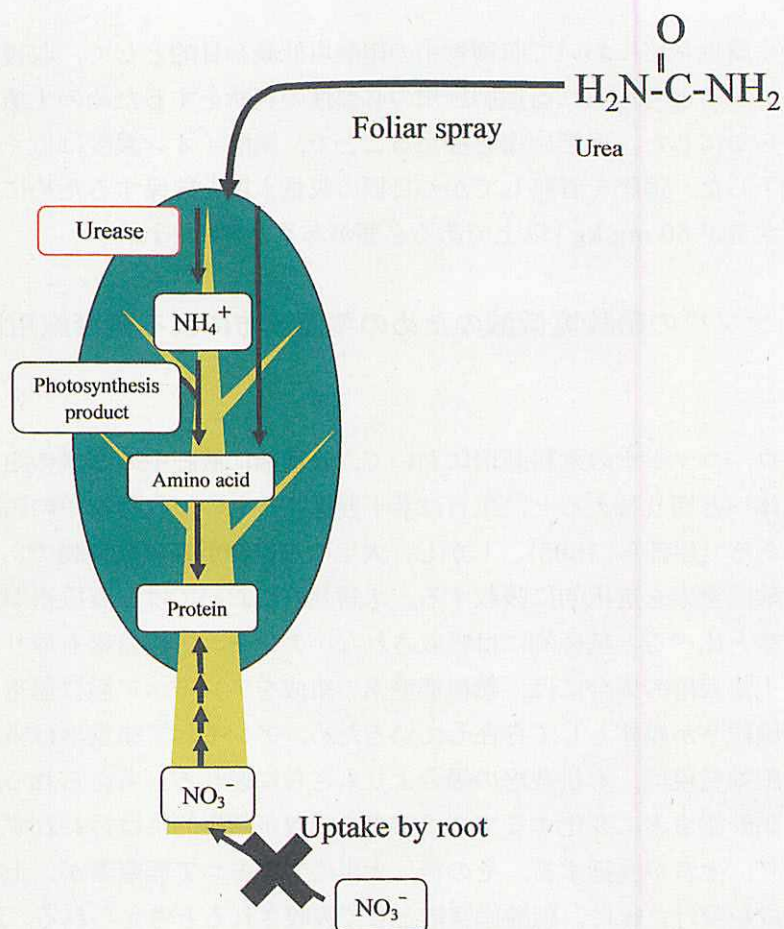


図 5.2-1 尿素の葉面散布による硝酸塩の低減化機構

表 5.2-1 尿素葉面散布の試験区の構成

試験区	窒素施肥量(g m ⁻²)				葉面散布 の尿素量 (g m ⁻²)
	基肥	追肥	追肥	合計	
			I		
① 対照Ⅰ(追Ⅱ有)	18	3	3	24	-
② 対照Ⅱ(追Ⅱ無)	18	3	-	21	-
③ 1%尿素	18	3	-	21	2
④ 0.5%尿素	18	3	-	21	1

20 粒の目安で 10 月 24 日に行い、間引きは実施しなかった。施肥日は、基肥を 10 月 15 日、追肥の 1 回目を 11 月 21 日、追肥の 2 回目を 12 月 18 日とした。

葉面散布剤として尿素を用いた。尿素は窒素含量が高く、かつ濃度障害を起こしにくい窒素質肥料である。尿素処理濃度は 0.5、1.0 % の 2 水準とし、葉面散布は 1 月 6 日および 13 日に m^2 当たり 200 mL (10 a 換算で 200 L) を霧吹きにて行った。処理は、夕方、16 時を目安として行った。

収穫時の調査および硝酸イオンの分析は前節に準じた。

5.2.3 結果および考察

表 5.2-2 に尿素葉面散布後の生育と収量および硝酸イオン濃度について示す。2 回目の葉面散布日から約 1 週間後の 1 月 18 日において、③区および④区の収量、草丈は②区と差がなく、尿素葉面散布処理の増収効果は認められなかった。一方、葉色値は①区=③区>④区>②区の順で高かった。③区および④区の硝酸イオン濃度は、②区を上回らずに①区よりも低い水準にあったことから、散布した尿素は、葉表面のクチクラ層からの透過、あるいは葉裏面気孔からの浸入（菅原 1952, 潮田 1953）によって、スムーズに植物に取り込まれたと考えられた。植物体への侵入形態は、葉面に存在する微生物由来のウレアーゼによってアンモニア態窒素となっていることも考えられたが、潮田（1953）はこのウレアーゼの存在の可能性を否定し、尿素態のまま吸収されていると考えるべきだとしている。尿素態の形で吸収された後の代謝経路としては、植物内在性のウレアーゼによってアンモニウムイオンとなってから同化されてゆく可能性と脱炭酸反応を伴わずに、他の炭素化合物との結合からアミノ酸、タンパク質に利用されてゆく可能性（潮田 1953）とがあり、ともに硝酸塩の集積には関わらないと考えられる。葉面散布を行った③区および④区は、②区よりも硝酸イオン濃度が低かった。これは、追肥 I に由来する硝酸態窒素が、施用 3 週間後もなお収穫物中の硝酸イオンの存在に効くことを示し、葉面散布区では収量が増加したことによる希釈効果のためやや低くなったと考えられた。硝酸イオン濃度は、④区よりも③区が高かった。葉面から吸収された窒素は硝酸イオン濃度の上昇に関わらないことから、散布した尿素液の一部が土面上に落下し、アンモニア態窒素に変化した後、硝酸化成を受けた上で、根から吸収され、硝酸イオン濃度を上昇させた可能性が考えられた。しかし、葉面散布区の硝酸イオン濃度は②区の硝酸イオン濃度の水準を下回っていたことから、散布量としては m^2 当たり 200 mL、濃度 1 % が適切であると考えられた。

以上の結果から、尿素葉面散布処理によって葉色値は上昇し、かつ硝酸イオン濃度の上昇は認められなかったことから、ハウレンソウの硝酸塩低減化のための技術として期待が持てると考えられた。

表 5.2-2 尿素葉面散布が生育・収量および硝酸イオン濃度に及ぼす影響

試験区	草丈 cm	葉数	葉色	㎡当	硝酸
				たり	イオン
				収量 kg	濃度 mg kg^{-1}
① 対照 I (追 II 有)	24.6	13.0	48.7	1.72	1100
② 対照 II (追 II 無)	23.1	12.1	46.2	1.46	800
③ 1 % 尿素	23.6	12.7	48.6	1.53	660
④ 0.5 % 尿素	22.8	12.3	47.4	1.54	400

注) 調査日: 1 月 18 日

5.2.4 摘要

低硝酸塩野菜の生産を前提に、収穫前の窒素追肥を停止した場合に、葉色低下の抑制技術として尿素葉面散布を実施し、その効果と硝酸イオン濃度への影響を検討した。濃度 0.5 および 1.0 % として m^2 当たり 200 mL を散布したところ、硝酸イオン濃度を上昇させることなく、葉色値を高めたことから、尿素的葉面散布は、低硝酸野菜生産の有効な手段であることが明らかとなった。

5.3 窒素施肥がホウレンソウの糖および遊離アミノ酸含量に及ぼす影響

5.3.1 序言

5.1 節、5.2 節で論じてきたように、低硝酸塩野菜を生産するためには、硝酸塩含量の上昇に直結する窒素施肥を必要に応じて控えることが不可避である。一方で、減肥によって最も懸念されるのは、葉色低下による農産物に対する市場評価の下落である。この問題に対しては、5.2 節で尿素の葉面散布が有効であることを示した。しかし、ここで問題にされているのは「外観」品質であり、味や機能性等にかかる内容成分への影響については論議されていない。これまでに、栽培条件や栽培時期、品種等の違いによる内容成分の変動についての報告がいくつかなされている。亀野ら(1990)は、ホウレンソウ中の糖含量の品種間での差は顕著ではない一方で、栽培時期の違いによって大きく異なり、高温期には含量が低く、低温期に高くなることを指摘している。さらに、彼らは遮光によって糖含量が低下することを論じ、施肥量の違いによる糖含量には一定の傾向は認められなかったとしている。一方、建部ら(1995)は、ホウレンソウ中のスクロース含量は窒素施肥量が増すほど低くなるとしており、亀野らの見解と異なっている。このように、糖含量一つをとっても、窒素施用条件によってその含量がどのように変動するのかは明確にされていない。減肥による硝酸塩以外の成分の含量の変化が明らかになり、その変動によって品質が向上するのであれば、啓蒙により低葉色(低硝酸塩)野菜の低い市場評価を向上させることが可能である。

本節では、ホウレンソウを播種時期を変えて栽培し、食味特に、甘味や旨味等の味に関与していると想定される糖と遊離アミノ酸含量への窒素施肥の影響について検討した。

5.3.2 試験方法

試験は、2004 年 9 月～2005 年 2 月に、福岡県農業総合試験場内の水田圃場(中粗粒灰色低地土、砂壤土)にて実施した。供試品種は、'パンドラ'とし、播種時期を 9 月下旬、10 月中旬、11 月上旬の 3 時期とした。播種 2 カ月前に、オガクズ入り牛ふん堆肥を 10 a 当たり約 4 t 施用した。圃場は畝幅 90 cm、条間 17 cm で 1 区 1.8 m²の 3 連制とした。施肥は、播種直前に畝表面に行い、土壌とよく混合した。播種は 1 m 当たり 20 粒の目安で行い間引きは実施しなかった。試験区の構成と播種日、施肥日を表 5.3-1 に示す。試験区は、作付前土壌に残存した硝酸態窒素を想定し、それに応じて基肥量を減肥することと、5.1 節同様、硝酸塩を減らすことを目的として収穫前追肥を省略することを想定して試験区を設けた。⑦～⑫区の「残高区」には、基肥施用前にあらかじめ硝安を窒素成分で 10 g m²施用した。基肥には尿素入り硫加磷安 48 号(16-16-16)を用い、追肥は 1 回目を尿素入り窒素加里化成 2 号(16-0-16)、2 回目を硝安(34-0-0)とした。リン酸、カリの施用量については、全区とも成分量で基肥では 18 g m²とし、不足分は PK 高度化成 40 号(0-20-20)で補った。さらに、カリについては 1 回目の追肥で 3 g m²を施用した。

収穫時の調査および硝酸イオンの分析は 5.1 節に準じた。

糖およびアミノ酸の分析には、硝酸イオンの測定に用いた水抽出液を供試した。アミノ酸の分析は島津社製アミノ酸分析装置 ALC-1000 にて行った。糖含量の測定は、カラムに Shim-pack SCR-101H(島津社製)、溶離液に超純水用いた HPLC 分析にて行った。アミノ酸分析に当たっては、アスパラギンとグルタミンの分離が困難であったため、含量として定量した。

表 5.3-1 試験区の構成と播種日および施肥日

試験区	窒素施肥量(g m ⁻²)											
	9月下旬播種			10月中旬播種				11月上旬播種				
	基肥	追肥	合計	基肥	追肥	追肥	合計	基肥	追肥	追肥	合計	
				I	II			I	II			
① 残低-基低-追	9.0	3.0	12.0	9.0	3.0	3.0	15.0	9.0	3.0	3.0	15.0	
② 残低-基低-略	9.0	-	9.0	9.0	3.0	-	12.0	9.0	3.0	-	12.0	
③ 残低-基中-追	13.5	3.0	16.5	13.5	3.0	3.0	19.5	13.5	3.0	3.0	19.5	
④ 残低-基中-略	13.5	-	13.5	13.5	3.0	-	16.5	13.5	3.0	-	16.5	
⑤ 残低-基高-追	18.0	3.0	21.0	18.0	3.0	3.0	24.0	18.0	3.0	3.0	24.0	
⑥ 残低-基高-略	18.0	-	18.0	18.0	3.0	-	21.0	18.0	3.0	-	21.0	
⑦ 残高-基低-追	9.0	3.0	12.0	9.0	3.0	3.0	15.0	9.0	3.0	3.0	15.0	
⑧ 残高-基低-略	9.0	-	9.0	9.0	3.0	-	12.0	9.0	3.0	-	12.0	
⑨ 残高-基中-追	13.5	3.0	16.5	13.5	3.0	3.0	19.5	13.5	3.0	3.0	19.5	
⑩ 残高-基中-略	13.5	-	13.5	13.5	3.0	-	16.5	13.5	3.0	-	16.5	
⑪ 残高-基高-追	18.0	3.0	21.0	18.0	3.0	3.0	24.0	18.0	3.0	3.0	24.0	
⑫ 残高-基高-略	18.0	-	18.0	18.0	3.0	-	21.0	18.0	3.0	-	21.0	
播種日	9/30			10/18				11/2				
基肥施用日	9/30			10/18				11/2				
追肥Ⅰ施用日	10/25			11/15				12/6				
追肥Ⅱ施用日	-			12/6				1/7				

注)播種時の土壤中硝酸態窒素含量は次のとおり。

9月下旬播種:「残低」区 1 mg kg⁻¹, 「残高」区 113 mg kg⁻¹,

10月中旬播種:「残低」区 8 mg kg⁻¹, 「残高」区 214 mg kg⁻¹,

11月上旬播種:「残低」区 12 mg kg⁻¹, 「残高」区 98 mg kg⁻¹。

5.3.3 結果および考察

表 5.3-2 にハウレンソウの生育と収量および可食部の硝酸イオン濃度について示す。播種時期を3回、さらに基肥減肥の可能性について論議するために、模擬的に作付前土壤中の硝酸態窒素含量の多い状態を作り、それに応じた減肥を想定して基肥量を変えた区を設けた。生育や収量および硝酸イオン濃度の試験区間の差は、要因別にみると、播種時期によって有意性の有無が異なった。しかし、いずれも窒素施肥によって影響を受けていることがうかがえた。すなわち、残存窒素や基肥、追肥量が多いほど生育は促進され、収量は高くかつ硝酸イオン濃度は高く、一方、施肥窒素量が少ないほど硝酸イオン濃度は低い傾向にあった。5.1 節では、収穫物中の硝酸塩集積に最も深く関わっているとして、収穫前追肥の省略について論じてきた。しかし、作付前における残存窒素の硝酸イオン濃度への影響も認められたことから、土壌条件によっては基肥の減肥も硝酸塩低減化に効果的であると考えられた。

表 5.3-3 にハウレンソウ可食部の糖含量を示す。スクロース、グルコースおよびフルクトースは窒素施肥によって含量が変動し、一定ではなかった。播種時期によって要因別の有意性の有無は異なった。全体的な傾向として、窒素施用量が少ないほどスクロース含量が高く、逆にグルコースやフルクトース含量が低く、3糖の合計で見ると糖度が高かった。この傾向は、9月下旬、10月中旬播種分の作付前残存窒素量の違いにより顕著に認められた。この糖度上昇の主要因であるスクロース含量の上昇は、窒素施肥を控えることによりアミノ酸・タンパク質に同化される窒素の量が少な

表 5.3-2 ホウレンソウの生育と収量および可食部の硝酸イオン濃度

試験区	9月下旬播種				10月中旬播種				11月上旬播種			
	草丈	葉色	㎡当	硝酸イオン	草丈	葉色	㎡当	硝酸イオン	草丈	葉色	㎡当	硝酸イオン
			たり				たり				たり	
	cm		収量 kg	濃度 mg kg ⁻¹	cm		収量 kg	濃度 mg kg ⁻¹	cm		収量 kg	濃度 mg kg ⁻¹
① 残低 - 基低 - 追	18.9	40.6	1.1	30	18.5	34.2	1.8	50	18.1	43.0	2.0	130
② 残低 - 基低 - 略	12.3	39.5	0.6	N.D.	17.8	28.4	1.7	20	17.5	41.2	1.9	N.D.
③ 残低 - 基中 - 追	19.8	38.0	1.3	220	24.0	37.5	2.6	50	21.2	46.2	2.8	350
④ 残低 - 基中 - 略	12.7	36.3	0.6	10	19.7	36.1	2.1	30	20.8	44.0	2.6	90
⑤ 残低 - 基高 - 追	23.4	41.7	1.8	120	28.8	39.6	3.4	540	22.7	44.9	3.0	570
⑥ 残低 - 基高 - 略	21.3	39.2	1.7	20	27.2	38.8	3.3	140	21.8	43.6	2.9	500
⑦ 残高 - 基低 - 追	21.6	36.7	1.6	100	27.4	38.6	2.9	500	20.4	41.4	2.4	210
⑧ 残高 - 基低 - 略	19.5	36.4	1.3	20	27.2	35.6	2.8	110	18.5	34.7	1.9	80
⑨ 残高 - 基中 - 追	24.9	40.5	2.1	220	26.4	41.6	3.5	320	22.5	47.6	3.0	600
⑩ 残高 - 基中 - 略	22.9	35.8	1.4	30	25.3	38.2	2.8	200	22.0	41.3	2.9	280
⑪ 残高 - 基高 - 追	26.3	38.3	2.7	770	29.0	41.2	4.0	990	22.9	49.3	3.4	1080
⑫ 残高 - 基高 - 略	25.1	38.7	2.1	660	28.4	39.6	3.5	750	22.5	44.4	3.0	540
調査日	11/25				1/5				2/14			
残存窒素	*	n.s.	*	n.s.	*	n.s.	+	+	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
基肥	n.s.	n.s.	+	n.s.	n.s.	+	*	+	**	+	**	*
追肥	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	+	n.s.	n.s.

注)**、*, +は各々1, 5, 10%水準で有意(分散分析)。

表 5.3-3 ホウレンソウ可食部の糖含量

試験区	9月下旬播種				10月中旬播種				11月上旬播種			
	スクロース	グルコース	フルクトース	計	スクロース	グルコース	フルクトース	計	スクロース	グルコース	フルクトース	計
① 残低 - 基低 - 追	1.71	0.46	0.42	2.59	5.31	0.28	0.18	5.76	3.29	0.42	0.41	4.11
② 残低 - 基低 - 略	3.73	0.34	0.31	4.38	4.59	0.29	0.26	5.14	5.45	0.32	0.33	6.10
③ 残低 - 基中 - 追	3.11	0.38	0.42	3.90	4.65	0.26	0.24	5.14	3.66	0.42	0.41	4.49
④ 残低 - 基中 - 略	3.49	0.27	0.32	4.08	4.40	0.39	0.34	5.13	3.58	0.39	0.39	4.36
⑤ 残低 - 基高 - 追	1.64	0.43	0.45	2.52	2.88	0.66	0.58	4.12	3.19	0.41	0.41	4.01
⑥ 残低 - 基高 - 略	2.89	0.45	0.46	3.80	3.90	0.52	0.46	4.87	3.04	0.41	0.41	3.86
⑦ 残高 - 基低 - 追	2.16	0.46	0.50	3.11	2.57	0.67	0.61	3.84	3.54	0.48	0.41	4.42
⑧ 残高 - 基低 - 略	2.44	0.43	0.45	3.32	3.66	0.66	0.57	4.89	4.53	0.37	0.37	5.26
⑨ 残高 - 基中 - 追	1.42	0.46	0.51	2.39	4.09	0.90	0.70	5.69	2.79	0.43	0.43	3.64
⑩ 残高 - 基中 - 略	2.49	0.38	0.36	3.23	3.05	0.60	0.54	4.18	3.11	0.46	0.44	4.01
⑪ 残高 - 基高 - 追	1.37	0.54	0.60	2.52	2.07	0.69	0.64	3.39	1.92	0.45	0.45	2.82
⑫ 残高 - 基高 - 略	0.91	0.51	0.57	1.99	2.41	0.64	0.58	3.63	2.77	0.47	0.45	3.69
残存窒素	**	*	*	*	*	**	**	+	n.s.	+	n.s.	n.s.
基肥	*	*	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	+	*
追肥	*	+	+	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

注)単位:g/100gF.W.

**、*, +は各々1, 5, 10%水準で有意(分散分析)。

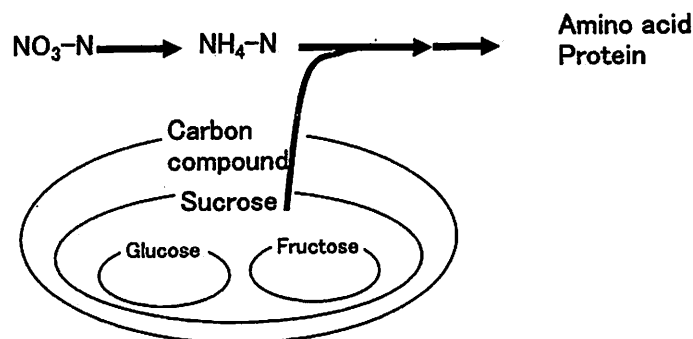


図 5.3-1 窒素の同化に対する糖の関与

表 5.3-4 ホウレンソウの可食部の遊離アミノ酸含量と主要なアミノ酸の組成

試験区	総遊離 アミノ酸含量 (mmol kg ⁻¹ F.W.)	主要なアミノ酸の組成 (%)						
		Asp	Glu	Gln+	Ser	Pro	Ala	GABA
		Asn						
① 残低 - 基低 - 追	17.0	8.4	32.1	23.3	3.2	3.3	3.6	10.4
② 残低 - 基低 - 略	11.9	13.6	19.5	15.9	5.1	4.3	4.7	16.0
③ 残低 - 基中 - 追	11.4	12.4	15.2	21.2	5.6	4.0	3.8	15.9
④ 残低 - 基中 - 略	14.4	10.8	20.9	15.5	5.4	4.3	4.1	16.6
⑤ 残低 - 基高 - 追	15.5	7.2	25.5	32.6	3.1	3.3	3.0	10.7
⑥ 残低 - 基高 - 略	11.4	14.0	20.2	23.6	5.0	4.1	3.6	12.3
⑦ 残高 - 基低 - 追	12.3	7.6	20.8	28.2	4.0	3.9	3.1	13.4
⑧ 残高 - 基低 - 略	11.0	8.2	21.6	23.8	4.1	4.1	3.6	15.2
⑨ 残高 - 基中 - 追	14.4	9.5	19.0	34.8	3.7	3.4	3.1	10.8
⑩ 残高 - 基中 - 略	11.1	12.1	20.3	24.5	4.7	4.2	3.4	12.4
⑪ 残高 - 基高 - 追	17.1	9.3	15.9	43.4	3.1	2.8	2.3	9.2
⑫ 残高 - 基高 - 略	16.9	11.8	15.9	42.1	3.1	2.6	2.3	9.4
残存窒素	n.s.	n.s.	n.s.	**	*	n.s.	**	+
基肥	n.s.	n.s.	n.s.	**	*	**	**	*
追肥	+	**	n.s.	+	*	+	n.s.	+

注) 9月30日播種分。組成はモル比で表す。

**, *, +は各 1, 5, 10%水準で有意(逆正弦変換値を分散分析)。

Asp: アスパラギン酸, Glu: グルタミン酸, Gln: グルタミン, Asn: アスパラギン, Ser: セリン, Pro: プロリン, Ala: アラニン, GABA: γ-アミノ酪酸。

く、同化の際に消費されるスクロースの量が少ないためと考えられる(図 5.3-1)。一方、窒素多肥条件下ではスクロースがグルコースとフルクトースとに分解され、窒素同化のために一部消費される。このために、窒素少肥条件と比較して、スクロース含量が低いのではないかと考えられた。

表 5.3-4 にホウレンソウの可食部の遊離アミノ酸含量と主要なアミノ酸の組成比を示す。総遊離アミノ酸含量は、追肥を省略した時よりも施用した時が高い傾向にあった。アミノ酸組成は窒素施肥により異なった。すなわち、アミノ酸代謝において多量に窒素が供給された時に集積するアスパラギンおよびグルタミンの含量の割合が多肥によって高まる傾向にあった。しかし、旨味物質として知られるグルタミン酸(ナトリウム)については、一定の傾向は認められなかった。

以上のことから、硝酸塩を低減化する目的で窒素施肥を控えると、旨味物質である遊離アミノ酸含量は減少するものの、糖度が高くなることから味の面で優れており、低硝酸塩野菜の販売上の利点となりうることが明らかとなった。

5.3.4 摘要

ホウレンソウの食味特に、甘味や旨味等の味に関与していると想定される糖と遊離アミノ酸の窒素施肥による含量への影響について検討した。窒素施用量が多いと遊離アミノ酸含量が高まり、逆に少ないと糖度が高まった。このことから硝酸イオン濃度を低く抑えるために収穫前の窒素追肥を停止して生産すると、通常と比べて甘いホウレンソウとなることが明らかとなった。

第6章 鉢物花卉の品質向上のための窒素施用法

6.1 ファレノプシスのかん水施肥栽培における液肥の適正窒素濃度と養分吸収量

6.1.1 序言

1980年代に温度処理による開花制御技術が実用化され(樋口ら 1978, 米田 1985), 周年出荷が可能となって以来、ファレノプシス (*Phalaenopsis sp.*) の生産量は急速に伸び、現在では鉢ものの洋ラン類の中でも人気の高い主要品目の一つとなっている。ここ10年を見ても、全国流通量が約1.5倍に増加している。この間、作業の分散化やコスト削減を目的として、栽培技術の改善を図るために、温度、日長等環境要因の花茎発生・開花への影響についての研究(窪田ら 1993, 上島ら 1998a, 上島ら 1998b, 上島ら 1999, 米田ら 1991) が盛んに行われてきた。しかし、施肥がファレノプシスの生育・開花等に及ぼす影響については、他の環境要因の寄与が大きいために、解明されておらず、未だ生産者段階で標準的な施肥法が確立していない。特に使用する培地や鉢の種類によって、施肥条件が生育・開花に及ぼす影響が異なってくることが指摘されている。これは、鉢内の養水分の挙動が異なることに起因するものである(田中ら 1988)。安定的なファレノプシス鉢物生産を行うためには、鉢内の養水分を適正な状態で推移させることが重要である。このためには、かん水を兼ねて液肥をかん注するかん水同時施肥栽培が有望である。このかん水施肥法については、須藤ら(1991)や窪田ら(1990a)の報告がある。しかし、鉢内の養分含量や培地水分を中心に調査されており、かん水施肥法が開花に及ぼす影響については明らかにされていない。さらに、養分吸収に関してもいくつかの報告(遠藤ら 1992, 窪田ら 1990b)があるが、培養液や培地中に残存した養分量から換算したもので、直接株を分析した事例は極めて少なく(田中ら 1988)、生育時期別に部位毎の養分要求量は明らかにされていない。

そこで、本節ではかん水同時施肥栽培において、液肥の窒素濃度がファレノプシスの生育・開花および養分吸収量に及ぼす影響について調査し、生育時期別の液肥の適正窒素濃度を明らかにした。

6.1.2 試験方法

1) 栽培試験

試験1 高温抑制期間中と花茎伸長期以降の液肥の窒素濃度が苗の生育・開花に及ぼす影響

プラスチック出してから1年間、養成を経て3.5号鉢に鉢上げされてから出荷されるまでの約1年間を温度管理と株の生育ステージの違いにより、3期間に分けて肥培管理することを想定して試験を行った(図6.1-1)。すなわち、花茎の発生を抑制するために30℃前後の高温条件下で管理する高温抑制期間(I期)、その後温度を下げてから約6週間の花成誘導期間(II期)、それ以降花茎伸長が進行し開花するまで(III期)の3期間である。花成誘導期間を6週としたのは、温度を変化させてから約4週間で花茎の発生が認められる(市橋ら 1997, 米田 1985)とされているので、処理内容によるズレに備えて少し幅を持たせるためである。

試験1は、2000年5月～2001年3月に、福岡県農業総合試験場内のファイトトロンにて実施した。苗は、前原市の生産農家においてプラスチック出後1年間養成されたメリクロン苗(3.5号ポリ鉢)を用いた。供試品種は、白色系の交配種HW31、桃色系のHWS11の2種とした。培地には水

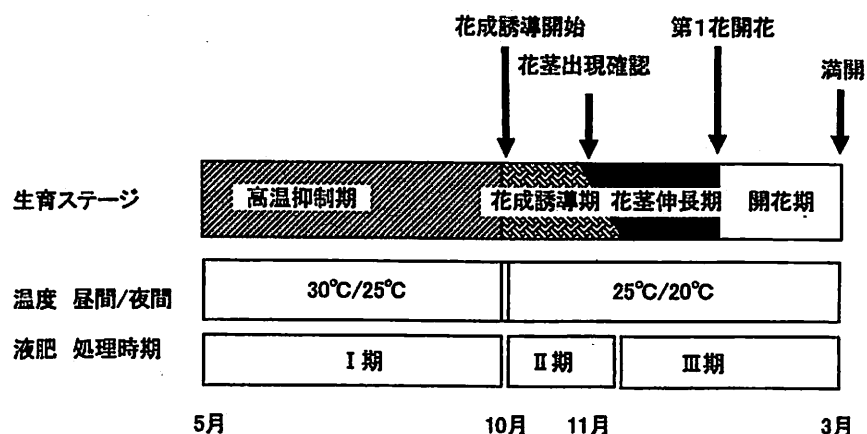


図 6.1-1 ファレノプシスの生育ステージと試験期間中の各処理時期

苔 2 kg にクリプトモス 20 L, 木炭 3 L を混合したものをを用いた。遮光は, 夏季の強光時に 56 % とした以外は 75 % とした。室内温度は, 試験開始から 9 月までの I 期を昼間 30 °C, 夜間 25 °C とし, 花成誘導を開始した 10 月以降 3 月までの II 期と III 期では昼間 25 °C, 夜間 20 °C で管理した。施肥は, 花成誘導を開始して以降週に 1 回液肥を 1 鉢当たり 150 mL かん注することにより行った。液肥の窒素濃度は I 期 (花成誘導開始するまで) では 25, 50, 100, 200 mg L⁻¹ の 4 水準とし, II 期 (花成誘導開始後 6 週間) では各区とも 25 mg L⁻¹ で統一し, さらにそれ以降の III 期では 25, 100 mg L⁻¹ の 2 水準とした。リン酸とカリ濃度はそれぞれ 50, 45 mg L⁻¹ とした。液肥は, 硝安 (34-0-0) とメリット赤 (0-10-9) を使って調製した。

試験 2 高温抑制期間および花成誘導期間中の液肥の窒素濃度が苗の生育・開花に及ぼす影響

試験 2 は, 2001 年 5 月～2002 年 3 月に, 福岡県農業総合試験場内のファイトトロンにて実施した。苗は, 前原市の生産農家においてフラスコ出し後 1 年間養成されたメリクロン苗 (3.5 号ポリ鉢) で, 桃色系品種の HWS11 を用いた。遮光条件は, 試験 1 に準じた。室内温度は, 試験開始から 9 月までを昼間 30 °C, 夜間 25 °C とし, 花成誘導を開始した 10 月以降 3 月までは昼間 25 °C, 夜間 20 °C で管理した。用いた培地, 施肥条件および液肥の調製は, 試験 1 に準じた。液肥の窒素濃度は I 期を 25, 50, 100, 200 mg L⁻¹ の 4 水準とし, II 期を 25, 200 mg L⁻¹ の 2 水準とし, さらにそれ以降の III 期を各区とも 100 mg L⁻¹ とした。

2) 部位別養分吸収量調査

試験 1 および試験 2 において, 窒素, リンおよびカリウムの吸収量の推移について調べるため, 株の採取を行った。採取は, 試験開始時 (2000 年 5 月, 2001 年 5 月), 花成誘導期間中 (2000 年 10 月, 2001 年 10 月), 開花時 (2001 年 3 月, 2002 年 3 月) の 3 回実施した。各区の中庸な 2～4 株を採取し, 根, 茎, 葉身に解体し, 開花時には, 図 6.1-2 に示すように花を花茎と小花と各部位に分けた。各試料を乾燥後, 乾物重を測定し, 粉碎したものを分析試料とした。窒素はケルダール-セミ・マイクロ法, リンはバナドモリブデン酸比色法, カリウムは炎光光度法によって測定した。

6.1.3 結果および考察

表 6.1-1 に花成誘導開始前の 9 月上旬における苗の生育を示す。高温抑制期間中の液肥の窒素濃度 25～200 mg L⁻¹ の範囲では, 窒素濃度が高いほど苗の葉数が多く, 葉面積も大きく, 生育が促進されていた。その後, 花成誘導処理によって花茎発生を促したが, 健全株のすべてで花茎発生が確

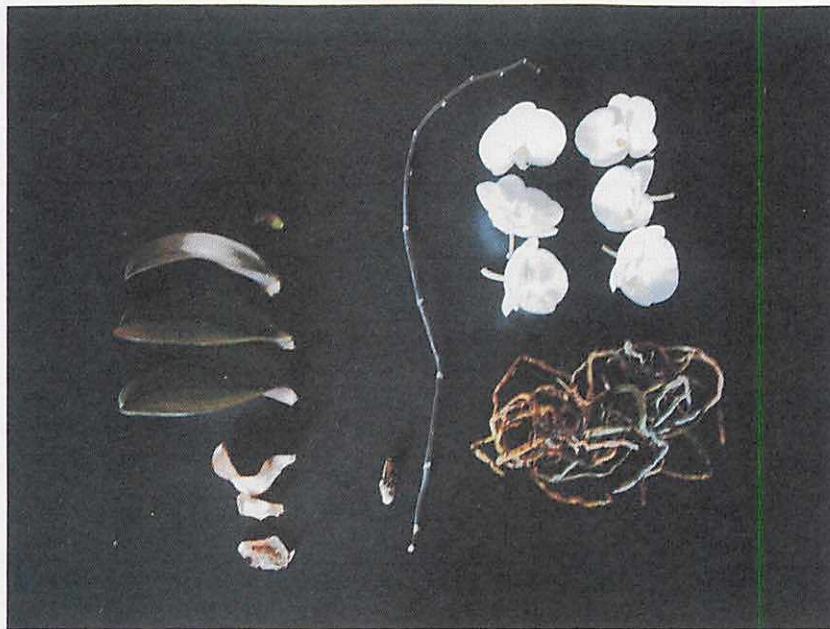


図 6.1-2 開花時のファレノプシスの解体調査

表 6.1-1 ファレノプシスの花成誘導前における苗の生育
(2000 年 9 月調査)

品種	液肥の 窒素濃度 mg L ⁻¹	展開 葉数	葉面積 ¹⁾ (× 10 ⁻³ m ²)
HWS11 (桃色系)	25	4.75 a ²⁾	54.1 a
	50	4.79 a	56.1 a
	100	5.43 b	60.4 a
	200	5.79 b	67.4 b
試験開始時 ³⁾		4.13	29.7
HW31 (白色系)	25	4.93 a	62.8 a
	50	5.18 a	69.9 a
	100	5.21 a	71.0 a
	200	6.29 b	83.6 b
試験開始時		5.75	45.7

1)葉面積は、展開葉の葉身長と葉幅長の積の和としている。

2)品種毎に、異文字間には 5 %水準で有意差有 (Tukey 法)。

3)2000 年 5 月。

認できた。花茎発生日の早遅には高温抑制期間中の液肥の窒素濃度の違いによる明らかな差は認められなかった (データ略)。表 6.1-2 に開花時の生育調査結果を示す。花茎が伸長して行く過程で、花茎の分枝発生が認められた株があった。分枝の発生は、花茎伸長期以降の処理に対する影響も見受けられたが、高温抑制期間中に液肥の窒素濃度が高いほど分枝の発生頻度が高まるという傾向が顕著であった。このことは、これまでの報告では全く論議されていなかったことである。総花数は、両時期ともに、液肥の窒素濃度が高いほど多くなる傾向にあった。しかし、高温抑制期間中に 200 mg L⁻¹とした場合には、花茎伸長期以降の液肥の窒素濃度 25 mg L⁻¹と 100 mg L⁻¹の間で総花数の差は認められなかった。これは、I 期の窒素栄養が十分で株に蓄積された窒素が多いために、III 期の処理の影響を受けにくかったためと考えられる。

試験 2 では、高温抑制期間中と花成誘導期間中の液肥の窒素濃度を変えて各期間中の処理の影響

表 6.1-2 高温抑制期間中および花茎伸長期間中の液肥の窒素濃度がファレノプシスの開花に及ぼす影響 (2000 年)

品種	液肥の窒素濃度(mg L ⁻¹)			花茎長 (mm)	花序長 (mm)	花数	うち 主枝 花数	花茎径 (mm)	第一花の大きさ		展開 葉数	落葉 数	葉面積 (×10 ⁻³ m ²)	分枝 発生 株率 (%)
	高温 抑制 期	花成 誘導 期	花茎 出現 後						縦 (mm)	横 (mm)				
HWS11 (桃色系)	25	25	25	419	221	9.0	9.0	7.10	113	99	3.5	0.8	55.9	0
			100	448	209	10.3	8.5	6.96	109	94	4.2	0.8	66.3	17
	50	25	25	403	200	8.8	8.3	6.87	111	96	4.8	0.5	65.9	17
			100	428	228	9.8	9.2	7.18	110	97	5.2	0.8	76.9	43
	100	25	25	461	244	10.2	9.5	7.29	112	99	5.3	1.2	88.1	17
			100	464	252	10.7	10.1	7.55	110	96	6.0	0.4	94.1	14
	200	25	25	490	249	11.3	9.8	7.44	106	92	6.5	0.7	103.4	17
			100	465	285	10.5	10.5	7.45	105	92	7.0	0.3	110.1	0
	高温抑制期			**	*	n.s.	n.s.	**	**	*	**	n.s.	**	-
	花茎出現後			n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	*	-
	交互作用			n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	-
HW31 (白色系)	25	25	25	553	267	8.3	7.8	6.55	125	114	4.0	0.5	71.5	17
			100	522	308	8.4	8.4	6.38	122	114	4.1	0.4	71.3	0
	50	25	25	575	262	8.0	7.6	6.64	120	111	4.0	1.4	77.0	20
			100	592	215	9.6	8.6	6.78	120	116	4.8	0.7	90.0	40
	100	25	25	552	262	8.7	7.7	6.68	120	111	5.2	0.0	87.0	33
			100	588	310	10.5	8.8	6.49	121	110	4.9	0.3	95.2	50
	200	25	25	575	261	9.8	8.3	6.83	119	112	6.8	0.8	120.9	50
			100	578	281	10.3	8.3	6.65	116	108	6.7	0.7	117.0	57
	高温抑制期			**	*	*	n.s.	n.s.	**	n.s.	**	**	**	-
	花茎出現後			n.s.	n.s.	*	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	-
	交互作用			n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	-

注) 葉面積は、展開葉の葉身長と葉幅長の積の和としている。花茎径は基部より10cmのところを測定。

**, *は各々1, 5%水準で有意差があること, n.s.は有意差がないことを示す(分散分析)。

花茎長は花茎基部より第一花着花部まで、花序長は第一花着花部から花茎先端までの長さ。

と交互作用について検討した。表 6.1-3 に栽培期間中の株の展開葉数と葉面積の推移を示す。試験 1 と同様に展開葉数、葉面積ともに、高温抑制期間中の液肥の窒素濃度の影響が認められた。しかし、花成誘導期間中は処理期間が短いこともあり、液肥窒素濃度の影響は小さく、満開時における葉面積についてのみ有意差が認められた。表 6.1-4 に高温抑制期間および花成誘導期間の液肥窒素濃度の開花に対する影響について示す。花茎出現日については、試験 1 では高温抑制期間中の液肥の窒素濃度の影響は認められなかったのに対して、試験 2 では、200 mg L⁻¹で遅れる傾向が見られた。花成誘導期間中の窒素濃度については、これまでの報告(窪田ら 1994)から予想されたのとは対照的に、25 mg L⁻¹よりも 200 mg L⁻¹で花茎出現が早くなる傾向にあった。花茎発生は、温度と光条件に大きく左右される(窪田ら 1994)ことが知られている。試験 2 における花成誘導前の 9 月中下旬の日照時間は平年値を大きく上回っていた(データ略)。十分な光条件であれば、温度に対する花茎発生の反応が起こりやすいとされていることから、この日照条件のために温度変化に短期間でスムーズに反応して花茎発生が起こり、高窒素濃度の方が目視で確認できるまでに花茎伸長が促進され、既報(窪田ら 1994)とは異なる結果になったものと考えられる。総花数は、処理時期を問わず液肥の窒素濃度が高いほど多く、花茎の分枝発生株率も高くなる傾向にあった。特に、花成誘導期間中に 25 mg L⁻¹とすれば花茎分枝の発生株の割合を低く抑えることができたのに対して、

表 6.1-3 ファレノプシスの展開葉数と葉面積の推移 (2001 年)

液肥の窒素濃度		展開葉数				葉面積 ¹⁾ (× 10 ⁻³ m ²)			
高温抑制期	花成誘導期	5/7	9/5	10/30	2/13	5/7	9/5	10/30	2/13
25	25	3.8	3.8	5.0	4.2	18.1	38.8	46.1	50.4
	200			3.5	4.4			36.9	59.4
50	25		5.0	5.5	5.3		48.8	62.6	63.7
	200			5.5	6.0			55.1	78.8
100	25		5.1	6.0	6.2		54.3	72.7	86.9
	200			5.0	6.0			71.1	79.2
200	25		5.2	6.0	6.5		54.7	77.4	88.6
	200			6.0	6.8			76.9	89.4
高温抑制期		-	** ²⁾	n.s.	**	-	**	**	**
花成誘導期		-	-	n.s.	n.s.	-	-	n.s.	*
交互作用		-	-	n.s.	n.s.	-	-	n.s.	**

1) 葉面積は、展開葉の葉身長と葉幅長の積の和としている。

2) **, *は各々1.5%水準で有意差があること, n.s.は有意差がないことを示す(分散分析)。

表 6.1-4 高温抑制期間中および花成誘導期間中の液肥の窒素濃度がファレノプシスの開花に及ぼす影響(2001 年)

液肥の窒素濃度		第一花の大きさ									
高温抑制期	花成誘導期	花茎出現日 ³⁾	花茎長 (mm)	花序長 (mm)	花数	花茎径 (mm)	縦 (mm)	横 (mm)	展開葉数	落葉数	分枝発生株率 (%)
25	25	10/27	316	184	8.0	8.0	5.97	95	102	4.4	1.0
	200	10/21	390	222	9.7	9.0	6.61	92	102	4.5	1.3
50	25	10/27	363	194	8.2	8.2	6.33	93	103	5.3	0.7
	200	10/22	404	231	10.2	9.7	6.78	95	105	6.0	0.7
100	25	10/25	361	218	9.2	9.7	6.38	92	103	6.2	0.8
	200	10/21	396	257	10.7	10.7	6.55	91	103	6.0	0.5
200	25	10/29	371	221	10.2	9.3	5.59	88	100	6.5	0.2
	200	10/25	385	233	11.2	9.8	6.21	91	101	6.8	0.3
高温抑制期		**	n.s.	n.s.	n.s.	**	n.s.	n.s.	n.s.	**	-
花成誘導期		**	** ²⁾	**	**	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	-
交互作用		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	-

1) 展開葉の葉身長と葉幅長の積の和としている。

2) **, *は各々1.5%水準で有意, n.s.は有意でない(分散分析)。

3) 目視での花茎発生の確認日。

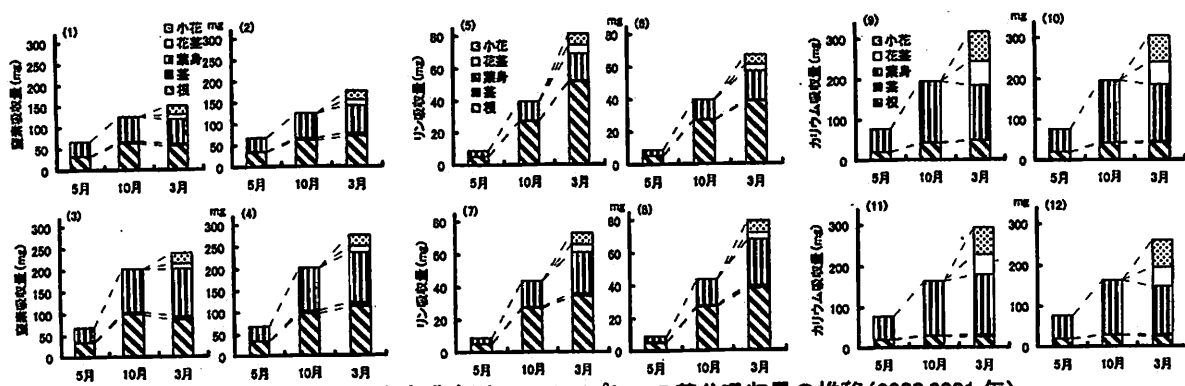


図 6.1-3a 液肥の窒素濃度別のファレノプシスの養分吸収量の推移(2000,2001 年)

注)(1),(5),(9): $25 \text{ mg L}^{-1} \rightarrow 25 \text{ mg L}^{-1} \rightarrow 25 \text{ mg L}^{-1}$, (2),(6),(10): $25 \text{ mg L}^{-1} \rightarrow 25 \text{ mg L}^{-1} \rightarrow 100 \text{ mg L}^{-1}$,
 (3),(7),(11): $100 \text{ mg L}^{-1} \rightarrow 25 \text{ mg L}^{-1} \rightarrow 25 \text{ mg L}^{-1}$, (4),(8),(12): $100 \text{ mg L}^{-1} \rightarrow 25 \text{ mg L}^{-1} \rightarrow 100 \text{ mg L}^{-1}$.
 (1)~(4): 窒素, (5)~(8): リン, (9)~(12): カリウム. なお, 各処理区の養分吸収量は, 調査数株の平均値.

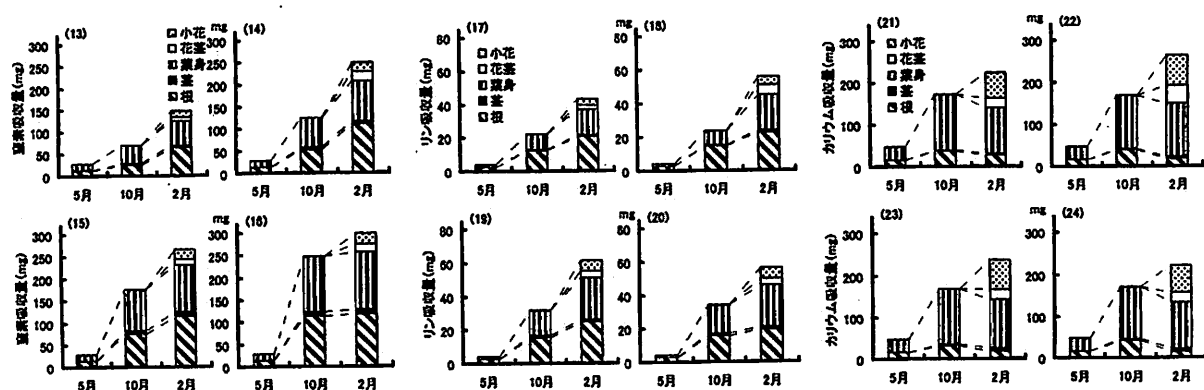


図 6.1-3b 液肥の窒素濃度別のファレノプシスの養分吸収量の推移(2001 年)

注)(13),(17),(21): $25 \text{ mg L}^{-1} \rightarrow 25 \text{ mg L}^{-1} \rightarrow 100 \text{ mg L}^{-1}$, (14),(18),(22): $25 \text{ mg L}^{-1} \rightarrow 200 \text{ mg L}^{-1} \rightarrow 100 \text{ mg L}^{-1}$,
 (15),(19),(23): $100 \text{ mg L}^{-1} \rightarrow 25 \text{ mg L}^{-1} \rightarrow 100 \text{ mg L}^{-1}$, (16),(20),(24): $100 \text{ mg L}^{-1} \rightarrow 200 \text{ mg L}^{-1} \rightarrow 100 \text{ mg L}^{-1}$.
 (13)~(16): 窒素, (17)~(20): リン, (21)~(24): カリウム.

200 mg L^{-1} とすると, 高温抑制期間中に 25 mg L^{-1} と窒素濃度の低い条件下でも分枝の発生が見られた。総花数は増す傾向にあるものの, 分枝が発生することで, 鉢物出荷に向けて寄せ植えをしての鉢物全体の整姿が難しくなることや, 輸送中の振動, 摩擦による花痛みの頻度が増すことが想定できる。以上のことから, 花数を多く確保し, 花茎発生を遅延を回避するために, 液肥の窒素濃度を高温抑制期間は 100 mg L^{-1} とし, 花成誘導期間中は分枝の発生を抑えるために, 一旦 25 mg L^{-1} としてから花茎発生確認後に 100 mg L^{-1} に上げるのが適すると考えられた。

表 6.1-2 と表 6.1-4 から, 花数をできるだけ多く確保するためには, 株の窒素栄養状態が充分である必要が示唆された。液肥の窒素濃度別の養分吸収量の推移を図 6.1-3a および b に, 時期別の窒素利用率を表 6.1-5 に示す。窒素利用率は, 窒素集積量の期間中の増加量をその期間の施用窒素量で除したものとしている。窒素吸収量のうち葉身に保有される窒素の増加量は, 液肥の窒素濃度によらず高温抑制期から花成誘導期までが多かったのに対して, 花成誘導期から開花期にかけては少なかった。根についても類似しており, 花成誘導期から開花期までに比べて高温抑制期から花成誘導期にかけての増加が顕著であった。リン吸収量については, いずれの部位においても, 乾物重の増加に従って増加した(図 6.1-3ab, 一部データ略)。これに対して, カリウムでは, 部位によって

表 6.1-5 ファレノブシスの生育時期別窒素利用率

年次	液肥の窒素濃度 (mg L ⁻¹)			窒素利用率(%)		
	高温 抑制 期	花成 誘導 期	花茎 出現 後	高温抑制 \$ 花成誘導期	花成誘導 \$ 開花期	高温抑制 \$ 開花期
2000年	25	25	25	76.1	33.9	55.0
			100		18.9	31.5
	100	25	25	50.4	49.6	50.3
			100		28.2	39.3
2001年	25	25	100	43.5	37.3	39.2
		200	100	16.2	85.3	47.7
	100	25	100	47.4	43.8	45.9
		200	100	31.3	59.1	40.0

注) 品種は HWS11.

窒素利用率は、窒素集積量の期間中の増加量をその期間の施用窒素量で除して算出している。

保有量の特徴的な変化が認められた。すなわち、葉身および根では、高温抑制期から花成誘導期にかけて著しく保有量が増加したが、花成誘導期から開花期にかけての保有量変化は停滞・減少傾向であった。一方、開花期における花茎と小花におけるカリウム保有量は、株全体の吸収量に占める割合から見ると大きかった。このことから、花成誘導期から開花期にかけて、開花に伴うカリウム要求量が多いことが明らかとなった。液肥のカリ濃度は処理期間中一貫して各区とも 45mg L⁻¹とした。しかし、10 輪程度の花数を確保しようとする場合、高温抑制期間中に葉身に十分蓄積させること、および花成誘導後の十分な吸収を促すことの目的で、液肥のカリ濃度を高めに設定するのが好ましいと考えられた。窒素利用率は、栽培後半である花成誘導期から開花期までに比べて、前半である高温抑制期から花成誘導期までが高い傾向にあった。このことから、花数の向上を図るためには、窒素利用率の低い花成誘導期から開花期よりも、苗養成期間に相当する高温抑制期間中に十分な窒素を供給して窒素を蓄積させることが効果的であると考えられた。

6.1.4 摘要

培地に水苔を用いたファレノブシス生産に関し、施肥とかん水を兼ねて液肥をかん注するかん水同時施肥法において、株の生育、品質両面から適切な液肥の窒素濃度を検討した。花数は、時期を問わず液肥の窒素濃度が高いほど多くなる傾向にあった。しかし、高濃度の液肥では花茎の分枝発生が認められた。このことから、適正濃度は、高温抑制期間中は 100 mg L⁻¹、花成誘導を開始してから 6 週程度は 25 mg L⁻¹、花茎の発生が確認できた後は 100 mg L⁻¹と考えられた。リン酸、カリの濃度はそれぞれ 50 mg L⁻¹、45 mg L⁻¹とした。しかし、養分吸収量から考えて、より高濃度のカリの施用が好ましいと推察された。カリ濃度は、100 mg L⁻¹程度の高い濃度域での適正濃度の検討を要する。

第7章 総合考察

農産物の品質への窒素施肥の影響についての基礎的知見を深めるとともに、環境への負荷軽減を視野に入れた高品質農産物生産のための窒素施肥法確立を目的として各種試験を実施した。

第2章では福岡県において育成された水稻品種‘つくし早生’、‘夢つくし’および‘つくしろまん’の3品種について、目標とする収量および窒素含量に応じて目標となる窒素吸収量を検討することにより、それぞれの品種の窒素吸収特性を明らかにした。昭和46年の稲作転換対策以来、米の生産調整は作付面積主導で実施されてきたが、ここ数年で生産数量ベースに移行しようとしている。すなわち、高単収よりも、むしろやや低い単収でも玄米中窒素含量が低く食味水準の高い米の生産が求められている。収量水準を低く抑えた米の生産を行うために、品種毎の窒素吸収特性を解明することは不可欠である。収量水準別窒素吸収パターンは、品種によって異なった。この理由の一つとして、熟期の違いが考えられる。福岡県においては、‘夢つくし’は極早生、‘つくし早生’と‘つくしろまん’は早生に分類されている。‘夢つくし’は生育期間が他の2品種に比べるとわずかに短いため、その窒素吸収パターンは、生育期間を通しての窒素吸収量の増加が急激で、特に穂揃期から成熟期にかけての増加が顕著であった。‘つくし早生’は短稈で耐倒伏性に優れる品種であることから、窒素吸収量が増加しても倒伏が見られないため、収量水準600 g m²についても窒素吸収パターンを策定することができた。これは、他の2品種に比べると多収品種であることを示唆している。明らかにされた収量水準別の窒素吸収パターンを基に、それぞれの品種、収量水準に応じた窒素施肥量を算出することが可能である。しかし、水稻に吸収される窒素の60～70%は、土壌から供給される窒素が占めている(上野ら 1988, 山本 1995)。したがって、実際に生産現場においてこの窒素吸収パターンを利用する際には、土壌の窒素供給力を基にして地力水準分けを行い、それぞれの水準に対応する窒素施肥量を設定することとなる。水田毎に適用して窒素施肥量を算出する場合には、それぞれの水田の土壌の窒素供給力を的確に評価し、栽培期間中の地力窒素発現量を推定する必要がある。しかし、地力窒素発現量の評価法で、現在、主流となっている反応速度論的手法(杉原ら 1986)は調査日数を100日以上要することから、労力、迅速さの面で生産現場の箇々の水田に適用するのは困難である。今後、望ましい窒素吸収パターンに基づき、従来の施肥法を高品質安定生産のための精密施肥法へと発展させるための残された課題としては、労力と時間を要する地力窒素発現量の調査法を簡便化し、水田毎の地力を的確に評価する方法の開発がある。明らかになった窒素吸収パターンの利用としては、水稻の窒素栄養状態を診断しながら、適宜、穂肥量の調整を行うことが挙げられる。その際には水稻の窒素吸収量を推定することが必要である。幼穂形成期以前において、水稻の草丈と茎数および葉色値の積と水稻窒素吸収量との間には正の相関があるものの、その関係は生育時期のずれや年次によってばらつくことが指摘されている(北田 1991, 末信ら 1994)。そこで、生育段階、気象等に影響されない窒素栄養診断法の確立を目的として、第3章では生育診断による水稻窒素吸収量推定法の改良について検討した。‘夢つくし’、‘つくしろまん’および‘ヒノヒカリ’の3品種を供試し、気象データとして有効積算温度と標準温度変換日数を用いて試行したところ、移植15日後から55日後の間の草丈、茎数および葉色値の積にこれらのパラメータを乗じることによって得られる積と水稻の窒素吸収量との間の相関係数が極めて高かった。このことから、従来の草丈、茎数および葉色値の積による推定と比較して、適用時期を拡大しかつ推定の精度を向上した改良法を確立できたと考えている。さらに、北部九州における

主力品種を供試したことで、品種の面でも適用範囲を拡大できたと考えられる。これらのパラメータを導入するに当たっては、基準温度や見かけの活性化エネルギーを設定する必要がある。当該3品種についてわずかにこれらの定数の最適値に差異が認められたものの、共通の値を設定しても実用上問題ないと判断された。しかし、熟期の異なる品種や作付地域の異なる品種ではさらなる検討の余地が残されている。北海道、東北、北陸地方等の他地域での本推定式の適用に当たっては、日照時間や日射光量等の違いによる影響が予想されることから、各地域での検証が必要である。

第4章では、水稻の肥料低投入型栽培での食味を中心とした品質および環境負荷軽減への効果について検討した。まず、食味のうち味に関連が深いとされる米粒中の遊離アミノ酸含量と窒素施肥との関係を明らかにした。建部ら(1994)は、窒素施用量に対して玄米中遊離アミノ酸含量は変動しないとしていたが、無窒素区において、総遊離アミノ酸含量が最も高く、他の処理区に対して有意な差があった。このことから、味に対する窒素施肥の影響は、無窒素の時のみ優れるが、一定量以上の窒素を施用すると、総遊離アミノ酸含量の差は小さくなり、味に寄与する程度には差がなくなると考えられる。グルタミン酸およびアスパラギン酸は、他の遊離アミノ酸に比べて組成比が高かったことや岡崎ら(1961)の同様の報告から考えて、味を左右する可能性が大きい。しかし、本論の中で取り扱った遊離アミノ酸含量は玄米についてのものであり、実際に食する場合には搗精により胚の部分は除去されてしまうこと、さらに炊飯の際に水への浸漬、加熱等の影響を受けることにより、玄米での含量評価が適切であるのかどうか不明な点もある。このため、白米及び炊飯米についても検討する必要がある。速効性肥料を配合せずに被覆尿素のみで慣行施肥量を大幅に削減した1回全量基肥栽培を行い、環境にも配慮した減化学肥料栽培の可能性について検討した。その結果、作況不良の異常年を除くと、50%窒素施肥量を削減した場合、4~18%程度の減収となったが、玄米中窒素含量は低く抑えられ、食味は向上する傾向にあった。なお、この場合、10a当たりの肥料代を1,000~2,000円削減できることになる。用いる被覆尿素の種類は、リニア型30日タイプとシグモイド型80日タイプを1:1で配合した場合が、リニア型100日タイプ単品よりもわずかに収量が上回る傾向にあったが、さらに他のタイプの被覆尿素の利用についても検討する余地が残されている。施肥窒素の全量を被覆尿素とすることで、代かき時から移植直前までの間、田面水の窒素濃度が、窒素を施用していない場合と同程度まで低く抑えられた。この田面水の窒素濃度の推移の比較から、仮に代かきから2日後に大雨で田面水が流亡した場合、窒素の流亡防止効果は減水深5 cmにつき、10 a当たり約0.5 kgと推定された。

第5章では、ハウレンソウ栽培における硝酸塩含量の低減化とこれにかかる品質への影響について検討した。収穫物中の硝酸塩集積に最も深く関与している追肥施用を控えることにより、硝酸イオン濃度は低く抑えられたが、それに伴い収量も低下した。追肥施用の判断のための土壤中硝酸態窒素含量指標値は、土壤中硝酸態窒素含量が 50 mg kg^{-1} と推定されたが、これは露地晩出し栽培において得られた結果である。作型が異なる場合や施設栽培の場合での適用に当たっては、別途検討する必要がある。窒素施肥を控えることにより、野菜による(硝酸態)窒素の過剰吸収に加えて、土壤中に残存した窒素の溶脱による地下水汚染を回避することが可能になると考えられる。特に、露地栽培の場合、施設と異なり降雨の影響を受けるため、環境負荷軽減効果の利得は大きいと考えられる。土壌診断に基づいて追肥を省略して収穫前に窒素切れで淡緑色となる場合、ハウレンソウの商品価値を損なうことになる。そこで、葉色の低下を補う技術としての尿素の葉面散布についての試験を実施し、その効果と硝酸イオン濃度への影響を検討した。濃度 0.5 および 1.0% として m^2 当たり 200 mL を施用したところ、硝酸イオン濃度を上昇させることなく、わずかであるが葉色値

を高めた。この施用条件は、窒素施用量にして $0.5 \sim 1 \text{ g m}^{-2}$ に相当する。葉面散布を実施するに当たっては散布液の量に十分留意する必要がある。すなわち、過剰に散布した場合、土面に落下し、尿素が速やかにアンモニア態窒素へと分解されたのちに硝酸化成を受け、根から吸収される可能性が高いためである。この対策として、展着剤の使用が想定されるが、葉菜類の場合、散布面を食することから毒性の面で展着剤の選択が難しい。茶の葉面散布に展着剤として利用が試みられたシュガーエステルが適用可能性のある資材として挙げられる。作型が異なる場合、特に気温が高くなり始める春出し栽培の場合、尿素の葉面散布は葉内での窒素濃度障害を起こしやすくなるため、詳細な散布方法の検討が必要である。窒素濃度障害は、葉中で尿素が分解されて産生するアンモニウムによるものか、吸収された尿素自身によるものかは明らかでないが、散布方法の改善としては、尿素的吸収速度を緩やかにするため、スクロースや硫酸マグネシウムを混用すること（武井 1987）、尿素濃度を低く抑えること等が想定できる。葉色低下の一方で窒素減肥による硝酸塩以外の内容成分への影響については明らかでないため、食味特に、甘味や旨味等の味に関与していると想定される糖と遊離アミノ酸の含量への窒素施肥による影響について検討した。窒素施用量が多いと遊離アミノ酸含量が高まり、逆に少ないと糖度が高まった。このことから、硝酸イオン濃度を低く抑えるために窒素施肥を控えて生産すると、葉色がやや淡くなる一方で、通常と比べて甘いハウレンソウとなり、販売戦略上の利得になると考えられた。

第6章では、培地に水苔を用いたファレノプシス生産において、施肥とかん水を兼ねて液肥をかん注するかん水同時施肥法での株の生育、品質両面から適切な液肥の窒素濃度を検討した。かん水同時施肥栽培においてポット全体に液肥を浸透させるためには、十分な量の液肥を供与する必要がある。しかし、培地に気相率の高い水苔を用いている本栽培においては、ポット下からの液肥の溶出量も多い。このため、液肥の適性窒素濃度を低めに設定することは、系外への窒素流出量を抑制するという視点から有効である。生育時期を問わず、液肥の窒素濃度を高めると花数は増加した。しかし、高濃度では、花茎の分枝の発生が認められ、株全体のバランスを乱し、品質面ではマイナスであった。このため、花茎の分枝が発生しないようやや窒素濃度を低めに抑えることが適すると考えられる。すなわち、高温抑制期間中は 100 mg L^{-1} 、花成誘導を開始してから6週程度は 25 mg L^{-1} 、花茎の発生が確認できた後は、 100 mg L^{-1} とするのが品質面で適切であると考えられた。

総 括

本研究の目的は、環境への負荷軽減を視野に入れた高品質農産物生産のための窒素施肥法の確立である。

第2章では、福岡県において育成された水稻品種‘つくし早生’、‘夢つくし’および‘つくしろまん’の3品種について、目標とする収量および窒素含量に応じて目標となる窒素吸収量を検討することにより窒素吸収特性について明らかにした。‘つくし早生’では、窒素吸収量が幼穂形成期までに $7\sim 8\text{ g m}^{-2}$ 、穂揃期まで $9\sim 10\text{ g m}^{-2}$ 、成熟期まで $10\sim 11\text{ g m}^{-2}$ のときに収量 560 g m^{-2} となり、玄米中窒素含量も $12.9\sim 13.2\text{ g kg}^{-1}$ と目標値をほぼ達成できることが明らかとなった。‘夢つくし’の玄米中窒素含量の目標値 13.0 g kg^{-1} を達成するための窒素吸収量は、幼穂形成期までに 5 g m^{-2} 、穂揃期まで 8 g m^{-2} 、成熟期までに $9\sim 10\text{ g m}^{-2}$ で収量は 500 g m^{-2} であった。‘つくしろまん’の窒素吸収量は、幼穂形成期までに $7\sim 8\text{ g m}^{-2}$ 、穂揃期まで $10\sim 11\text{ g m}^{-2}$ 、成熟期まで $10\sim 11\text{ g m}^{-2}$ のときに収量 560 g m^{-2} となった。つくしろまんの食味水準は非常に高く、このときの玄米中窒素含量は $11.5\sim 11.8\text{ g kg}^{-1}$ と低い水準であった。このように明らかにした窒素吸収パターンの利用場面の一つとして、水稻の窒素栄養状態を診断しながら、適宜、穂肥量の調整を行うことが挙げられる。その際には、その時点での水稻の窒素吸収量を推定することが必要である。そこで、第3章では、生育診断による水稻窒素吸収量推定法の改良について検討した。‘夢つくし’、‘つくしろまん’および‘ヒノヒカリ’の3品種を供試し、気象データとして有効積算温度と標準温度変換日数を用いて試行したところ、移植15日後から55日後の間の草丈、茎数および葉色値の積にこれらのパラメータを乗じることによって得られる積と窒素吸収量との間の相関係数が非常に高かった。このことから、従来の草丈、茎数および葉色の積による推定と比較して、適用時期を拡大しかつ推定精度を向上することができた。さらに、北部九州における主力品種を供試したことで、品種の面でも適用範囲を拡大できたと考えられた。これらのパラメータを導入するに当たっては、基準温度や見かけの活性化エネルギーを設定する必要があるが、当該3品種について共通の値、基準温度 $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、見かけの活性化エネルギー $75,000\text{ J mol}^{-1}$ を適用しても実用上問題ないと判断された。

第4章では、水稻の肥料低投入型栽培での食味を中心とした品質および環境負荷軽減への効果について検討した。まず、食味のうち味に関連が深いとされる米粒中の遊離アミノ酸含量と窒素施肥との関係を明らかにした。建部ら(1994)は、窒素施用量に対して玄米中遊離アミノ酸含量は変動しないとしているが、無窒素区において、総遊離アミノ酸含量が最も高かった。加えて、グルタミン酸およびアスパラギン酸は、他の遊離アミノ酸に比べて組成比が高かった。続いて、速効性肥料を配合せずに被覆尿素のみで慣行施肥量を大幅に削減した1回全量基肥栽培を行い、環境にも配慮した減化学肥料栽培の可能性について検討した。その結果、作況不良の異常年を除くと、50%窒素施肥量を削減した場合、4~18%程度の減収となった一方で、玄米中窒素含量は低く抑えられ、食味は向上する傾向にあった。用いる被覆尿素の種類は、リニア型30日タイプとシグモイド型80日タイプを1:1で配合した場合が、リニア型100日タイプ単品よりもわずかに収量が上回る傾向にあった。施肥窒素の全量を被覆尿素とすることで、代かき時から移植直前までの間、田面水の窒素濃度が、窒素を施用していない場合と同程度まで低く抑えられた。

第5章では、ハウレンソウ栽培における硝酸塩含量の低減化とこれにかかる品質への影響について検討した。収穫物中の硝酸塩集積に最も深く関与している追肥施用を控えることで、硝酸イオン

濃度は低く抑えられたが、それに伴い収量も低下した。追肥施用の判断のための土壤中硝酸態窒素含量指標値は、土壤中硝酸態窒素含量が 50 mg kg^{-1} と推定された。土壌診断に基づいて追肥を省略して収穫前に窒素切れで淡色化を起こした場合、商品価値を損なうことになる。そこで、この葉色の低下を補う技術としての尿素有葉面散布について試験を実施し、葉色維持効果と硝酸イオン濃度への影響を検討した。尿素 0.5 および 1.0 % 溶液を m^2 当たり 200 mL 施用したところ、硝酸イオン濃度を上昇させることなく、わずかであるが葉色値を高めた。葉色低下の一方で窒素減肥による硝酸塩以外の内容成分への影響については明らかでないため、食味特に、甘味や旨味等の味に関与していると想定される糖と遊離アミノ酸の含量への窒素施肥による影響について検討した。窒素施用量が多いと遊離アミノ酸含量が高まり、逆に少ないと糖度が高まった。

第 6 章では、培地に水苔を用いたファレノプシス生産において、施肥とかん水を兼ねて液肥をかん注するかん水同時施肥法での株の生育、品質両面から適切な液肥の窒素濃度を検討した。生育時期を問わず、液肥の窒素濃度を高めると花数は増加した。しかし、高濃度では、花茎の分枝の発生が認められ、株全体のバランスを乱し、品質面ではマイナスであった。このため、花茎の分枝を発生させないようにやや窒素濃度を低めに抑える必要があると考えられた。すなわち、高温抑制期間中は 100 mg L^{-1} 、花成誘導を開始してから 6 週程度は 25 mg L^{-1} 、花茎の発生が確認できた後は、 100 mg L^{-1} とするのが品質面では適する。

引用文献

- Antherton, D. and Hugli, T. E. 1988. Techniques in protein chemistry. p273. Academic Press. New York.
- Conn, E. E., Stumpf, P. K., Bruening, G. and Doi, R. H. 1988. アミノ酸の生合成. 生化学 第5版. p467. 東京化学同人. 東京.
- 土壤養分測定法委員会編 1970. 土壤養分分析法. p197-200. 養賢堂. 東京.
- 江幡守衛 1990a. 有効積算温度とイネの消長. 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.
- 江幡守衛 1990b. 有効積算温度とイネの消長. 第2報 イネの出穂・開花および登熟における有効積算温度. 日作紀 59:233-238.
- 遠藤宗男・杉義人 1992. 養液栽培ファレノプシスの1年間の生育及び養分吸収の推移. 園学雑 61 (別2) :532-533.
- Greenwood, D. J. 1990. Production or productivity: The nitrate problem? Ann. Appl. Biol. 117:209-231.
- 浜地勇次・今林惣一郎・大里久美・西山壽・吉野稔・川村富輝・松江勇次 1998. 水稻新品種 'つくし早生' の育成. 福岡農総試研報 17:1-8.
- 浜地勇次・大里久美・川村富輝・今林惣一郎・西山壽・和田卓也・吉野稔・安長知子 2003. 水稻新品種 'つくしろまん' の育成. 福岡農総試研報 22:11-18.
- 樋口春三・酒井広蔵 1978. 山上げ栽培によるファレノプシスの開花促進について. 愛知農総試研報 B10:42-45.
- Hirose N., Hayakawa T. and Yamaya T. 1997. Inducible accumulation of mRNA for NADH-dependent Glutamate Synthase in rice roots in response to ammonium ions. Plant Cell Physiol. 38:1295-1297.
- 本庄一雄 1971. 米のタンパク含量に関する研究. 第2報 施肥条件のちがいが玄米のタンパク質含有率およびタンパク質総量に及ぼす影響. 日作紀 40:190-196.
- 市橋正一・杉本宏子 1997. ファレノプシスの栽培法に関する研究 (第5報) 窒素施用の生育・花茎発生への影響. 園学雑 66 (別2) :510-511.
- 今林惣一郎・浜地勇次・古野久美・西山壽・松江勇次・吉野稔・吉田智彦 1995. 水稻新品種 '夢つくし' の育成. 福岡農総試研報 14:1-10.
- 稲津脩 1985. 北海道産米の食味特性. 土肥誌 56:446-448.
- 稲津脩 1990. 良食味米の理化学的特性と栽培. 日作紀 59:611-615.
- 石間紀夫・平宏和・平春枝・御子柴穆・吉川誠次 1974. 米の食味に及ぼす窒素施肥および精米中のタンパク質含有率の影響. 食総研報 29:9-15.
- 井上恵子・山本富三・末信真二 1994. 水稻「ヒノヒカリ」に対する被覆尿素肥料の施用法. 福岡農総試研報 A-13:17-22.
- 伊藤信 1981. 水質汚濁と水田の水浄化機能. 農及園 56:1105-1110.
- 伊藤敏一・川口連 1980. 水稻の品質, 食味の向上に関する研究. 第2報 好評米地帯の米の品質, 食味について. 三重農技研報 8:1-6.

- 岩渕哲也・田中浩平・尾形武文・浜地勇次 2000. 水稻品種‘つくし早生’の食味向上のための栽培法. 第1報 食味からみた最適籾数, 収量及び食味向上のための穂肥施用法. 福岡農総試研報 19:17-20.
- 岩渕哲也・尾形武文・浜地勇次 2001. 京築地域における水稻良食味品種の食味からみた目標タンパク質含有率. 日作九支報 67:4-5.
- 亀野貞・木下隆雄・楠原操・野口正樹 1990. ホウレンソウの栽培条件及び品種と品質関連成分の変動. 中国農研報 6:157-178.
- 神田英司・鳥越洋一・小林隆 2000. 水稻における葉の形成過程を考慮した主稈葉齢予測モデル. 日作紀 69:540-546.
- 北田敬宇 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.
- 金野隆光・杉原進 1986. 土壌生物活性への温度の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.
- 許斐健治・中嶋靖之・伊東嘉明 1984. 野菜に対する有機質肥料の施用効果. 第1報 有機質肥料の窒素無機化パターン. 福岡農総試研報 B4:63-66.
- 窪田聡・米田和夫 1990a. 水苔植えたファレノプシス栽培における施肥濃度と灌水回数が鉢内の養分含有量に及ぼす影響. 日大農獣医学部研報 47:75-80.
- 窪田聡・米田和夫 1990b. ファレノプシスの生育並びに養分吸収に及ぼす温度と施肥の影響. 園学雑 59 (別1) :554-555.
- 窪田聡・米田和夫 1993. ファレノプシスの花成誘導前の光強度が花成誘導時の温度感応性におよぼす影響. 園学雑 62:595-600.
- 窪田聡・米田和夫 1994. コチョウランの生育・開花におよぼす窒素施用時期の影響. 熱帯農業 38:73-77.
- 熊谷勝巳・中西政則・原田康信 1991. 非破壊手法による水稻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.
- 栗原堅三 1990. 味覚・嗅覚. p48. 化学同人. 東京.
- 松江勇次・水田一枝・古野久美・吉田智彦 1991. 北部九州産米の食味に関する研究. 第1報 移植時期・倒伏の時期が米の食味および理化学的特性に及ぼす影響. 日作紀 60:490-496.
- 松江勇次・小田原孝治・比良松道一 1996a. 北部九州産米の食味に関する研究. 第7報 食味の産地間差とその要因. 日作紀 65:245-252.
- 松江勇次・尾形武文・大隈充子・松尾太・住吉強 1996b. 水稻の新しい準奨励品種‘ほほえみ’の福岡県における適応性. 福岡農総試研報 15:11-14.
- 松崎昭夫 1975. 水稻の葉令指数 90 までの窒素吸収量が外部形態・倒伏および収量構成要素に及ぼす影響. 日作紀 44:458-464.
- 松崎昭夫・刈屋国男・町田寛康・角田公正 1980. 水稻の生育調節と栄養診断に関する研究. 第1報 色票による葉色診断と単位面積当り穎花数の推定. 日作紀 49:439-444.
- 松崎昭夫・高野哲夫・坂本晴一・久保山勉 1992. 食味と穀粒成分および炊飯米のアミノ酸との関係. 日作紀 61:561-567.
- 深山政治・勝木田博人・斉藤研二 1984a. 葉色票による水稻の生育診断. 農及園 59: 775-781.
- 深山政治・岡部達雄 1984b. 水稻の品種特性と最適窒素保有量. 土肥誌 55:1-8.

- 水田一枝・角重和浩・平野稔彦 2001. 福岡県における農業用水の水質とその経年変化. 日作紀 70:255-260.
- 日本分析化学会北海道支部編 1994. 水の分析 (第4版). p266-269. 化学同人. 東京.
- 農経企画情報センター編 2002. 特別栽培農産物 “認証” 問題. Think&SAY・新感性・46:2-3.
- 尾形武文・住吉強・松江勇次・浜地勇次 1995. 水稻新品種 ‘夢つくし’ の食味及び理化学的特性. 福岡農総試研報 14:11-13.
- 小川吉雄・酒井一 1985. 水田における窒素浄化機能の解明. 土肥誌 56:1-9.
- 岡崎正一・沖佳子 1961. 精白米中の遊離アミノ酸について. 農化 35:194-199.
- 小元敬男・青野靖之 1989. 速度論的手法によるソメイヨシノの開花日の推定. 農業気象 45:25-31.
- 榊原均・杉山達夫 1997. 窒素栄養の分子生物学的アプローチ 無機窒素の代謝と光合成. 土肥誌 68:75-80.
- 柴原藤善・武久邦彦・長谷川清善 2000. 水稻窒素吸収量の簡易予測モデルと施肥診断システムの開発. 土肥誌 71:898-902.
- 柴原藤善・辻藤吾・西村誠 1991. 被覆尿素肥料利用による水稻の施肥効率向上と肥料成分の流出軽減. 滋賀農試研報 33:17-29.
- 潮田常三 1953. 肥料の葉面吸収. 農及園 27:861-866.
- Shoji, S., Gandeza, A.T. and Kimura, K. 1991. Simulation of crop response to polyolefin-coated urea: II. Nitrogen uptake by corn. Soil. Sci. Soc. Am. J. 55: 1468-1473.
- Shoji, S., Gandeza, A.T. and Yamada, I. 1991. Simulation of crop response to polyolefin-coated urea: I. Field dissolution. Soil. Sci. Soc. Am. J. 55:1462-1467.
- Sohar, J. and Domoki, J. 1980. Nitrite and nitrate in human nutrition. Bibithca Nutr. Dieta 29:65-74.
- 孫尚穆・米山忠克 1996. 野菜の硝酸:作物体の硝酸の生理,集積,人の摂取. 農及園 71:1179-1182.
- 須藤憲一・篠田浩一・伊藤秀和・臼井富太 1991. ファレノプシスの生育に及ぼす灌水施肥法の影響. 園学雑 60 (別1):524-525.
- 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・葉色からの水稻窒素吸収量の推定. 福岡農総試研報 A13:5-8.
- 菅原友太 1952. 肥料養分の葉面散布. 農及園 26:935-940.
- 杉原進・金野隆光・石井和夫 1986. 土壌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.
- 平宏和・平春枝・松崎昭夫・松島省三 1974. 水稻玄米の化学成分組成におよぼす窒素施肥の影響. 日作紀 43:144-150.
- 高野圭三・野津幹雄 1961. 米の遊離アミノ酸の種類. 日作紀 29:216-218.
- 建部雅子・石原俊幸・松野宏治・藤本順子・米山忠克 1995. 窒素施用がハウレンソウとコマツナの生育と糖, アスコルビン酸, 硝酸, シュウ酸含有率に与える影響. 土肥誌 66:238-246.
- 建部雅子・宮田邦夫・金村徳夫・米山忠克 1994. 登熟にともなう玄米の糖・アミノ酸含有率の推移および窒素栄養条件の影響. 土肥誌 65:503-513.
- 武田敏明 1986. 福島県における水稻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.
- 武井昭夫 1987. 葉からの養分吸収. 農業技術体系土壌施肥編 2. p25-30. 農山漁村文化協会. 東

京.

- 竹生新治郎 1990. 食味評価の研究をふりかえって. 日作紀 59:600-605.
- 田守健夫・林征三 1981. 富山県における水稻葉色板利用の実態. 農及園 56:536-538.
- 田中浩平・角重和浩・山本富三 1994. ヒノヒカリの窒素栄養診断. 第3報 窒素吸収量と玄米窒素濃度・食味との関係. 福岡農総試研報 A13:9-12.
- 田中浩平・松江勇次・原田皓二 1998. 水稻品種‘ほほえみ’の出穂, 成熟期特性と高品質安定栽培のための最適初数. 福岡農総試研報 17:23-26.
- 田中豊秀・松野孝敏・舩田正治・五味清 1988. ファレノプシスの生長と化学組成に及ぼす培養液濃度と培養土の影響. 園学雑 57:78-81.
- 丹野文雄・武田敏昭・甲斐敬市郎 1982. 水稻の栄養診断と予測技術に関する研究. 第4報 葉色による栄養診断手法の検討. 福島農試研報 21:61-72.
- 寺田優 1993. 北陸地域における水稻の生育診断・予測技術開発研究の現状. 日作紀 62:641-646.
- 長南信雄 1971. 禾穀類の葉における同化組織に関する研究. 第7報 気温が小麦と水稻の葉肉構造におよぼす影響. 日作紀 40:425-430.
- 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. 宮城農セ報 49:69-77.
- 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2報 葉色値および葉鞘染色比による生産形質・収量構成要素の推定. 宮城農セ報 49:79-85.
- 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.
- 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稻の栄養診断法—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.
- 上野正夫・安藤豊・藤井弘志・佐藤俊夫 1988. 水稻の理想的な窒素吸収パターンと土壌窒素無機化量の関係. 土肥誌 59:316-319.
- 上島良純・本田孝志 1998a. ファレノプシスの花茎発生, 開花に関する研究 (第1報) 品種の花茎発生, 開花に及ぼす温度の影響. 和歌山農試研報 16:1-8.
- 上島良純・本田孝志 1998b. ファレノプシスの花茎発生, 開花に関する研究 (第2報) 花成における低温要求量について. 和歌山農試研報 16:9-14.
- 上島良純・本田孝志 1999. ファレノプシスの花茎発生, 開花に関する研究 (第3報) 株の生育ステージが花茎発生, 発育に及ぼす影響. 和歌山農林水技セ 1:29-36.
- 和田源七 1969. 水稻収量成立におよぼす窒素栄養の影響. 農技研報 A16:27-167.
- Watanabe A., Takagi, N., Hayashi, H., Chino, M. and Watanabe A. 1997. Internal Gln/Glu ratio as a potential regulatory parameter for the Expression of a cytosolic Glutamine Synthetase gene of radish in cultured cells. Plant Cell Physiol. 38:1000-1006.
- 八木忠之・西山壽・小八重雅裕・轟篤・日高秀光・黒木雄幸・吉田浩一・愛甲一郎・本部裕朗 1990. 水稻新品種“ヒノヒカリ”について. 宮崎総農試研報 25:1-30.
- 矢羽田二郎・大庭義材・桑原実 1995. 温度変換日数 (DTS) 法によるウンシュウミカンの満開期予測と精度. 福岡農総試研報 14:125-128.
- 八尋美希・都甲潔・飯山悟 1997. マルチチャンネル味覚センサを用いた米の味の識別. 電学論 E 117:187-194.

- 山本富三 1995. 暖地水田における地力窒素と水稻収量. 福岡農総試特別報告 8:1-63.
- 米田和夫 1985. 株齡と山上げ処理時期の違いがファレノプシスの開花及ぼす影響. 園学雑 54:101-108.
- 米田和夫・百瀬博文・窪田聡 1991. 未熟, 成熟ファレノプシス株の開花に及ぼす日長と温度の影響. 園学雑 60:651-657.
- 米沢茂人・酒匂正雄 1966. 有機肥料に関する研究(第1報)無機化について. 全購連農技センター報告 1:15-23.

謝 辞

本研究は 1996 年から 2004 年にかけて福岡県農業総合試験場土壌環境部施肥高度化チーム（旧生産環境研究所化学部作物栄養研究室，福岡県筑紫野市大字吉木）において作物に対する窒素施肥法確立に関する研究の一環として，高度化事業「野菜における硝酸塩蓄積機構の解明と低減化技術の開発」，県単独事業「良質米の窒素栄養診断技術の確立」，「水稻の環境保全型施肥技術の確立」，「ファレノプシスにおける仕上げ鉢定植後から開花時期までの施肥法の確立」にて実施したものである。

本論文の取りまとめにあたって，懇篤なるご指導とご助言を賜った九州大学大学院農学研究院教授，池田元輝博士に心から感謝し，厚くお礼を申し上げます。

本論文の取りまとめにあたって，懇切なご指導とご助言を賜った九州大学大学院農学研究院教授，江頭和彦博士，同助教授，山川武夫博士に衷心から感謝し，厚くお礼を申し上げます。

本研究の遂行にあたって，温情ある研究指導と有益な助言を賜った福岡県農業総合試験場土壌環境部前施肥高度化チーム長（現知的財産管理課長），山本富三博士に心から感謝の意を表する。

本研究とりまとめにあたって，特段の配慮をいただいた施肥高度化チーム長，渡邊敏朗氏に心から謝意を表する。

本論文取りまとめにあたって，終始有益な助言と激励を賜った福岡県農政部農業技術課専門指導員小田原孝治博士に深甚なる謝意を表する。

本研究遂行にあたって，労苦を共にし，協力を惜しまれなかった施肥高度化チーム主任技師満田幸恵氏に心から感謝申し上げます。

本研究遂行にあたって，協力を惜しまれなかった農産部長松江勇次博士，農産部栽培品質チーム長，田中浩平氏に厚くお礼申し上げます。

本研究の遂行にあたって，温情ある指導をいただいた元化学部長庄籠徹也氏，旧化学部元作物栄養研究室長（現筑後分場野菜チーム長），兼子明氏に心から感謝申し上げます。

本研究遂行にあたって，特に圃場管理において多大な労を煩わせた施肥高度化チーム（旧作物栄養研究室），元技師中山博之氏，技師（現農産部技師）仲山妙子氏，技師川波加代氏に衷心から感謝申し上げます。

本研究の遂行にあたって，特に調査，試料調製等でお手伝いいただいた，臨時職員，鬼木ひとみ氏，伊藤明子氏，菖蒲千恵子氏に心からお礼申し上げます。

本研究に関わった土壌環境部，農産部，筑後分場，豊前分場の職員ならびに臨時職員の方々に感謝の意を表する。

Summary

Nitrogen Fertilization for Increasing Crop Productivity with High Quality Products

by

Masato Araki

This study aims to establish a nitrogen (N) fertilization regimen for increasing the production of high quality crops with minimizing environmental pollution attributable to fertilizer N.

In chapter 2, the variential characteristics of N accumulation are examined in three varieties, 'Tsukushiwase', 'Yumetsukushi' and 'Tsukushiroman' that were bred at the Fukuoka Agricultural Research Center. The amount of accumulated N was determined to realize yield targets and the desirable N content in brown rice for each variety. In Tsukushiwase, the amounts of N necessary for obtaining a yield of 560 g m⁻² were 7~8 g m⁻², 9~10 g m⁻² and 10~11 g m⁻² at the panicle formation (PF) stage, full heading (FH) stage and harvest (H) stage, respectively. And the N content in brown rice was 12.9~13.2 g kg⁻¹ at the last stage. In Yumetsukushi, the amounts of N necessary for obtaining a yield of 500 g m⁻² and an N content of 13 g kg⁻¹ in brown rice were 5 g m⁻², 8 g m⁻² and 9~10 g m⁻² at the PF stage, FH stage and H stage. Similarly, in Tsukushiroman, the amounts of N necessary for obtaining a yield of 560 g m⁻² were 7~8 g m⁻², 10~11 g m⁻² and 10~11 g m⁻² at the PF stage, FH stage and H stage. Particularly, the N content of Tsukushiroman brown rice was 11.5~11.8 g kg⁻¹, and the score of palatability for this variety was at a very high level. The pattern of N accumulation obtained in this study is useful for determining topdressing for N at the PF stage based on the diagnosis of N nutrition in each variety. Then, it will be necessary to estimate the amount of accumulated N on the rice plant.

Therefore, in chapter 3, we discuss a way to improve the estimation accuracy of N accumulation by growth diagnosis. Research was carried out to increase the

applicability of the method using three main varieties in Northern Kyushu, and transplanting them at three different periods. As a trial, we adopted new parameters using the effective accumulative temperature and the number of days transformed at standard temperature (DTS). The results revealed that N accumulation on paddy rice from the 15th day to 55th day after transplanting correlated closely with the product of plant length, the number of stems per plant, the leaf color value and the effective accumulative temperature or DTS. Therefore, the above method is suggested to be an improved version of the current method because it is superior in length of the applicable period and precision. And we should note that the number of varieties applicable to the methods would be increased because of a favorable result of the experiments using the three main varieties in Northern Kyushu. Furthermore, it was learned that the values of the base temperature and apparent activation energy needed in using these parameters on those varieties could be uniformly applied at 12 °C and 75,000 J mol⁻¹.

In chapter 4, the effect of low fertilizing of paddy rice on palatability and environmental loading is examined. First, we made clear the relationship of N fertilizing with the content of free amino acids (F.A.A.) in brown rice, which is said to correlate with palatability. Takebe et al. (1994) suggested that N fertilizing wouldn't change the content of F.A.A. in brown rice. However, the results revealed that the total F.A.A. content of a non-N-fertilized plot was the highest. Also, the ratios of Glu and Asp to total F.A.A. on the plot were higher than those of any other plots. Next, we examined the applicability of low chemical fertilizing culture with a single basal application of coated urea without the use of readily available fertilizer to reduce environmental loading. The research showed that rice which had been given 50 % less N than the conventional fertilizing amount yielded 4 to 18 % less, while the palatability score tended to improve because of the lesser N content in brown rice. The yield from a combination of a linear 30-day type and a sigmoid 80-day type of N fertilizer, at a one to one ratio tended to be a little better than when only a linear 100-day type fertilization was administered. Furthermore,

it was confirmed that the risk level of the applied N flowing out of the paddy was reduced by the application of coated urea without applying readily available fertilizer, because the concentration of N in the paddy water remained at a remarkably low level from right after fertilizing to just before transplanting.

In chapter 5, a protocol for N fertilizing with a reduced nitrate content for spinach cultivation is suggested and its influence on other qualities of spinach is examined. The results revealed that eliminating the application of topdressing, related to the accumulation of nitrate in the vegetable, decreased the nitrate content and the yield as well. We suggested that soil with a nitrate-N content of about 50 mg kg⁻¹ would serve as an index to judge whether topdressing is necessary or not. If leaf chlorosis develops due to N deficiency attributable to cutting the topdressing, the quality of the vegetable would deteriorate. Therefore, the effect of a foliar spray of urea on chlorosis and the content of nitrate in the vegetable were examined. The results revealed that a spraying of 200 mL per a square meter of 0.5 % and 1.0 % urea increased the score of the leaf color to some extent, without increasing the nitrate content. As the influence of low N fertilizing on other components of the vegetable is unknown in detail, the influence of the contents of saccharides and F.A.A. on taste was examined. We found that low N fertilizing increased the content of sucrose, while it decreased the content of F.A.A.

In chapter 6, we examined a suitable N concentration of liquid fertilizer from growth to flowering quality for fertigation of a *Phalaenopsis* culture with sphagnum moss as a medium. It was found that liquid fertilizer with high N concentration in every stage of growth helped increase the number of florets. However, high N concentration disarranged the balance of the plant with emergence of branches on the peduncles. Therefore, it was considered that the N concentration of liquid fertilizer should be kept rather low to prevent branches from emerging on the peduncles. The finding suggests that the N concentration in this case should be kept at 100 mg L⁻¹ in the period of raising seedling, 25 mg L⁻¹ for six weeks after beginning of induction on flowering formation, 100 mg L⁻¹ after peduncles emerge.

福岡県農業総合試験場特別報告
第23号

作物の品質向上と生産性安定のための
窒素施肥

発行 平成18年3月
福岡県農業総合試験場
(福岡県筑紫野市吉木)

著者 荒木 雅 登

印刷所 株式会社ジェイ・ビー