

福岡県農業総合試験場特別報告

第8号

暖地水田における地力窒素 と水稲の収量

平成7年1月

福岡県農業総合試験場

(福岡県筑紫野市吉木)

SPECIAL BULLETIN
OF
THE FUKUOKA AGRICULTURAL RESEARCH CENTER

NO.8

**Relationship between Nitrogen Released from
Paddy Soils in Warm Regions and Yield of
Rice Plants**

The Fukuoka Agricultural Research Center

Chikushino, Fukuoka 818, Japan

January 1995

暖地水田における地力窒素
と水稻の収量*

山 本 富 三

1 9 9 5

*九州大学審査学位論文

序

水稻が吸収する窒素のうち地力窒素の占める割合は施肥由来の窒素より多く、地力窒素の多少は土壌生産力を決定づける要因となっている。したがって、稲作期間中に発現する地力窒素の量を時期ごとに明らかにし、その量に応じて施肥量を決定することが極めて合理的である。しかし、今まで水稻に対する施肥では、地力窒素への考慮が十分ではなく、地力窒素に対応した施肥量算定の基準はなかった。また、近年暖地においては良食味品種の作付拡大が図られているが、最近の著しい気象変動や土壌管理の粗放化に伴う水田肥沃度の変動に対して、適正な肥培管理を行うことができず、収量や品質の不安定さが顕在化しつつある。現行の良食味品種は耐倒伏性が十分でなく、窒素過多による悪影響を受けやすいことなどから、水稻の安定生産や品質向上を図るには生育期間を通して過不足なく窒素が供給されることが栽培上の要点の一つとなっている。

本研究は、地力窒素の量に応じた施肥量の適正化を図るため、水田土壌の地力窒素発現パターンや水稻の窒素吸収特性について詳細に解析を行ったものである。その結果、稲体の最適な窒素栄養と稲作期間中に水田土壌から供給される地力窒素の量に応じた適正な施肥量の算定法について明らかにすることができたので、ここに特別報告として公表することとした。今までは、地力窒素発現量や水稻の地力窒素吸収量を正確に推定することができなかつたため、地力窒素への対応が不十分であったが、本研究により暖地水稻の施肥量の適正化が図られ、収量の高位安定と品質・食味の向上が期待できるとともに、水田土壌の地力維持を図るための資料として、さらには環境保全型の肥培管理技術として活用できる。

なお、本報告は1984年から1990年にかけて、主に福岡県農業総合試験場経営環境研究所化学部普通作物肥料研究室（現生産環境研究所化学部作物栄養研究室）において実施された地域重要新技術開発促進事業「暖地水田における土壌窒素発現特性と施肥技術」及び県単独試験「水稻栄養診断のための土壌窒素養分の経年変化」などの一連の研究を取りまとめたものである。

本論文の遂行及び取りまとめにあたって、指導と助言を賜った九州大学農学部教授縣 和一博士、同教授石塚潤爾博士ならびに同助教授吉田智彦博士に厚くお礼を申し上げますとともに、福岡県農業総合試験場生産環境研究所化学部及び同農産研究所栽培部職員の方々の協力により成果を上げることができたことを付記し、各位に対し深甚なる感謝の意を表する。

平成7年1月

福岡県農業総合試験場長

平川 一郎

目 次

第1章 緒 論	1
第2章 水田土壌の地力窒素発現量の推定	3
1. 窒素無機化特性値の算出	3
2. 地力窒素発現量推定法の確立	7
3. 地力窒素発現量の簡易推定法	9
4. 摘 要	10
第3章 暖地水田の地力窒素発現パターンと水稻の窒素吸収及び生育・収量との関係	11
1. 地域、土壌の種類別の地力窒素発現パターン	11
2. 水田土壌の窒素無機化特性値と稲作期間中の地力窒素発現量との関係	13
3. 地力窒素発現量と水稻による地力窒素吸収量との関係	15
4. 地力窒素吸収量の相違が水稻の生育、収量に及ぼす影響	19
5. 摘 要	20
第4章 稲体の窒素栄養と地力窒素発現量に基づく生育診断法	22
1. 水稻による施肥窒素及び地力窒素吸収の時期別推移	22
2. 水稻窒素吸収量とニシホマレの生育、収量との関係	28
3. 水稻ヒノヒカリの最適窒素吸収パターンの策定	31
4. 稲体の窒素栄養に基づく生育診断	34
5. 摘 要	35
第5章 地力窒素発現量に応じた施肥の診断法	38
1. 暖地水稻の収量性向上のための施肥改善試験	38
2. 水田土壌の地力窒素発現量と施肥量との関係	40
3. 稲体の最適窒素栄養に基づく良食味品種の施肥の診断	44
4. 摘 要	47
第6章 水田土壌の地力窒素供給力の評価とランク付け	48
1. 地力窒素吸収量による水田土壌のランク付け	48
2. 福岡県内水田土壌の地力窒素発現量の評価	52
3. 摘 要	54
第7章 総 合 考 察	55
第8章 総 合 摘 要	56
引 用 文 献	58

第1章 緒 論

水稻が吸収する窒素は施肥に由来する窒素と土壌中の有機物から供給される地力窒素とに大別される。稲作期間中における水稻による両者の吸収の推移についてみると、基肥窒素の吸収は分けつ期を頂点として急激に低下し、追肥窒素の吸収も短期間に終るのに対し、地力窒素の吸収は生育全期間にわたって緩やかに継続的に行われる（鬼鞍ら1975）。また、化学肥料により一度に施肥できる量は、品種、気象、土壌条件などの制約により一定の限界があり、水稻による吸収率も限られていることなどから、施肥窒素のみでは水稻の理想的な生育を実現することはできず、両者をバランスよく吸収することが必要である。通常、水稻が吸収する窒素のうち地力窒素の占める割合は6～7割に達し、施肥に由来する窒素よりも多いとされており（小山1975）、地力窒素の多少は土壌生産力を決定づける重要な要因になっている。

ところで、暖地においては良食味品種の作付拡大が図られる中で、近年の著しい気象変動や土壌管理の粗放化に伴う水田肥沃度の変動に対して、適正な肥培管理を行うことができず、収量や品質の不安定さが顕在化しつつある。中でも、水稻の安定生産や品質向上を図るためには、生育期間を通して過不足なく窒素が供給されることが栽培上の要点の一つを占めており、とくに現行の良食味米は耐倒伏性が十分でないことなどから、水田土壌から供給される地力窒素の量を正確に診断し、それに基づいた適正な施肥技術を確立することが緊急な課題となっている。

水田の窒素に関する研究についてみると、水田土壌中の窒素の動態については重窒素を用いた追跡法（三井ら1950）の導入により、施肥窒素の水稻による吸収率、土壌中での行動、吸収窒素の体内配分等が明らかにされている（西垣ら1960a、西垣ら1960b、渋谷・小山1966、和田ら1971a、庄子ら1971、和田ら1971b、勝見1972、和田ら1973、高橋ら1973、田口ら1974、高橋ら1976、吉野・出井1978、前田1983）。また、施肥窒素のうち有機化により土壌に残留する窒素量（庄子ら1971、Koyama et al. 1977、Patrick and Ready1977、吉野・出井1978、前田1983）や有機化された窒素の再無機化過程の追跡（浅見1971、Ahmad et al.1973、Yoshida and Padre1975、Koyama et al. 1977、吉野・出井1978）、さらには脱窒（Koyama et al.1977、Patrick and Ready1977、小菅・飯村1972、吉野・出井1978、小菅1979）、溶脱（小西・山崎1955）等による水田土壌からの窒素の消失量についての解析も実施された。水田に施用した各種有機物資材中の窒素の動向については、ガラス繊維濾紙による測定法（前田・鬼鞍1977）により、有機物からの窒素の放出や土壌中への集積の過程が明らかにされている（前田・志賀1978、志賀1984）。

水田の地力窒素についても、塩入・青峰（1939、1940）、塩入ら（1941）により土壌の乾燥によりアンモニア生成量が著しく多くなり、水稻の生育に影響を及ぼすこと（乾土効果）が明らかにされて以来、過去に多くの研究が積み重ねられ、地力窒素の発現を促進する作用として、温度上昇効果、土壌反応効果、腐植解膠効果、機械的処理効果、代かき効果及び根系効果などが解明（原田 1959、原田ら1964、林・原田1964、林1965、坂上・松原1967）された。それとともに、地力窒素の給源となる土壌窒素の形態についても解析（原田1959、林1965）が行われ、甲斐らは土壌を酸で加水分解して化学形態別に分けると、土壌窒素の約40～50%はタンパク態窒素、5～10%がアミノ糖態窒素であり、土壌窒素の無機化は主にこれらの化合物に由来しており、また地力窒素の給源となる土壌有機態窒素について、微生物菌体とその細胞壁物質の寄与が大きいことを示している（Kai et al. 1973、Ahmad et al. 1973、甲斐ら1976）。地力窒素の診断・測定法としては、塩入（1943）や青峰（1949）により乾土効果の測定が提案され、それとともに温度上昇効果についても併用して測定されるようになり、現在まで乾土効果や温度上昇効果は水田土壌の有効態窒素の指標として、また土壌有機物研究の一手法として発展してきた（土壌養分分析法 1970）。そして、近年和田ら（1981、1982）や犬伏ら（1985）により風乾土アンモニア化成量（乾土効果）と全窒素含量やクロロフィル様物質との関係が明らかにされ、アンモニア化成量のもつ意義について、湿潤土と風乾土の窒素無機化過程における比較検討がなされている。水田土壌における地力窒素の変動についても、湛水期間中に作土表層で風乾土アンモニア化成量が増加し、水田土壌は肥沃化することが明らかにされ（弘法・上原1943、山根・細川1956）、風乾土及び湿潤土アンモニア化成量の季節変動に規則性のあることが報告（鳥山・飯村1987）された。

しかし、地力窒素に関してはこれら基礎的な研究が大部分を占めるのに対し、実際の圃場において水稻生育期間中の地力窒素の発現量や水稻への供給量を時期ごとに明らかにし、それに基づいて水稻の生育診断や施肥技術

へ適用した事例はなかった。また、現実に水田土壌の地力診断や水稻施肥の場面を考えてみても、地力窒素に対する考慮が十分とは言えず、地力窒素の評価基準が明確に設定されているわけではなく、地力窒素の発現量に応じた施肥量の算定基準はみられなかった。このことは、水田土壌全般の地力窒素発現量や水稻による地力窒素の吸収量を時期別に正確に把握することが困難であったためと考えられる。ところが、近年吉野・出井（1977）は地力窒素の発現は気象条件とくに地温の変動に大きく左右されることから、有効積算温度による地力窒素発現量の推定法を提唱し、さらに杉原ら（1986）や金野・杉原（1986）は畑状態でピーカー培養して得られた土壌窒素の無機化を速度論的方法により解析し、現地圃場における土壌窒素無機化量の推定を行っている。そこで、著者ら（1986a、1986b）は杉原らの開発した速度論的方法の水田土壌への適用性を検討し、水田土壌の窒素無機化について速度論的方法が適用できることを明らかにした。また、最近コンピュータの普及により実用化の可能性が高まったことから、稲作期間中の地力窒素発現量の時期別変遷を正確に推定し、それに基づいた適正な暖地水稻の施肥技術の確立に向けて、取り組みを開始した。

速度論的方法による水田土壌の地力窒素発現量の解析は、東北、北陸地域でも実施され（安藤・庄子1986、上野ら1988、安藤ら1989、藤井ら1989、安藤ら1990、北田1990b、上野ら1990）、上野ら（1990）や北田（1990a）、北田ら（1991）は一定の収量水準を得るための窒素吸収パターンを地域や土壌の種類別に明らかにし、これら理想的な窒素吸収パターンと地力窒素発現量とに基づいて施肥窒素量の判定を行う施肥診断システムについて提案している。しかし、西南暖地において、地力窒素発現量や水稻による地力窒素吸収量の時期別推移を解明し、それらと施肥量との関係について詳細に検討した事例は見当たらず、また水田土壌の窒素無機化を特徴づける指標であり、地力窒素発現量推定の基となる窒素無機化特性値については、今まで十分な解析がなされていない。

そのため、著者は福岡県内の代表的な水田土壌を対象に、室内培養実験により土壌窒素無機化特性について検討し、土壌の種類や肥沃度と無機化特性値との関係について解明するとともに、地力窒素発現が水稻の窒素吸収や生育、収量に及ぼす影響と一定の収量水準や品質を維持するために必要な暖地水稻の窒素吸収パターンについて検討し、稲作期間中における地力窒素発現量と各生育時期ごとの稲体の窒素栄養状態に基づいた適正な生育制御技術について明らかにすることができた。

本研究は1984年から1990年にかけて、地域重要新技術開発促進事業「暖地水田における土壌窒素発現特性と施肥技術」及び県単独試験「水稻栄養診断のための土壌窒素養分の経年変化」などの一連の研究として、主に福岡県農業総合試験場経営環境研究所化学部普通作物肥料研究室（現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）において行ったものである。また、本研究の大半は日本土壌肥料学会（山本・久保田1986a、山本ら1986b）、日本作物学会（山本ら1992、1993、1994）、九州農業研究（山本ら1988、1989、1990、1991、兼子・山本1991、渡邊ら1991、角重ら1992a、1992b、1993a、1993b）及び福岡農総試研究報告（角重ら1993c、末信ら1994）に発表してきたが、それらと未発表の成績も含めてここに体系的に大要をまとめて報告する次第である。

本論文の取りまとめにあたり、終始懇篤なる指導と激励を賜った九州大学農学部助教授吉田智彦博士に衷心から感謝の意を表す。また、本論文の作成にあたって、懇切な指導と校閲を賜った九州大学農学部教授縣 和一博士ならびに農学部教授石塚潤爾博士に衷心から感謝し、厚くお礼を申し上げる。

本研究の端緒は元福岡県農業総合試験場経営環境研究所化学部普通作物肥料研究室長久保田忠一氏から賜った。研究を着手するにあたっては、農林水産省農業研究センター土壌肥料部長金野隆光博士（現新潟大学農学部）及び農業環境技術研究所研究交流科長杉原 進氏に温情ある指導と貴重な助言をいただいた。また、研究の遂行にあたっては、福岡県農業総合試験場農産研究所長神屋勇雄氏、生産環境研究所化学部作物栄養研究室長兼子明氏、同研究室の井上恵子氏、角重和浩氏（現福岡県農政部農政課）、末信真二氏、農産研究所作物栽培研究室田中浩平氏、園芸研究所野菜花き部施設機械研究室長真鍋尚義氏、鉦害試験地渡邊敏朗氏に多大の協力と援助をいただいた。ここに各位に対し深甚なる感謝の意を表す。

第2章 水田土壌の地力窒素発現量の推定

地力窒素の発現量に応じた適正な水稻の生育制御技術を確立するためには、まず暖地水田における水稻生育期間中の地力窒素発現量の時期別推移について明らかにしておく必要がある。そのため、福岡県内の代表的な水田土壌を対象に室内定温培養実験により水田土壌の窒素無機化特性について解析し、それを基に水稻生育期間中の地力窒素発現量の推定法を確立した。

1 窒素無機化特性値の算出

地力窒素は、土壌有機物中の窒素が微生物の作用により分解無機化され、アンモニアの形で生成する。そこで、福岡県内の代表的な水田土壌を対象に室内定温培養実験を実施し、速度論的方法（杉原ら1986）により解析し、水田土壌の窒素無機化特性について明らかにした。

なお、速度論的方法による水田土壌の窒素無機化特性の解析は、本研究のほか、東北地域では安藤・庄子（1986）、安藤ら（1989、1990）、上野ら（1988、1990）、藤井ら（1989）により、北陸地域では北田（1990b）が実施しており、東北地域では主に圃場埋設法により無機化特性値を求めている。しかし、圃場埋設法は自然条件下での温度変化に対する対応が可能であるが、測定バラツキが大きいこと、加えて正確な無機化特性値を得るには温度別の定温培養実験による詳細な解析を要することから、土壌の種類や土壌肥沃度の相違により無機化特性値がどのくらい変わるのかという点について、今まで十分な解析がなされていない。そのため、温度別の長期培養実験により無機化特性値を求め、土壌間での相違や地力窒素発現量との関係について検討した。

試 験 方 法

毎年6月中～下旬に、福岡県内各地域の水田から代かき前の作土を採取し、未風乾のまま湛水静置の条件下でインキュベート実験を行った。供試水田土壌の採取地及び土壌の性質を第1表に示す。福岡県農業総合試験場（以下、福岡農総試とする）本場及び筑後分場内の水田については、有機物の施用履歴や耕起深度など地力増強程度が異なり、肥沃度に違いがみられる水田圃場の作土を採取した。インキュベート方法は、吉野・出井（1977）の湿潤土湛水静置の方法を参考に行った。内径2.5cm、高さ12cmのインキュベート管に乾土で15～20g相当の湿潤土を入れ、水を25～30ml程度加え、ゴム栓で密閉状態とし、定温室に静置した。このときの土層の厚さは5～6cm、水深は3～4.5cmであった。温度は20、25、30℃を設定し、経時的に定温室より取り出し、10%塩化カリウム溶液で振盪後水蒸気蒸留法により、土壌窒素の無機化によって生成したアンモニア態窒素量を測定した。培養期間は200日以上とした。

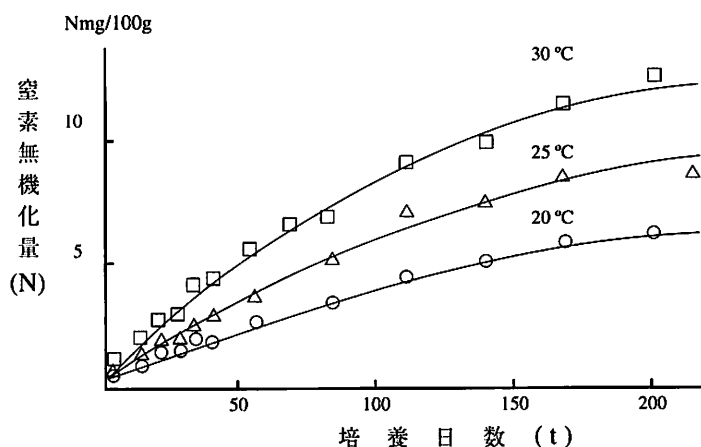
結 果 及 び 考 察

県内各地域の水田作土を用いて、温度別のインキュベート実験を行った結果、窒素無機化量 N (mg/100g)と培養日数 t (日)との関係は、いずれの土壌も窒素無機化モデル式： $N=N_0(1-e^{-kt})+B$ によく適合し（第1図）、速度論的方法が適用できることが明らかになった。また、それぞれの土壌について、土壌窒素の無機化を特徴づける3つの無機化特性値：可分解性窒素量 N_0 (mg/100g)、25℃における速度定数 k (1/日)、見かけの活性化エネルギー E_a (cal/mol)が得られた（第2表）。

なお、杉原ら（1986）は土壌窒素の無機化について3つのモデル式（第3表）を想定しており、未風乾土壌では単純型モデルが、風乾土壌では単純並行型モデルが適用できると報告している。また、東北地域では圃場埋設法により、有機化を伴った負の項のある2項モデル式： $N=A(1-e^{-ka})+B(1-e^{-kb})+C$ （ A は正の項、 B は負の項の有機態窒素量、 ka は正の項、 kb は負の項の速度定数、 C は定数）へのあてはめを行っている。室内定温培養実験においても、このモデル式へのあてはめが可能であるが、実用的には単純型モデル式で解析を行うことがよいと判

断されるため、本研究では単純型モデル式を用いた。

N_0 は土壌中に含まれる潜在的に無機化する有機態窒素の量を示す定数であり、したがって N_0 が大きいほど窒素無機化量は多くなる。 k は土壌窒素無機化速度の大きさを表わし、温度が高いほど k の値が大きく無機化が早く進行する。 k の値は温度で異なるため、25℃の値を特性値として用いている。また、 B の値はもともと土壌に含まれていたアンモニア態窒素量及び湛水静置後極めて迅速に無機化したアンモニア態窒素量を示すが、通常は N_0 に比べて非常に



第1図 土壌窒素無機化曲線（農総試本部N-4）

無機化モデル式： $N = N_0 (1 - e^{-k \cdot t}) + B$ ， N は土壌窒素無機化量(mg/100g)
 t は栽培日数(日)。

第1表 供試水田土壌の採取地と土壌の性質

採取地	土壌No.	土 壌 条 件	土性	作土深	p H	全炭素	全窒素
				cm		%	%
甘 木	A	多湿黒ボク土	CL	10.2	6.2	5.15	0.303
二日市	F	中粗粒灰色低地土	SL	9.2	6.2	0.95	0.082
八木山	Yg	中粗粒灰色低地土	L	14.0	5.9	2.54	0.242
山 川	Yk	中粗粒灰色低地土	L	—	5.8	2.01	0.200
北 野	K	細粒灰色低地土	CL	11.0	5.3	2.42	0.209
豊前分場 (行橋)	B	細粒灰色台地土	CL	10.5	6.3	2.16	0.204
農総試 ¹⁾ 本 場 (筑紫野)	N-1	中粗粒灰色低地土	SL	11.0	5.9	1.28	0.110
	N-2	〃	SL	11.5	6.5	1.95	0.168
	N-3	〃	SL	12.0	6.9	2.11	0.166
	N-4	〃	SL	14.5	7.0	1.94	0.169
	N-5	〃	SL	15.6	6.9	1.88	0.173
	N-6 ²⁾	〃	SL	15.5	6.8	2.26	0.194
筑後分場 ¹⁾ (大木)	C-1	細粒灰色低地土	LiC	11.0	5.6	3.03	0.267
	C-2 ³⁾	〃	LiC	11.1	5.9	4.34	0.331
	C-3	〃	LiC	11.5	6.0	3.26	0.272
	C-4 ²⁾	〃	LiC	11.3	6.4	3.85	0.309
	C-5 ³⁾	〃	LiC	11.3	5.8	3.41	0.287

1) 福岡県農業総合試験場（農総試）本場及び筑後分場内におけるN-1～6及びC-1～5は同試験地内の土壌No.（肥沃度の低い水田土壌から順に並べた）。

2) 本場N-6、筑後C-4は、牛ふん堆肥連用土壌。

3) 筑後C-2、C-5は、稲わら連用土壌。

小さく、地力窒素発現量の推定上無視してよいと考えられる。

Eaは温度変化によって受ける窒素無機化への影響の違いを表わすパラメータであり、杉原ら(1986)が示すように、Arrheniusの式から導かれる変換係数(第1式)を用いて25℃変換日数(第2、3式における t_{25})を算出し、20℃及び30℃の無機化曲線を25℃の無機化曲線へ重ね合わせることで求められる(第2図)。その方法はEaとk(25℃)の値を任意に代入して、最小二乗法により繰り返し計算を行い、分散が最小となったときの値を最適パラメータとするものである。Eaが求められると、地温データから25℃変換日数(ある日の地温を測定し、それが25℃では何日に相当するか)が計算できるため、それを積算することで、後述のように実際の水田圃場における地力窒素発現量の推定が可能となる。

$$m = e^{-Ea \cdot \Delta T / RT_1 T_2}, l = e^{Ea \cdot \Delta T / RT_2 T_3} \dots (1)$$

ただし、mは温度の高い方(T_2)に低い方(T_1)を、lは温度の低い方(T_2)に高い方(T_3)の無機化曲線を重ね合わせるときの変換係数、 $T_3 - T_2 = T_2 - T_1 = \Delta T > 0$, T_1, T_2, T_3 は絶対温度(deg)、Rは気体定数; 1.98cal/deg/mol

$$t_{25} = m \cdot t_{20}, t_{25} = l \cdot t_{30} \dots (2)$$

ただし、 t_{20}, t_{25}, t_{30} はそれぞれの温度における培養日数。
したがって、以上の結果をまとめると、一般に

$$t_{25} = t_a e^{Ea \cdot (T_a - T_{25}) / RT_a T_{25}} \dots (3)$$

t_a は任意の温度 T_a における培養日数。

第2表 単純型モデル式における各水田土壌の窒素無機化特性値

土 壌	No	k (25℃)	E a
	mg/100g	1/日	cal/mol
甘 木(A)	18.5	0.0011	19,600
二日市(F)	9.2	0.0022	18,300
八木山(Yg)	22.7	0.0027	19,400
山 川(Yk)	14.6	0.0033	22,800
北 野(k)	29.3	0.0045	18,700
豊 前(B)	23.6	0.0024	18,100
本 場(平均)	16.5	0.0038	17,700
〃 (N-1)	13.3	0.0038	16,400
〃 (N-2)	16.7	0.0036	17,900
〃 (N-3)	18.4	0.0040	16,600
〃 (N-4)	16.1	0.0037	19,300
〃 (N-5)	15.1	0.0042	17,500
〃 (N-6)	19.4	0.0033	18,500
筑後(平均)	26.5	0.0063	18,300
〃 (C-1)	23.9	0.0061	17,500
〃 (C-2)	25.5	0.0058	18,200
〃 (C-3)	26.4	0.0053	16,100
〃 (C-4)	25.6	0.0082	20,000
〃 (C-5)	28.5	0.0060	18,000

注) 単純型モデル式: $N = N_0(1 - e^{-kt}) + B$, Nは窒素無機化量(mg/100g), tは培養日数(日), N_0 は可分解性窒素量, kは25℃における速度定数, Bはもともと土壌中に含まれる無機態窒素の量を表す (mg/100g)。

第3表 窒素無機化モデルと無機化式(杉原ら1986)

類 型	反応モデル	モデルの内容	窒 素 無 機 化 式
単純化モデル	k A — N	有機物Aが無機化する 一次反応モデル	$N = N_0(1 - e^{-k \cdot t})$
単純並行型モデル	k ₁ A — N k ₂ B — N	分解の速い有機物Aと 分解の遅い有機物Bと が独立して別々に無機 化する一次反応モデル	$N = N_0^1(1 - e^{-k_1 \cdot t})$ $+ N_0^2(1 - e^{-k_2 \cdot t})$
有機・無機化 並行型モデル	k _{im} D A — N — M	窒素の無機化と有機化 とが独立して進行する 一次反応モデル	$N = N_{im}(1 - e^{-k_{im} \cdot t})$ $+ N_0(1 - e^{-k \cdot t}) + C$

注) 反応モデルにおけるA、Bは可分解有機態窒素、Nは無機態窒素、Mは有機化した窒素、Dは可分解性炭素源(この分解に際して、微生物菌体に窒素が取り込まれる)を示す。

窒素無機化におけるNは生成した無機態窒素量(mg/100g)、 N_0 は可分解性有機態窒素量(mg/100g)、kは速度定数(1/日)、tは時間(日)、 N_{im} は有機化窒素量(mg/100g)、 K_{im} は有機化速度定数(1/日)。

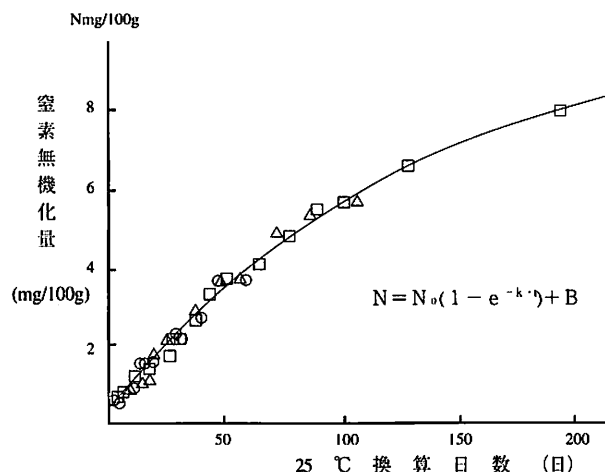
各土壌の無機化特性値についてみると、 E_a については大部分の土壌が16,000～20,000cal/molの範囲にあり、後述の地力窒素発現量の推定において、この範囲における水稻生育期間中の地力窒素発現量の相違は1～2%程度と非常に小さく、土壌間の差はほとんど問題にならないと考えられた。本実験で得られた E_a の値は、水田土壌について室内培養実験（北田1990b、上野ら1990）により求められた値13,000～22,000cal/mol及び杉原ら（1986）が畑土壌で得た値15,000～23,000cal/molとほぼ同様の範囲にある。また、圃場埋設法（上野ら1988、安藤ら1989、藤井ら1989、安藤ら1990）により求められた E_a の値は1,000～42,000cal/molで、一部の土壌では含有する可分解性窒素量に質的な相違があると考えられている（安藤ら1989）が、多くの土壌は20,000cal/mol前後の値であった。

N_0 の値は9～30mg/100gの範囲で土壌間で著しく異なり、砂質土壌（本場や二日市土壌）で小さく、細粒質土壌（北野、豊前や筑後土壌）で大きかった。また、 N_0 の値は平均すると土壌中全窒素含量の約1割前後の値であるが、 N_0 と全窒素含量の割合は土壌の種類により異なった。

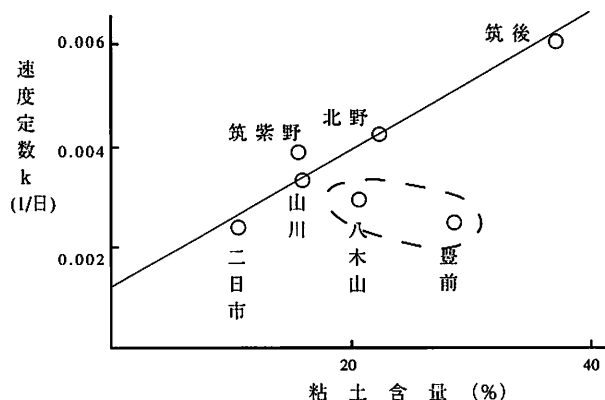
室内培養実験により求められた N_0 の値(mg/100g)は濃度単位で示されている。しかし、供試した水田圃場の作土全体の地力窒素発現量を特徴づける無機化特性値としてみるためには、室内実験で得られた N_0 の値(mg/100g)を作土重量で換算して、作土10a当たりの N_0 (kg/10a)を求めておくことが必要である。そのため、土層の安定した水稻収穫後に作土深と容積重を調査して作土重量を算出し、作土深10cm、容積重100g/100mlの場合の10a当たり作土重量は100tとなることから、室内実験で得られた N_0 に次式に示す換算係数： f を乗ずることで、作土10a当たりの N_0 (kg/10a)を求めた（第4表）。

$$f = \text{作土深(cm)}/10(\text{cm}) \times \text{容積重(g/100ml)}/100(\text{g/100ml}) \cdots (4)$$

このようにして求めた N_0 の値は13～35kg/10aの範囲にあり、土壌間で大きく異なった。また、農総試本場内の水田土壌（N土壌）でみられるように、同地域内の土壌においては、有機物の施用や深耕等により地力増強程度が大きい圃場ほど N_0 の値が大きかった。 k (25℃)の値は土壌の種類によって著しく異なり、黒ボク土水田作土である甘木土壌で最も小さく、筑後川下流域の肥沃な筑後分場内の水田土壌（C土壌）で最も大きく、0.0011～0.0063(1/日)の範囲にあった。なお、室内培養実験（北田1990b、上野ら1990）により求められた k の値は0.002～0.012(1/日)の範囲に、圃場埋設法（上野ら1988、安藤ら1989、藤井ら1989、安藤ら1990）により求められた k の値は0.002～0.02(1/日)の範囲にあり、本実験で得た値はこれらと比べてやや小さい方であった。水稻生育期間中の地力窒素発現量は後述するように k の値に大きく影響されるが、福岡農総試本場内の水田土壌（N土壌）においては、 k の値はほぼ同様の値を示し、また筑後分場内の土壌（C土壌）はいずれも他土壌より高い k の値を示した。このことから、さらに他土壌での検討が必要であるが、同一地域内の土壌では k の値はそれほど変わらないことが予想された。山形県庄内地域のグライ土壌においても、火山灰の混入のない土壌では大部分が0.01(1/日)であったと報告されている（藤井ら1989）。また、供試した土壌の一部について、粘土鉱物種の同定と粘土含量の測定を行い、土壌の粘土含量と k (25℃)の値との関係について調べた結果（第3図）では、県内筑後川水系の灰色低地土水田土壌において両者の間に高い相関（ $r=0.98$ ）が認められた（渡邊ら1991）。このことは、筑後川流域で特徴的にみられたスメクタイトの含量に速度定数 k の値が大きく影響されるためと考えられる。



第2図 窒素無機化曲線
(25℃重ね合わせ)



第3図 土壌粘土含量と速度定数
 k (25℃)との関係

2 地力窒素発現量推定法の確立

福岡県内の代表的な水田土壌を対象に室内培養実験を実施した結果、水田土壌の窒素無機化について、速度論的方法を適用することができることが明らかとなった。また、求められた無機化特性値により土壌の種類や肥沃度に応じて、水田土壌の地力窒素発現の特徴づけを行うことができた。そこで、得られた窒素無機化式と無機化特性値を基に、実際の圃場における水稻生育期間中の地力窒素発現量の推定法について検討した。

試 験 方 法

1986～1988年に、福岡農総試本場、豊前分場及び筑後分場内において、稲作期間中（6月下旬～10月下旬）の日平均気温及び地温（地表面下5cm）の推移について調査を行い、前述の室内培養実験結果により求められた各水田土壌の窒素無機化特性値と各地域ごとの気象データを基に、水稻生育期間中の地力窒素発現量の推定法について検討した。

第4表 室内実験で得たNo (mg/100g) から作土
10a当たりNo (kg/10a) への換算

土 壌	No (mg/100g)	作土深 (cm)	容積率 (g/100ml)	10a当たりNo (kg/10a)
甘 木(A)	18.5	10.2	100	18.9
二日市(F)	9.2	10.0	144	13.3
八木山(Yg)	22.7	14.0	88	22.7
北 野(k)	29.3	11.0	95	30.7
豊 前(B)	23.6	10.5	121	30.0
本 場(平均)	16.5	—	—	26.2
〃 (N-1)	13.3	11.0	127	18.6
〃 (N-2)	16.7	11.5	113	21.7
〃 (N-3)	18.4	12.0	115	25.4
〃 (N-4)	16.1	14.5	119	27.8
〃 (N-5)	15.1	15.6	121	28.5
〃 (N-6)	19.4	15.5	116	34.9
筑後(平均)	26.0	—	—	24.0
〃 (C-1)	23.9	11.0	85	22.3
〃 (C-2)	25.5	11.1	78	22.0
〃 (C-3)	26.4	11.3	87	26.0
〃 (C-4)	25.6	11.3	82	23.7
〃 (C-5)	28.5	11.5	79	25.9

結 果 及 び 考 察

地力窒素は、土壌有機物中の窒素が微生物の働きによって分解無機化され、アンモニアの形で生成する。これら微生物の作用は温度によって大きく影響されることから、地力窒素の発現は地温の変動に大きく左右されることが容易に想定される。そこで、福岡県内各試験地において、稲作期間中の地温の推移について調査するとともに、測定が容易な気温データを地温の代用として使用可能かどうか明らかにするため、気温と地温との関係について解析した。

1986年～1988年における稲作期間中の積算の気温及び地温はいずれも 3,000℃前後であったが、地域や年次により相違した。気温は、本場でやや低く、豊前と筑後はほぼ同等であった。しかし、地温は筑後が高く推移したの比べ、豊前では本場よりも低く推移した。年次別にみると、本場では1987年が最も低かったが、豊前では逆にこの年が高く、筑後では年次変化が少なかった（第5表）。

気温と地温との関係についてみると、豊前では両者はそれほど変わらなかったが、本場では気温に比べ地温が平均で約1℃、筑後でも約2℃高く推移した。本場や豊前では河川から、筑後では閉鎖型水系であるクリークから取水しており、地域間で両者の関係が相違したのはかんがい水の水温に影響されたためと考えられる。以上の調査結果から第5表に示す回帰式が得られ、気温から地温への読み換えを行うことが可能である。しかし、通常は気温と地温の関係はそれほど変わらないことから、地温の代わりに気温データを用いても差し支えないと考えられる。

次に、以上の各試験地における地温データを基に、水稻生育期間中の地力窒素発現量の推定法について検討した。

地力窒素の発現は気象条件とくに地温の変動によって大きく左右されるが、水田土壌の窒素無機化量と温度の関係については既に室内培養実験によって明らかにしており、各水田土壌ごとに地力窒素発現の指標となる窒素無機化特性値を得ている。したがって、地温データが把握できれば、水稻生育期間中の地力窒素発現量を推定することが可能であり、そのための手順は次のとおりである。

- ① 代かき前の水田作土を採取する。
- ② 温度別(20、25、30℃)の室内定温培養実験により、窒素無機化式と無機化特性値 (N_0 : 可分解性窒素量、 k : 25℃における速度定数、 E_a : 見かけの活性化エネルギー) を得る。
- ③ 室内実験で得た $N_0(\text{mg}/100\text{g})$ を、作土10a当たり $N_0(\text{kg}/10\text{a})$ に換算する。
- ④ 稲作期間中(水田へのかん水開始または移植日から、収穫期まで)の日平均地温を入手する。地温については、地表面下 5cmの温度を測定する。なお、地温データが入手できないときは、日平均気温を用いてもよいが、気温と地温との関係については前述のとおりである。

第5表 各地域の積算気温及び地温 (℃)

地 域	項 目	1986年	1987年	1988年	平 均	回帰式
本 場	気温 (x)	2,904	2,894	2,906	2,901	$y = 2.4 + 0.945x$
	地温 (y)	3,121	2,964	3,044	3,043	
豊 前	気温 (x)	2,978	3,034	3,027	3,013	$y = -0.3 + 0.999x$
	地温 (y)	2,968	3,029	2,929	2,975	
筑 後	気温 (x)	3,013	3,017	3,028	3,019	$y = 2.8 + 0.962x$
	地温 (y)	3,260	—	3,261	3,260	

- ⑤ 日平均地温と活性化エネルギー(E_a)とを用いて、日別25℃変換日数を計算する。それらを加算して、積算25℃変換日数を算出する。
- ⑥ 積算25℃変換日数と25℃における窒素無機化曲線の式から、圃場における窒素無機化量の推定を行う（なお、⑤、⑥については、金野が作成したマイコン用プログラムを用いて実施する）。

以上の手順に従って、室内定温培養実験から求められる窒素無機化特性値と稲作期間中の地温データをコンピュータに入力することで、地力窒素発現量の推定を行うことができる。

ところで、東北や北陸地域においては、春先の耕起から代かき時までの圃場の乾燥程度が年次間で異なることから、乾土効果の影響を考慮することが必要であるとし、鳥山・飯村（1987）は乾土効果の発現する限界水分値がpF4前後であることを明らかにし、また上野ら（1989、1990）は乾土効果を考慮した地力窒素発現量の推定法を、中西ら（1991）は気象情報による乾土効果の簡易推定法を提唱している。しかし、本研究は麦収穫後の6月中下旬移植の水稻を対象にしており、この期間は暖地では梅雨入りを控え、降水量の多い時期に当たり、乾土効果の影響を考慮するまで土壤が乾燥することは少ないと考えられる。また、この期間の平均地温は20℃前後～それ以上あり、春先に土壤の表層において乾土効果により無機化した窒素は、畑状態で経過する間に硝酸となって流亡あるいは脱窒によって消失する（吉野・出井1977）と考えられる。したがって、暖地水田においては乾土効果の影響は通常は小さいものとして地力窒素発現量の推定を行った。

3 地力窒素発現量の簡易推定法

稲作期間中の地力窒素発現量の推定法は以上のとおりであるが、窒素無機化特性値を得るための室内培養実験には時間と労力を要するため、無機化特性値や地力窒素発現量の簡易・迅速な推定法について検討した。

試 験 方 法

福岡県内各地の水田から代かき前の作土を採取し、未風乾のまま、前節で示したように室内定温培養実験により窒素無機化特性値を求めた。また、同作土を風乾した後、アンモニア化量の測定を行った。アンモニア化量の測定は、風乾土 15～20gと純水30～35mlを内径 2.5cm、高さ12cmのインキュベート管に入れ、湛水状態で30℃の定温室に静置し、4週間後に取り出して、10%塩化カリウム溶液で浸出後、水蒸気蒸留法により生成したアンモニア態窒素量を定量し、定温静置前のアンモニア態窒素量を差し引いて求めた。

結 果 及 び 考 察

無機化特性値のうち、 E_a :見かけの活性化エネルギー(cal/mol)については、前述のとおり大部分の土壤が16,000～20,000cal/molの範囲にあり、この範囲における土壤間の差はほとんど問題にならないことから、地力窒素発現量の推定に当たっては、平均値19,000cal/molを用いることができる。

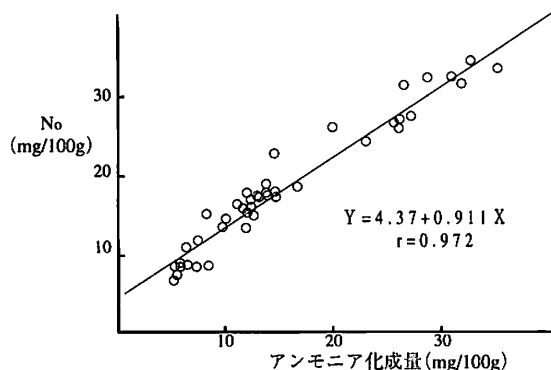
$k(25^\circ\text{C})$:速度定数(1/日)の値は、同一地域内の土壤では変わらないこと、また土壤の鉱物組成や粘土含量との関連性が高い（渡邊ら1992）と認められることから、土壤統群や作土の土性に基づいて、第6表のとおり決定する。ただし、まだ未測定 of 土壤については、室内定温培養実験により求める必要がある。

無機化特性値のうち E_a と k が決まれば、後は N_0 :可分解性窒素量(mg/100g)を求めることにより地力窒素発

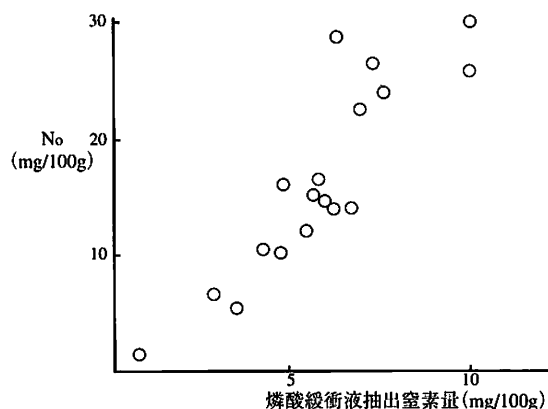
第6表 無機化特性値 k の推定

土壤の種類		土性	$k(1/日)$
沖積土壌	中粗粒灰色低地土	S～SL	0.0025
		SL	0.0035
		L	0.0040
	細粒灰色低地土	CL	0.0045
		LiC ²⁾	0.0060
火山灰土	多湿黒ボク土 ³⁾	CL	0.0010

- 1) 筑後川水系の水田土壤を対象に調査した結果から算出した。
- 2) 筑後川下流域の肥沃な粘質土壤。
- 3) 甘木地域に存在する黒ボク土壤を対象に算出した。



第4図 アンモニア化成量と無機化特性値 N_0



第5図 磷酸緩衝液抽出窒素量と無機化特性値 N_0

現量の推定が可能となる。 N_0 は地力増強程度の違いにより異なることが予想されることから、 N_0 を簡易に推定する方法として従来から潜在的窒素地力の指標として測定されてきた風乾土アンモニア化成量の適用性について検討した。 N_0 の値とアンモニア化成量との関係について検討した結果、筑後川水系の細粒灰色低地土水田土壌について、両者の間に高い相関が認められ、第4図に示す回帰式が得られ、アンモニア化成量から N_0 を推定することが可能と考えられた。

以上のことから、長期培養実験を行うことなく窒素無機化特性値を設定することができ、稲作期間中の地力窒素発現量の推定が可能と考えられる。ただし、さらに現地での利活用を図るためには、もっと簡易、迅速な化学的手法による推定法の検討も必要である。無機化特性値 N_0 の簡易推定法として、藤井ら（1990）は山形県庄内地域のグライ土壌について、硫酸抽出法や磷酸緩衝液抽出法（樋口1982）が有効と報告している。福岡県内の水田土壌においても、磷酸緩衝液抽出法により N_0 との高い相関が認められた（第5図）ことから、今後これら簡便法についてさらに詳細な検討が必要である。

4 摘 要

福岡県内の代表的な水田土壌を対象に、室内定温培養実験により土壌窒素の無機化特性について解析し、それを基に水稻生育期間中の地力窒素発現量の推定法を確立した。

- 1) 温度別培養実験を行った結果、水田土壌の窒素無機化についても速度論的方法が適用でき、いずれの土壌も単純型モデル式： $N = N_0(1 - e^{-kt}) + B$ 、 N は窒素無機化量(mg/100g)、 t は培養日数(日)によく適合した。また、供試した水田土壌ごとに、水田土壌の窒素無機化を特徴づけ、稲作期間中の地力窒素発現量推定の基となる3つの無機化特性値、可分解性窒素量； N_0 、25℃における速度定数； k 、見かけの活性化エネルギー； E_a が得られた。
- 2) 水田土壌の窒素無機化特性値について解析した結果、見かけの活性化エネルギー E_a (cal/mol)の値には土壌間差がないこと、速度定数 k (1/日)の値は土壌の種類によって著しく異なるが、同一地域内の土壌では変わらないこと及び同一地域内の土壌では有機物の施用等により地力増強程度が大きい水田土壌ほど、可分解性窒素量 N_0 (kg/10a)の値が大きいことが認められた。
- 3) 得られた窒素無機化式と無機化特性値及び地温（または気温）データに基づく稲作期間中の地力窒素発現量の推定手順について示した。
- 4) 無機化特性値の簡易推定法について検討した結果、 k は土壌統群や土性によって決定し、また N_0 は風乾土アンモニア化成量から算定する方法を明らかにした。

第3章 暖地水田の地力窒素発現パターンと水稻の窒素吸収及び生育・収量との関係

暖地水田における稲作期間中の地力窒素発現パターンと水稻の窒素吸収に及ぼす影響について明らかにするため、前章で示した推定方法に従い、地域や土壌の種類、肥沃度が異なる水田において地力窒素発現量の推定を行うとともに、実際の圃場で水稻による地力窒素吸収量の推移を調べ、両者の関係について詳細に解析した。また、地力窒素吸収量の相違が水稻の生育、収量に及ぼす影響を検討した。

1 地域、土壌の種類別の地力窒素発現パターン

福岡県内の各試験地において、稲作期間中の地力窒素発現パターンについて明らかにした。また、農総試本場内の地力増強程度が異なる水田で、肥沃度の相違が地力窒素発現に及ぼす影響を検討するとともに、地力窒素発現量の年次間変動について検討した。

試 験 方 法

福岡農総試本場、豊前分場及び筑後分場内において、有機物の施用来歴や耕起深度など地力増強程度が異なる水田（第7表）を選定した。そして、室内培養定温実験により求められた各水田作土の窒素無機化特性値とそれぞれの試験地における日平均地温データ（地表面下5cm）とから、稲作期間中の地力窒素発現量の推定を行った。なお、調査期間を農総試本場では1986～1990年、豊前及び筑後分場は1986～1988年とした。

第7表 供試水田土壌の有機物の施用来歴と理化学性

地域	水田 (土壌No.)	有機物の 施用来歴 ¹⁾ 、 ²⁾	pH	作土深 cm	全炭素 %	全窒素 %
本場	N-1	△	5.9	11.0±0.0	1.32±0.11	0.110±0.008
	N-2	△	6.5	11.5±0.5	1.98±0.09	0.168±0.003
	N-3	○	6.9	12.0±0.6	2.21±0.16	0.166±0.009
	N-4	○	7.0	14.5±0.8	1.93±0.14	0.169±0.007
	N-5	○	6.9	15.6±0.4	1.94±0.08	0.173±0.007
	N-6	◎ (堆肥)	6.8	15.5±0.5	2.27±0.08	0.194±0.000
筑後	C-1	△	5.6	11.0±1.7	3.03±0.35	0.267±0.026
	C-2	◎ (稲わら)	5.9	11.1±0.1	4.34±0.37	0.331±0.028
	C-3	○	6.0	11.5±0.2	3.26±0.10	0.272±0.014
	C-4	◎ (堆肥)	6.4	11.3±0.3	3.85±0.29	0.309±0.025
	C-5	◎ (稲わら)	5.8	11.3±0.2	3.41±0.23	0.287±0.009
豊前	B	△	6.3	10.5±0.5	2.23±0.08	0.204±0.008

1) ◎：施用多 ～ △：施用少ない。

2) () は、その資材を毎年連用している。堆肥は、牛ふん堆肥。

結 果 及 び 考 察

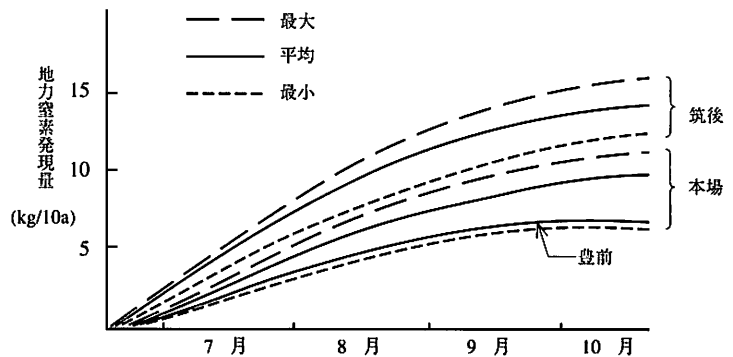
県内各試験地内の水田における地力窒素発現量の推定曲線を第6図に、稲作期間中の総地力窒素発現量の年次推移を第8表に示した。

地力窒素発現量は、筑後川下流域の肥沃な細粒質土壌である筑後分場内水田で最も多く推移し、稲作期間中における発現量はいずれの圃場も10a当たり12kg以上と、非常に多かった。農総試本場内の水田がこれに次ぎ、豊前分場内の水田では10a当たり7.0～7.5kg程度と、他試験地に比べ少なかった。

農総試本場内の地力増強程度が異なる水田の地力窒素発現量の推定曲線を第7図に示した。

同一地域内の水田でも、地力増強程度の相違によって地力窒素発現量に著しい差が認められ、耕起深度が深く、牛ふん堆肥の連用水田であるN-6水田で最も多く、有機物等の施用来歴の少ないN-1水田で最も少なく、稲作期間中の総発現量で10a当たり4～5kg異なった。

また、地力窒素発現量の年次変動も認められ（第8図）、夏期が著しく高温に経過した1990年に地力窒素発現量は最も多く、7月中旬以降日照不足に見舞われた1987年に最も少なく、稲作期間中の総地力窒素発現量で10a当たり約2～3kgの変動がみられた。



第6図 各試験地水田における地力窒素発現量の推定曲線(1988年)

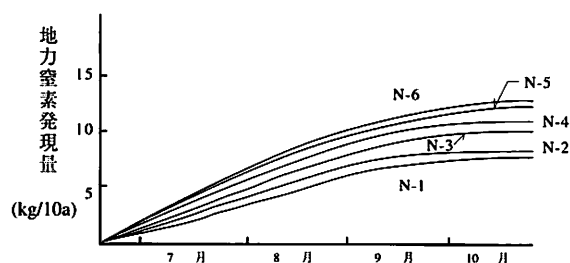
第8表 各水田における地力窒素発現量の年次推移

地 域	土壌No.	地力窒素発現量		
		1986年	1987年	1988年
本 場	N-1	7.3	6.6	7.0
	N-2	8.2	7.4	7.8
	N-3	10.4	9.4	9.9
	N-4	10.9	9.7	10.3
	N-5	12.2	11.0	11.6
	N-6	12.4	11.1	11.7
筑 後	C-1	13.1	13.0	13.2
	C-2	12.6	12.5	12.7
	C-3	13.7	13.7	—
	C-4	16.7	16.6	—
	C-5	15.1	15.0	—
豊 前	B	7.3	7.4	7.1

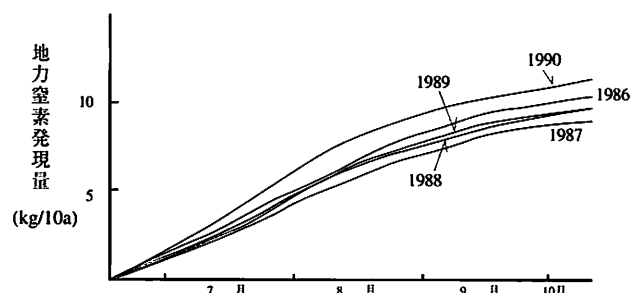
成熟期の推定地力窒素発現量を 100とした場合の移植時から各生育時期までの地力窒素発現量の割合を第 9 表に示した。時期別の地力窒素発現割合は地域や年次によって異なり、筑後分場内の水田では生育前半の発現割合が本場や豊前に比べ多いことが認められた。これは、稲作期間中の地温が筑後で高く推移したこと及び筑後分場内の水田では作土の窒素無機化特性値 k が大きいことに起因していると推察された。なお、地力窒素発現割合は各試験地内の水田土壌間においてはほとんど変わらなかった。調査水田を平均すると、稲作期間中の総地力窒素発現量の約 30% が移植 25 日後までに、約 40% が移植 35 日までに、50～55% が移植 45 日後までに発現し、穂揃期（9 月 2 半旬）までには 80% 以上が発現することが認められた。

2 水田土壌の窒素無機化特性値と稲作期間中の地力窒素発現量との関係

窒素無機化特性値が得られれば、稲作期間中の地温データに基づいて地力窒素発現量の推定が可能であるが、各土壌ごとに求められた無機化特性値の持つ意味について明らかにするため、無機化特性値と稲作期間中の地力窒素発現量との関係について検討した。



第 7 図 地力増強程度が異なる水田における地力窒素発現量
(農総試本場内水田, 1988 年)



第 8 図 年次別の地力窒素発現量の推定曲線
(農総試本場 N-3 水田)

第 9 表 移植期から成熟期までの推定地力窒素発現量を 100とした場合の移植期から各生育期までの地力窒素発現量の割合

地域	年次	移植期から各生育期までの地力窒素発現量割合 (%)				
		移植 25日後	移植 35日後	移植 45日後	幼穂 形成期	穂揃期
本場	1986	25	34	48	56	82
	1987	28	36	49	55	82
	1988	32	44	55	61	84
筑後	1986	32	37	50	—	81
	1987	31	41	54	—	86
	1988	34	45	56	—	85
豊前	1986	25	37	50	—	81
	1987	27	37	48	—	81
	1988	32	44	53	—	81
平均	1986	27	36	49	—	81
	1987	29	38	50	—	83
	1988	33	44	55	—	83

1) 本場は場内 6 水田、筑後は 5 水田の平均値で示す。

試 験 方 法

福岡県内の代表的な水田土壌について、温度別の室内培養実験により求められた無機化特性値；第4表に示す可分解性窒素量 N_0 (kg/10a)及び第2表に示す25℃における速度定数 k (1/日)、見かけの活性化エネルギー E_a (cal/mol)と、稲作期間中の地力窒素発現量との関係について検討した。なお、各水田土壌の地力窒素発現量については、1988年における県内各試験地の平均地温データを用いて推定した。

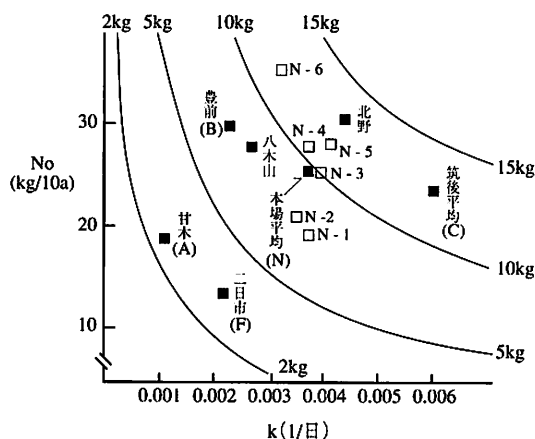
結 果 及 び 考 察

無機化特性値のうち、見かけの活性化エネルギー E_a については大部分の土壌が16,000～20,000cal/molの範囲にあるが、この E_a の範囲において稲作期間中の地力窒素発現量の推定を行った場合、地力窒素発現量の相違は1～2%程度に過ぎず、土壌間の差はほとんど問題にならないと考えられた。

したがって、 E_a に土壌間差がないことから、無機化特性値 N_0 (kg/10a)及び k (1/日)と地力窒素発現量(kg/10a)との関係について明らかにするため、 N_0 を縦軸に k を横軸に取り、平均地温データと各土壌の E_a の平均値19,000cal/molとから25℃変換日数を計算し、両特性値に対する稲作期間中の総地力窒素発現量の推定値を求め、その値を等値線で示した。そして、この図に培養実験により求められた無機化特性値に基づいて、各土壌をプロットした(第9図)。

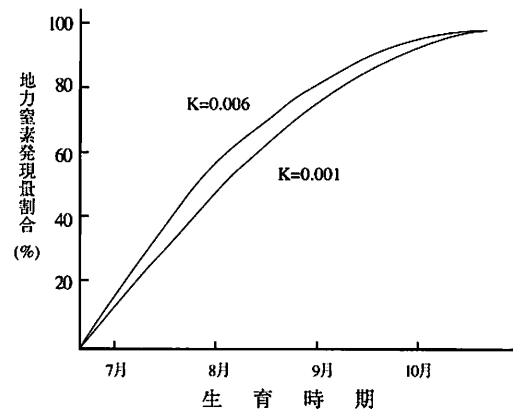
その結果、稲作期間中の地力窒素発現量は、 N_0 と k の値によって決定され、 N_0 が大きいほど、また k が大きいほど多いことが認められる。 k の値は土壌の種類によって異なるが、地力窒素発現量は k の値に大きく影響され、 k が大きい筑後土壌で地力窒素発現量が非常に多く、逆に k が小さい土壌では、豊前土壌のように N_0 が大きくても他土壌に比べ発現量は少ないと判定される。また、農総試本場内水田土壌(N土壌)の例でみられるように、同地域内の土壌については k の値は変わらないことから、同地域内の地力窒素発現量は N_0 の値に大きく左右されることが明らかとなった。

さらに、速度定数 k と移植期から各生育時期までの地力窒素発現量との関係について、稲作期間中の総地力窒素発現量の推定値を100とした場合の移植期から各生育時期までの割合を第10図に示した。水稻各生育時期ごとの地力窒素発現割合は k の値で異なり、 k が小さい土壌は k が大きい土壌に比べて生育前半の分けつ期間中における地力窒素発現割合が少なく、生育後半の幼穂形成期以降の発現割合が多いことが推察された。



第9図 窒素無機化特性値 N_0 , k と地力窒素発現量との関係

- 1) N_0 は作土10a当たり可分解性窒素量(kg/10a)
- 2) k は25℃における速度定数(1/日)
- 3) グラフ内の等値線は、水稻生育期間中の地力窒素発現量を示す。1988年の各試験地の平均データを基に作成した。



第10図 速度定数 k (25℃)の違いが生育期間中の地力窒素発現割合に及ぼす影響

- 1) 移植期から成熟期までの推定地力窒素発現量を100とした場合の移植期から各生育時期までの地力窒素発現量の割合

3 地力窒素発現量と水稻による地力窒素吸収量との関係

速度論的方法を適用することにより水田土壌の地力窒素発現量の推定を行うことができたが、その実用性について、実際の圃場において確かめておくことが必要である。また、地力窒素発現量に応じた水稻の適正な施肥技術確立するためには、各生育時期ごとに水稻による地力窒素の吸収量を把握する必要があるが、発現した地力窒素の一部は脱窒や流亡によって損失することが予想される。そのため、地力窒素発現量と実際的水稻栽培圃場における地力窒素吸収量との関係について検討した。

試 験 方 法

調査水田圃場は、室内培養実験により地力窒素発現量の推定を行った福岡農総試本場、豊前分場及び筑後分場内の地力増強程度が異なる水田(第7表)である。1986～1988年に、中生品種ニシホマレを供試し、それぞれの水田圃場に標準施肥区及び窒素無施用区(1区面積10～20m²、2反復)を設け、水稻乾物重及び窒素吸収量の推移を調査した。栽培方法は稚苗を用い、1株4本植えとし、栽植密度は22.2株/m²で、6月17～23日に移植した。収穫期は10月下旬である。

培養実験及び圃場試験の結果から、次に示す値を水稻の各生育時期ごとに求めた。なお、稲体窒素は乾物重測定後の風乾試料を粉碎した後、ケルダール法により分析した。

地力窒素発現量の推定値：速度論的方法により推定した各生育時期までの地力窒素発現量の積算値。

地力窒素吸収量：各生育時期における窒素無施用区の水稲窒素吸収量。したがって、移植期から各生育時期までに発現した地力窒素のうち、水稻により吸収された量を示す。なお、この中には雨水やかんがい水から供給される窒素も含まれるが、通常その大部分は土壌由来の窒素とみられるため(柳沢・高橋1964)、水稻による地力窒素吸収量の指標とした。

地力窒素供給量：各生育時期における窒素無施用区の水稲窒素吸収量と同時点で残存する土壌中アンモニア態窒素量の合計量。したがって、これは地力窒素の発現に伴って、水田中(水稻と土壌)に供給された地力窒素の総量を示す指標となる。ただし、流亡、脱窒等で損失した窒素は含まれない。

結 果 と 考 察

調査水田の各生育時期における地力窒素発現量及び地力窒素吸収量、土壌中アンモニア態窒素量の推移を第10～12表に示した。

これらの値から、各試験地ごとに地力窒素発現量の推定値に対する水稻の地力窒素吸収量の割合を調べた結果(第13表)、移植後25日(7月半ば)頃では、35%前後と低かったが、移植後35日(7月5～6半旬)頃には55～75%となり、移植後35日以降については70～80%の値で推移した。したがって、それ以降は発現した地力窒素が水稻により効率的に吸収されていることが窺える。なお、移植後35日の吸収割合が年次で異なり1987年に低かったが、この年は夏期間が日照不足に見舞われ根系の発達が遅れたため、生育初期の土壌中からの窒素吸収が悪く、その影響によるものと考えられた。また、地力窒素の吸収割合を地域別にみると、筑後川下流域の肥沃地土壌である筑後圃場で、全般的に少なく推移した。

地力窒素発現量の推定値と実測の地力窒素供給量との比較を行った結果、移植後25日目には年次による変動がみられ、また成熟期に近づくにつれて、推定値に比べ実測の供給量が低くなった。これは、土壌中残存アンモニア態窒素量の採取地点でのバラツキによる影響のほか、脱窒、流亡等による水田土壌からの窒素の損失に伴い、実測の供給量が低く現われたものと考えられた。しかし、全般的にみて、実測の供給量は推定値の80～100%で推移し、両者はかなりよく一致していた。

以上のことから、移植期から各生育時期までの地力窒素発現量の推定値を積算した値に、移植後25日頃までは0.35、移植35日以降穂揃期にかけては0.70～0.80を乗ずることで、各生育時期における水稻の地力窒素吸収量を推

第10表 福岡県農業総合試験場本場における10a当たり地力窒素発現量の推定値¹⁾、地力窒素吸収量²⁾ 及び土壌中アンモニア態窒素量³⁾

(kg/10a)

水 田 (土壌No.)	年 次	移植後25日まで			移植後35日まで			移植後45日まで			穂揃期まで			成熟期まで		
		発現 ¹⁾	吸収 ²⁾	土壌 ³⁾	発現	吸収	土壌	発現	吸収	土壌	発現	吸収	土壌	発現	吸収	土壌
N-1	1986	1.83	0.56	1.14	2.55	1.53	0.77	4.11	2.69	0.97	5.98	4.72	0.60	7.39	6.22	0.14
	1987	1.84	0.60	1.59	2.41	1.11	1.49	3.63	2.99	0.54	5.38	5.67	0.67	6.66	6.44	0.22
	1988	2.20	0.55	1.65	2.99	1.78	1.22	3.75	2.78	1.58	5.70	5.41	0.75	6.87	6.00	0.25
N-2	1986	2.02	0.72	2.05	2.85	2.04	1.23	4.70	3.63	0.75	6.87	5.03	0.57	8.36	6.52	0.06
	1987	2.04	0.99	1.05	2.68	1.77	0.71	4.05	3.81	0.90	6.05	5.18	0.65	7.37	5.84	0.46
	1988	2.51	1.00	1.16	3.42	3.01	0.64	4.30	3.82	1.22	6.49	5.39	0.75	7.73	6.21	0.34
N-3	1986	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	1987	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	1988	3.16	1.10	1.75	4.27	3.70	0.55	5.37	4.32	0.79	8.12	6.54	0.62	9.77	7.53	0.32
N-4	1986	2.66	0.71	2.66	3.75	2.86	0.80	6.19	4.56	0.78	9.03	6.76	0.69	10.96	7.82	0.26
	1987	2.69	0.89	0.95	3.53	2.05	1.17	5.34	4.98	1.02	7.95	7.40	0.79	9.68	—	—
	1988	3.31	1.14	1.52	4.50	3.17	1.19	5.65	3.78	1.67	8.53	6.53	0.67	1.14	7.56	0.32
N-5	1986	3.08	0.79	2.98	4.30	3.02	1.77	6.94	5.14	0.89	10.04	7.57	0.79	12.26	8.20	0.24
	1987	3.11	1.01	1.21	4.07	1.88	0.92	6.09	4.80	0.96	8.99	7.34	0.91	11.00	9.49	0.49
	1988	3.74	0.91	1.70	5.08	3.14	1.17	6.35	4.30	1.57	9.55	6.89	0.72	11.41	8.18	0.49
N-6	1986	3.00	1.15	3.29	4.22	3.25	1.44	6.95	5.36	0.70	10.21	7.37	1.06	12.53	8.35	0.16
	1987	3.03	1.24	1.08	3.98	2.11	0.92	6.02	5.04	0.88	9.03	7.58	1.20	11.09	9.34	0.58
	1988	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注) 品種はニシホマレ。

第11表 筑後分場における10a当たり地力窒素発現量の推定値¹⁾、地力窒素吸収量²⁾ 及び土壌中アンモニア態窒素量³⁾

水 田 (土壌No.)	年 次	移植後25日まで			移植後35日まで			移植後45日まで			穂揃期まで			成熟期まで		
		発現 ¹⁾	吸収 ²⁾	土壌 ³⁾	発現	吸収	土壌	発現	吸収	土壌	発現	吸収	土壌	発現	吸収	土壌
C-1	1986	4.16	1.16	3.38	5.71	3.18	2.16	7.45	3.91	0.77	11.02	6.84	1.44	13.07	8.73	0.32
	1987	4.05	1.32	2.59	5.28	2.87	0.99	6.97	3.55	1.32	11.05	6.77	0.52	13.03	8.54	0.42
	1988	4.45	1.88	2.41	5.99	3.93	1.28	7.44	5.22	1.06	11.12	7.40	1.16	13.16	8.71	0.26
C-2	1986	3.96	0.94	4.46	5.45	4.24	1.58	7.15	5.35	0.65	10.62	8.56	1.44	12.58	8.77	0.31
	1987	3.85	1.04	2.84	5.03	1.93	2.29	6.93	5.82	1.20	10.82	8.45	0.49	12.52	9.53	0.40
	1988	4.25	1.18	2.95	5.73	3.22	1.57	7.13	5.27	0.94	10.70	7.50	1.15	12.67	8.49	0.25
C-3	1986	4.21	1.31	3.84	5.76	5.64	1.89	7.55	6.15	0.71	11.37	9.13	1.75	13.73	10.41	0.62
	1987	4.09	—	—	5.36	—	—	7.08	4.52	1.70	11.44	8.79	0.39	13.72	9.31	0.51
	1988	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
C-4	1986	5.89	1.47	4.65	8.03	5.76	1.96	10.35	7.21	0.80	14.65	8.63	1.20	16.73	10.34	0.32
	1987	5.72	—	—	7.39	—	—	9.66	6.25	2.09	14.82	7.86	0.44	16.63	10.46	0.38
	1988	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
C-5	1986	4.79	1.25	4.31	6.59	5.43	2.10	8.61	5.75	0.64	12.75	7.70	1.39	15.09	11.06	0.33
	1987	4.65	—	—	6.08	—	—	8.04	4.23	1.47	13.00	8.91	0.40	15.03	10.29	0.37
	1988	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注) 品種はニシホマレ。

第12表 豊前分場における10a当たり地力窒素発現量の推定値¹⁾、
地力窒素吸収量²⁾ 及び土壌中アンモニア態窒素量³⁾

水 田 (土壌No.)	年 次	(kg/10a)														
		移植後25日まで			移植後35日まで			移植後45日まで			穂揃期まで			成熟期まで		
		発現 ¹⁾	吸収 ²⁾	土壌 ³⁾	発現	吸収	土壌	発現	吸収	土壌	発現	吸収	土壌	発現	吸収	土壌
B	1986	1.85	0.72	0.70	2.68	2.30	1.27	3.64	3.04	0.52	5.94	4.50	0.65	7.33	5.49	0.34
	1987	1.98	0.89	1.45	2.76	2.08	1.11	3.56	3.07	0.71	6.02	4.95	0.42	7.40	6.40	0.22
	1988	2.29	1.06	1.36	3.10	2.34	1.04	3.76	3.30	1.00	5.69	4.29	1.04	7.07	5.92	0.54

注) 品種はニシホマレ。

第14表 移植期から各生育時期までの
下層土からの推定窒素供給量

年度	水田	(kg/10a)		
		下層土からの推定窒素供給量		
		移植後35日まで	幼穂形成期まで	穂揃期まで
1989	N-7	—	0.7	0.6
1990	N-7	0.3	0.5	0.9
1991	N-9	—	0.1	0.1

定することが可能であり、施肥技術へ活用できることが明らかになった。

上野ら（1988）は、地力窒素発現量と窒素無施用区の水稲窒素吸収量との関係について、生育初期には発現量が多いものの、成熟期の段階では両者はほぼ一致すること、また7月以降の地力窒素発現量は水稲窒素吸収量に直接反映すると報告している。藤井ら（1989）は、7月中旬以降の地力窒素発現量と水稲による地力窒素吸収量との関係を検討した結果、発現量に対する吸収量の割合は平均で86%であり、圃場によって52～117%の変異がみられたが、全体的にみて両者の間には正の相関が認められたとしている。また、北田（1990b）は地力窒素発現量と地力窒素吸収量とは、細粒灰色低地土では生育初期と後期を除いて、細粒グライ土では生育期間を通して近似したとしている。

このように、地力窒素発現量と水稲による吸収量との関係については、地域や土壌の種類によって必ずしも一様の傾向が認められておらず、今後は脱窒、流亡等による損失量、根の吸収能力の相違等について検討していく必要がある。しかし、当面は前述の吸収割合（地力窒素の利用率とみなされる）を乗ずることで、地力窒素の吸収量を把握することができる。

また、これまで論議してきた地力窒素発現量や地力窒素吸収量については、水田作土を対象に実施したものであり、下層土については考慮していない。しかし、下層土が肥沃で根の伸長が十分に認められるような輪換田では下層土の影響を考慮する必要があることが報告されている（東北地域土壌窒素無機化パターン研究グループ1988）。そのため、福岡農総試内の一般水田において、作土直下に遮断シートを敷き、下層への根の侵入を防いだ処理区を設け、窒素無施用下で水稲を栽培し、無処理区との窒素吸収量との差を求めることにより、水稲の地力窒素吸収量のうち下層土から供給された量を算定した（末信ら1993）。その結果、求められた下層土からの窒素供給量は10a当たり0.1～0.9kgであり、調査年次や調査時期、圃場間での変動がみられた（第14表）。したがって、調査方法等についての再検討が必要であるが、輪換田等を除いて、通常は下層土の影響は小さく、現段階では作土のみで評価してよいと考えられる。

第13表 地力窒素発現量の推定値¹⁾ に対する地力窒素
吸収量及び地力窒素供給量の割合

年次	試験地	移植後25日まで		移植後35日まで		移植後45日まで		穂揃期まで		成熟期まで	
		吸/推 ²⁾	供/推 ³⁾	吸/推 ²⁾	供/推 ³⁾	吸/推 ²⁾	供/推 ³⁾	吸/推 ²⁾	供/推 ³⁾	吸/推 ²⁾	供/推 ³⁾
1986	本場	32±5	125±21	71±7	105±11	73±5	88±3	75±3	84±3	73±7	75±7
	筑後	27±3	117±12	77±15	108±15	69±11	78±11	68±11	81±14	70±5	72±6
	豊前	39	77	86	133	84	98	76	87	75	80
	全体	30±5	117±21	75±12	109±14	72±9	84±10	72±9	83±9	72±6	74±7
1987	本場	38±7	87±22	54±8	87±15	86±7	104±10	90±9	101±10	87±8	91±6
	筑後	30±5	99±4	46±14	79±10	63±13	83±13	68±11	71±11	68±5	71±5
	豊前	45	118	75	116	86	106	80	87	77	81
	全体	37±8	94±20	55±12	89±17	76±15	95±15	79±14	86±18	76±11	80±11
1988	本場	32±7	86±13	73±13	98±9	76±9	105±11	82±9	91±11	78±6	82±6
	筑後	35±12	83±24	61±9	86±3	72±4	86±3	69±3	79±4	67±1	69±2
	豊前	43	104	79	119	86	106	78	90	82	87
	全体	34±8	88±14	71±12	98±12	76±8	100±13	78±9	88±10	76±7	79±8

農総試本場及び筑後は各々5水田の平均値±標準偏差、全体は本場、筑後、豊前を合わせた11圃場の平均値±標準偏差。

1) 推定値は、速度論的方法により求めた地力窒素発現量の推定値。

2) 吸/推(%)：地力窒素吸収量(無窒素区の水稲窒素吸収量)/推定値 ×100

3) 供/推(%)：地力窒素供給量(無窒素区の水稲窒素吸収量+土壤中アンモニア態窒素量)/推定値 ×100

4 地力窒素吸収量の相違が水稻の生育、収量に及ぼす影響

地力窒素の発現量に対応した的確な水稻の生育制御技術の確立を図るため、稲作期間中における地力窒素発現量と水稻による地力窒素吸収量との関係について明らかにしたが、ここではさらに地力窒素吸収量の相違が水稻の生育や収量に及ぼす影響について検討した。

試 験 方 法

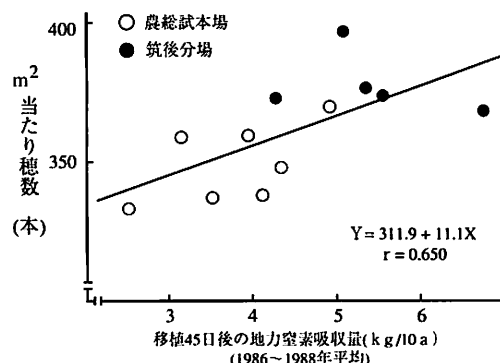
福岡農総試本場、豊前分場及び筑後分場内の水田（第7表）において、各水田圃場に施肥区及び窒素無施用区を設け、1986～1988年の3年間中生品種ニシホマレを栽培し、水稻の生育、収量及び窒素吸収量の推移を調査した。施肥区の窒素施用量は、福岡県の施肥基準に準じ、農総試本場及び豊前では10a当たり基肥7kg、穂肥3+2kg、筑後では基肥7kg、穂肥4+2kgとした。栽植密度は22.2株/m²で1株4本植えとし、稚苗を6月17～23日に移植した。収穫期は10月下旬である。

1988～1990年の3年間は、中生の良食味品種ヒノヒカリについて、同様の調査を実施した。ただし、施肥区の基肥量は圃場により10a当たり6、4.5、3kgを設定し、穂肥は2+1.5kgとした。試験区の面積は10～30m²で、2反復とした。栽植密度は22.2株/m²で1株4本植えとし、稚苗を6月15～20日に移植した。収穫期は10月中～下旬である。なお、リン酸は10a当たりニシホマレで7kg、ヒノヒカリで6kgを基肥に施用し、カリは窒素量と同量を基肥及び穂肥に施用した。

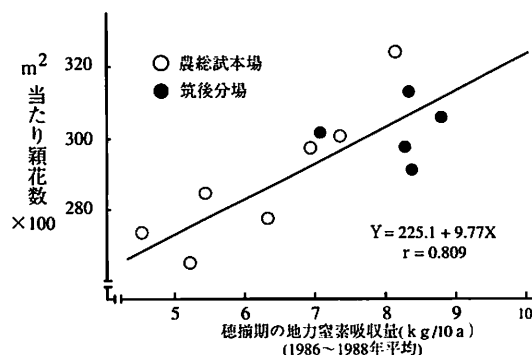
結 果 及 び 考 察

窒素無施用区的水稻窒素吸収量を地力窒素吸収量として、地力窒素吸収量と標準量を施肥した条件下でのニシホマレの生育や収量との関係について検討した。各生育時期における水稻の生育量（草丈、茎数、乾物重）は、地力窒素吸収量が多い水田ほど大きな値で推移し、m²当たり穂数も多くなる傾向が認められた（第11図）。また、穂揃期における地力窒素吸収量とm²当たり穎花数との関係についても（第12図）、地力窒素吸収量が多くなるほどm²当たり穎花数は多くなる傾向が認められたが、地力窒素吸収量が全般に多い筑後分場内の水田では、その圃場間差は小さかった。

成熟期の地力窒素吸収量とニシホマレの収量との関係についてみると（第13図）、無窒素区では地力窒素吸収量の増加に比例して収量は高くなった。一方、標準量を施肥した条件下での水稻収量は、地力窒素吸収量が10a当たり8kgまでは、地力窒素量の増加に応じて高くなる傾向にあるが、さらに多くなり10a当たり9kg近くになると頭打ちとなることが認められた。したがって、地力窒素吸収量が少ない範囲においては、玄米生産に対する施肥窒素の効果は著しく高いが、地力窒素量が9kg近くまで増えると吸収した窒素の玄米生産に対する効率が著しく悪くなり、これ以上の地力窒素レベルでは施肥量を減肥しないと、水稻窒素吸収量のうち、この過剰分に相当するだけの窒素はむだと



第11図 ニシホマレの標準施肥条件下における地力窒素吸収量とm²当たり穂数との関係



第12図 ニシホマレの標準施肥条件下における地力窒素吸収量とm²当たり穎花数との関係

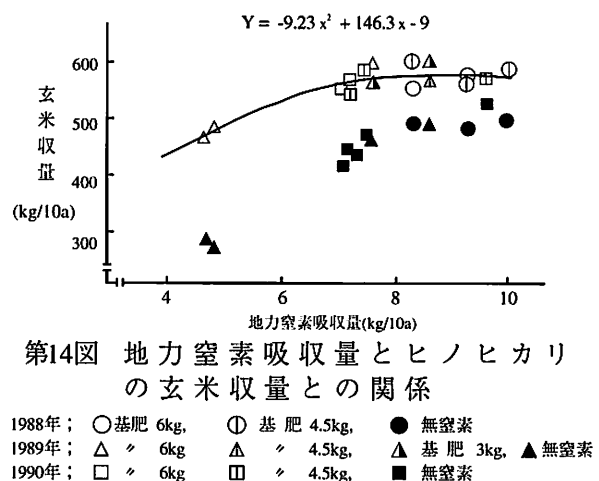
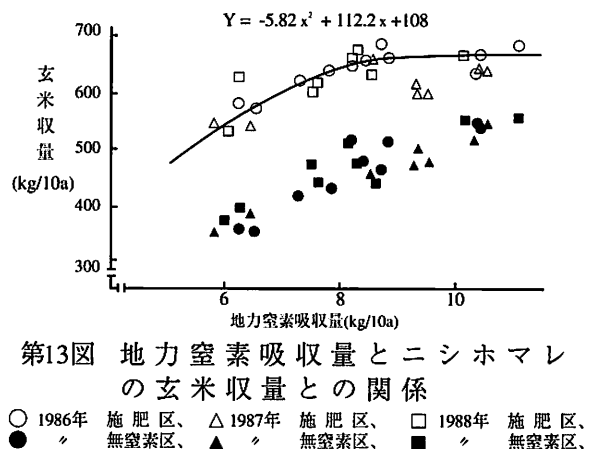
なることがわかる。なお、地力窒素吸収量と標準施肥条件下でのニシホマレの玄米外観品質との間には、一定の傾向がみられなかった。

次に、ヒノヒカリを供試し、農総試本場及び筑後分場内の地力増強程度が異なる水田で、施肥量を変えてニシホマレの場合と同様に地力窒素吸収量と水稻収量との関係について調べた（第14図）。その結果、地力窒素吸収量が多いほど無窒素区の収量は高くなる傾向にあるが、施肥区の収量は10a当たり8kg近くで頭打ちとなるのがみられた。また、収量性からみて、地力窒素吸収量が7～8kgの水田では基肥量は4.5kgで十分なこと、さらに地力窒素量が多くなるともっと減肥してよいことが認められた。

5 摘 要

暖地水田の稲作期間中における地力窒素発現パターンについて、地域や土壌の種類、土壌肥沃度が異なる水田において明らかにした。また、実際の水田圃場で水稻による地力窒素吸収量の推移について調べるとともに、地力窒素吸収量の相違が水稻の生育、収量に及ぼす影響を明らかにした。

- 福岡県内の試験地において、稲作期間中の地力窒素発現量の推定を行った結果、地力窒素発現量は10a当たり7～16kgの範囲にあり、地域や土壌の肥沃度により大きく異なった。筑後川下流域の筑後分場内の水田では10a当たり12kg以上と多かったのに対し、豊前分場内の水田では7～7.5kgと少なかった。また、地力増強程度の相違により、農総試本場内の水田圃場では4～5kgの差がみられた。
- 地力窒素発現量の年次変動も認められ、1986年～1990年にかけて農総試本場内で調査した結果、夏期が例年になく高温に経過した1990年に最も多く、7月中旬以降の日照が少なかった1987年に最も少なく、10a当たり約2～3kgの変動がみられた。
- 窒素無機化特性値と地力窒素発現量との関係について検討した結果、E_a（見かけの活性化エネルギー）は大部分の土壌が16,000～20,000cal/molの範囲にあり、この範囲における稲作期間中の地力窒素発現量の相違は小さく、土壌間の差は問題にならないと考えられた。したがって、水田土壌の地力窒素発現量は無機化特性値kとN₀の値によって決定され、kが大きいほど、またN₀が大きい土壌ほど多いことが認められた。
- 地力窒素発現量の推定値と実際の水田圃場における水稻による地力窒素吸収量（窒素無施用区の水稲窒素吸収量で示す）との関係について調査した。地力窒素発現量に対する吸収量の割合は、移植後25日頃は35%前後と低かったが、移植後35日頃には55～75%となり、移植後35日以降については70～80%の値で推移し、それ以降は発現した地力窒素が効率的に水稻により吸収されていることが窺えた。
- 地力窒素吸収量と土壌中に残存するアンモニア態窒素量との合計量を地力窒素供給量として、地力窒素発現量の推定値との比較を行った。その結果、生育初期には年次による変動がみられ、成熟期近くには推定値に比べ低くなったものの、実測の地力窒素供給量は推定値の80～100%で推移し、両者はかなりよく一致していた。
- 標準量を施肥した条件下で、地力窒素吸収量と中生の短稈多収品種ニシホマレの収量との関係について調査した結果、地力窒素吸収量が10a当たり8kgまでは地力窒素量の増加に応じて収量は高くなるが、地力窒素



量が 9kg 近くで頭打ちとなり、これ以上の地力窒素レベルでは施肥窒素量を減肥しないと窒素過剰となることが認められた。

- 7) 基肥を10a当たり3～6kg、穂肥を 2+1.5kg施肥した条件下で、地力窒素吸収量と中生の良食味品種ヒノヒカリの収量との関係について調査した結果、地力窒素量が 10a当たり 8kg 近くで収量は頭打ちとなること、また収量性からみて、地力窒素吸収量が 10a当たり7～8kgの水田では基肥窒素量は 4.5kgで十分なこと、さらに地力窒素レベルが多くなると、もっと減肥してよいことが認められた。

第4章 稲体の窒素栄養と地力窒素発現量に基づく生育診断法

水稻の窒素吸収量は地力窒素と施肥由来の窒素とに大別される。したがって、地力窒素発現量を予測し、それに基づいた適正な施肥の診断法を確立するためには、地域や土壌の種類ごとに水稻生育期間中における地力窒素及び施肥窒素それぞれの吸収量の推移を時期別に明らかにしておくことが必要である。また、水稻の生育量や収量、収量構成要素は各生育期ごとの水稻窒素吸収量との関連性が高く、また過剰な窒素吸収は品質の悪化に繋がることから、これらの関係について詳細に解析し、水稻の安定多収と品質維持のために必要な各生育期ごとの最適な窒素吸収量の指標値を明らかにしておくことが必要である。そのため、福岡県下の試験地圃場において、中生品種ニシホマレ及びヒノヒカリを対象に、以上の点について検討した。

1 水稻による施肥窒素及び地力窒素吸収量の時期別推移

福岡県内試験地の水田土壌において、中生品種ニシホマレ及びヒノヒカリを対象に、水稻生育期間中における地力窒素及び施肥窒素吸収量の時期別推移について検討した。また、各水田土壌における施肥窒素の利用率を明らかにした。

試 験 方 法

1986～1988年に、中生品種ニシホマレを供試し、福岡農総試本場、豊前分場、筑後分場内の水田（土壌の性質は、第3章の第7表に示した）及び県内各地域の土壌を30cmの深さに充填して造成した本場内のコンクリート枠水田（第15表）において、各水田圃場に標準施肥区及び窒素無施用区を設けて、水稻の生育、収量並びに各生育時期における乾物重及び窒素吸収量の推移を調査した。試験区の規模は、1区10～20m²で2反復とした。なお、一部の水田では1987年以降ツクシホマレを用いたが、両品種の時期別窒素吸収量の推移や施肥窒素量及びその利用率には差がなかったため、3年間の平均を取りまとめた。施肥区の窒素施用量は福岡県の施肥基準に準じ、本場及び豊前分場では10a当たり基肥7kg、穂肥3+2kg、筑後分場では基肥7kg、穂肥4+2kgとした。また、造成圃場については、地力の極端に劣る吉木土壌では基肥11kg、穂肥4+3kgとし、他土壌では基肥を甘木土壌7～9kg、二日市土壌4～7kg、三潞土壌7kgとし、穂肥はいずれの土壌も3+2kgとした。穂肥の施用時期は、第1回目が出穂前の20～25日目、第2回はその7～10日後である。リン酸は10a当たり7kgを基肥に施用し、カリは窒素と同量を基肥及び穂肥に施用した。栽植密度は22.2株/m²で、1株4本植えとし、稚苗を6月17～23日に移植した。収穫期は10月下旬である。

1989～1990年には、中生の良食味品種ヒノヒカリを供試し、福岡農総試本場内の地力増強程度が異なる水田（供試土壌の性質は第16表に示した）において、施肥区及び窒素無施用区（1区面積10～30m²、2反復）を設けてニシホマレと同様の調査を実施した。施肥区の基肥量は圃場により10a当たり6、4.5、3kgを設定し、穂肥は2+1.5kgとした。穂肥の施用時期は、第1回目が出穂前の18～20日目、第2回はその7～10日後である。リン酸は

第15表 水田の作土の種類と理化学性

地域	土壌No.	土壌の種類と土性	pH	作土深 cm	全炭素 %	全窒素 %
吉 木	Y	中粗粒黄色土表土、SL	5.6	10.0	0.24	0.025
甘 木	A	黒ボク土表土、CL	6.4	10.2	4.93	0.303
二日市	F-1	中粗粒灰色低地土表土、SL	6.2	10.0	0.94	0.082
"	F-2 ¹⁾	"	6.4	11.3	1.01	0.100
三 潞	M	細粒灰色低地土表土、LiC	6.3	10.4	1.77	0.155

1) 二日市F-2は、牛ふん堆肥(2t/10a)連用土壌。

第16表 供試水田土壌の有機物の施用来歴と理化学性

地域	土壌No.	有機物の 施用来歴 ¹⁾	作土深 cm	全炭素 %	全窒素 %
本場	N-2	△	12.0	1.75	0.148
	N-3	○	14.4	1.93	0.167
	N-5	○	14.9	1.85	0.164
	N-6 ²⁾	◎	15.0	2.58	0.212
	N-7	○	14.8	1.29	0.116
	N-8	○	14.9	2.25	0.205

1) ◎：施用多 ～ △：施用少ない。

2) N-6は牛ふん堆肥連用土壌。

10a当たり6kgを基肥に施用し、カリは窒素と同量を基肥及び穂肥に施用した。栽植密度は22.2株/m²で、1株4本植えとし、稚苗を6月15～20日に移植した。収穫期は10月中旬である。

なお、稲体窒素は乾物重測定後の風乾試料を粉碎した後、ケルダール法により分析した。そして、次に示す値を水稻の各生育時期ごとに求めた。

地力窒素吸収量：前章で示したように、各生育時期における窒素無施用区の水稲窒素吸収量を地力窒素吸収量とした。

施肥窒素吸収量：各生育時期における施肥区の水稲窒素吸収量を調査し、この値から窒素無施用区の水稲窒素吸収量を控除したものを施肥に由来する窒素の吸収量とした。

地力窒素依存度：施肥条件下で水稻を栽培した場合、水稻が吸収した窒素のうち、地力窒素の占める割合を示し、次式により求められる。

$$\text{地力窒素依存度}(\%) = (\text{無窒素区の水稲窒素吸収量} \div \text{施肥区の水稲窒素吸収量}) \times 100$$

$$\text{施肥窒素の利用率}(\%) = (\text{施肥区の水稲窒素吸収量} - \text{無窒素区の水稲窒素吸収量}) \div \text{施肥窒素量} \times 100$$

第17表 供試水田土壌におけるニシホマレの地力窒素吸収量、施肥窒素吸収量及び収量¹⁾

(kg/10a)																
土壌 ²⁾	移植後35日まで			移植後45日まで			幼穂形成期まで			穂揃期まで			成熟期まで			収 量
	地 力 窒 素	施 肥 窒 素	合 計	地 力 窒 素	施 肥 窒 素	合 計	地 力 窒 素	施 肥 窒 素	合 計	地 力 窒 素	施 肥 窒 素	合 計	地 力 窒 素	施 肥 窒 素	合 計	
Y	0.5	2.3	2.8	0.8	2.8	3.6	0.9	3.7	4.6	1.7	8.0	9.7	2.6	7.4	10.0	482
A	0.9	2.7	3.6	1.3	3.0	4.3	1.7	3.6	5.3	2.9	6.5	9.4	4.3	6.1	10.5	506
F-1 ³⁾	1.1	2.3	3.4	1.4	3.0	4.4	1.9	2.7	4.6	3.6	5.9	9.5	5.0	5.0	10.0	490
B	2.2	2.7	4.9	3.1	2.9	6.0	--	--	--	4.6	6.8	11.4	5.9	6.7	12.6	580
F-2	1.6	2.1	3.7	2.3	2.3	4.6	2.4	2.6	5.0	4.8	5.7	10.5	6.1	5.3	11.4	539
N-1	1.5	2.1	3.6	2.5	2.8	5.3	2.8	3.7	6.5	5.4	6.8	12.2	6.2	6.7	12.9	553
N-2	2.3	2.5	4.8	3.5	3.8	7.3	3.7	3.5	7.2	5.2	6.9	12.1	6.2	6.2	12.4	584
M	2.7	2.5	5.2	3.1	3.6	6.7	4.0	3.6	7.6	6.0	6.7	12.7	7.2	6.2	13.4	599
N-3	3.1	2.6	5.7	4.3	3.2	7.5	4.9	3.1	8.0	6.3	6.4	12.7	7.4	6.2	13.6	613
N-4	2.7	2.3	5.0	3.9	3.8	7.7	4.8	3.5	8.3	6.9	6.5	13.4	7.7	6.7	14.4	611
C-1	3.3	2.5	5.8	4.2	4.5	8.7	--	--	--	7.0	7.9	14.9	8.6	7.7	16.3	669
N-5	2.7	2.4	5.1	4.1	4.1	8.2	5.0	3.7	8.7	7.3	7.3	14.6	8.6	5.8	14.4	634
C-2	3.1	1.9	5.0	5.5	2.3	7.8	--	--	--	8.2	6.4	14.6	8.9	6.3	15.2	664
N-6	2.9	2.5	5.4	4.9	3.7	8.6	5.2	4.0	9.2	8.1	6.1	14.2	9.3	5.7	15.0	635
C-3	--	--	--	5.3	3.7	9.0	--	--	--	8.7	4.9	13.6	9.9	4.8	14.7	613
C-4	--	--	--	6.7	1.9	8.6	--	--	--	8.3	5.8	14.1	10.4	5.0	15.4	637
C-5	--	--	--	5.0	4.2	9.2	--	--	--	8.3	7.8	16.1	10.7	4.5	15.2	665
平均	2.2	2.4	4.6	3.6	3.2	6.8	3.5	3.4	6.9	6.1	6.6	12.7	7.4	6.0	13.4	--

1) 基準値を施肥した条件下での3年間(1986～1988年)の平均値。

2) 土壌の略号：Yは吉木、Aは甘木、Fは二日市、Bは豊前分場、Nは農総試本場、Mは三潞、Cは筑後分場。

3) 各土壌に付した-1、-2、-3……は、同試験地内の水田No.(地力窒素吸収量の多い順に並べた)。

結 果 及 び 考 察

1986～1988年の調査圃場における水稻ニシホマレの窒素吸収量に基づいて、その少ないものから順に並べ、施肥条件下での窒素吸収量を地力窒素及び施肥窒素の吸収量に分けて、両者の時期別推移について比較した(第17表)。

地力窒素吸収量には土壌間で著しい差がみられ、生育が進むにつれてその差が拡大した。成熟期の窒素吸収量でみると、10a当たり 3kg未満の吉木土壌から、筑後川下流域の肥沃な筑後土壌では10kg以上の圃場まで大きく変動した。各生育時期における地力窒素の吸収量は、移植後35日で0.5～3.3kg、移植後45日で 0.8～6.7kg、穂揃期で 1.7～8.7kgであり、試験地間の比較では筑後分場内の水田(C土壌)で多く、次いで農総試本場(N土壌)、豊前分場(B土壌)の順であり、農総試本場内の水田では、有機物の施用来歴が多く、地力増強程度の大きい水田ほど多く、この結果は速度論的方法により推定した各水田土壌の地力窒素発現量と平行した関係にあった。なお、地力窒素吸収量には年次変動が認められ、夏期の地温が高く推移した1986年に多く、7月中旬以降日照不足に見舞われた1987年に最も少なかった。しかし、土壌間差の傾向はほとんど変わらなかった。

一方、施肥窒素の吸収量は土壌間で異なるものの、大半の土壌が移植35日後で10a当たり 2～2.5kg、移植45日後～幼穂形成期で 3～4kg 弱、穂揃期～成熟期で 5～8kg であり、地力窒素に比べると土壌間の差は小さかった。したがって、施肥条件下でも地力窒素の違いが水稻窒素吸収量に大きく反映していることが明らかである。

次に、成熟期における地力窒素吸収量を 100とした場合の移植期から各生育時期までの地力窒素吸収割合及び

第18表 ニシホマレにおける生育時期別の地力窒素
吸収割合¹⁾と地力窒素依存度

土 壤	移植期から各生育時期までの地力窒素 吸収割合 (%)					生育期間 中におけ る地力窒 素吸収量 (kg/10a)	施肥区 総窒素 吸収量 (kg/10a)	地力窒素 依存度 (%)
	移植 後 25日	移植 後 35日	移植 後 45日	幼 穂 形成期 まで	穂揃期 まで			
Y	9±1	21±3	29±4	36±1	67±15	2.6±0.5	10.0±0.8	26
A	9±1	22±5	30±0	39±6	67±11	4.3±0.4	10.5±1.3	41
F-1	11±2	21±3	28±6	39±6	72±14	5.0±0.4	10.0±1.1	50
B	15±3	38±5	53±4	—	77±5	5.9±0.5	12.6±0.6	47
F-2	11±2	26±1	35±2	40±6	79±17	6.1±1.0	11.4±1.0	54
N-1	9±0	24±6	41±9	45±3	87±10	6.2±0.2	12.5±0.7	50
N-2	15±3	37±10	58±6	60±7	84±6	6.2±0.4	12.4±0.3	50
M	17±1	37±6	45±6	56±1	84±14	7.2±0.6	13.4±0.5	54
N-3	14±2	42±3	57±0	68±0	85±3	7.4±0.2	13.6±0.4	54
N-4	12±5	39±5	50±0	58±0	86±0	7.7±0.2	14.4±0.4	53
C-1	17±4	38±6	49±10	—	81±4	8.6±0.1	16.3±0.8	53
N-5	10±1	32±9	47±11	57±4	85±8	8.6±0.8	14.4±0.1	60
C-2	12±2	36±14	61±1	—	92±5	8.0±0.5	15.2±1.0	59
N-6	12±2	32±8	51±3	59±9	87±6	9.3±0.9	15.0±1.2	62
C-3	—	—	54±9	—	88±0	9.9±1.0	14.7±0.2	67
C-4	—	—	65±9	—	79±7	10.4±0.2	15.4±0.9	68
C-5	—	—	47±10	—	78±15	10.7±0.7	15.2±0.6	70
平均	12	31	47	51	81	—	—	54

1) 3年間(1986～1988年)の平均値±標準偏差。

2) 土壌の略号: Yは吉木、Aは甘木、Fは二日市、Bは豊前分場、Nは農総試本場、Mは三潞、Cは筑後分場。

地力窒素の依存度を第18表に示した。時期別の吸収割合は土壌の種類により傾向が異なったが、調査水田圃場を平均すると、稲作期間中の総地力窒素吸収量の約50%が移植期から幼穂形成期までに、80%が穂揃期までに吸収されていることが認められた。地力窒素吸収量の少ない吉木、甘木、二日市土壌では、生育前半の吸収割合が少なく、生育後半とくに穂揃期以降の吸収割合が多いことが認められた。この原因として、これら肥沃度の低い土壌では水稻の根系の発達が遅れるため、生育前半においては作土からの窒素吸収能力が他土壌より劣ることによると考えられる。また、甘木や二日市土壌では、第2章で述べたように室内培養実験により求めた無機化特性値 k の値が小さく(第2表)、生育前半の地力窒素発現割合が少ないことに起因していると考えられる。

地力窒素の依存度については、地力窒素吸収量の極めて少ない吉木土壌で26%と低かったが、他の土壌は40%以上で50~60%の圃場が大部分を占め、平均でも54%であった。ニシホマレの窒素施肥量は10a当たり12~13kgで他品種に比べて多く、施肥からの窒素吸収量が多い品種であるが、このような品種においても施肥窒素より地力窒素の方が多く吸収されていた(第18表)。なお、各生育時期における地力窒素依存度にはそれほど大きな変動はなかった。

施肥窒素の利用率は土壌の種類で異なり、同一試験地内でも筑後分場内の水田(C土壌)では有機物施用や水管理の違いによる調査圃場間のバラツキがみられたが、試験地ごとに基肥及び穂肥の利用률을平均して第19表に示した。

基肥窒素は幼穂形成期までには利用されるとみられる(和田ら1971a、高橋ら1973、庄子ら1974)こと、また調査圃場においても、基肥施用区の土壌中アンモニア態窒素量は移植後45日目頃には窒素無施用区と変わらないことから、施肥窒素の効果はそれ以降はほとんどないものと考えられた。したがって、幼穂形成期または移植45日後の施肥区と窒素無施用区の差し引き計算によって基肥の利用률을求めることとした。同様に、穂肥窒素の水稻による吸収は穂肥施用後7~10日以内でほとんど終了する(和田ら1971b)とみられ、調査圃場においても、穂肥施用区の土壌中アンモニア態窒素量は穂揃期にはほとんど残存しないことから、幼穂形成期以降穂揃期までの施肥区と窒素無施用区の差し引き計算によって穂肥の利用률을求めることとした。

このようにして求めた基肥窒素の利用率は34~51%、平均で44%、穂肥窒素の利用率は58~78%、平均で64%であった。施肥区と無窒素区の差し引き法により求めた施肥窒素の利用률については、基肥が30~50%、穂肥が40~80%の範囲にあり(和田ら1971a、和田ら1971b、吉野・出井1978、深山1988)、これらと比べると、一部の土壌で基肥の利用률이やや高かった他は類似する値であった。

1989年及び1990年の農総試本場内水田における水稻ヒノヒカリの地力窒素吸収量及び施肥窒素吸収量の時期別推移を第20~21表に示した。

1989年の調査では、地力窒素吸収量は水田土壌間の地力増強程度の違いによって大きく異なり、N-2土壌で少なく、牛ふん堆肥連用水田であるN-6土壌及び有機物の施用来歴の多いN-7土壌で多く推移した。各生育時期における地力窒素吸収量は、移植後35日が10a当たり1.5~3.1kg、移植後45日が1.6~3.9kg、幼穂形成期が3.1~5.6kg、穂揃期が4.3~8.2kgであり、成熟期で4.7~8.9kgと約4kgの差があった。一方、成熟期における施肥窒素吸収量は3.1~4.8kgで各生育時期においても10a当たり1~2kgの相違があるものの、地力窒素吸収量に比べ土壌間差は少なかった。

1990年の調査では、地力窒素吸収量の土壌間差は少なかったが、N-6及びN-7土壌で、前年と同様に多く推移した。各生育時期における地力窒素吸収量は、移植後35日が10a当たり1.6~2.6kg、移植後45日が3.4~5.8kg、幼穂形

第19表 ニシホマレにおける施肥窒素の利用률 (%)

土 壤	調 査 水田数	窒素利用률	
		基 肥	穂 肥
吉 木 (Y)	1	34	58
甘 木 (A)	1	44	60
二日市 (F)	2	41	64
三 潴 (M)	1	51	61
豊 前 (B)	1	42	78
本 場 (N)	6	50 ± 3	61 ± 6
筑 後 (C)	5	47 ± 16	64 ± 21
平 均		44	64

第20表 ヒノヒカリにおける移植期から各生育時期までの地力窒素吸収量及び施肥窒素吸収量（1989年）

(kg/10a)

土 ¹⁾ 壤	基 肥 量	移植後35日まで			移植後45日まで			幼穂形成期まで			穂揃期まで			成熟期まで		
		地 力 窒 素	施 肥 窒 素	合 計	地 力 窒 素	施 肥 窒 素	合 計	地 力 窒 素	施 肥 窒 素	合 計	地 力 窒 素	施 肥 窒 素	合 計	地 力 窒 素	施 肥 窒 素	合 計
N-2	6.0	1.5	2.5	4.0	2.3	4.0	6.3	3.1	2.6	5.7	4.3	3.8	8.1	4.7	3.6	8.3
N-3	6.0	2.1	2.0	4.1	2.7	2.9	5.6	4.7	1.4	6.1	6.4	4.0	10.4	7.5	4.1	11.6
N-5	4.5	1.9	1.0	2.9	3.4	2.4	5.8	4.9	2.3	7.2	6.6	2.8	9.4	7.6	3.7	11.3
	3.0	〃	1.6	3.5	〃	2.4	5.8	〃	1.3	6.2	〃	2.7	9.3	〃	2.6	10.2
N-6	4.5	2.3	1.1	3.4	4.3	2.1	6.4	5.5	1.8	7.8	8.1	2.2	10.3	8.6	2.7	11.3
	3.0	〃	0.7	3.0	〃	1.5	5.8	〃	1.5	7.0	〃	2.3	10.4	〃	2.1	10.7
N-7	6.0	3.1	2.7	5.8	3.2	3.1	6.3	5.6	2.6	8.2	8.2	5.0	13.2	8.9	4.6	13.5
平均		2.1	1.7	3.8	3.4	2.6	6.0	4.8	2.0	6.8	6.9	3.3	10.2	7.6	3.3	10.9

1) 各土壌に付した -2、-3 ……は、農総試本場内の水田No.を示す。

2) 穂肥はいずれも10a当たり 2 + 1.5kgを施用した。

第21表 ヒノヒカリにおける移植期から各生育時期までの地力窒素吸収量及び施肥窒素吸収量（1990年）

(kg/10a)

土 ¹⁾ 壤	基 肥 量	移植後35日まで			移植後45日まで			幼穂形成期まで			穂揃期まで			成熟期まで		
		地 力 窒 素	施 肥 窒 素	合 計	地 力 窒 素	施 肥 窒 素	合 計	地 力 窒 素	施 肥 窒 素	合 計	地 力 窒 素	施 肥 窒 素	合 計	地 力 窒 素	施 肥 窒 素	合 計
N-2	6.0	2.6	1.7	4.3	3.9	2.4	6.3	4.5	3.0	7.5	6.1	3.9	10.0	7.1	4.8	11.9
N-8	6.0	1.8	0.4	2.2	4.6	1.7	6.3	5.2	1.7	6.9	6.8	4.2	11.0	7.2	3.2	10.4
N-5	4.5	1.6	0.6	2.2	3.4	1.4	4.8	5.0	1.7	6.7	6.4	3.3	9.7	7.2	3.4	10.6
N-7	5.0	—	—	—	4.5	1.9	6.4	5.6	3.0	8.6	7.4	5.6	13.0	8.9	4.4	13.3
N-6	4.5	2.6	0.0	2.6	5.8	0.4	6.2	6.6	0.7	7.3	7.7	4.1	11.8	9.5	3.1	12.6
平均		2.1	0.7	2.8	4.4	1.6	6.0	5.4	2.0	7.4	6.9	4.2	11.1	8.0	3.8	11.8

1) 各土壌に付した -2、-3 ……は、農総試本場内の水田No.を示す。

2) 穂肥はいずれも10a当たり 2 + 1.5kgを施用した。

第22表 ヒノヒカリにおける生育時期別の地力窒素吸収
割合及び地力窒素依存度（農総試本場、1989年）

土 壤	移植期から各生育時期までの 地力窒素吸収割合（％）				地力窒素 依存度 （％）
	移植後 35日	移植後 45日	幼穂形成期 まで	穂揃期 まで	
N-2	32	49	65	90	57
N-3	28	37	63	86	64
N-5	25	45	64	87	71
N-6	27	49	64	94	79
N-7	35	36	63	93	66
平 均	29	43	64	90	67

- 1) N-2,N-3,N-7土壤は、基肥10a当たり6kg施用した。N-5, N-6土壤は
基肥3kg及び4.5kg施用した区の平均で示した。
穂肥はいずれも10a当たり 2+1.5kgを施用した。

第23表 ヒノヒカリにおける生育時期別の地力窒素吸収
割合及び地力窒素依存度（農総試本場、1990年）

土 壤	移植期から各生育時期までの 地力窒素吸収割合（％）				地力窒素 依存度 （％）
	移植後 35日	移植後 45日	幼穂形成期 まで	穂揃期 まで	
N-3	36	55	64	85	60
N-8	25	65	73	96	69
N-5	22	47	70	88	68
N-7	—	50	63	83	67
N-6	27	61	70	81	75
平 均	28	56	68	87	68

- 1) 10a当たり基肥施用量をN-3,N-8土壤は6kg,N-7土壤は5kg,N-5,N-6
土壤は4.5kgとした。
穂肥はいずれも10a当たり 2+1.5kgを施用した。

成期が4.5～6.6kg、穂揃期が6.1～7.7kg、成熟期が7.1～9.5kgであり、1990年は7月上旬以降が例年になく高温に経過し、生育が進んだため、移植45日後の地力窒素吸収量が前年に比べかなり多かった。一方、生育前半の施肥窒素吸収量は前年に比べ少なく、とくに堆肥連用水田であるN-6土壌で少なかった。成熟期における施肥窒素吸収量は3.1～4.8kgで、地力窒素吸収量の1/2～1/2以下と少なかった。

次に、成熟期における地力窒素吸収量を100とした場合の移植時から各生育時期までの地力窒素吸収割合及び地力窒素の依存度を第22～23表に示した。時期別の吸収割合は年次により異なったが、稲作期間中の総地力窒素吸収量の60～70%が移植期から幼穂形成期までに、約90%が穂揃期までに吸収されていることが認められた。この結果をニシホマレの場合と比べると、ヒノヒカリでは生育前半の幼穂形成期までの吸収割合が高かった。

地力窒素依存度は、施肥窒素吸収量の少ないN-5、N-6土壌で低く、施肥窒素量の違いによる差がみられたが、1989年が57～79%、1990年が60～75%と農総試本場内におけるニシホマレの地力窒素依存度50～62%に比べてかなり高く、ヒノヒカリでは地力窒素により受ける影響の大きいことが明らかとなった。

また、ヒノヒカリに対する施肥窒素の利用度を計算した結果、基肥が40%、穂肥が54%であった。この値は、施肥区と窒素無施用区の差し引き法により求められた施肥窒素の利用度、基肥30～50%、穂肥40～80%の範囲内にあった(和田ら1971a、和田ら1971b、吉野・出井1978、深山1988)が、農総試本場内で調査したニシホマレの利用度：基肥50%、穂肥61%に比べて低い値であった。このことは、両品種間における水管理等栽培法の相違に基づくほか、両品種の窒素吸収特性や地力窒素に対する影響が大きく異なることによると考えられる。

以上のように、品種間において生育期間中における地力窒素の影響や窒素吸収の特性がかなり相違することが認められたことから、それぞれの品種ごとの特性に対応した施肥診断法の確立が必要と考えられた。

2 水稻窒素吸収量とニシホマレの生育、収量との関係

地力窒素の供給量に応じた適正な施肥診断法を確立するため、稲作期間中における地力窒素及び施肥窒素吸収量の時期別推移を明らかにしたが、水稻の生育や収量、収量構成要素は各生育時期ごとの水稻窒素吸収量との関連性が高いことから、さらに両者の関係について解析し、ニシホマレを対象に、一定収量を得るために必要な窒素吸収量の指標値を明らかにした。

試 験 方 法

調査圃場は、福岡農総試本場、豊前分場及び筑後分場内の水田である。1986～1988年に、中生品種ニシホマレを供試し、各圃場に標準施肥区(福岡県施肥基準に準ずる)と窒素無施用区のほか、基肥の窒素施用量を10a当たり4～10kgまで変えた区及び追肥を10a当たり2～5kg施用した区を設けた。そして、各生育時期(幼穂形成期、穂揃期、成熟期)にそれぞれの試験区から稲穂10株を採取し、稲穂の乾物重と窒素濃度を測定し、窒素吸収量を求めた。また、各時期ごとの水稻の生育と収量、収量構成要素、外観品質の調査を行い、これらと窒素吸収量との関係について検討した。試験区の規模は、1区10～20m²で2反復とした。栽培方法は稚苗を用い、1株4本植えとし、栽植密度は22.2株/m²で6月17～23日に移植した。収穫期は10月下旬である。なお、稲穂窒素は乾物重測定後の風乾試料を粉碎した後、ケルダール法により分析した。また、外観品質については、農林水産省食糧事務所に検査等級の判定を依頼した。

結 果 及 び 考 察

水稻窒素吸収量と水稻の生育量との関係についてみると、幼穂形成期までの窒素吸収量はm²当たりの穂数と、穂揃期までの窒素吸収量はm²当たり穎花数と関連の高いことが想定される。そこで、1986～1987年に、各生育時期におけるニシホマレの水稻窒素吸収量とm²当たり穂数や穎花数との関係について、調査を実施した。

調査圃場における幼穂形成期までの水稻窒素吸収量は0.7～10.8kg/10aの範囲にあり、水稻窒素吸収量とm²当たり穂数との間に相関が認められ、両者の関係は一回帰直線で示された(第15図)。しかし、調査年次で傾向がやや異なり、夏期が日照不足に見舞われた1987年には、1986年に比較して同じ窒素吸収量でもm²当たり穂数は少

なかった。

穂揃期までの水稻窒素吸収量は1.3～16.5 kg/10aの範囲にあり、窒素吸収量とm²当たり穎花数との間には高い相関が認められ、両者の関係は1次回帰直線で表わされた(第16図)。得られた回帰式から、ニシホマレにおいてm²当たり穎花数30,000粒以上を確保するためには、穂揃期までに10a当たり13.5kg前後以上の窒素吸収が必要であると推察される。

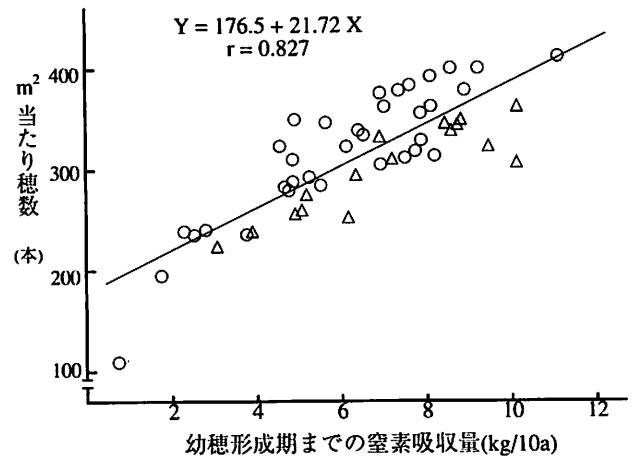
成熟期までの水稻窒素吸収量と精玄米収量との関係について1986～1988年に調査した結果、成熟期の水稻窒素吸収量は2.0～17.0kg/10aの範囲にあり、窒素吸収量と収量との関係は2次回帰曲線で表わされた(第17図)。年次間の比較では、夏期の日照が少なかった1987年には、窒素吸収量が多くなると、同じ窒素吸収量でも収量は他の年に比べ低くなった。窒素吸収量と収量との関係をみると、窒素吸収量が少ない範囲では吸収量に比例して収量は顕著に増加し、吸収量が多くなるのに伴い次第に増加割合は少なくなるが、15～16kg前後まで収量の増加が認められた。しかし、それ以上に吸収量が多くなると収量は頭打ちとなるのがみられた。

水稻窒素吸収量と収量構成要素との関係についてみると、登熟歩合には年次間差や地域間差があるが(第18図)、各年次ごとや同じ地域内で比較すると、窒素吸収量が多くなるほど登熟歩合の低下する傾向が認められた(第19図)。窒素吸収量と玄米千粒重との間には、一定の傾向は認められなかった。

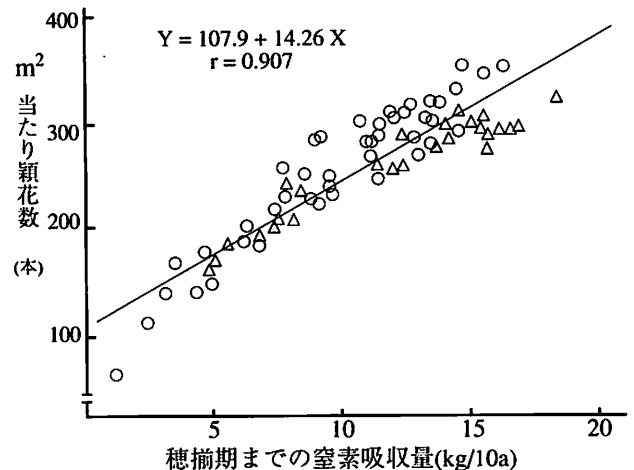
次に、成熟期までの水稻窒素吸収量と玄米の外観品質との関係(第20図)については、両者の間にそれほど明確な傾向は認められなかったが、窒素吸収量が多くなると、品質がかなり低下する圏場がみられた。

以上のように、水稻窒素吸収量と生育・収量との関係についてみてきたが、さらに調査水田圃場を3年間にわたる収量性に基づいて区分し、それぞれの収量レベルごとに水稻生育期間中における窒素吸収量の推移について検討した。

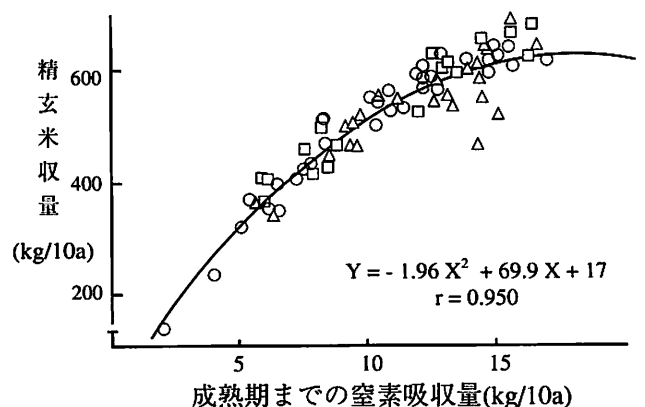
調査水田における移植期から各生育時期までの水稻窒素吸収量とそれぞれの水田において得られた収量データを基に回帰式を作成し(第21、22図)、各々の収量レベルに対応した水稻生育期間中の窒素吸収量の指標値を求めた(第23図)。10a当たりの各収量レベルにおける水稻窒素吸収量の指標値は、収量500kgレベルで幼穂形成期までが4.7kg、穂揃期までが9.4kg、収量550kgレベルで幼穂形成期までが6.3kg、穂揃期までが11.2kg、収量600kgレベルでそれぞれ7.8kgと12.9kg、収量650kgレベルでは9.3kgと14.7kgである。



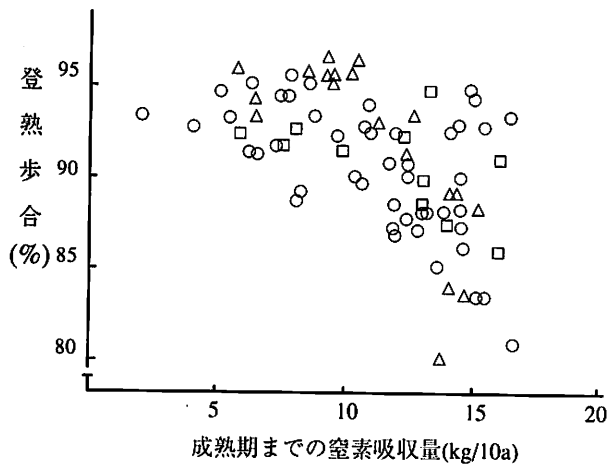
第15図 幼穂形成期までの窒素吸収量とm²当たり穂数
○は1986年、△は1987年。品種はニシホマレ。



第16図 穂揃期までの窒素吸収量とm²当たり穎花数
○は1986年、△は1987年。品種はニシホマレ。

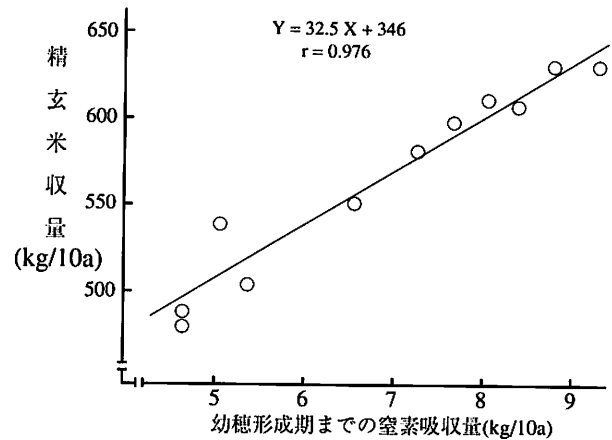


第17図 成熟期までの窒素吸収量と精玄米収量
○は1986年、△は1987年。□は1988年。品種はニシホマレ。



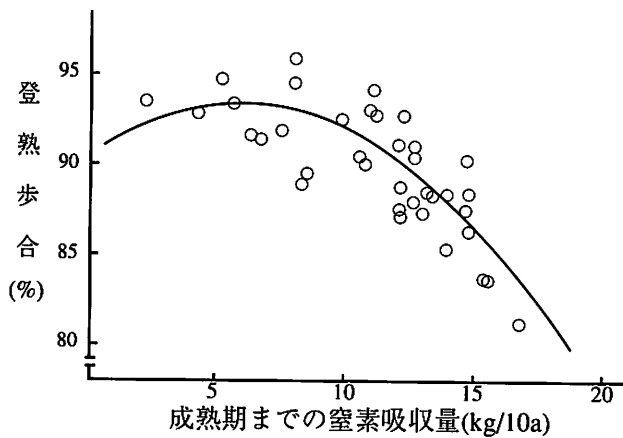
第18図 成熟期までの窒素吸収量と登熟歩合

○は1986年, △は1987年, □は1988年。品種はニシホマレ。



第21図 収量レベルと幼穂形成期までの窒素吸収量との関係

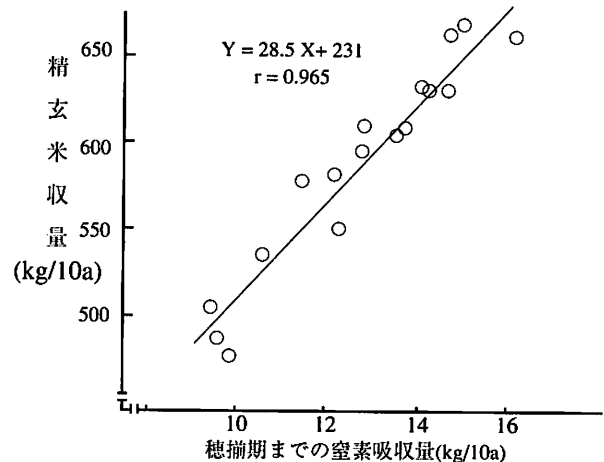
- 1) 窒素吸収量及び精玄米収量は県内各地域の水田土壌1986～1988年の平均値を用いた。
- 2) 品種はニシホマレ。



第19図 成熟期までの窒素吸収量と登熟歩合

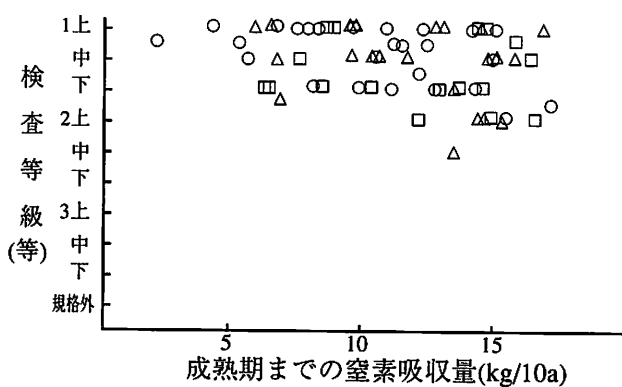
(農総試本場, 1986年)

品種はニシホマレ。



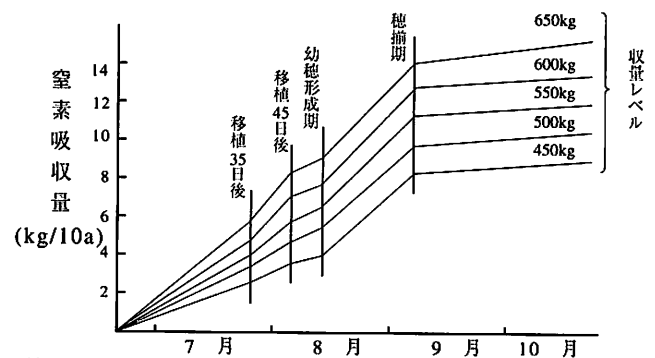
第22図 収量レベルと穂揃期までの窒素吸収量との関係

- 1), 2)は第21図と同じ。



第20図 成熟期までの窒素吸収量と玄米の外観品質

○は1986年, △は1987年, □は1988年。品種はニシホマレ。



第23図 生育期間中におけるニシホマレの収量別の窒素吸収量の指標値

ニシホマレにおいて、一定の収量目標を得るために必要な生育期間中の窒素吸収量の指標値を示す。

3 水稻ヒノヒカリの最適窒素吸収パターンの策定

近年、九州地域においては、中生の良食味品種としてヒノヒカリの作付けが拡大している。しかし、一般に良食味品種は耐倒伏性が十分でないこと、またヒノヒカリは穎花数確保が容易である反面、窒素過多となった場合、穎花数の過剰や登熟悪化を招きやすいこと（真鍋1990）などから、生育期間を通じて窒素が過不足なく適正に供給されることが栽培上の要点を占めている。前述のように、ヒノヒカリは地力窒素による影響が大きいことから、地力窒素の吸収量を考慮した施肥量の基準が必要と考えられる。

ところで、水稻の生育や収量、収量構成要素は各生育時期ごとの水稻窒素吸収量と関連性が高いことから、水稻の生育診断や適正な施肥量の診断のためには、各生育時期ごとに最適な窒素吸収量を明らかにしておくことが必要である。しかし、安定多収を得るための生育目標値については、各県において品種ごとの設定が行われているが、各生育時期における窒素吸収量の目標値についての解析は今まではほとんど行われておらず、現在コシヒカリ等一部の品種について、最適な窒素吸収パターンの策定（上野ら1988、北田1990a、北田ら1991、深山1988）が行われているに過ぎない。また、近年食味への関心が高まる中で、玄米や白米中の各種成分含量と食味との関係について検討がなされ、玄米中の窒素濃度は食味への影響が大きいことが報告されており（松崎ら1973、茶村ら1974、石間ら1974、山下・藤本1974、原田・古城1983、佐々木1989、稲津1990）、水稻生育期間中の窒素吸収パターンについて玄米中の窒素濃度や食味の面からの検討も課題となっている。以上のことから、良食味品種の安定生産と品質・食味の向上を図るため、ヒノヒカリを対象に、各生育時期ごとの望ましい窒素吸収量の指標値について明らかにした。

試 験 方 法

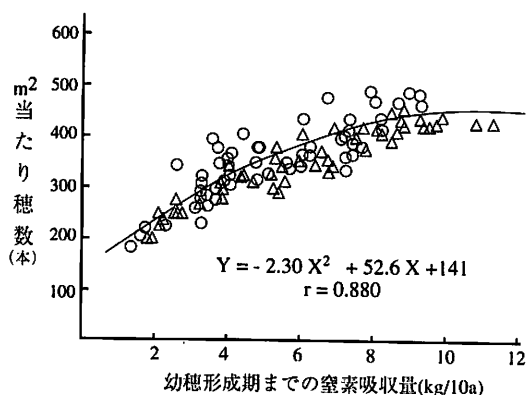
調査水田は、福岡農総試本場内の地力増強程度の異なる水田（土壌の性質は第16表に示した）及び県内各地域の土壌を30cm客土して造成した水田（土壌の性質は第16表に示した）であり、供試した水田土壌間の地力に大きな開きがある。1989～1991年にヒノヒカリを供試し、各水田圃場に施肥区及び窒素無施用区を設けた。施肥区の窒素施用量は、10a 当たり基肥 6kg、穂肥 2+1.5kg を基準として、基肥の窒素量を4～8kg、穂肥の窒素量を2～5kg の範囲で変えた区を設けた。栽植密度は20～22株/m²で、1株4本植えとし、稚苗を6月17～20日に移植した。収穫期は10月中旬である。

各生育時期（幼穂形成期、穂揃期、成熟期）にそれぞれの試験区から稲体10株を採取し、稲体の乾物重と窒素濃度を測定し、窒素吸収量を求めた。また、各時期ごとの水稻の生育と収量、収量構成要素、外観品質の調査及び食味試験を実施し、これらと窒素吸収量との関係について検討した。なお、稲体窒素は乾物重測定後の風乾試料を粉碎した後、ケルダール法により分析した。外観品質については、農林水産省食糧事務所に検査等級の判定を依頼した。食味試験は食糧庁の実施要領に準じて行い（松江1992）、基準米は標準栽培の日本晴とし、パネル評価員の数は12～18名で、1回の供試点数は7～10点とした。

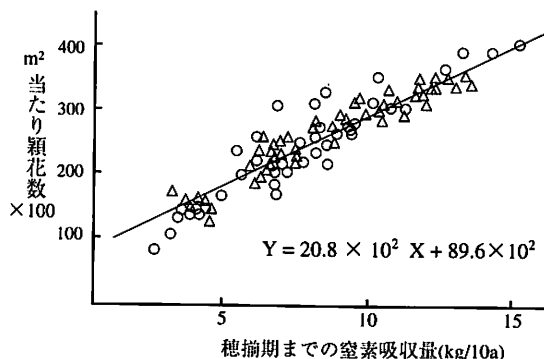
結 果 及 び 考 察

ヒノヒカリは、栽培試験結果に基づいて生育目標値を設定しており、倒伏させずに安定した高作柄を得るためのm²当たり穎花数の目標値を30,000～32,000粒としている（真鍋1990）。そこで、各生育期における水稻窒素吸収量と穂数、穎花数及び収量との関係を調査し、目標穎花数を確保し、安定多収を得るための窒素吸収量の指標値を明らかにした。

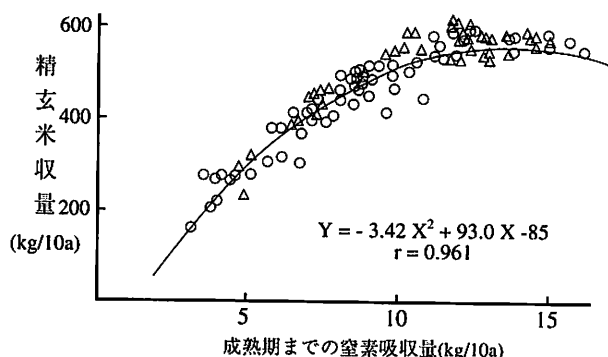
調査水田における幼穂形成期までの水稻窒素吸収量は1.2～11.0kg/10aの範囲にあり、窒素吸収量とm²当たり穂数との関係は2次回帰曲線で表わされた（第24図）。したがって、m²当たり穂数の目標値を380～390本（真鍋1990）とすると、安定的に穂数を確保するためには、幼穂形成期までに10a当たり6.5～7.0kgの窒素吸収が必要である。



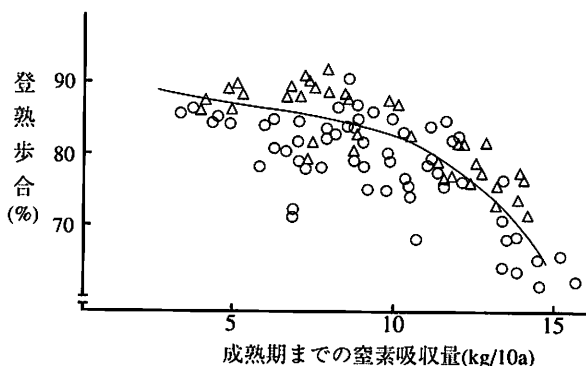
第24図 幼穂形成期までの窒素吸収量とm²当たり穂数との関係
○は1989年, △は1990年。品種はヒノヒカリ。



第25図 穂揃期までの窒素吸収量とm²当たり穎花数との関係
○は1989年, △は1990年。品種はヒノヒカリ。



第26図 成熟期までの窒素吸収量と精玄米収量
○は1989年, △は1990年。品種はヒノヒカリ。

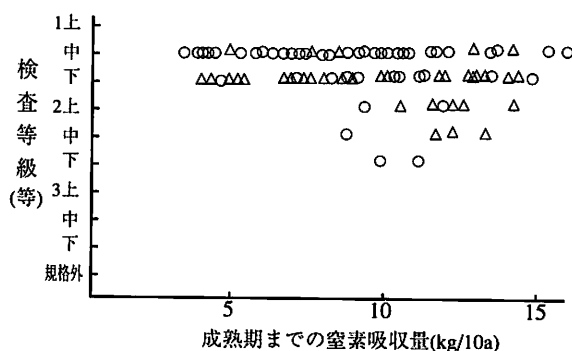


第27図 成熟期までの窒素吸収量と登熟歩合
○は1989年, △は1990年。品種はヒノヒカリ。

穂揃期までの水稻窒素吸収量は2.1～15.1 kg/10aの範囲にあり、窒素吸収量とm²当たり穎花数との関係は1次回帰直線で表わされた(第25図)。したがって、目標穎花数である30,000～32,000粒を確保するためには、穂揃期までに10.0～11.0kgの窒素吸収が必要である。

また、成熟期までの水稻窒素吸収量は3.1～15.9kg/10aの範囲にあり、窒素吸収量と精玄米収量との関係は2次回帰曲線で表わされた(第26図)。そして、窒素吸収量が10a 当たり11kg前後までは、吸収量が多くなるほど収量の増加が認められたが、11～12kg前後で収量は頭打ちとなり、さらに吸収量が多くなるとやや減少の傾向が認められた。したがって、窒素吸収量がこれ以上多くても、収量増は期待できないと推察された。

次に、成熟期までの水稻窒素吸収量と登熟歩合との関係についてみると(第27図)、登熟歩合は窒素吸収量が

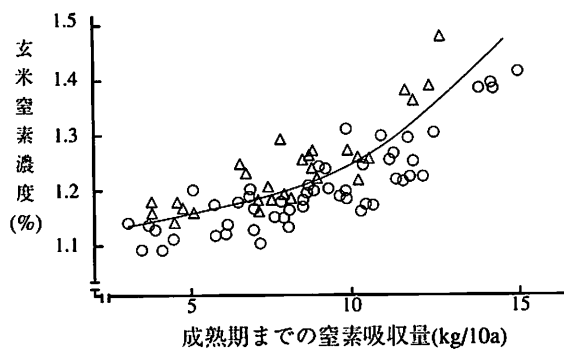


第28図 成熟期までの窒素吸収量と玄米の外観品質との関係
○は1989年, △は1990年。品種はヒノヒカリ。

多くなるほど低下する傾向にあるが、吸収量が10kg前後を境に低下の割合が大きくなり、12kg以上で急激に低下した。このことから、ヒノヒカリの収量が12kg前後で停滞するのは、登熟歩合の低下が主要因であると判断された。なお、窒素吸収量と玄米千粒重との間には、一定の傾向は認められなかった。

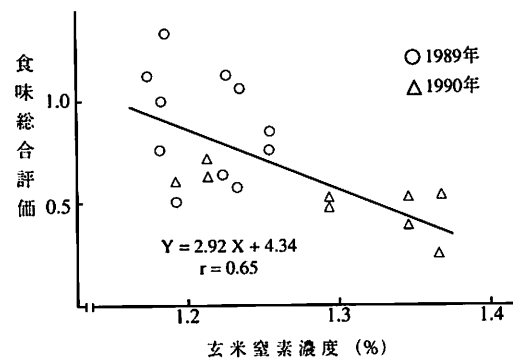
成熟期までの水稻窒素吸収量と玄米の外観品質との関係(第28図)については、1989年は一部の水田で品質の低下がみられた他は、大部分が1等の中～下であり、窒素吸収量との間に一定の傾向はみられなかった。しかし、1990年は窒素吸収量が11～14kgと多い圃場で、品質の低下する傾向が認められ、2等級以下となるものが増加した。

また、食味との関連が高いとされている玄米中窒素濃度との関係について検討した結果(第29図)、成熟期までの水稻窒素吸収量が多くなるほど玄米中窒素濃度が高くなる傾向が認められ、窒素吸収量が11～12kg(玄米中の



第29図 成熟期までの窒素吸収量と玄米の窒素濃度との関係

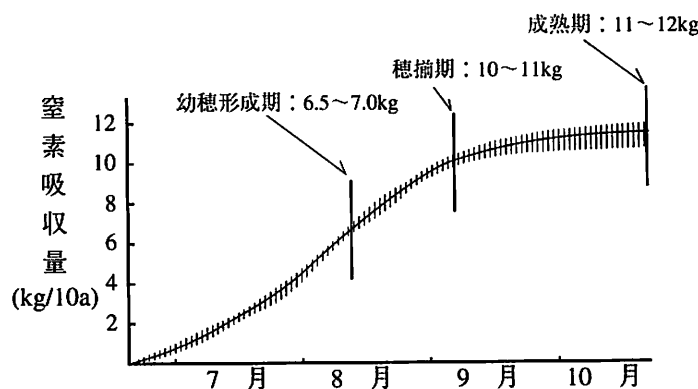
○は1989年、△は1990年。品種はヒノヒカリ。



第30図 玄米窒素濃度と食味総合評価¹⁾との関係

1) 標準栽培の日本晴を基準米として実施した。

窒素濃度で1.3%前後)を境にして、その増加割合が著しく大きくなった。なお、ヒノヒカリの玄米中窒素濃度と食味との関係について検討した結果では、玄米中窒素濃度が高くなるほど食味の低下する傾向が認められたが、日本晴と比較してヒノヒカリの食味は安定して高く、玄米中濃度が1.3%までは問題となる食味の低下は認められなかったが、1.3%以上になると日本晴との食味の有意差が認められなくなるものがあった(第30図)。



第31図 生育期間中におけるヒノヒカリの望ましい窒素吸収パターン

以上の各生育期における水稻窒素吸収量と生育、収量及び品質との関係を基として、さらに調査水田の中で多収を上げている水田圃場の各生育期の窒素吸収量の推移を踏まえて、普通期栽培におけるヒノヒカリの望ましい窒素吸収パターンを策定した(第31図)。

各生育期までの10a当たり水稻窒素吸収量の指標値は、幼穂形成期までが6.5～7.0kg、穂揃期までが10.0～11.0kg、成熟期までが11.0～12.0kgである。

4 稲体の窒素栄養に基づく生育診断

これまでに、水稻の窒素吸収量と生育や収量、品質との関係について検討し、各生育時期における窒素吸収量の指標値を明らかにしたが、実際にこれらを活用して、水稻の安定生産と品質向上を図るためには、さらに生育期間中における稲体の窒素栄養の診断法について検討することが必要である。今まで、稲体の診断については葉色診断が主体に行われ、穂肥の施用時期や量を判断してきた。しかし、葉色診断は稲体の窒素濃度との関係を見ているに過ぎず、窒素栄養の診断として十分であるとはいえない。したがって、診断の精度を高め、適正な施肥を行うためには、稲体の窒素濃度に加えて窒素吸収量を把握し、前述の指標値に基づいた診断法の確立が必要である。そのため、稲体サンプルの採取や分析を行うことなく、草丈、茎数及び葉色から、水稻窒素吸収量を簡易に推定する方法を検討した。

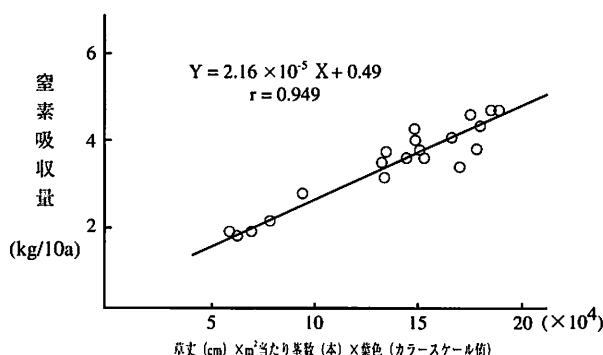
試 験 方 法

福岡農総試本場内の地力増強程度が異なる水田において、1986～1987年にニシホマレを、1989～1991年にヒノヒカリを供試し、各水田圃場に基肥及び追肥の施用量を変えた区を設けて実施した。栽植密度は20～22株/m²で、1株4本植えとし、稚苗を6月17～23日に移植した。移植期から幼穂形成期までの期間中において、水稻の生育（草丈、茎数）及び葉色の調査を行うとともに、各試験区から稲体10株を採取し、乾物重を測定後、窒素濃度の分析を行い、窒素吸収量を求めた。稲の葉色はカラスケールを用いて測定したが、ヒノヒカリについては葉緑素計:SPAD-501を用いての検討も行った。稲体窒素の分析は、ケルダール法により行った。

結 果 及 び 考 察

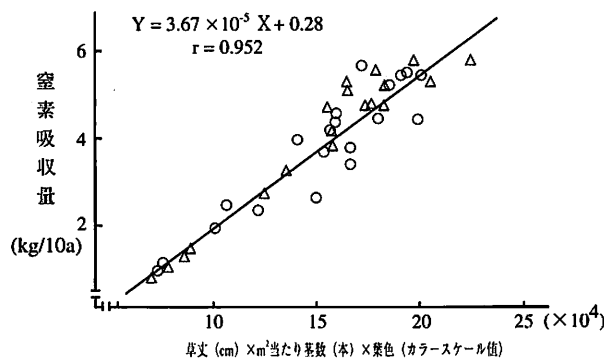
水稻の乾物重は草丈や茎数と関連性が高いと予想されること、また稲の葉色と葉身中窒素濃度との間には高い相関が認められる（中鉢ら1982、丹野ら1982、深山ら1984、中鉢ら1987、吉良ら1990）ことから、水稻窒素吸収量の指標として、草丈×m²当たり茎数×葉色の値を想定して、各生育時期における窒素吸収量との比較を行った。

ニシホマレを供試し、1986年は7月31日時点において、また1987年には7月下旬～8月上旬（7月23日、7月31日、8月5日）における水稻の生育を調査し、草丈(cm)×m²当たり茎数(本)×葉色(カラスケール値)の値を求め、同時点において測定した水稻窒素吸収量との比較を行った。その結果、両者の間にはいずれの時期にも高い相関が認められ（第32、33、34図）、調査時期が遅くなるほど相関係数が高くなった。また、7月31日時点における両者の関係に年次間差がそれほどみられないことから、草丈×m²当たり茎数×葉色の値を測定することで、水稻窒素吸収量の推定が可能と考えられた。なお、水稻窒素吸収量を算出する目的で、水稻の葉身の窒素濃度ではなく、稲体全体



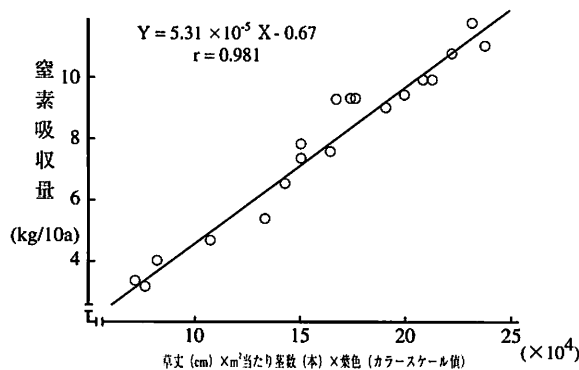
第32図 移植後32日における葉丈×茎数
×葉色と窒素吸収量との関係

1987年7月23日。品種はニシホマレ。



第33図 移植後40日における葉丈×茎数
×葉色と窒素吸収量との関係

○は1986年7月31日、△は1987年7月31日。品種はニシホマレ。



第34図 移植後45日における葉丈×茎数
×葉色と窒素吸収量との関係

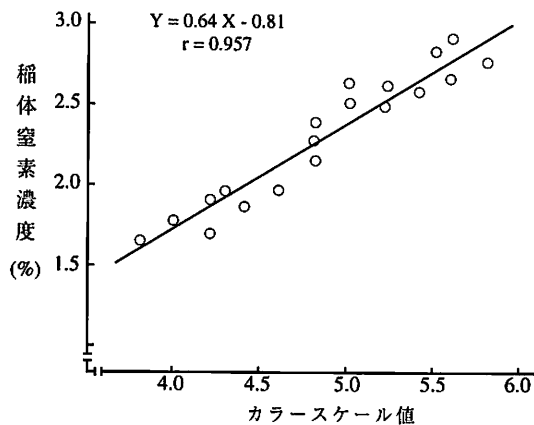
1987年8月5日。品種はニシホマレ。

の窒素濃度の測定を行ったが、各生育時期における稲体窒素濃度とカラススケールによる葉色値との間にも高い相関が認められた (第35図、第24表)。

1989及び1990年には、ヒノヒカリを供試し、移植後35、45日及び幼穂形成期においてニシホマレと同様に調査を実施した。その結果、草丈×m²当たり茎数×葉色の値と水稻窒素吸収量との間には非常に高い相関が認められ、この値を測定することで、幼穂形成期までの水稻窒素吸収量の推定が可能であった。なお、カラススケールの代わりに葉緑素計を用いた場合にも同様に高い相関が認められ、葉緑素計の使用も可能であった (第25、26表、第36図)。以上のことから、草丈×m²当たり茎数×葉色の値を求めることで、稲体の採取や窒素濃度の分析を行うことなく水稻窒素吸収量を推定することが可能であり、前項で明らかにした各生育時期における窒素吸収量の指標値との比較を行うことにより、同時点での稲体の窒素栄養状態を判定することができる。

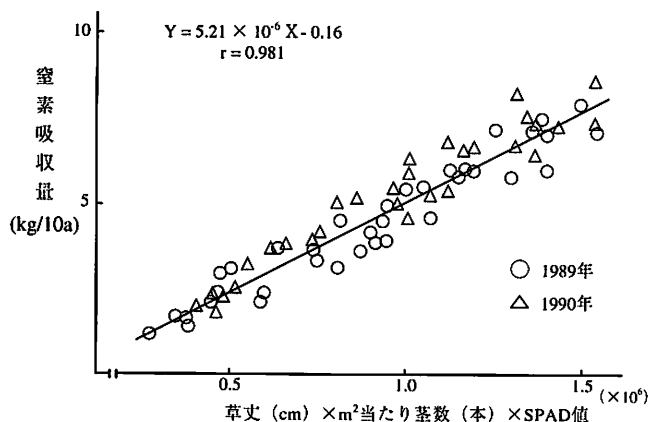
5 摘 要

水稻が吸収する窒素は、地力窒素と施肥由来の窒素とに大別され、また水稻の生育や収量、収量構成要素は生育期間中の水稻窒素吸収量と密接な関係にあることから、地力窒素及び施肥窒素それぞれの吸収量の時期別推移について明らかにするとともに、水稻の窒素吸収量と生育、収量ならびに品質との関係について詳細に解析し、暖地水稻の安定多収と品質向上を図るために必要な移植期から各生育時期までの窒素吸収量の指標値を明らかにした。



第35図 移植後45日におけるカラー
スケール値と窒素濃度との
関係

1987年8月5日。品種はニシホマレ。



第36図 ヒノヒカリの幼穂形成期にお
ける草丈×茎数×葉色¹⁾と窒素吸
収量との関係

1) 葉緑素計SPAD-501による指示値。

第24表 ニシホマレにおける稲体窒素濃度と
カラスケール値との相関(1987年)

調査時期	回 帰 式	相関係数
7月23日	$Y = 0.186X + 1.94$	$r = 0.818$
7月31日	$Y = 0.415X + 0.43$	$r = 0.875$
8月5日	$Y = 0.640X - 0.81$	$r = 0.957$

Y：稲体窒素濃度(%)

X：カラスケール値

第25表 カラスケールによるヒノヒカリ
の生育時期別窒素吸収量の推定式

生育時期	回 帰 式	相関係数
移植35日後	$Y = 3.46 \times 10^{-5} X + 0.04$	$r = 0.897$
移植45日後	$Y = 3.77 \times 10^{-5} X + 0.18$	$r = 0.966$
幼穂形成期	$Y = 4.86 \times 10^{-5} X + 0.22$	$r = 0.956$

Y：10a当たり窒素吸収量(kg)

X：草丈(cm)×m²当たり茎数(本)×葉色(カラスケール値)

第26表 葉緑素計SPAD-501によるヒノヒカリ
の生育時期別窒素吸収量の推定式

生育時期	回 帰 式	相関係数
移植35日後	$Y = 4.24 \times 10^{-6} X - 0.43$	$r = 0.927$
移植45日後	$Y = 4.48 \times 10^{-6} X - 0.22$	$r = 0.955$
幼穂形成期	$Y = 5.21 \times 10^{-6} X - 0.16$	$r = 0.948$

Y：10a当たり窒素吸収量(kg)

X：草丈(cm)×m²当たり茎数(本)×葉色(葉緑素計
SPAD-501の指示値)

- 1) ニシホマレを供試し、水稻窒素吸収量を地力窒素と施肥窒素とに分け、両者の時期別推移を比較した。地力窒素吸収量は移植45日後が10a当たり0.8～6.7kg、穂揃期までが1.7～8.7kgと土壌間で著しい相違がみられた。一方、施肥窒素吸収量は土壌間で異なるものの、大半の土壌が移植45日後で3～4kg、穂揃期までが5～8kgであり、地力窒素に比べ土壌間差は小さかった。地力窒素依存度は50～60%の水田が大部分を占め、平均でも54%であり、ニシホマレは施肥量が10a当たり12～13kgと他品種に比べて多く、施肥窒素の吸収量が多い品種であるが、このような品種においても施肥窒素より地力窒素の方が多く吸収されていた。
- 2) 成熟期におけるニシホマレの地力窒素吸収量を100とした場合の移植期から各生育時期までの地力窒素吸収量の割合は土壌の種類により異なり、地力窒素吸収量の少ない水田では生育前半の吸収割合が少ないが、調査圃場を平均すると、稲作期間中の総地力窒素吸収量の約50%が幼穂形成期までに、約80%が穂揃期までに吸収されていることが認められた。

- 3) 施肥窒素の利用率は土壌の種類によって異なり、ニシホマレにおける基肥窒素の利用率は34～51%、平均で44%、穂肥窒素の利用率は58～78%、平均で64%であった。
- 4) ヒノヒカリを供試して農総試本場内で調査した結果、地力窒素依存度は57～79%で施肥窒素量の相違により変動したが、同場内でのニシホマレの地力窒素依存度50～62%に比べてかなり高く、ヒノヒカリでは地力窒素の影響が大きいことが認められた。
- 5) ヒノヒカリにおける移植期から各生育時期までの地力窒素吸収割合については、幼穂形成期までに稲作期間中の総地力窒素吸収量の60～70%が吸収され、穂揃期までに約90%が吸収されており、ニシホマレに比較して生育前半の吸収割合が高かった。
- 6) 農総試本場内におけるヒノヒカリの施肥窒素利用率は、基肥が40%、穂肥が54%で、同地域におけるニシホマレの施肥窒素利用率：基肥50%、穂肥61%に比べて低かった。このことは、両品種間の水管理等栽培法や窒素吸収特性の相違に基づくものと考えられた。
- 7) 成熟期までの水稻窒素吸収量とニシホマレの収量との関係について調査した結果、窒素吸収量が少ない範囲においては窒素吸収量に比例して収量は顕著に増加するが、吸収量が多くなるにしたがって増加割合は次第に少なくなった。そして、吸収量が15～16kgまで収量の増加がみられたが、それ以上多くなると頭打ちとなるのが認められた。
- 8) ニシホマレの収量性に基づいて調査水田を区分し、それぞれの収量レベルに対応した水稻生育期間中の窒素吸収量の指標値を作成した。10a当たり収量 600kgを確保するためには、幼穂形成期までに 7.8kg、穂揃期までに12.9kgの窒素吸収が必要であり、また 10a当たり 650kgの収量を得るには幼穂形成期までに 9.3kg、穂揃期までに14.7kgの窒素吸収が必要である。
- 9) ヒノヒカリについて、各生育時期ごとの水稻窒素吸収量と生育、収量及び収量構成要素との関係について検討した。ヒノヒカリの目標穎花数であるm²当たり30,000～32,000粒を確保し、安定した作柄を得るためには、幼穂形成期までに 10a当たり6.5～7.0kg、穂揃期までに10.0～11.0kgの窒素吸収が必要である。また、成熟期の窒素吸収量が11.0kg前後までは収量増加が認められたが、11.0～12.0kgで頭打ちとなり、さらに多くなると登熟歩合の低下が大きくなり、やや減少の傾向が認められた。
- 10) 成熟期の水稻窒素吸収量とヒノヒカリの外観品質との関係について調査した結果、1989年には一定の傾向がみられなかったが、1990年には成熟期までの窒素吸収量が11～14kgと多い圃場で品質の低下する傾向が認められた。また、食味との関連が高いとされている玄米中の窒素濃度との関係については、成熟期までの窒素吸収量が多くなるほど高くなる傾向が認められ、窒素吸収量が11～12kgを境にしてその増加割合が著しく大きくなった。
- 11) 各生育時期における水稻窒素吸収量と生育や収量、品質、食味との関係に基づき、また調査水田の中で安定的に多収を得ている水田土壌の窒素吸収量の推移を踏まえて、ヒノヒカリの望ましい窒素吸収パターンを策定し、移植期から各生育時期までの窒素吸収量の指標値を明らかにした。
- 12) 生育期間中における稲体の窒素栄養状態の診断法を明らかにするため、水稻窒素吸収量の簡易推定法について検討した。その結果、各生育時期における草丈×m²当たり茎数×葉色値と窒素吸収量の間には高い相関が認められ、この値により窒素吸収量の推定が可能であった。

第5章 地力窒素発現量に応じた施肥の診断法

前章まで、暖地水田土壌における生育期間中の地力窒素発現量や水稻による地力窒素吸収量の時期別推移について明らかにするとともに、ニシホマレ、ヒノヒカリを供試して、暖地水稻の窒素吸収特性について解析し、各生育期における窒素吸収量の指標値を策定した。これらのことは、他の品種についても適用することができると考えられる。そこで、今まで得られた結果を基礎に、地力窒素発現量に応じた適正な施肥の診断法について検討した。

1 暖地水稻の収量性向上のための施肥改善試験

暖地水稻において、目標とする収量レベルを維持するためには、一定量の窒素吸収量を確保することが必要である。したがって、地力窒素吸収量の少ない圃場では、基肥窒素の増肥や追肥の施用により窒素吸収量の増加を図ることが必要と考えられる。そこで、福岡農総試内の地力増強程度が異なる水田において、中生の短稈多収品種ニシホマレやツクシホマレの収量性向上を目標に、基肥の施用量や追肥の施用について検討した。

試 験 方 法

福岡農総試本場内の地力窒素吸収量の少ない N-1 土壌（土壌の性質は、第3章の第7表に示す）において、標準施肥区に加え基肥増肥区及びつなぎ肥施用区を設け、水稻ニシホマレを栽培し、地力窒素吸収量の多い N-4 土壌を対照水田として、生育、収量及び窒素吸収量について調査した。標準施肥区の窒素施用量は、福岡県施肥基準に準じ、10a 当たり基肥 7kg、穂肥 3+2kg を施用した。基肥増肥区は窒素成分で 3kg の増肥を行い、つなぎ肥施用区は移植後 40～45 日目（8 月初め）に窒素成分で 2kg 施用した。磷酸、加里は基準量を施用した。また、緩効性能の高い被覆尿素肥料を、地力窒素の代替として基肥量に 10a 当たり 3kg 上乗せした試験区を設け、その効果についても検討した。

同様に、福岡県内各地域の土壌を 30cm の深さに充填して造成した本場内のコンクリート枠水田（土壌の性質は、第4章の第15表に示す）において、1986年にニシホマレ、1987～1988年にツクシホマレを供試して、各土壌に標準施肥区の他、基肥増肥区及びつなぎ肥施用区を設けて、試験を実施した。標準施肥区の窒素施用量は 10a 当たり基肥 7kg、穂肥 3+2 kg とし、基肥増肥区は窒素成分で 2kg を基肥に上乗せし、つなぎ肥施用区は移植後 40～45 日目（8 月初め）に窒素成分で 2kg 施用した。また、緩効性能の高い被覆尿素肥料の使用についても検討した。試験の規模は 1 区 10～20m² で 2 反復とした。栽植密度は 22.2 株/m² で、1 株 4 本植えとし、稚苗を 6 月 17～23 日に移植した。収穫期は 10 月下旬である。

結 果 及 び 考 察

地力が劣る福岡農総試内の N-1 土壌において、基肥を増肥したり、つなぎ肥を施用することにより水稻の窒素吸収量が増加し、増収効果が認められた（第27表）。ただし、3 年間を通して対照の N-4 土壌には及ばず、安定的に多収を得ることはできなかった。N-1 土壌と N-4 土壌では、幼穂形成期までの地力窒素吸収量に 10a 当たり 2kg 前後の差があり、基肥窒素の利用率为 50%（第19表に示す農総試圃場の平均）とすると、その差は約 4kg の基肥窒素量に相当する。したがって、基肥 3kg の増肥またはつなぎ肥 2kg の施用により N-4 土壌との差を解消するには至らなかった。基肥 3kg を増肥し、さらにつなぎ肥を施用することにより収量は大幅に上昇し、1988年には N-4 土壌をやや上回ったが、つなぎ肥の施用は夏期が日照不足に見舞われた 1987年には逆に登熟を悪化させ、収量の低下を招いた。同様に、地力窒素吸収量の少ない二日市土壌や甘木土壌で基肥を増肥したり、つなぎ肥を施用することにより収量は著しく増加した（第28表）。しかし、土壌間差が顕著に認められ、地力窒素吸収量の多い三潴土壌の収量にまで達しなかった。三潴土壌との間には、幼穂形成期までの地力窒素吸収量に 10a 当たり 2～2.5kg

第27表 地力が劣る水田土壌（N-1）において、施肥量を変えた場合のニシホマレの収量及び窒素吸収量

(kg/10a)

水田 (土壌No.)	施肥法 基肥 追肥 追肥 追肥 量 I II		1986年			1987年			1988年		
			収 ²⁾ 量	窒素吸収量		収 ²⁾ 量	窒素吸収量		収 ²⁾ 量	窒素吸収量	
				幼穂形成期まで	成熟期まで		幼穂形成期まで	成熟期まで		移植後45日	成熟期まで
N 1	無窒素		359	2.7	6.2	394	3.0	6.4	368	2.8	6.0
	7	-0-3-2	585(100)	6.3	12.5	542(100)	6.8	13.2	533(100)	5.6	11.9
	7	-2-3-2	604(103)	7.6	13.2	521(96)	8.5	15.0	561(105)	-	-
	10	-0-3-2	610(104)	7.4	14.0	550(101)	8.3	14.3	593(111)	-	-
	10	-2-3-2	619(106)	9.0	15.5	469(87)	8.6	14.2	630(118)	-	-
	7+3 ¹⁾	-0-3-2	626(107)	7.1	14.7	-	-	-	589(111)	-	-
N 4	無窒素		427	4.6	7.8	444	5.0	-	438	4.6	7.6
	7	-0-3-2	638(109)	8.2	14.6	574(106)	8.3	-	622(117)	8.2	14.2
	(対照水田)										

1) 被覆尿素肥料（LP100号）を基肥に上乗せ施用した。

2) () はN-1土壌の 7-0-3-2区の収量を100とした場合の指数。

第28表 地力が異なる各水田土壌において、施肥量を変えた場合のニシホマレ(1986年)とツクシホマレ(1987、1988年)の収量及び窒素吸収量

(kg/10a)

水田 (土壌No.)	施肥法 基肥 追肥 追肥 追肥 量 I II		1986年			1987年			1988年		
			収 ²⁾ 量	窒素吸収量		収 ²⁾ 量	窒素吸収量		収 ²⁾ 量	窒素吸収量	
				幼穂形成期まで	成熟期まで		幼穂形成期まで	成熟期まで		幼穂形成期まで	成熟期まで
二日市	無窒素		321	2.2	5.0	269	1.5	4.6	248	2.1	5.3
	7	-0-3-2	551(100)	4.8	9.5	448(100)	3.8	9.0	470(100)	5.4	10.0
	7	-2-3-2	599(109)	6.9	11.2	526(117)	4.2	10.5	598(106)	5.8	12.5
	9	-0-3-2	-	-	-	-	-	-	540(115)	-	-
	9	-2-3-2	-	-	-	-	-	-	613(130)	-	-
	7+3 ¹⁾	-0-3-2	-	-	-	-	-	-	580(123)	-	-
同 (増肥)	無窒素		377	2.5	5.4	346	2.0	5.7	408	2.8	7.2
	7	-0-3-2	531(96)	5.9	8.8	574(128)	4.3	12.6	-	-	-
	7	-2-3-2	633(106)	10.6	12.4	554(124)	6.2	13.4	-	-	-
	4	-0-3-2	-	-	-	-	-	-	511(112)	4.7	10.9
	4	-2-3-2	-	-	-	-	-	-	606(134)	6.8	13.2
甘 木	無窒素		235	1.7	4.0	256	1.5	4.7	226	1.9	4.3
	7	-0-3-2	535(97)	4.7	11.0	466(104)	4.8	9.0	-	-	-
	7	-2-3-2	561(102)	7.5	10.8	525(117)	5.1	9.8	-	-	-
	9	-0-3-2	-	-	-	-	-	-	517(110)	5.7	11.5
	9	-2-3-2	-	-	-	-	-	-	586(125)	8.1	13.1
三 潞	無窒素		447	4.4	7.8	378	3.7	6.6	414	3.3	7.1
	7	-0-3-2	627(114)	7.9	13.8	573(128)	6.4	13.5	597(127)	8.9	13.0
	7	-2-3-2	634(115)	10.8	16.8	511(114)	5.5	15.7	666(142)	9.2	16.0

1) 被覆尿素肥料（LP100号）を基肥に上乗せ施用した。

2) () は二日市土壌の 7-0-3-2区の収量を100とした場合の指数。

の相違があり、基肥窒素の利用率を二日市41%、甘木44%（第19表）とすると、その差は約4.5～6.0kgの基肥窒素量に相当する。したがって、基肥 2kgの増肥やつなぎ肥 2kgの施用によりその差を解消するには至らなかった。また、基肥を一度に多量に施用しても窒素吸収量は一時的に増加するものの、長期間にわたって持続的に吸収される地力窒素を補填することはできないこと、つなぎ肥は気象条件に左右され、その効果が変動することなど、これら地力窒素吸収量の少ない土壌では、施肥のみで一定レベル以上の収量を期待することは困難であり、水稻の収量性に限界のあることが想定された。

したがって、安定的に多収を得るためにはどうしても地力窒素の向上に頼らざるを得ず、これらの土壌では有機物施用等による地力の増強が不可欠と考えられた。そのため、二日市土壌において牛ふん堆肥を連用した結果、堆肥連用土壌において地力窒素吸収量の増加が図られ、収量性の向上が認められた。また、近年被覆尿素肥料等の緩効性能の高い窒素質肥料が開発されており、これら肥料からの窒素の溶出は地力窒素発現パターンに近いと考えられることから、被覆尿素を基肥に併用し、地力窒素の代替としての効果を検討した。その結果、N-1土壌や二日市土壌において、窒素成分で 3kg相当の被覆尿素を施用することにより水稻の窒素吸収量が増加し、収量の増加が顕著に認められた（第27、28表）。

以上のように、中生の短稈多収品種ニシホマレやツクシホマレにおいて、収量性の向上を図るためには地力窒素供給力を高めることが前提条件となる。しかし、地力窒素吸収量の少ない圃場で地力窒素の差を補填し、一定レベルの収量を確保するためには、基肥の増肥や追肥施用が必要である。

2 水田土壌の地力窒素発現量と施肥量との関係

水稻の収量は地力窒素の多少に大きく左右されることから、一定の収量を確保するためには、水田土壌の地力窒素発現量や水稻の地力窒素吸収量に応じた施肥量の調整が重要となる。そこで、地力窒素発現量の異なる水田土壌において、一定の収量レベルを得るために必要な施肥量の算定法について考察した。

試 験 方 法

前章までに明らかにした福岡農総試本場、豊前分場及び筑後分場内の地力増強程度が異なる水田土壌の地力窒素発現量の推定値や水稻による地力窒素吸収量（1986～1988年の平均値）及び同試験地において得られた施肥窒素の利用률을基に、短稈多収品種ニシホマレの収量性と施肥量との関係について検討した。

結 果 及 び 考 察

地力窒素量に応じた施肥の適量については次のとおりと考えることができる。水稻が吸収する窒素は地力窒素と施肥に由来する窒素とに分けられるため、各生育時期における水稻窒素吸収量の指標値が得られれば同時期までの地力窒素吸収量を控除することで、必要とする施肥窒素吸収量が求められる。基肥窒素の吸収は幼穂形成期までに終了し（和田ら1971a、高橋ら1973、庄子ら1974）、それ以降は穂肥窒素が吸収されること、また穂肥窒素の吸収も7～10日以内でほとんど終了する（高橋ら1973b）ことから、幼穂形成期までに必要な施肥窒素吸収量に対応するのが基肥であり、穂肥はそれ以降穂揃期（または出穂期）までの施肥窒素吸収量に対応すると考えてよい。したがって、基肥窒素の適量は、移植期から幼穂形成期までに必要な施肥窒素の吸収量を基肥の利用率で除すことにより、穂肥窒素の適量は幼穂形成期以降穂揃期までに必要な施肥窒素吸収量を穂肥窒素の利用率で除すことにより、第5式のとおり求められる。

$$\text{基肥(穂肥)窒素量} = (\text{Nopt} - \text{Ns}) \div \text{基肥(穂肥)の利用率} \cdots (5)$$

Nopt：移植期から幼穂形成期まで(穂肥については、幼穂形成期から出穂期または穂揃期まで)
の最適窒素吸収量

NS：同期間における地力窒素吸収量

第29表 地力窒素発現量に対する水稻の地力窒素吸収割合¹⁾

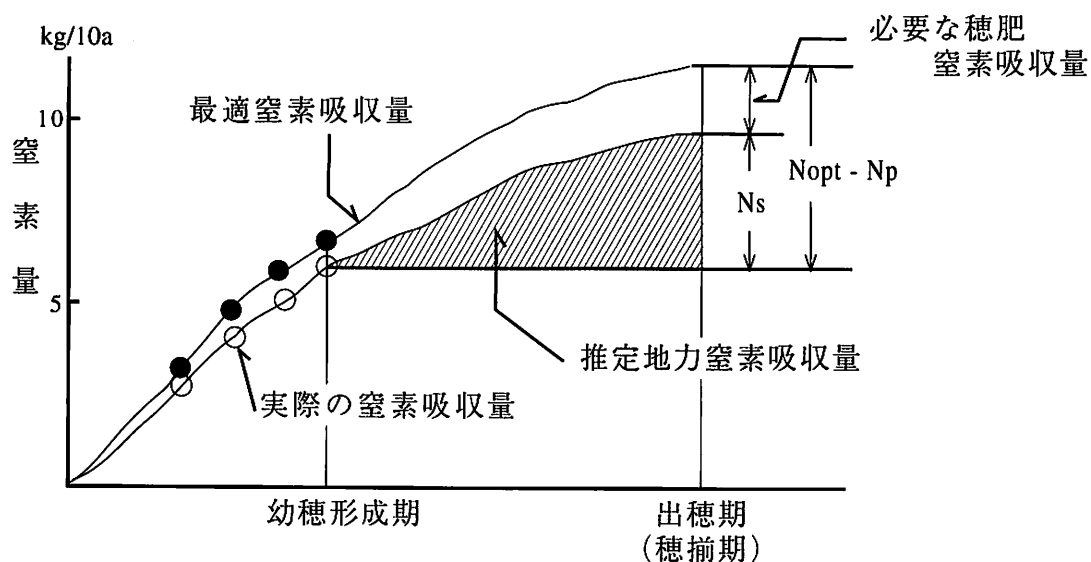
移 植 期 ～ 7 月 中 旬 ～ 幼穂形成期 ～ 穂 揃 期		
0.35	0.75 ²⁾	0.80 ²⁾

- 1) 移植期から各生育期間までの地力窒素発現量に吸収割合を乗じた値が、移植期から同時期までの水稻による地力窒素吸収量である。
- 2) 筑後川下流域の肥沃な粘質土壌(細粒灰色低地土・灰色系、土性LiC)では0.70とする。

ところで、第4章で明らかにしたように、ニシホマレにおいて一定の収量を確保するのに必要な各生育期までの水稻窒素吸収量の指標値は、第23図に示したとおりである。また、稲作期間中の地力窒素発現量は推定可能であり、第3章で明らかにしたように、地力窒素発現量に第29表で示される吸収割合を乗ずることで各生育期における水稻の地力窒素吸収量を推定することができる。そこで、幼穂形成期及び穂揃期までの窒素吸収量の指標値と各試験地圃場の地力窒素発現量の推定値(1986～1988年の平均値)に基づいて、第5式により、それぞれの圃場において一定の収量目標を得るために必要な基肥及び穂肥の施用量を算出した(第30表)。施肥窒素の利用率は、各試験地内の土壌について求められた値、農総試本場では基肥50%、穂肥61%、筑後では基肥47%、穂肥64%、豊前では基肥42%、穂肥78%を用いた。

目標とする収量を得るためには一定量の窒素吸収が必要であるが、地力窒素吸収量が少ない水田では、施肥量が施肥基準量(基肥7kg、穂肥5～6kg)を越えて大幅に多くなる場合が想定される。基肥や穂肥の限度量については検討の余地があるが、一度に多量の施肥を行うことや一時的に窒素吸収を増加させることは制限されることから、水田土壌の地力窒素発現量のレベルに応じて水稻の収量性に限界のあることが窺える。例えば、目標収量を10a当たり650kgとした場合、農総試本場内の水田において必要とする基肥量は8.6～12.6kg(第30表)となり、いずれも施肥基準量を大幅に上回っており、したがって通常650kg前後の多収を得ることは困難と判断される。中でも、地力窒素発現量の少ないN-1やN-2土壌では、収量目標を600kgとした場合にも基肥必要量は8.8～9.6kgと算定される。したがって、基肥の増量や前期追肥等による基肥不足分の補正が必要となる。また、地力窒素発現量の極めて多い筑後分場内の水田土壌では、基肥量を施肥基準量である10a当たり7kg以下に減肥しても600kg以上の収量を維持することが可能であり、また収量目標を650kgと設定した場合でも、C-5やC-6土壌では基準量からさらに2～3kgの減肥が可能と判定される。

なお、穂肥量については、穂揃期と幼穂形成期における窒素吸収量の指標値の差を最適窒素吸収量として算定している。各圃場において算定された穂肥の必要量は10a当たり4～6kgで、施肥基準量と比べそれほど大きな相違はなかった。ところで、実際場面においては、基肥に適量を施用しても各年の気象条件や栽培条件により生育が変動し、幼穂形成期時点において設定した窒素吸収量の指標値との間にずれが生じることが考えられる。したがって、穂肥必要量の算定に当たっては、幼穂形成期時点において稲体の窒素栄養状態を診断して窒素吸収量を推定し(窒素吸収量の推定については第4章で示した)、その結果に基づいて第6式による調整が必要である(第37図)。



第 37 図 穂肥窒素必要量の算定図

$$\text{穂肥窒素量} = (N_{opt} - N_p - N_s) \div \text{穂肥の利用率} \cdots(6)$$

N_{opt} : 移植期から出穂期（または穂揃期）までの最適窒素吸収量

N_p : 幼穂形成期までの水稻窒素吸収量

N_s : 幼穂形成期から出穂期（または穂揃期）までの地力窒素吸収量

以上のように、第 2 章で明らかにした地力窒素発現量の推定法に基づき、稲作期間中の地力窒素発現量を把握することにより、水田土壌の窒素肥沃度に応じて目標の収量を得るために必要な施肥量の算定を合理的に行うことができる。

第30表 地力窒素発現量の異なる水田土壌におけるニシホマレ
の収量目標と基肥ならびに穂肥窒素の必要量¹⁾

地域	水田	地力窒素発現量					地力窒素吸収量			収量目標と施肥必要量			
		移植期	幼穂形成期	穂～移植期	成熟期	合計	移植期	幼穂形成期	穂～移植期	600kg		650kg	
										基	穂	基	穂
本場	N-6	6.7	2.9	2.1	(11.7)		5.0	2.7		5.6	3.9	8.6	4.4
	N-5	6.7	2.8	2.1	(11.6)		5.0	2.6		5.6	4.1	8.6	4.6
	N-4	5.9	2.6	1.8	(10.3)		4.4	2.4		6.8	4.4	9.8	4.9
	N-3	5.6	2.5	1.8	(9.9)		4.2	2.3		7.2	4.6	10.2	5.1
	N-2	4.5	2.0	1.3	(7.8)		3.4	1.8		8.8	5.4	11.8	5.9
筑後	N-1	4.0	1.7	1.3	(7.0)		3.0	1.6		9.6	5.7	12.6	6.2
	C-5	9.4	3.5	2.1	(15.0)		6.6	2.4		2.6	4.2	5.7	4.7
	C-4	11.2	3.5	2.0	(16.7)		7.8	2.5		0.0	4.1	3.2	4.5
	C-3	8.3	3.1	2.3	(13.7)		5.8	2.2		4.3	4.5	7.4	5.0
	C-2	7.8	2.9	1.9	(12.6)		5.5	2.0		4.9	4.8	8.1	5.3
豊前	C-1	8.2	2.9	2.0	(13.1)		5.7	2.1		4.5	4.7	7.7	5.2
	B	4.2	1.7	1.4	(7.3)		3.2	1.5		11.0	4.6	14.5	5.0

1) 第23図に示した収量600kgレベルにおける10a当たり窒素吸収量の指標値；幼穂形成期7.8kg、穂揃期12.9kg、収量650kgレベルにおける指標値；幼穂形成期9.3kg、穂揃期14.7kgを基に、各生育期間におけるNopt（最適窒素吸収量）を、収量目標を600kgとした場合は移植期～幼穂形成期7.8kg、幼穂形成期～穂揃期5.1kg（12.9－7.8）、収量目標を650kgとした場合は移植期～幼穂形成期9.3kg、幼穂形成期～穂揃期5.4kg（14.7－9.3）とし、地力窒素発現量に吸収割合（第29表）乗じてNs（地力窒素吸収量を求め、第5式により算出した）。

3 稲体の最適窒素栄養に基づく良食味品種の施肥の診断

近年、暖地ではヒノヒカリをはじめとして、良食味品種の作付け拡大が図られている。しかし、一般に良食味品種は耐倒伏性が弱く、窒素過多になると登熟の悪化を招きやすいこと、また窒素の過剰な吸収は玄米中窒素濃度を上昇させ、食味に影響を及ぼすことなどから、生育期間中に過不足なく窒素が供給されることが栽培上の要点を占めている。

また、生育期間中の窒素吸収特性は品種間で著しく異なり、例えばニシホマレとヒノヒカリについて、水稻窒素吸収量と収量との関係を検討した結果、ニシホマレでは窒素吸収量が10a当たり15kg前後まで玄米収量の増加が認められるのに対し、ヒノヒカリは10a当たり12kg前後で収量は頭打ちとなり、それ以上吸収しても収量の増加は期待できないことを明らかにした。このように、品種間で窒素に対する反応が異なり、ヒノヒカリ等の良食味品種では吸収可能な窒素量が少なく、制限されることから、地力窒素レベルに応じた施肥量の調整が極めて重要と考えられる。

そのため、ヒノヒカリを対象に、福岡農総試内の地力増強程度が異なる水田において実施した基肥施用量試験と同水田における地力窒素吸収量の調査結果から、良食味品種の高品質安定多収を図るための適正な施肥法について検討し、水田土壌の地力窒素レベルに応じた施肥の適量について考察した。

試 験 方 法

福岡農総試本場内において、有機物の施用来歴や耕起深度など地力増強程度が異なり、肥沃度に違いがみられる水田(土壌の性質は第16表に示す)を選定した。ヒノヒカリに対する適正な基肥施用量を明らかにするため、1988～1989年に、同農総試内のN-2、N-5、N-6水田土壌において、基肥の窒素施用量を10a当たり6、4.5、3kgとして、試験を実施した。穂肥の窒素施用量は2+1.5kgとした。また、1989年には農総試内の各水田に無窒素区を設け、水稻による地力窒素吸収量の推移を調査した。試験の規模は1区10～30m²で、2反復とした。栽植密度は20～22株/m²で、1株4本植えとし、稚苗を6月17～23日に移植した。収穫期は10月中旬である。

結 果 及 び 考 察

福岡農総試内の地力増強程度が異なるN-2、N-5、N-6水田土壌で実施したヒノヒカリの基肥施用量試験結果及び同水田における水稻生育期間中の地力窒素吸収量を第31表に示した。

真鍋(1990)は、ヒノヒカリの良質安定作柄を得るための穎花数の目標値をm²当たり30,000～32,000粒としている。試験結果をみると、水稻の生育、収量に年次間差がみられるものの、兩年の各圃場における穎花数や倒伏程度、収量性から判断して、地力窒素吸収量が10a当たり5kg前後と非常に少ないN-2土壌の基肥窒素量は10a当たり6kg以上は必要と考えられた。また、地力窒素吸収量が7.5kg前後のN-5土壌においては、基肥窒素量6kgでは穎花数の過剰や倒伏がみられることから、10a当たり4.5kg程度が適量であると判断された。さらに、N-6土壌のように地力窒素吸収量が8.5kg前後まで多くなると、基肥窒素量を4.5kgとした場合にも穎花数は過剰であり、1988年には倒伏程度も大きいことから、3kg程度まで基肥の減肥が必要と考えられた。

以上の基肥施用量試験の結果から、ヒノヒカリでは水田土壌の地力窒素レベルに応じた施肥量の基準が必要ながことが明らかである。そこで、1989年に調査した各水田土壌の地力窒素吸収量に基づいて、ヒノヒカリの施肥適量を次のとおり算定した。

ヒノヒカリにおいて策定した生育期間中の望ましい窒素吸収パターン(第31図)から、各生育期における10a当たり窒素吸収量の指標値は幼穂形成期:6.75kg、穂揃期:10.5kgである。したがって、基肥及び穂肥窒素の適量はこれらの指標値を基に、第7、8式により、それぞれの圃場の地力窒素吸収量(基肥は移植期～幼穂形成期、穂肥は幼穂形成期～穂揃期)を控除して求めることができる。なお、施肥窒素の利用率は基肥40%(ヒノヒカリ栽培水田圃場の平均)、穂肥54%(同平均)とした。

$$\text{基肥窒素量(kg)} = (6.75\text{kg} - \text{移植期} \sim \text{幼穂形成期の地力窒素吸収量}) \div \text{基肥窒素利用率} \cdots (7)$$

$$\text{穂肥窒素量(kg)} = \{ (10.5\text{kg} - 6.75\text{kg}) - \text{幼穂形成期} \sim \text{穂揃期の地力窒素吸収量} \} \div \text{穂肥窒素利用率} \cdots (8)$$

このようにして求めた基肥窒素の適量は、N-6 土壌が 3.1kg、N-5 土壌が 4.6kg、N-2 土壌が 9.1kgであった（第32表）。前述の施肥試験の結果と合わせて考察すると、地力窒素吸収量の多いN-5 土壌やN-6 土壌で適量よりも多くの基肥窒素を施用した場合には明らかに窒素過剰となっており、また地力窒素吸収量の少ないN-2 土壌では、基肥 6kgを施用しても窒素不足を示したことから、各水田土壌の地力窒素吸収量に応じて算定される窒素の適量を施肥することの有効性が確認された。なお、基肥の限度量について検討の余地が残るが、一度に施肥できる量には制限があると考えられるため、地力窒素吸収量の著しく少ないN-2 土壌では基肥の増肥とともに、追肥による施肥量の補正が必要と判断される。

このように、良食味品種ヒノヒカリの安定多収を図るには、地力窒素吸収量に応じた施肥量の基準が必要である。そのためには、水田土壌の地力窒素吸収量のレベル（移植期から成熟期までの稲作期間中の総地力窒素吸収量）と施肥窒素の適量との関係について整理しておくことが必要であり、ヒノヒカリでの調査結果に基づいて次のとおり適量の算定を行い、第33表にまとめて示した。

稲作期間中の地力窒素吸収量レベルを 0.5kgおきに設定し、設定した地力窒素吸収量に期間別吸収割合：移植期～幼穂形成期 0.66、幼穂形成期～穂揃期 0.23（第22、23表に示したように、成熟期までの総地力窒素吸収量に対する移植期から各生育時期までの吸収割合は、幼穂形成期が64～68%で平均66%、穂揃期が87～90%で平均89%である）を乗じて、各生育期間ごとの地力窒素吸収量を求め、第7、8式により基肥及び穂肥窒素の適量を計算した。施肥窒素の利用率は土壌による変動が想定されるため、基肥の利用率を40～45%、穂肥の利用率を50～55%として算出した。第33表から、基肥窒素の適量は稲作期間中の地力窒素吸収量レベルが 10a当たり 6.5kg前後の水田土壌で5.5～6kg、7.5kg前後の水田で4～4.5kg、8.5kg前後の水田では3kg以下である。

第31表 地力窒素吸収量異なる水田土壌におけるヒノヒカリの基肥窒素施用量と穎花数、倒伏程度及び玄米収量との関係

水田 (土壌No.)	地力窒素 吸収量	年次	基 肥 ¹⁾ 窒 素	m ² 当たり 穎花数	倒 伏 ²⁾ 程 度	玄 米 収 量
	kg/10a		kg/10a	×100		kg/10a
N-6	—	1988	6.0	381±18	4.0	571±26
			4.5	347±18	3.0	606±58
	8.6	1989	4.5	338±13	0	585±6
			3.0	314±14	0.1	583±6
N-5	—	1988	6.0	336±8	2.0	613±3
			4.5	323±4	0.4	601±0
	7.6	1989	4.5	308±31	0	570±15
			3.0	296±23	0	558±28
N-2	—	1988	6.0	300±29	0.2	602±2
			4.5	307±37	0.1	575±42
	4.7	1989	6.0	243±7	0	487±22
			4.5	253±5	0	485±13

1) 穂肥は、いずれの土壌も10a当たり 2+1.5kg施用した。

2) 倒伏程度は、0（無）～5（甚）で表わす。

第32表 地力窒素吸収量が異なる水田土壌におけるヒノヒカリの
施肥の適量¹⁾

水 田 (土壌No.)	地力窒素吸収量 (kg/10a)					施肥適量	
	移 植 期	幼 穂 形 期	穂 揃 期	成 熟 期	合 計	基 肥 (kg/10a)	穂 肥 (kg/10a)
N-7	5.6	2.6	0.7		8.9	2.9	2.2
N-6	5.5	2.6	0.5		8.6	3.1	2.2
N-5	4.9	1.7	1.0		7.6	4.6	3.9
N-3	4.7	1.7	1.1		7.5	5.1	3.7
N-2	3.1	1.2	0.4		4.7	9.1	4.8

1) 第31図に示した10a当たり窒素吸収量の指標値；幼穂形成期 6.75kg、穂揃期 10.5kgを基に、各生育期間におけるNopt（最適窒素吸収量）を移植期～幼穂形成期 6.75kg、幼穂形成期～穂揃期 3.75kg（10.5-6.75）とし、同期間における各水田土壌の地力窒素吸収量とヒノヒカリの施肥窒素利用率とから、第7、8式により算出した。

第33表 水田土壌における稲作期間中の総地力窒素吸収量とヒノヒカリの
施肥適量¹⁾ との関係

稲作期間中の 10a当たり総 地力窒素吸収 量	時期別の地力窒素吸収量 (kg/10a)			施 肥 適 量 (kg/10a)	
	移 植 期	幼 穂 形 期	穂 揃 期	基 肥 (利用率) 45% ～ 40%	穂 肥 (利用率) 55% ～ 50%
8. 5 kg	5.61	1.96		2.5 ～ 2.9	3.3 ～ 3.6
8. 0 kg	5.28	1.84		3.3 ～ 3.7	3.5 ～ 3.8
7. 5 kg	4.95	1.73		4.0 ～ 4.5	3.7 ～ 4.1
7. 0 kg	4.62	1.61		4.7 ～ 5.3	3.9 ～ 4.3
6. 5 kg	4.29	1.50		5.5 ～ 6.2	4.1 ～ 4.5
6. 0 kg	3.96	1.38		6.2 ～ 7.0	4.3 ～ 4.7

1) 各生育期間におけるNopt（最適窒素吸収量）；移植期～幼穂形成期 6.75kg幼穂形成期～穂揃期 3.75kg、及び同期間中における地力窒素吸収量（稲作期間中の総地力窒素吸収量に第22、23表に示した時期別吸収割合の平均；移植期～幼穂形成期 0.66、幼穂形成期～穂揃期 0.23を乗じて得られる）を基に第7、8式により算出した。

以上のように、良食味品種ヒノヒカリを対象に、生育期間中の稲体の最適な窒素栄養と地力窒素吸収量とに基づく適正な施肥量の算定法について明らかにした。ところで、ヒノヒカリの調査時においては、N-3土壌以外の水田では地力窒素発現量の推定を行わなかったため、水稻の地力窒素吸収量に基づいて施肥量との関係を論議してきた。しかし、地力窒素吸収量は実際の水田圃場で測定する必要はなく、第2章に示した推定法にしたがって、稲作期間中の地力窒素発現量を推定し、得られた推定値に第29表に示した地力窒素吸収割合を乗じることで求めることができる。

4 摘 要

地力窒素レベルの異なる水田土壌において、基肥の施用量や追肥の施用について検討するとともに、生育期間中の稲体の最適な窒素栄養と水田土壌の地力窒素発現量や地力窒素吸収量に基づく適正な施肥量の算定法について明らかにした。

- 1) 地力窒素吸収量の少ない水田土壌において、基肥の増肥やつなぎ肥の施用によりニシホマレやツクシホマレの収量は顕著に向上した。ただし、地力窒素吸収量が2kg前後多い水田土壌の収量に達することは困難であり、施肥のみで一定レベル以上の収量を期待することはできず、水稻の収量性に限界のあることが認められた。
- 2) 地力窒素吸収量の少ない二日市土壌において、牛ふん堆肥を連用することにより地力窒素吸収量の増加が図られ、収量性の向上が認められた。また、緩効性能の高い被覆尿素肥料を地力窒素の代替として基肥に上乘せして施用することにより、収量の増加が顕著に認められた。
- 3) 水稻が吸収する窒素は地力窒素と施肥窒素とに分けられるため、移植期から各生育時期までの窒素吸収量の指標値が得られれば、同時期までの地力窒素吸収量を控除し、その値を施肥窒素の利用率で除すことにより、施肥窒素の適量を求めることができる。そのため、これまでの調査結果に基づいて、暖地水稻の基肥及び穂肥の適量の算定法について明らかにした。
- 4) 各水田土壌の地力窒素発現量の推定値に基づいて、ニシホマレ等の短稈多収品種において目標の収量を得るために必要な基肥及び穂肥の量を明らかにした。
- 5) 地力窒素吸収量が異なる水田で実施した良食味品種ヒノヒカリの基肥施用量試験の結果から、地力窒素吸収量が10a当たり5kg前後と非常に少ない水田土壌の基肥窒素量は10a当たり6kg以上が必要であるが、地力窒素吸収量が7.5kg前後の水田では4.5kg程度が適量であり、さらに地力窒素吸収量が8.5kg前後まで多くなると、3kg程度まで基肥の減肥が必要と考えられた。
- 6) 良食味品種ヒノヒカリの移植期から各生育時期までの最適な窒素吸収量の指標値を基に、水稻生育期間中の地力窒素吸収量に対応した適正な施肥量の算定法について明らかにした。

第6章 水田土壌の地力窒素供給力の評価とランク付け

前章まで、暖地水田における地力窒素の発現パターンと水稻の窒素吸収特性について解析し、地力窒素発現量に対応した適正な施肥の診断法について明らかにしてきた。ただし、培養実験に基づくこれらの方法は操作が煩雑であるため、さらに地力窒素発現予測法の簡素化を図るなど、実用化に向けて取り組むべき幾つかの課題が残されている。ところで、現在水田土壌の地力診断や施肥診断の場面を考えると、地力窒素に対する考慮が十分であるとはいえず、地力窒素の評価基準が明確に設定されているわけではない。水稻の生育や収量は地力窒素の多少に大きく左右され、土壌生産力を決定づける要因となっており、地力窒素レベルに対応した施肥基準の必要性が示唆されている。そのため、これまでの調査結果から、水田土壌の地力窒素の評価基準の設定を行い、それに基づいて水田土壌のランク付けを試みた。

1 地力窒素吸収量による水田土壌のランク付け

窒素無施用区の水稲窒素吸収量により示される稲作期間中の総地力窒素吸収量を水田土壌の地力窒素供給力の指標（評価基準）として、暖地水稻の収量性や施肥適量との関連性を検討し、水田土壌のランク付けを行った。

試 験 方 法

調査圃場は福岡農総試本場、豊前分場及び筑後分場内の地力増強程度が異なる水田（土壌の性質は、第7表及び第16表に示した）及び県内各地域の土壌を30cmの深さに充填して造成した本場内のコンクリート枠水田（第15表）である。各圃場に標準施肥区及び窒素無施用区を設け、1986～1988年に中生の短稈多収品種ニシホマレまたはツクシホマレを供試して、水稻の生育、収量及び窒素吸収量の推移を調査した。施肥区の窒素施用量は福岡県の施肥基準に準じ、本場及び豊前分場では10a当たり基肥7kg、穂肥3+2kg、筑後分場では基肥7kg、穂肥4+2kgとした。また、造成圃場については、地力の極端に劣る吉木土壌では基肥11kg、穂肥4+3kgとし、他の土壌では基肥7kg、穂肥3+2kgとした。栽植密度は22.2株/m²で、稚苗を6月17～23日に移植した。1989～1990年には、中生の良食味品種ヒノヒカリを供試し、福岡農総試本場内の地力増強程度が異なる水田圃場（第16表）において、施肥区及び窒素無施用区を設け、ニシホマレと同様の調査を実施した。施肥区の基肥窒素量は圃場により10a当たり6、4.5、3kgを設定し、穂肥は2+1.5kgとした。栽植密度は22.2株/m²で、稚苗を6月15～20日に移植した。

そして、成熟期における窒素無施用区の水稲窒素吸収量を総地力窒素吸収量（地力窒素吸収量レベル）とし、これと暖地水稻の収量性や施肥適量との関連性について検討するため、次の値を求めた。

$$\begin{aligned}\text{施肥窒素の利用率(\%)} &= (\text{施肥区の水稲窒素吸収量} - \text{窒素無施用区の水稲窒素吸収量}) \div \text{施肥窒素量} \times 100 \\ &= \text{窒素吸収量(kg)} \div \text{玄米収量(kg)/100(kg)}\end{aligned}$$

結 果 及 び 考 察

短稈多収品種ニシホマレまたはツクシホマレについて調査した各水田土壌の総地力窒素吸収量、施肥区の玄米収量及び窒素吸収量、施肥窒素の利用率、玄米収量100kg当たりの窒素吸収量を第34表に示した。

施肥窒素の利用率（基肥及び穂肥を込みにした）は大部分の土壌が40～55%の範囲にあり、平均は47.8%であった。また、玄米100kg当たりの窒素吸収量の平均は2.24kgであり、窒素吸収量の多い土壌でこの値が高く、吸収する窒素が増えるにしたがって玄米生産に対する効率が悪くなることが認められた。

これらの値を基に、水田土壌の地力窒素吸収量レベルと短稈多収品種の収量性や施肥量との関係について考察

第34表 各水田土壌における施肥区の窒素吸収量、施肥窒素利用率及び
玄米 100kg当たりの窒素吸収量

土 壌 ¹⁾	総地力窒素 吸収量 (kg/10a)	施肥区の 玄米収量 (kg/10a)	施肥区の総 窒素吸収量 (kg/10a)	施肥窒素 利用率 ²⁾ (%)	玄米100kg当たりの 窒素吸収量 ³⁾ (kg / 玄米100kg)
吉 木 (Y)	2.6	482	10.0	41.5	2.09
甘 木 (A)	4.3	506	10.5	48.3	2.06
二日市 (F-1)	5.0	490	10.0	42.1	2.05
豊 前 (B)	5.9	580	12.6	55.9	2.18
二日市 (F-2)	6.1	539	11.4	48.2	2.12
本 場 (N-1)	6.2	553	12.9	52.6	2.27
” (N-2)	6.2	584	12.4	51.3	2.13
三 潴 (M)	7.2	599	13.4	52.2	2.24
本 場 (N-3)	7.4	613	13.6	51.4	2.22
” (N-4)	7.7	611	14.4	55.8	2.29
筑 後 (C-1)	8.6	669	16.3	58.6	2.43
本 場 (N-5)	8.6	634	14.4	48.0	2.28
筑 後 (C-2)	8.9	664	15.2	48.3	2.30
本 場 (N-6)	9.3	635	15.0	47.5	2.35
筑 後 (C-3)	9.9	613	14.7	37.3	2.40
” (C-4)	10.4	637	15.4	38.5	2.42
” (C-5)	10.7	665	15.2	34.7	2.29
平 均	—	—	—	47.8	2.24

1) 各土壌に付した -1、-2、-3…は、同試験地内の土壌No. (地力窒素吸収量の少ない順に並べた) を示す。

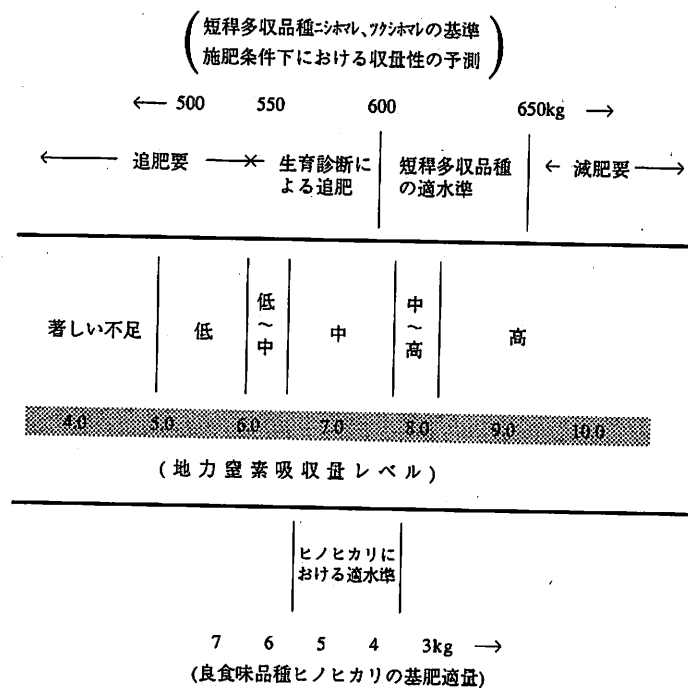
2) 基肥、穂肥を込みにした施肥窒素利用率。

3) 窒素吸収量 (kg) ÷ 玄米収量 (kg) / 100 (kg)

した。玄米収量 100kgを得るために要する窒素吸収量を2.24kgとすると、550、600、650kgの収量（県施肥基準では目標収量を600～650kgと設定している）を得るには、それぞれ 12.3、13.4、14.6kgの窒素吸収が必要である。県の施肥基準量である 10a当たり12～13kgの窒素を施用する場合、施肥窒素の利用率を48%（第34表の平均値）とすると、肥料からの窒素吸収量は5.8～6.2kgしかない。したがって、それぞれの収量レベルを得るために必要な地力窒素吸収量は6.5～6.1、7.6～7.2、8.8～8.4kgとなる。また、逆に各地力窒素吸収量レベルに対する水稻の収量性については、総地力窒素吸収量が 6.0kg前後の水田土壌では530～550kg、7.0kgでは570～590kg、8.0kgで610～630kg程度と算定される。また、第4章で明らかにしたように、ニシホマレの窒素吸収量は 10a当たり15kg前後が限度と考えられることから、地力窒素量が9.0kg以上になると12～13kgの施肥量では窒素過剰となり、過剰分に相当する減肥（施肥窒素の利用率から地力窒素吸収量の 1kgは施肥窒素約 2.1kgに相当する）が必要である。

次に、良食味品種ヒノヒカリについて同様に解析を行った。調査水田における総地力窒素吸収量、施肥区の玄米収量及び窒素吸収量、施肥窒素の利用率、玄米収量 100kg当たりの窒素吸収量を第35、36表に示す。

ヒノヒカリにおいて施肥窒素の利用率を求めた結果、40.3（1989年）、44.6%（1990年）とニシホマレに比べ低かった。また、玄米収量 100kg当たりの窒素吸収量は平均で1989年が1.89kg、1990年が2.12kgと、ニシホマレと比べ非常に小さく、このことからヒノヒカリは多くの窒素吸収を必要としないことが明らかである。なお、地力



第38図 総地力窒素吸収量による水田土壌のランク付けと
短稈多収品種の収量性及び良食味品種ヒノヒカリ
の基肥適量

窒素吸収量が多い圃場で施肥量が多い場合には、この値が著しく大きくなり、玄米生産の効率が悪くなることがみられた。

これらの結果に基づいて、地力窒素吸収量とヒノヒカリの収量性との関係について考察した。玄米収量 100kg 当たりの窒素吸収量を 2.0kg (2 年間の平均) とすると、500、550kg の収量 (県施肥基準において目標収量を 560kg と設定している) を得るための窒素吸収量は 10.0、11.0kg である。施肥窒素の利用率が 43% (2 年間の平均) とすると、施肥量を 7.5~9.5kg (基肥 4~6kg、穂肥 2+1.5kg) とした場合、肥料からの窒素吸収量は 3.2~4.1kg しかなく、それぞれの収量を得るために必要な地力窒素吸収量レベルは 5.9~6.8kg、6.9~7.8kg となる。したがって、良食味品種ヒノヒカリにおいても 550kg 程度の収量を安定的に得るためには、7.0kg 以上の地力窒素の吸収が必要と考えられる。

また、ヒノヒカリの地力窒素吸収量レベルと施肥適量との関係については、既に第 5 章で明らかにしたように、基肥窒素の利用率が 40~45% とすると、基肥窒素の適量は地力窒素吸収量が 6.5kg 前後の圃場で 5.5~6.2kg、7.0kg で 4.7~5.3kg、7.5kg で 4.0~4.5kg である。

以上の結果を取りまとめ、地力窒素吸収量レベルを指標として水田土壌のランク付けを行った (第 38 図)。耐倒伏性の強いニシホマレ等の短稈多収品種について、10a 当たり 12~13kg の窒素を施肥する場合、600kg 以上の多収を得るための地力窒素吸収量レベルとしては少なくとも 7.2~7.3kg 程度が必要であり、目標収量を 600~650kg とすると、安定的に同収量を維持するための地力窒素吸収量レベルは 7.5~8.5kg である。7.0kg 以下の圃場では窒素不足ぎみの生育となり、さらに 5.5kg 以下では著しく地力窒素の不足した低水準の圃場とみなすことができた。また、地力窒素吸収量レベルが 9.0kg 以上の高水準になると、施肥基準量としている 12~13kg の施肥量では窒素過剰となるため、減肥が必要である。

次に、良食味品種ヒノヒカリについて、目標収量を 550kg 前後とすると、高品質安定多収を得るための地力窒素吸収量レベルは 7.0~8.0kg 程度が必要である。7.0kg レベル以下の地力窒素が不足した圃場では、施肥に頼る場面が多くなり安定した作柄を望むことは困難である。また、ヒノヒカリでは地力窒素吸収量に応じた施肥量の基準が重要となるが、地力窒素吸収量レベルが 6.5kg 前後の圃場では基肥量として 5.5~6.0kg 程度、7.0kg で 5.0kg 前後、7.5kg で 4.0~4.5kg、8.0kg で 3.5kg 前後である。また、地力窒素吸収量が 8.5kg 以上の高レベルでは、基肥量を 3.0kg 以下にまで減肥することが必要である。

第35表 各水田土壌におけるヒノヒカリの総地力窒素吸収量、施肥区の玄米収量と
窒素吸収量、施肥窒素利用率及び玄米 100kg当たりの窒素吸収量 (1989年)

土壌 ¹⁾	総地力窒素 吸収量 (kg/10a)	施肥区の 基肥窒素量 (kg/10a)	施肥区の 玄米収量 (kg/10a)	施肥区窒 素吸収量 (kg/10a)	施肥窒素 利用率 ²⁾ (%)	玄米100kg当たり の窒素吸収量 ³⁾ (kg/玄米100kg)
N-2	4.7	6.0	470	8.3	37.3	1.77
N-3	7.5	6.0	568	11.6	43.7	2.04
N-5	7.6	3.0	554	10.2	40.2	1.84
〃	〃	4.5	591	11.3	45.8	1.91
N-6	8.6	3.0	590	11.3	40.9	1.91
〃	〃	4.5	566	10.7	25.9	1.89
N-7	8.9	6.0	532	13.5	48.1	2.53 ⁴⁾
平均	-	-	-	-	40.3	1.89

- 1) 各土壌に付した -1、-2、-3…は、同試験地内の圃場番号 (地力窒素吸収量の少ない順に並べた) を示す。
2) 基肥、穂肥を込みにした施肥窒素利用率。
3) 窒素吸収量 (kg) ÷ 玄米収量 (kg) / 100 (kg)
4) 他土壌に比べ著しく大きな値となったため、平均値の計算から除外した。

第36表 各水田土壌におけるヒノヒカリの総地力窒素吸収量、施肥区の玄米収量と
窒素吸収量、施肥窒素利用率及び玄米 100kg当たりの窒素吸収量 (1990年)

土壌 ¹⁾	総地力窒素 吸収量 (kg/10a)	施肥区の 基肥窒素量 (kg/10a)	施肥区の 玄米収量 (kg/10a)	施肥区窒 素吸収量 (kg/10a)	施肥窒素 利用率 ²⁾ (%)	玄米100kg当たり の窒素吸収量 ³⁾ (kg/玄米100kg)
N-3	7.1	6.0	554	11.9	50.3	2.15
N-8	7.2	6.0	562	10.4	34.5	1.86
N-5	7.2	4.5	532	10.6	41.8	1.99
N-7	8.9	5.0	562	13.3	57.6	2.37
N-6	9.5	4.5	560	12.6	38.8	2.25
平均	-	-	-	-	44.6	2.12

- 1), 2), 3) 第35表と同じ。

2 福岡県内水田土壌の地力窒素発現量の評価

このように、稲作期間中の総地力窒素吸収量を指標として水稻の収量性や施肥量との関連性について検討し、それに基づいて水田土壌のランク付けを行ったが、第3章で明らかにしたように、地力窒素発現量と地力窒素吸収量との間には一定の関係があることから、地力窒素発現量が推定できれば地力窒素吸収量を把握することが可能である。そのため、福岡県内の水田土壌全般について、第2章で示した方法に従って地力窒素発現量を推定し、福岡県内水田土壌の地力窒素マップを作成した。

試 験 方 法

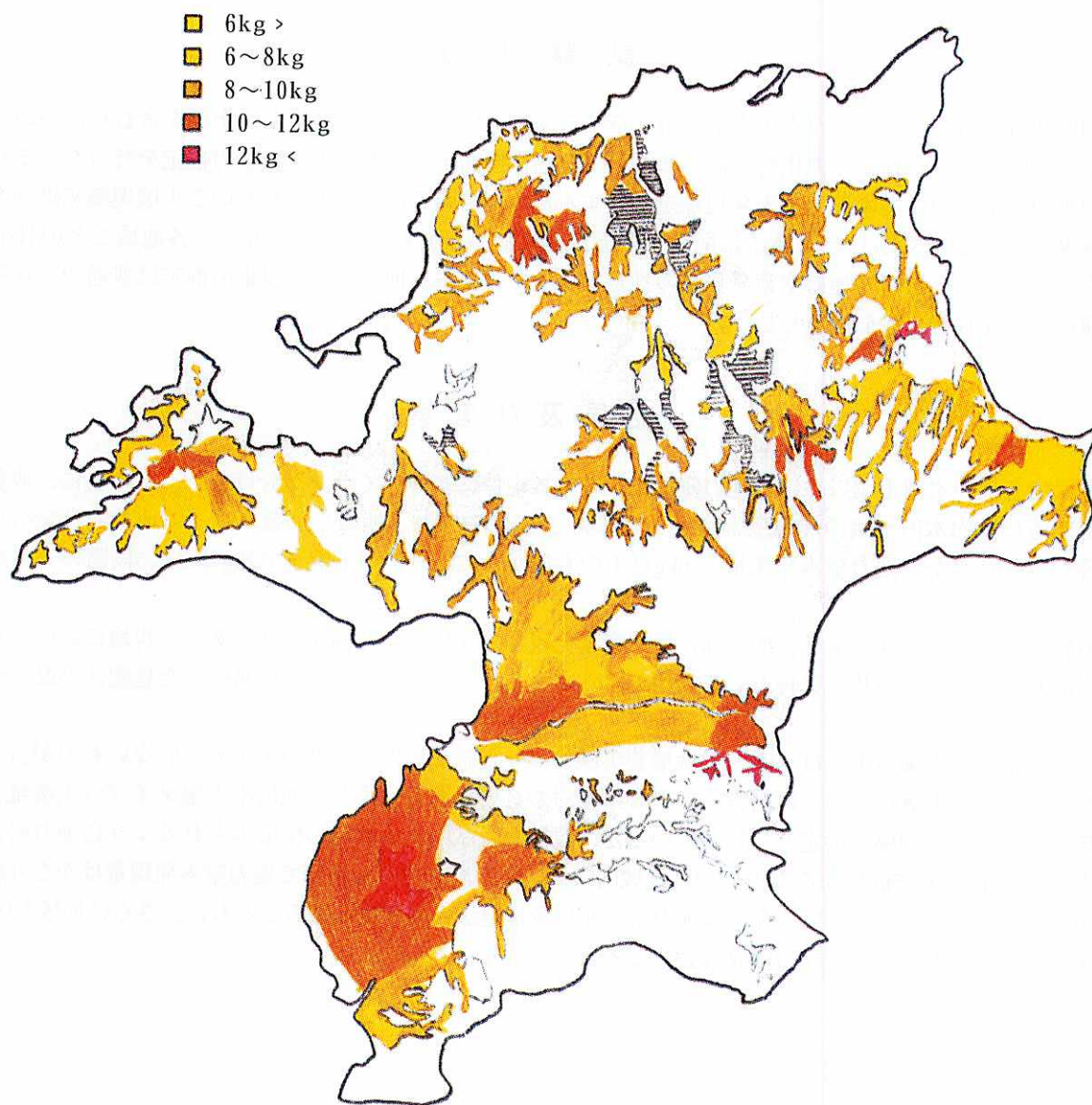
福岡県内各地域から採取した水田土壌（第2章で窒素無機化特性の解析に供した土壌を含む）について、室内定温培養実験から得られる無機化特性値に基づいて、稲作期間中の地力窒素発現量の推定を行った。また、県内全般の水田土壌についての地力窒素発現量を把握するため、福岡農総試で実施している土壌環境基礎調査の調査結果を基に、第2章で示した簡易法に従って無機化特性値 N_0 、 k を求めるとともに、各地域ごとの日平均気温データ（平年値）を用いて地力窒素発現量の推定を行った。なお、地力窒素発現量の推定は普通期（6月上～下旬移植）の水稻栽培期間を対象とした。

結 果 及 び 考 察

福岡県内各地の水田土壌における地力窒素発現量の推定値に基づいてランク分けを行うとともに、地質図・土壌図を参考に県内水田土壌の地力窒素マップを作成した（第39図）。地域や土壌によって地力窒素レベルに大きな相違がみられたが、地力窒素発現量を6kg以下のものから12kg以上の土壌まで2kgごとに5段階のレベルに分けて表示した。

地力窒素マップの作成により、地域別に地力窒素発現量の立体的な評価が可能であり、現地において水田土壌の地力診断を行う場合の基礎資料として活用できるとともに、地力窒素レベルに対応した施肥法の改善が期待できる。

ただし、県内の土壌の中には、室内定温培養実験により正確な無機化特性値を求めているものがないものも含まれているため、これらの土壌については精密実験による検討が必要である。また、地域や土壌タイプ（土壌統または土壌統群）ごとに調査圃場を選定して行っているが、福岡農総試内水田圃場の例でみられるように地力増強程度の差により発現量は4～5kg異なるなど、同一地域内においても農家間や圃場間で地力窒素発現量はかなり相違することが想定される。したがって、今後は地力窒素発現量推定法の簡素化を図るとともに、さらに地域を区分して、地域区分ごとの地力窒素マップの作成も必要と考えられる。



第39図 福岡県内水田土壌の地力窒素発現マップ

鉾害復旧田を示す。

3 摘 要

水田土壌の地力診断や施肥診断を行う場合の地力窒素の評価基準について明らかにするとともに、それに基づいて水田土壌のランク付けを試みた。

- 1) 基肥及び穂肥を込みにしたニシホマレの施肥窒素利用率は、大部分が40～55%の範囲にあり、平均は47.8%であった。また玄米 100kg当たりの窒素吸収量を求めた結果、施肥区の平均は2.24kgであった。これらを基に判断すると、施肥基準量である10a当たり12～13kgの窒素を施用する場合、目標収量を600～650kgとすると、安定的に収量を維持するために必要な稲作期間中の総地力窒素吸収量レベルは7.5～8.5kgであった。7.0kg以下の圃場では窒素不足ぎみの生育となり、さらに 5.5kg以下では著しく地力窒素の不足した低水準の圃場とすることができた。また、9.0kg以上の高レベルになると、過剰分に相当する減肥が必要であった。
- 2) 1989～1990年にヒノヒカリを供試して調査した結果、施肥窒素の利用率は43%(2年間の平均)であった。また、施肥区における玄米収量 100kg当たりの窒素吸収量は 2.0kgでニシホマレと比べ非常に小さく、ヒノヒカリでは多くの窒素吸収を必要としないことが認められた。これらのことから判断すると、ヒノヒカリの目標収量を10a当たり550kg前後とすると、安定的に収量を維持するためには、7.0kg以上の地力窒素吸収が必要と判断された。また、水田土壌の地力窒素吸収量レベルに基づいて、ヒノヒカリの基肥の適量は地力窒素吸収量が6.5kg前後では5.5～6.0kg程度、7.5kg前後で4.0～4.5kgであり、8.5kg以上では3.0kg以下にまで減肥することが必要であった。
- 3) 以上の結果を取りまとめ、稲作期間中の総地力窒素吸収量を指標として水田土壌のランク付けを行うことで、水田土壌の収量性の診断や施肥量の判定に活用することが可能となった。
- 4) 今までに明らかにした地力窒素発現量の推定法または簡易法に従い、県内各地域の水田土壌の稲作期間中における地力窒素発現量を推定し、地力窒素マップを作成した。

第7章 総 合 考 察

水稻は、地力依存度の高い作物であり、水稻が吸収する窒素のうち地力窒素の占める割合は施肥由来の窒素よりも多いとされている。福岡県内の試験圃場で調査した結果、中生の良食味品種ヒノヒカリにおける地力窒素依存度（水稻の窒素吸収量に占める地力窒素の割合）は調査圃場の平均で68%と非常に高く、また施肥量が10a当たり12~13kgと多い中生の短稈多収品種ニシホマレにおいても、地力窒素依存度は平均で54%と施肥窒素よりも多く吸収されていた。したがって、地力窒素の発現が水稻の生育に著しい影響を及ぼしており、地力窒素発現量に応じた施肥量診断の重要性が示唆された。

しかし、今まで水田土壌の地力診断や水稻の施肥診断の場面を考えてみると、地力窒素に対する考慮が十分ではなく、地力窒素の評価基準が明確に設定されておらず、地力窒素に応じた施肥量の算定基準はなかった。このことは、稲作期間中の地力窒素発現量や水稻による吸収量を正確に把握することが困難であったことによる。そのため、県内の代表的な水田土壌を対象に検討した結果、水田土壌の窒素無機化について速度論的方法を適用することができ、土壌の種類や土壌の肥沃度と窒素無機化特性値との関係が明らかになり、稲作期間中の地力窒素発現量の推定が可能となった。

ところで、発現した地力窒素のすべてが水稻によって吸収されるわけではなく、脱窒等による損失が考えられる。そのため、窒素無施用区の水稲窒素吸収量を水稻による地力窒素吸収量として地力窒素発現量に対する割合について調査した結果、生育初期には地力窒素発現量に対する水稻の吸収割合は低く、土壌中にかなり残存するが、移植後35日以降は発現した窒素が効率的に水稻に吸収され、生育期間を通してみると地力窒素発現量の70~80%が水稻により吸収されていた。両者の差について考えると、無機化した地力窒素のうちの一部は根系の発達が十分でない生育初期において、また中干しや落水に伴って流亡、脱窒等により水田土壌から系外へ消失するものとみられる。地力窒素発現量の推定値と地力窒素吸収量との関係については、東北や北陸地域でも検討されている（上野ら1988、藤井ら1989、北田1990）が、必ずしも一様の傾向が認められていない。しかし、地域や土壌肥沃度の異なる水田において調査した結果、両者の間には一定の関係が認められたことから、稲作期間中の地力窒素吸収量の推定が可能となり、施肥技術へ活用できることが明らかとなった。得られた70~80%を地力窒素の利用率と考えると、調査圃場における施肥窒素の利用率が概ね基肥30~50%、穂肥50~80%であるのに対して、水稻による地力窒素の吸収割合の高いことが推察された。地力窒素の利用率については、今までほとんど論議されていないため、今後は脱窒や流亡等による地力窒素の損失量についての検討が必要である。

水田土壌から供給される地力窒素の量に対応した適正な施肥技術を確立するためには、暖地水稻の窒素吸収特性について明らかにしておくことが必要である。そのため、中生の短稈多収品種ニシホマレと良食味品種ヒノヒカリを対象に調査した結果、品種間で著しく相違することが認められた。例えば、水稻窒素吸収量と収量との関係を比較してみると、ニシホマレでは窒素吸収量が10a当たり15~16kgまで収量の増加が認められるのに対し、ヒノヒカリでは11~12kgで頭打ちとなり、それ以上吸収しても収量増加は期待できない。また、施肥条件下において、玄米収量100kg当たりの窒素吸収量を計算すると、ニシホマレは調査圃場の平均で2.2kgであるのに対し、ヒノヒカリでは2.0kgと少なく、ヒノヒカリは多くの窒素吸収を必要としないことを示している。したがって、品種によって窒素吸収特性が異なり、地力窒素の影響や地力窒素に応じた施肥技術はかなり相違することが考えられた。

水稻が吸収する地力窒素の量は水田土壌間で異なり、10a当たり3kgと極めて少ない圃場から11kg近くに及ぶ圃場まで様々であるが、大部分は5~9kgの範囲である。ところで、ニシホマレ等短稈多収品種における県の施肥基準量は10a当たり12~13kgであり、施肥窒素の利用率を40~55%（基肥、穂肥を含む）として計算すると、施肥から供給される窒素量は5~7kg程度となる。一方、収量性から判断される窒素吸収量の限界値は15~16kgと多いことから、これら品種については地力窒素吸収量の少ない圃場で収量向上を図るための基肥の増肥や追肥の判定が重要となる。ただし、一度に施肥できる量には限界があることから、地力窒素の多少が短稈多収品種の収量性を大きく左右していることが窺える。以上のことから、短稈多収品種において一定の収量レベルを得るために必要な各生育時期ごとの水稻窒素吸収量の指標値を明らかにし、生育期間中における目標収量別の窒素吸収パターンを作成した。

近年、暖地では良食味品種の作付け拡大が図られているが、良食味品種は耐倒伏性が劣り、窒素過多による登熟の悪化や品質の低下を招きやすいこと、またヒノヒカリにみられるように、収量性に対する窒素吸収量の限界が10a当たり12kg前後と少ないことから、これら良食味品種では地力窒素の量に応じた施肥量の調整が極めて重要である。そのため、各生育時期ごとの窒素吸収量と生育や収量、収量構成要素及び品質・食味との関係について詳細に解析し、ヒノヒカリの安定収量と品質維持のために必要な生育期間中の望ましい窒素吸収パターンを策定した。

水稻が吸収する窒素は地力窒素と施肥由来の窒素とに分けられるため、各生育時期において望ましい窒素吸収量の指標値が得られれば、同時期までの地力窒素吸収量を控除することで必要とする施肥窒素吸収量が求められる。基肥の適量は幼穂形成期において必要な施肥窒素吸収量を基肥の利用率で、穂肥の適量は幼穂形成期以降穂揃期までに必要な施肥窒素吸収量を穂肥の利用率で除すことにより求められる。今までは、水稻が吸収する地力窒素の量を正確に推定できなかったため、地力窒素に対応した施肥が行われてなかったが、以上のことから適正な施肥量の算定が可能となった。また、穂肥については、穂肥施用時までの稲体の窒素栄養状態を把握しておくことが必要であることから、生育期間中の稲体窒素栄養の診断法について検討した結果、草丈・茎数・葉色から窒素吸収量を推定する方法を明らかにした。このように、地力窒素発現量に対応した施肥技術について明らかにしたが、培養実験に基づく地力窒素発現量の推定は操作が煩雑で時間を要するため、今後はさらに推定法の簡略化を図るなど実用化に向けて幾つかの取り組みが必要である。

ところで、稲作期間中の総地力窒素吸収量とニシホマレ等短稈多収品種の生育、収量との関係については、ニシホマレの目標収量を600～650kgとすると、安定的に多収を維持するための地力窒素吸収量レベルは7.5～8.5kgである。7.0kg以下では窒素不足ぎみの生育となり、5.5kg以下では著しく地力窒素が不足した土壤であるといえる。次に、良食味品種ヒノヒカリにおいて、安定的に収量を維持するためには7.0kg以上の地力窒素吸収が必要であり、またヒノヒカリの基肥量としては地力窒素吸収量レベルが6.5kgの水田では5.5～6kg、7.0kgで5kg前後、7.5kgで4～4.5kg、8.0kgでは3.5kg前後が適量と判定できる。

以上のように、暖地における水田土壤の地力窒素発現パターンと水稻の窒素吸収特性について詳細に解析し、稲体の最適な窒素栄養と地力窒素発現量に基づく適正な施肥の診断法について明らかにした。このことにより、暖地水稻の施肥の適正化が図られ、収量の高位安定と品質・食味の向上が期待できるとともに、水田土壤の地力維持・向上を図るための資料として活用できる。また、近年環境問題への関心が高まる中で、地力窒素の活用を図るとともに、稲体や土壤の養分状態を的確に診断して施肥の無駄を省くことは、環境保全の面からも今後一層重要性を増すと考えられる。

第8章 総 合 摘 要

水稻が吸収する窒素のうち地力窒素の占める割合は施肥由来の窒素よりも多いとされている。したがって、稲作期間中に発現する地力窒素の量を明らかにし、その量に応じて施肥量を決定することが極めて合理的な方法である。しかし、今まで地力窒素の発現量を正確に把握することができず、地力窒素に応じた施肥量算定の基準はなかった。そのため、暖地水田土壤の窒素無機化特性について解析を行い、地力窒素発現量の推定法を確立するとともに、地力窒素の発現が水稻の生育や収量、品質に及ぼす影響と暖地水稻の生育期間中における窒素吸収パターンについて詳細に検討し、地力窒素の量に応じた適正な施肥の診断法を明らかにした。

1. 福岡県内の代表的な水田作土を対象に温度別インキュベート実験を行った結果、水田土壤の窒素無機化について速度論的方法が適用でき、いずれの土壤も単純型モデルによく適合した。その結果、土壤窒素の無機化を特徴づけるとともに、地力窒素発現量推定の基となる3つの無機化特性値、可分解性窒素量： N_0 、25℃における速度定数： k 、見かけの活性化エネルギー： E_a が得られた。

2. 水田土壤の無機化特性値について解析した結果、 E_a (cal/mol)には土壤間差がなく、地力窒素の発現は k (1/日)と N_0 (kg/10a)の値によって決定され、両者の値が大きいほど発現量は多くなること、また k の値は土壤の種類により著しく異なるが、同一地域内の土壤ではほとんど変わらないこと、及び同一地域内の土壤では地力増強程度が大きい土壤ほど N_0 が大きいことが認められた。

3. 無機化特性値が得られたことにより、窒素無機化式と無機化特性値及び地温データを基に稲作期間中の地力窒素発現量の推定が可能となり、暖地水田の地力窒素発現パターンについて地域や土壌の種類ごとに明らかにした。
4. 地力窒素発現量の推定値と水稻による地力窒素吸収量との関係について調査した結果、地力窒素発現量に対する水稻の吸収割合は移植後25日頃は35%前後と低かったが、移植後35日以降は70~80%の値で推移し、それ以降は地力窒素が効率的に水稻に吸収されていることが窺えた。また、地力窒素吸収量と土壌中に残存するアンモニア態窒素量の合計量を地力窒素供給量として地力窒素発現量と比較した結果、供給量は発現量の80~100%で推移し、両者はよく一致していた。
5. ニシホマレを供試し、水稻窒素吸収量を地力窒素と施肥窒素に分け、両者の時期別推移を比較した。地力窒素吸収量は移植45日後が10a当たり0.8~6.7、穂揃期までが1.7~8.7kgと土壌間で著しい相違がみられた。一方、施肥窒素吸収量は大半の土壌が移植後45日で3~4、穂揃期までで5~8kgであり、地力窒素に比べ土壌間差は小さかった。
6. 地力窒素の依存度は50~60%の土壌が大部分を占め、平均でも54%と施肥窒素量が12~13kgと多いニシホマレにおいても施肥窒素より多く吸収されていた。また、良食味品種ヒノヒカリにおける地力窒素依存度は57~79%でニシホマレに比べ高く、地力窒素の影響が大きいことが認められた。
7. 稲作期間中の総地力窒素吸収量を100とした場合の移植期から各生育時期までの地力窒素吸収割合を算定した結果、ニシホマレでは幼穂形成期までに約50%、穂揃期までに約80%が吸収され、ヒノヒカリでは幼穂形成期までに60~70%、穂揃期までに90%近くが吸収されていた。
8. 施肥窒素の利用率は土壌の種類によって異なり、ニシホマレにおける基肥窒素利用率は34~51%、平均で44%、穂肥窒素利用率は58~78%、平均64%であった。農総試本場内におけるヒノヒカリの利用率は基肥40%、穂肥54%で、同地域でのニシホマレの利用率：基肥51%、穂肥61%に比べ低く、両品種間で水管理等の栽培法や窒素吸収特性の相違が影響していると考えられた。
9. 水稻窒素吸収量と収量との関係についてみると、窒素吸収量が少ない範囲では吸収量に比例して収量は顕著に増加するが、吸収量が多くなると増加割合は減少し、ニシホマレでは15~16kgまで収量の増加がみられるが、ヒノヒカリでは11~12kgで頭打ちとなり、さらに多くなると減少の傾向が認められた。
10. ニシホマレを対象に、一定の収量レベルを確保するために必要な生育期間中の窒素吸収量の指標値を作成した。10a当たり収量600kgを確保するには、幼穂形成期までに7.8kg、穂揃期までに12.9kgの窒素吸収が、また10a当たり650kgの収量を得るには、それぞれ9.3kg、14.7kgの窒素吸収が必要であった。
11. 良食味品種ヒノヒカリにおいて、目標穎花数であるm²当たり30,000~32,000粒を確保し、品質を維持し安定した作柄を得るために必要な生育期間中の望ましい窒素吸収パターンを策定した。各生育時期における窒素吸収量の指標値は、幼穂形成期が10a当たり6.5~7.0kg、穂揃期が10.0~11.0kgである。
12. 生育期間中における稲体の窒素栄養状態の診断法について検討した結果、各生育時期における草丈×m²当たり茎数×葉色の値と水稻窒素吸収量の間には高い相関が認められ、この値から水稻窒素吸収量の推定が可能であった。
13. 水稻が吸収する窒素は地力窒素と施肥窒素とに分けられるため、各生育時期における窒素吸収量の指標値が得られれば、同時期までの地力窒素吸収量を控除し施肥窒素の利用率で除すことにより、施肥窒素の適量を求めることができる。そのため、ニシホマレ等短稈多収品種において目標収量を得るために必要な基肥及び穂肥の量を、各調査圃場の地力窒素レベルに応じて明らかにした。
14. 良食味品種ヒノヒカリの移植期から各生育時期までの最適な窒素吸収量の指標値を基に、稲作期間中の地力窒素吸収量に対応した適正な施肥量の算定法について明らかにした。水田土壌の地力窒素吸収量レベルに応じた基肥窒素の適量は、地力窒素吸収量が6.5kg前後の水田で5.5~6kg、7.5kg前後の水田で4~4.5kg、8.5kg前後の水田では3kg以下である。
15. 以上のように、稲作期間中の地力窒素発現量の推定が可能となり、地力窒素発現量に応じた適正な施肥の診断法について明らかにした。このことにより、暖地水稻の施肥の適正化が図られ、収量の高位安定と品質・食味の向上が期待できるとともに、水田土壌の地力維持・向上を図るための資料として活用できる。

引用文献

- Ahmad, Z., Y. Yahiro, H. Kai and T. Harada 1973. Factors affecting immobilization and release of nitrogen in soil and chemical characteristics of the nitrogen newly immobilized, III. *Soil Sci. Plant Nutr.* 19:287-298.
- 安藤 豊・庄子貞雄 1986. 水田土壌中の地力窒素の発現と施用窒素の土壌中での固定について. *土肥誌* 57:1-7.
- ・藤井弘志・佐藤俊夫・荒垣憲一・中西政則・佐藤之信 1989. 沖積水田土壌の地力窒素の無機化モデルについて. *土肥誌* 60:1-7.
- ・———・中西政則 1990. 山形県庄内地域のグライ水田下層土における地力窒素の無機化特性について. *土肥誌* 61:466-471.
- 青峰重範 1949. 乾土効果と暗渠排水. 初版. 河出書房, 東京.
- 浅見輝男 1971. 水田土壌中における窒素化合物の有機化および無機化に関する研究. 第2報 新たに有機化された窒素化合物の無機化過程と土壌有機態窒素の無機化過程との相違. *土肥誌* 42:22-25.
- 茶村修吾・田中芳雄・小武キミ 1974. 水稻の生育後期の窒素追肥が米粒の食味関連要素に及ぼす影響. *日作紀* 43(別1):123-124.
- 土壌養分分析法 1970. 水田土壌の乾土効果と温度上昇効果. 養賢堂, 東京. 209-212.
- 藤井弘志・安藤 豊・佐藤俊夫・荒垣憲一・中西政則・佐藤之信 1989. 山形県庄内地域(グライ土壌)の地力窒素の無機化について. *土肥誌* 60:8-14.
- ・———・佐藤之信・中西政則 1990. 速度論的解析法によって得られた可分解性有機態窒素量の簡易推定法. *土肥誌* 61:92-93.
- 原田皓二・古城斉一 1983. 水稻の後期追肥と品質食味について. *日作九支報* 39:6-8.
- 原田登五郎 1959. 水田土壌の有機態窒素の無機化とその機構に関する研究. *農技研報* B9:123-199.
- ・林 龍三・近本明雄 1964. 土壌の機械的処理と有機態窒素の無機化促進効果. *土肥誌* 35:21-24.
- 林 龍三・原田登五郎 1964. 根系による土壌有機態窒素の無機化促進について. *土肥誌* 35:123-126.
- 1965. 土壌の易分解性有機態窒素に関する研究. 九大農学部肥料学研究室報告 3:1-96.
- 樋口太重 1982. 緩衝液による有機化窒素及び土壌有機態窒素の抽出特性. *土肥誌* 52:481-486.
- 稲津 侑 1990. 良食味米の理化学特性と栽培(シンポジウム記事). *日作紀* 59:611-615.
- 犬伏和之・和田秀徳・高井康雄 1985. 窒素無機化過程とアンモニア化量. *土肥誌* 56:404-408.
- 石間紀男・平 宏和・平 春江・御子柴 穆・吉川誠次 1974. 米の食味に及ぼす窒素施肥及び精米中のタンパク質含有率の影響. *食総研報* 29:9-15.
- 角重和浩・山本富三・井上恵子・末信真二 1992a. 水稻品種ヒノヒカリの窒素吸収パターンの解析. 第1報 稲体の窒素吸収が水稻の生育・収量に及ぼす影響. *九州農業研究* 54:62.
- ・———・田中浩平 1992b. 水稻品種ヒノヒカリの窒素吸収パターンの解析. 第2報 葉色診断による水稻の窒素吸収量の推定. *九州農業研究* 54:63.
- ・———・井上恵子・末信真二 1993a. 水稻品種ヒノヒカリの窒素吸収パターンの解析. 第3報 窒素吸収の違いが玄米中の窒素濃度及び食味に与える影響. *九州農業研究* 55:49.
- ・———・———・田中浩平 1993b. 水稻品種ヒノヒカリの窒素吸収パターンの解析. 第4報 望ましい窒素吸収パターンの策定. *九州農業研究* 55:50.
- ・———・———・田中浩平 1993c. ヒノヒカリの窒素栄養診断. 第1報 ヒノヒカリの窒素吸収量と生育・収量との関係. *福岡農総試研報* A-12:15-18.
- Kai, H., Z. Ahmad, and T. Harada, 1973. Factors affecting immobilization and release of nitrogen in soil and chemical characteristics of the nitrogen newly immobilized, II. *Soil Sci. Plant Nutr.* 19:275-286.
- 甲斐秀昭・河口定生・丸本卓哉 1976. D-アミノ酸の土壌中分布とその土壌窒素代謝における意義. *土と微生物* 18:27-41.
- 兼子 明・山本富三 1991. 暖地水田における土壌窒素の発現特性と施肥技術. 第5報 福岡県水田土壌の窒素無

- 機化特性と窒素肥沃度. 九州農業研究 53:52.
- 勝見 太 1972. 水田土壌中における施肥窒素の行動. 福井農試報 9:1-14.
- 吉良知彦・石川寿郎・永元良知 1990. 水稻の栄養診断技術. 第1報 葉緑素計値と稲体窒素濃度 との関係及び葉緑素計値による葉色判定. 九州農業研究 52:28.
- 北田敬宇 1990a. コシヒカリの多収水準における窒素吸収パターン. 土肥誌 61:187-189.
- 1990b. 灰色低地土とグライ土水田についての速度論的解析法による土壌窒素の無機化予測. 土肥誌 61:241-247.
- ・宮川 修・塩口直樹 1991. 水稻の理想的な窒素吸収パターンと土壌窒素無機化予測によるシステム施肥法. 土肥誌 62:585-592.
- 小菅伸郎・飯村康二 1972. 水田土壌中における脱窒量の測定について. 土肥誌 43:388-389.
- 1979. 湛水土壌中における脱窒の研究. 農業及び園芸 54:495-500.
- 小西千賀三・山崎欣多 1955. レンゲ施用水田における養分の消長に関する研究. 第1報 ライシメーター試験. 北陸農業研究 3:1-61.
- 金野隆光・杉原 進 1986. 土壌生物活性への温度影響の指標化と土壌有機物分解への応用. 農環研報 1:51-68.
- 弘法健三・上原秀夫 1943. 稲作期間における水田土壌の肥沃化に就いて. 土肥誌 17:344-346.
- 小山雄生 1975. ^{15}N 利用による水田土壌窒素肥沃度測定の実際と生産力. 土肥誌 46:260-269.
- Koyama, T., M. Shibuya, M. Tokuyasu, T. Shimamura, T. Ide and K. Ide 1977. Balance sheet and residual effects of fertilizer nitrogen in Saga paddy fields. Proc. Int. Seminar on SEFMIA. Tokyo:289-296.
- 前田乾一・鬼鞍 豊 1977. 圃場条件における有機物の分解率の測定法. 土肥誌 21:83-85.
- ・志賀一一 1978. 水田条件における各種有機物資材の分解経過. 土肥誌 49:455-460.
- 1983. 水田に施用された窒素の行動の定量的評価. 農研センター報告 1:121-192.
- 真鍋尚義 1990. 北部九州における水稻良食味品種ヒノヒカリの栽培法. 農業技術 45:193-198.
- 松江勇次 1992. 少数パネル、多数試料による米飯の官能検査. 日本家政学会誌 43:1027-1032.
- 松崎昭夫・松島省三・富田豊雄 1973. 水稻収量の成立原理とその応用に関する作物学的研究. 第113報 穂揃期窒素追肥が品質に及ぼす影響. 日作紀 42:54-56.
- 三井進午・太田寛一・科学研究所仁科研究所重窒素実験室 1950. 窒素肥料の土壌中における行動追跡元素としての N^{15} の利用について. 土肥誌 21:83-85.
- 深山政治・勝木田博人・斉藤研二 1984. 葉色票による水稻の生育診断. 農業及び園芸 59:775-781.
- 1988. 水稻の最適窒素保有量に基づく新しい施肥基準策定法に関する研究. 千葉農試特別報 15:1-92.
- 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. 宮城県農研センター研報 49:69-77.
- ・浅野岩夫・及川 勉 1987. 作物の迅速栄養診断技術. 第2報 葉緑素計による水稻の窒素栄養診断技術. 宮城県農研センター研報 55:13-17.
- 中西政則・藤井弘志・斉藤洋助・五十嵐真一・桜井 博・横尾信彦・渡部賢治・早坂 剛・中野憲司 1991. 気象情報を利用した乾土効果の簡易推定法とその活用事例. 農業および園芸 66: 37-42.
- 西垣 晋・渋谷政夫・小山雄生 1960a. 埼玉水田における窒素の行動. 第4回日本アイソトープ会議報文集 1136-1140.
- ・———・——— 1960b. 長野水田における窒素の行動. 第4回日本アイソトープ会議報文集 1140-1144.
- 鬼鞍 豊・吉野 喬・前田乾一 1975. 稲作期における土壌窒素の有効化過程. 土肥誌 46:255-259.
- Patrick, W. H. Jr. and K. R. Ready 1977. Fertilizer nitrogen reactions in flooded soils. Proc. Int. Seminar on SEFMIA. Tokyo:275-281.
- 坂上行雄・松原弘一郎 1967. 水田土壌の有機態窒素の無機化に及ぼす湛水直後土壌かくはんの影響. 第2報 代かき作業に伴う水田土壌肥沃度. 土肥誌 38:70-73.
- 佐々木康之 1989. 稲の栽培条件と品質. 稲と米 品質を生かす. 農水省農業研究センター・生物系特定産業技術研究推進機構, 東京. 49-66.

- 渋谷政生・小山雄生 1966. 安定同位元素¹⁵Nの追跡実験法. 土肥誌 37:153-159.
- 志賀一一 1984. 水田の有機物施用基準について. 土肥誌 55:374-380.
- 塩入松三郎・青峰重範 1939. 湛水状態の土壤中における窒素の形態変化. 土肥誌 13:284-287.
- ・——— 1940. 休閑期における水田土壌の乾燥の効果について. 農事試験報告 1:30.
- ・———・宇野要次・原田登五郎 1941. 水田土壌の乾燥の効果について. 土肥誌 15:331-333.
- 1943. 水田の土壌化学. 大日本農会, 東京. 1-64.
- 末信真二・山本富三・井上恵子・角重和浩 1993. 下層土からの窒素供給と水稻の生育. 福岡農総試研報 A-12:11-14.
- ・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 A-13:5-8.
- 杉原 進・金野隆光・石井和夫 1986. 土壌中における有機態窒素無機化の反応速度論的解析法. 農環研報 1:127-166.
- 庄子貞雄・和田源七・斉藤公夫・新保 到・高橋重郎 1971. 水田における窒素の動態と水稻による窒素吸収について. 第2報 基肥窒素の土壌中における行動. 日作紀 40:281-286.
- ・野木照修・高橋重郎・和田源七 1974. 水田における窒素の動態と水稻による窒素吸収について. 第8報 圃場条件の異なる場合の基肥窒素の行動と窒素吸収の比較. 日作紀 42:226-230.
- 田口喜久治・水野要蔵・野口 巖 1974. 地域別にみた土壌窒素の発現と施肥窒素の吸収. 東北農業研究 15:67-71.
- 高橋重郎・庄子貞雄・野木照修・和田源七 1973. 水田における窒素の動態と水稻による窒素吸収について. 第5報 栽培条件の異なる場合の基肥窒素の土壌中の行動ならびに水稻による窒素吸収. 日作紀 42:91-96.
- ・和田源七・庄子貞雄 1976. 水田における窒素の動態と水稻による窒素吸収について. 第6報 温度が水稻の窒素吸収および土壌中のアンモニア態窒素の消長におよぼす影響. 日作紀 45:213-219.
- 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.
- 東北地域土壌窒素無機化パターン研究グループ 1988. 東北地域における土壌窒素無機化パターンのモデル化とその活用技術の現状. 農業技術 43:161-164, 208-213.
- 鳥山和伸・飯村康二 1987. 北陸地域の細粒強グライ水田作土における土壌窒素供給力の季節変動. 土肥誌 58:671-676.
- 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.
- ・佐藤之信・熊谷勝己・大竹俊博 1989. 水田の乾土効果発現量の予測と水稻の生育反応. 土肥誌 60:167-171.
- ・———・———・——— 1990. 速度論的解析法による土壌窒素発現予測システム. 土肥誌 61:273-281.
- 和田源七・庄子貞雄・高橋重郎 1971a. 水田における窒素の動態と水稻による窒素吸収について. 第1報 基肥窒素の水稻による吸収について. 日作紀 40:275-280.
- ・———・———・斉藤公夫・新保 到 1971b. 水田における窒素の動態と水稻による窒素吸収について. 第3報 追肥窒素の土壌中における行動ならびに水稻による吸収. 日作紀 40:287-292.
- ・———・——— 1973. 水田における窒素の動態と水稻による窒素吸収について. 第4報 吸収窒素の水稻体内への配分について. 日作紀 42:84-90.
- 和田秀徳・犬伏和之・上原洋一・高井康雄 1981. 全窒素量とアンモニア化成量との関係. 土肥誌 52:246-252.
- ・———・高井康雄 1982. クロロフィル様物質とアンモニア化成量との関係. 土肥誌 53:380-384.
- 渡邊敏朗・江頭和彦・山本富三・兼子 明 1991. 暖地水田における土壌窒素の発現特性と施肥技術. 第5報 福岡県内水田土壌の粘土鉱物組成と窒素無機化速度定数. 九州農業研究 53:51.
- 山根一郎・細川玲子 1956. 稲作湛水期間中における水田土壌の肥沃化について. 東北農試研報 10:125-128.
- Yoshida, T. and B. C. Padre Jr. 1975. Effect of organic matter application and water regimes on the transformation of fertilizer nitrogen in a Philippine soil. Soil Sci. Plant Nutr. 21:281-292.

- 吉野 喬・出井嘉光 1977. 土壤窒素供給力の有効積算温度による推定法について. 農事試研報 25:1-62.
- ・——— 1978. 水田土壌における施肥窒素の行方および窒素肥料の土壤窒素無機化に及ぼす影響. 農事試研報 28:91-113.
- 山本富三・久保田忠一 1986a. 速度論的解析による水田土壌の窒素無機化特性. 土肥誌 57:481-486.
- ・———・真鍋尚義 1986b. 速度論的方法による水稻生育期間中の土壤窒素無機化量の推定. 土肥誌 57:487-492.
- ・兼子 明・久保田忠一 1988. 暖地水田における土壤窒素の発現特性と施肥技術. 第1報 県内水田土壌の湿潤土窒素無機化特性. 九州農業研究 50:90. ———・神屋勇雄・兼子 明・久保田忠一 1989. 暖地水田における土壤窒素の発現特性と施肥技術. 第2報 土壤肥沃度と水稻の生育・収量及び窒素吸収. 九州農業研究 51:88.
- ・———・——— 1990. 暖地水田における土壤窒素の発現特性と施肥技術. 第3報 県内各地域における土壤窒素の供給パターンと水稻の生育収量. 九州農業研究 52:95.
- ・兼子 明・神屋勇雄 1991. 暖地水田における土壤窒素の発現特性と施肥技術. 第6報 アンモニア化量による土壤窒素供給力の診断. 九州農業研究 53:52.
- ・田中浩平・角重和浩 1992. 暖地水田における地力窒素発現パターンと施肥の診断. 第1報 地力窒素の発現が暖地水稻ニシホマレ、ヒノヒカリの生育、収量に及ぼす影響. 日作紀 61:369-374.
- ・———・——— 1993. 暖地水田における地力窒素発現パターンと施肥の診断. 第2報 水田土壌の窒素無機化特性と水稻生育期間中の窒素吸収パターン. 日作紀 62:363-371.
- ・———・——— 1994. 暖地水田における地力窒素発現パターンと施肥の診断. 第3報 アンモニア化量による水田土壌の地力窒素供給量の評価と水稻収量性. 日作紀 63:411-417.
- 山下鏡一・藤本堯夫 1974. 肥料と米の品質に関する研究(第2報) 窒素肥料が米の食味、炊飯特性、デンプンの理化学的性質等に及ぼす影響. 東北農試研報 48:65-79.
- 柳沢宗男・高橋治助 1964. 水田の生産力要因の解析に関する栄養生理学的研究. 農技研報 B14: 41-171.

Relationship between Nitrogen Released from Paddy Soils in Warm Regions and Yield of Rice Plants

by
Tomizou Yamamoto

Summary

It is considered that the rice plants absorb the nitrogen released from paddy soils (originating from the organic matter in the soils) more than the nitrogen fertilizer application on the average, and growth of rice plants are remarkably influenced by quantity of it (large or small). Consequently, it is very effective that the amount of nitrogen fertilizer application was decided according to the amount of the nitrogen released from paddy soils during the growth period of rice plants, provided that it is required to establish the estimation method. Therefore, the influence of the soil nitrogen on the growth and yield of rice plants and the characteristics of the soil nitrogen mineralization were investigated and uptake patterns of rice plants were clarified, so that the optimum amount of nitrogen fertilizer application was decided for each of the soil nitrogen level.

At first, the topsoils collected from various regions in Fukuoka Prefecture were incubated and the amount of mineralized nitrogen was measured. The relationship between the mineralized nitrogen amount (N) and the incubation time (t) fitted to the formula: $N = N_0 (1 - e^{-kt}) + B$, and the nitrogen mineralization was characterized by the characteristic parameters, N_0 : potentially decomposable nitrogen, k : mineralization rate constant at 25°C, E_a : apparent activation energy. The value of k differed remarkably among soils, and the amount of released soil nitrogen increased in case of paddy soils with high k value. In the same kind of soil, or similar k value, the amount of that was influenced by the value of N_0 . It was possible to estimate the amount of soil nitrogen released from paddy field during each growth stage according to inputting the value of characteristic parameters and the soil temperature data to the computer, since the relationship between the amount of mineralized nitrogen and the temperature was analyzed.

Secondly, the rice plants were cultivated in the experimental fields of three agricultural research centers, and the amount of absorbed nitrogen was measured in each growth stage. The relationship between the amount of soil nitrogen released from paddy field (SNR) and the amount of soil nitrogen absorbed by rice plants (SNA) was studied. SNR was estimated theoretically and SNA was estimated by planting the rice plants in the field applied no nitrogen. The average value of SNA/SNR was about 35% in 25 days and 55-75% in 35 days after transplanting. The value was 70-80% from 35 days after transplanting to harvest time, indicating that the soil nitrogen released was efficiently absorbed by rice plants after 35 days of transplanting. From the above results, it was possible to estimate SNA by means of SNR multiplied by absorption percentage in each growth stage.

Meanwhile, the total amount of nitrogen absorbed by rice plants in the fields applied nitrogen (TNA) was divided between the amount of soil nitrogen absorbed (SNA) and fertilizer nitrogen absorbed ($FNA = TNA - SNA$), since the transitions of both in the growth period of rice plants were compared and the recovery rate was calculated. SNA differed considerably among fields at 0.8~6.7kg/10a in 45 days after transplanting and 1.7~8.7kg/10a in full heading time. The other side, FNA was generally 3~4kg/10a in 45 days after transplanting, 5~8kg/10a in full heading time and the difference among fields was less than SNA. In

Nishihomare, the recovery rate of basal application nitrogen was 34~51%, 44% on average among soils and that of topdressing at panicle formation was 58~78%, 64% on average. About Hinohikari in Fukuoka agricultural research center, the former was 40% and the latter was 54%. These values were lower than Nishihomare with respectively 51% and 61% in the same place.

Then the relationship between TNA and the growth or the grain yield was studied to find the optimum nitrogen uptake pattern during the growth stage of rice plants. Though the yield of Nishihomare increased remarkably in proportion to the amount of absorbed nitrogen within the less extent, the rate of increase decreased gradually and the yield reached the plateau when it was about 15~16kg/10a. Similarly in the case of Hinohikari, it was observed that the yield reached the plateau when it was about 11~12kg/10a and was apt to decrease more than 12kg/10a. From the results of analyzing the relationship between TNA and the growth or grain yield, the index which was necessary to obtain the fixed grain yield of Nishihomare was proposed. It was necessary to absorb 7.8kgN/10a by the panicle formation stage, 12.9kgN/10a by the full heading time for ensuring the yield of 600kg/10a, and it was necessary to absorb 9.3kg, 14.7kgN/10a respectively for ensuring the yield of 650kg/10a. Besides, the nitrogen uptake patterns of Hinohikari which was necessary for obtaining the objective number of glumous flower 30,000~32,000 and the stable productivity with high quality was devised. The index of TNA by each growth period was 6.5~7.0kg/10a by the panicle formation stage and 10.0~11.0kg/10a by the full heading time.

Subsequently, the method for deciding the optimum amount of nitrogen fertilizer application was considered. The optimum amount could be calculated by the following formula, since TNA was composed of SNA and FNA.

Optimum amount of basal application nitrogen ; Nb(kg/10a)

$$Nb = (TNAp - SNAp) \div RRb \cdots (1)$$

TNAp(kg/10a) : optimum index of TNA in the panicle formation stage

SNAp(kg/10a) : SNA by the panicle formation stage

RRb(%) : recovery rate of basal application nitrogen

Optimum amount of topdressing at panicle formation ; Np(kg/10a)

$$Np = (TNAf - SNAf) \div RRp \cdots (2)$$

TNAf(kg/10a) : optimum TNA from the panicle formation stage to the full heading time

SNAf(kg/10a) : SNA in the above period

RRp(%) : recovery rate of topdressing nitrogen at panicle formation

By using both formulas, Nb and Np which was necessary for obtaining the objective grain yield of Nishihomare in each experimental fields with various SNA was clarified. Besides, on the basis of optimum TNA about Hinohikari(panicle formation stage;6.75kg/10a, full heading time;10.5kg/10a), the optimum amount of nitrogen fertilizer application for each of the soil nitrogen level was clarified. Namely, Nb was 5.5~6kg for the field with nearly 6.5kg per 10a of SNA through the full growth stage and it was samely 4~4.5kg for about 7.5kg, below 3kg for about 8.5kg.

In conclusion, the method for estimating the amount of soil nitrogen released from paddy fields(SNR) was defined and it was possible to decide the optimum amount of nitrogen fertilizer application according to SNR. Consequently, the fertilizer application for rice plants of warm regions will be practiced more properly, so that the high stability of grain yield and the improvement of appearance quality and eating quality will be expected. Besides, the result obtained in this study will contribute to promote the maintenance and the improvement of soil fertility.

福岡県農業総合試験場特別報告
第8号

暖地水田における地力窒素と
水稻の収量

発 行 平成7年1月
福岡県農業総合試験場
(福岡県筑紫野市吉木)

著 者 山 本 富 三

印刷所 城島印刷有限公司