

氏 名(本籍) 上^{うえ} の^の 野^の 正^{まさ} 夫^お

学位の種類 博 士 (農 学)

学位記番号 農 第 490 号

学位授与年月日 平 成 6 年 2 月 10 日

学位授与の要件 学位規則第4条第2項該当

学位論文題目 山形県における良質米（水稲ササニシキ）の安定生産のための生育と窒素吸収パターン並びに地力窒素を生かした窒素施肥法の開発

論文審査委員(主査) 教 授 庄 子 貞 雄
教 授 三 枝 正 彦
教 授 星 川 清 親

論文内容要旨

序言

山形県の稲作は、これまでササニシキが70%近い作付を占める中で、単収は、最近20年間の平均値で見ても、559kg/10aで、秋田、青森県をおさえ全国1位の座を確保してきた。しかし、良質品種であるササニシキは、耐肥性、耐病性、耐倒伏性が弱く、土壌条件や気象条件によって生育が変動しやすいため、対応技術の巧拙が収量品質を大きく支配してきた。そこで、山形県では、寒冷地稲作地帯であることを考慮し、稲作りの基本として、初期生育の早期確保を重視するとともに、気象変動に対応した生育予測、栄養診断を基に、きめ細かな施肥技術や追肥技術の普及に取り組んできた。こうした技術の蓄積と農家の稲作に対する熱意が山形県の高収かつ安定的な米作りを支えてきたといっても過言ではない。

しかし、近年、農業構造が大きく変化し、複合経営農家や稲作の規模拡大による専業農家が増加する一方、ますます兼業化が進んでいる。その結果、農家の稲作に対する考え方や経営に占める稲作の比重が変化するとともに、米づくりそのものが多様化してきた。一方、圃場区画も拡大化する中で、労力不足が深刻化し、一層の省力化が求められている。したかつて、施肥法も、自分の稲作に合わせて選択できる簡易で失敗の少ない施肥技術が求められるようになってきた。

そこで、本論文では、山形県における水稻ササニシキの安定生産のための生育と窒素吸収パターン、並びに、地力窒素を生かした窒素施肥法の開発に関する試験研究の成果を取りまとめたものである。以下に、その具体的内容について述べると、

第1章 山形県におけるササニシキの栽培技術と水田土壌の窒素肥沃度の実態

1 ササニシキの栽培技術と生育パターン、収量レベルの特徴

山形県におけるササニシキ作りの実態（1965～1989年）を解析し、地域別にササニシキの安定生産のための栽培指標と改善対策を明らかにした。

ここでは、例として、村山地域の水稲の要素別相関係数表を図1に示した。本

地域は、良質米ササニシキの主産地であり、稲作期間の最高気温が県内で最も高く、最低気温との温度格差も大きいことから、気象的に恵まれ、生育・収量とも安定度の高い地域である。しかし、一方で、兼業化や園芸作物等との複合経営農家が多く、稲作技術の多様化が進んでいる。ササニシキ栽培での問題点は、水田土壌が比較的粘質土が多く、下層土の窒素肥沃度も高いため、中期生育が過剰になりやすく、倒伏や登熟歩合の低下、それに、登熟期間の高温等により後期凋落をうけやすく、品質低下に結びつきやすい傾向にある。各要素間の相関係数をみても、登熟歩合と一等米比率が0.743と高い正の相関があり、 m^2 当り籾数が-0.705と負の相関にある。したがって、ササニシキ栽培の要点は、適正な籾数による登熟歩合の安定が最も重要であり、生育診断に基づき、適期に作溝や中干し等生育調整を徹底するとともに、適正な施肥対応や水管理により後期凋落を防止し、適期刈取を行い、品質向上に努めることが重要である。

2 地域別水田土壌の特徴と窒素肥沃性

地域別水田土壌の地形的特徴と土壌型の分布割合を示すとともに、庄内地域における米作り運動の実証田（1973～1988年）を調査し、ササニシキを多収するための有機物管理や理想的な土壌窒素無機化パターンを明らかにした。その結果、水稻の安定多収のための土壌窒素の発現様式は、土壌窒素無機化量の絶対量が多いとともに、比較的低温培養から NH_4-N を放出し、温度との関係が、放物線で表されるパターンが望ましいことを認めた（図2）。なお、こうした土壌条件は、下層土を含めて粘土含量が高く、積極的に有機物が還元されていた。

また、乾土効果発現量の予測法を確立した。その場合、各土壌毎に含水比を変えた培養試験（30℃、2週間）結果から、乾土効果開始水分変曲点と最大無機化量、並びに、その勾配を求め、春先、圃場の乾燥状態を把握することにより窒素発現量の推定を可能にした（表1）。

なお、腐朽物質全窒素量と乾土効果開始水分変曲点に高い正の相関があり、乾土効果により発現する窒素は、主に土壌に集積する易分解性の蛋白様物質に由来することを認めた。

第Ⅱ章 ササニシキの期待生育のための窒素吸収パターンに対する施肥及び 土壌窒素の貢献

1 速度論的解析法による土壌窒素の発現予測技術

水田土壌の窒素無機化機構を考える場合、速やかに無機化する画分 (N_{oq}) と緩やかに無機化する画分 (N_{os}) に分けることにし、その合量を水田土壌のもつ可分解性有機態窒素量 (N_o) とした (図3)。

つまり、可分解性有機態窒素量 (N_o) は、土壌を長期培養した場合のアンモニア化成量の最大値と考え、室内培養法による風乾土の培養値がそれに相当し、同様に、生土の培養値を N_{os} 、その差が N_{oq} とするモデルである (図4)。

そのため、速度論的解析法により、単純平行型モデル: $N=N_{oq} \{1-\exp(-k_1 \times t_1)\} + N_{os} \{1-\exp(-k_2 \times t_2)\} + B$ を用い、各無機化パラメータの算出方法と意義づけを明らかにするとともに、日平均地温との関数で時期別土壌窒素無機化量を推定するシステムを確立した。

とくに、速度論的解析法を、現地圃場に応用するため、現地圃場の春先の乾燥実態に応じて無機化パラメータを選択し、無機化量を推定する方法を提案した。要約すると次のとおりである。

(1) 土壌窒素無機化量を推定する手順として、それぞれの土壌の生土と風乾土を用意する。室内培養法 (20°C, 25°C, 30°C の3段階による長期培養) により、土壌窒素無機化量を求める。

なお、春先の圃場乾燥状況を把握し、それに対応する水分状態 (風乾土塊の混合比率で表す) の土壌窒素無機化量は上記の培養データを比例計算して求める。

(2) 土壌窒素無機化パラメータの求め方は、生土の培養データを単純型モデル: $N=N_{o1} \{1-\exp(-k \times t)\} + B$ にあてはめ、最も分散の小さいパラメータを最適とし、基本的な k と E_a を算出する。

次いで、比例計算で求めた培養データを、単純平行型モデル: $N=N_{oq} \{1-\exp(-k_1 \times$

$t_1\} + Nos \{1 - \exp(-k_2 \times t_2)\} + B$ にあてはめる。その場合、Nos項のパラメータ(k_2 と E_{a2})を生土で求めた k と E_a で固定して計算し、その他のパラメータを決定する。

以上のことから、春先の圃場の乾燥程度に対応した無機化パラメータが選択され、日平均地温との関数式として、時期別土壌窒素無機化量の推定を可能にした。例として、置賜分場(細粒グライ土壌)における1987年(春先の圃場乾燥が強い年)と1989年(春先の圃場乾燥が弱い年)の土壌窒素無機化パラメータと土壌窒素無機化量を示した(表2)(図5)。

(3) 可分解性有機態窒素量(No)は、前述した方法により、風乾土の培養データを用い、単純平行型モデルにあてはめ、 No_q (乾土効果総量としてのポテンシャル)と Nos (地温上昇効果総量としてのポテンシャル)の合量とした。

なお、本場(灰色低地土)、最北(黒ボク土)、置賜(グライ土壌)の可分解性有機態窒素量(No)とその内訳を示した(図6)。

(4) 速度論的解析法で求めた無機化パラメータの簡易測定法について検討した。無機化パラメータ $No = No_q + Nos$ の関係をふまえ、無機化パラメータ No は、風乾土30°Cの長期培養値が最も相関が高く1:1に対応した。また、無機化パラメータ No_q は、pH10のSORENSEN緩衝液抽出窒素が適当と判断した(図7)(図8)。

2 ササニシキの理想的窒素吸収パターンと窒素吸収シュミレーション

ササニシキの収量水準と窒素吸収量の関係を検討し、700Kg/10a以上の玄米収量を得るための時期別窒素吸収割合(移植~幼形期50%、幼形期~穂揃期30%、穂揃期~成熟期20%)を明らかにした(表3)。また、県内ササニシキ(280点)の窒素吸収経過を解析し、それぞれ6つに類型化し、理想的窒素吸収パターンを提示した(表4)。

なお、速度論的解析法により求めた土壌窒素無機化パラメータを基に、庄内地域の土壌窒素発現マップを作成した(図9)。これを利用し、任意地域の土壌窒素無機化量を推定し、水稻の窒素吸収シュミレーションを試みた。

第Ⅲ章 ササニシキの窒素吸収パターンに基づく施肥法

1 肥効調節型肥料を利用した全量基肥施肥技術

土壌窒素の予測技術と水稻の理想的窒素吸収パターン、並びに、窒素吸収シュミレーションを組合せ、水稻の施肥技術の策定に応用した。

ここでは、水田の窒素的地力を最大限に活用し、溶出パターンをコントロールできる肥効調節型肥料を組合せ、全量基肥施肥技術体系を確立した。その場合、県内地域に散在する農業試験場本支分場を地域の代表地点と考え、過年度のデータ（作況収量、地域品質）を参考にした。その中で、収量と品質を考慮し、理想的窒素吸収パターンと平年的かやや下回る窒素吸収パターンを策定した。そこで、全量基肥施肥技術における理想的窒素吸収パターンの仮説として、生育ステージを3段階（1期:移植～6/30、2期:7/1～穂揃期、3期:穂揃期～成熟期）に分けて考えることにし、目標収量（10a当たり玄米収量600Kg、700Kgの2水準）、並びに、地力差（2段階）に応じて窒素吸収パターンを類型化した。

目標収量が600Kg水準の場合、地力の高い地帯は、ある程度初期生育を重視し、後期は地力に依存した吸収パターン（Ⅰ）とし、地力の低い地帯は、初期生育をセーブし、後期を重視した吸収パターン（Ⅱ）を策定した。なお、目標収量が700Kg水準の場合は、地力の高い地帯に適応し、1期は、平年的かそれをやや下回る吸収パターンにセーブし、2期の穂揃期にかけて理想的窒素吸収パターンに到達し、3期は理想的窒素吸収パターンと同様の吸収経過をたどる吸収パターン（Ⅲ）を策定した（図10）。

なお、目標とする窒素吸収パターンにシュミレートさせるための要因解析として、肥効調節型肥料の溶出パターンを明らかにした（図11）。また、¹⁵NLP100（全量基肥）、並びに、¹⁵N硫安（基肥+追肥体系）の窒素吸収パターン特性を把握するとともに、既往の¹⁵N試験のデータを考慮しながら、土壌窒素と施肥窒素（速効性、緩効性）の発現パターンと発現時期に応じて、それぞれ利用率を設定した（表5）（図12）（表6）。

そこで、農試内にある地力の高い滝山土壌と地力の低い農試土壌において、目

標収量600Kgの窒素吸収パターンを示しながら、それぞれ標準施肥区の窒素吸収実績を考慮し、その差を施肥窒素で補充する考え方（図13）を基に、全量基肥施肥の実証試験を行った。その結果、地力の高い滝山土壌、地力の低い農試土壌とも安定して600Kgの収量が実証され（表7）、県内全域を対象として、全量基肥施肥体系（目標収量と土壌条件を考慮）を策定し、普及に移した（表8）。

ま と め

経済の安定成長と情報化時代の中で、21世紀は、「人間と自然との共存の時代」と目されている。この中で、農業の果たす役割も大きく、水田土壌の機能を活用した水田農業への期待が高まるものと思われる。とくに、農業生産の基本である窒素肥沃度の増強対策を生態系の中でサイクルとして考え、それをうまく活用しながら、農業の持続的発展を目指すことが重要と考える。

そのため、農業の根幹である土壌の地力維持向上を図りつつ、水田土壌の窒素肥沃度に焦点をあて、水田特有の機能である地力温存型の性質を解析し、地力と施肥の合理的利用に基づいた高位安定生産、高品質の稲作を確立することを目指した。

内容的には、土壌窒素発現予測技術、並びに、水稻の窒素吸収パターン特性、さらには、土壌窒素発現予測情報の面的広がり、さらに、土壌窒素量が推定可能になった場合の出口として、地域の地力培養技術や施肥法の改善に発展する道筋について明らかにしてきた。とくに、情報機器の発達した今日、パソコンによる土壌窒素発現モデル式の作成と土壌窒素無機化パラメータの意義づけ、さらには、各地域での水稻の窒素吸収特性を基礎にした水稻の栄養診断技術への組み入れと相互チェックを継続して行う考え方を示した。また、ササニシキの目標収量に応じた理想的窒素吸収パターンを作成し、それに導くための要因解析（肥料の溶出パターン、土壌窒素の発現パターン、有機物、灌がい水による供給窒素、水稻による利用率、気象条件等）を進めながら、窒素吸収シュミレーションの精度を高め、施肥設計プログラミングの考え方を明らかにし、全量基肥施肥技術体系を確

立し、施肥メニューの一つとして提示した。

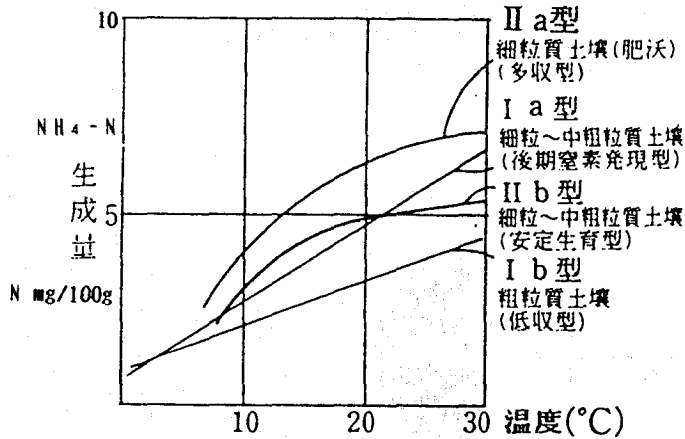
なお、今回、全量基肥施肥技術を確立するにあたり、あえて、耐肥性、耐倒伏性の弱いササニシキを供試した。このことは、生育パターンや窒素吸収パターンの許容範囲が狭く、より精度の高い窒素吸収シュミレーションが要求されることを意味している。したがって、ササニシキでの成果は、山形県の新品種（はえぬき、どまんなか）に活用されることは明らかであり、新品種の特性を考慮すれば、全量基肥施肥技術がササニシキ以上に調和するものとする。また、肥効調節型肥料を主体にした施肥技術は、水稻栽培体系の変革をもたらすと同時に、接触施肥技術へと発展し、水稻栽培のみならず園芸作物への応用等、環境問題にも配慮した近未来の施肥技術へと発展するものとする。

統計収量	1.000																		
一等米比率	0.027	1.000																	
作況収量	0.184	0.100	1.000																
かん長	0.024	-0.331	0.023	1.000															
m2総数	-0.113	-0.232	0.018	0.168	1.000														
一穂数	-0.021	-0.341	0.030	0.184	-0.726	1.000													
m2穂数	-0.133	-0.705	0.156	0.147	0.275	0.381	1.000												
登熟歩合	0.242	0.743	0.498	-0.341	-0.331	-0.166	-0.643	1.000											
千粒重	-0.206	-0.029	0.022	0.352	-0.314	0.336	-0.142	-0.060	1.000										
N吸収量	-0.077	0.138	0.691	0.337	0.086	0.056	0.091	0.353	0.015	1.000									
出穂期	-0.738	0.099	-0.110	-0.299	0.051	-0.181	-0.144	-0.088	0.340	-0.147	1.000								

統計収量 一等米比率 作況収量 かん長 m2総数 一穂数 m2穂数 登熟歩合 千粒重 N吸収量 出穂期

正の相関大 (斜線) 負の相関大 (縦線) 相関小 (白)

図1 各要素別相関係数表(村山地域)



I a型: 温度とNH₄-N生成量が直線的に増加し、NH₄-N生成量の絶対量が多い。

I b型: 温度とNH₄-N生成量が直線的に増加することはI a型と同様であるが、NH₄-N生成量の絶対量が少ない。

II a型: NH₄-N生成量の絶対量が多いとともに、比較的低温時からNH₄-Nを放出し、温度との関係が放物線で表される。

II b型: NH₄-N生成パターンはII a型と同様、放物線をたどるが、NH₄-N生成量の絶対量が少ない。

図2 生土における温度別NH₄-N生成パターン

表1 水田の乾土効果発現予測法(1988年)

区名	項目						
	原曲点含水比(Y)(PF値)	乾燥土塊含水比(X)	勾配(a)	作土深(cm)	作土容積重(g/cm ³)	乾燥土塊混入率(%)	10a当たりの予測値(kg/10a)
鹿沼本場	35.1 (2.35)	12.1	0.09	15	1.2	19	0.74
鹿沼分場	51.0 (2.54)	6.4	0.23	15	1.2	10	1.85
丑北支場	77.6 (2.73)	14.0	0.21	16	0.8	10	1.71
庄内支場	17.8 (4.17)	12.0	0.56	15	1.1	12	0.61
山形普及所 矢野目	35.9 (3.44)	15.7	0.25	15	1.2	20	1.80
尾花沢普及所 上原田	12.8 (4.42)	21.5	0.24	15	0.8	20	—
新庄普及所 駒屋	35.8 (2.97)	20.0	0.37	15	0.9	18	1.42
黒磯普及所 菅田	52.2 (2.97)	12.0	0.25	13	1.1	30	4.31
鶴岡普及所 安丹	46.7 (2.71)	14.2	0.34	15	1.1	10	1.82
酒田普及所 大野新田	78.8 (2.38)	8.2	0.38	15	1.0	13	5.08

$$\Delta y = a(K - X)$$

面積(10a)当たりの乾土効果発現量(Y)の予測式

$$Y = \Delta y \times 100 \times \text{作土深} \times \text{作土仮比重} \times \text{作土中の乾燥土塊混入率} = 100 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10$$

(kg/10a) (mg/g) (cm) (g/cm³) (%) (kg/mg)(cm²/10a)

×計算例: K=22%, X=10%, a=0.5, 作土深=15cm,

作土容積重=1.0, 乾燥土塊混入率=35%

注)下線の測定項目の変動が乾土効果発現量の年次変動の要因となる。

$$Y = 0.5 \times (22 - 10) \times 100 \times 15 \times 1.0 \times 35 \div 100 \times 10 = 315 \text{ (kg/10a)}$$

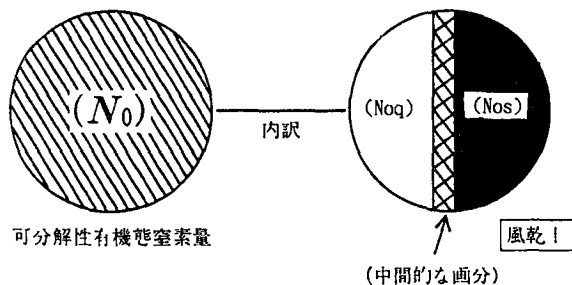


図3 可分解性有機態窒素量(Na)の概念

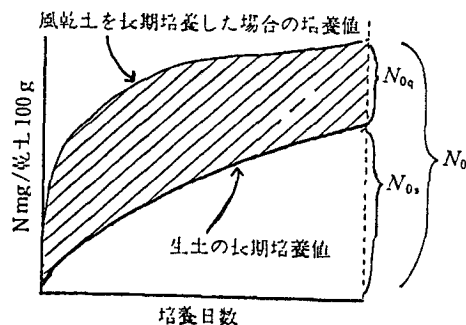


図4 土壤窒素無機化パラメータと培養窒素との関係

N_{0q} , 乾土効果総量としてのポテンシャル(分解の早い画分); N_{0s} , 地温上昇効果総量としてのポテンシャル(分解の遅い画分)

表2 単純平行型モデルによる無機化パラメータ(置賜分場)

	土壌窒素無機化パラメータ (25°C変換)							
	k_1	k_2	E_{a1}	E_{a2}	N_{0a}	N_{0s}	R (切辺)	V (分散)
1987年 春先圃場乾燥が強い年	0.178	0.0076	15,000	18,000	6.07	13.60	1.51	14.8
1989年 春先圃場乾燥が弱い年	0.115	0.0076	2,300	18,000	2.36	12.85	1.10	22.5

単純平行型モデル： $N = N_{0a}\{1 - \exp(-k_1 \times t_1)\} + N_{0s}\{1 - \exp(-k_2 \times t_2)\} + B$

k_1 ：乾土効果総量に対する無機化速度定数， k_2 ：地温上昇効果総量に対する無機化速度定数

E_{a1} ：活性化エネルギー(k_1 に対する係数)， E_{a2} ：活性化エネルギー(k_2 に対する係数)

N_{0a} ：乾土効果総量としてのポテンシャル(分解の速い画分)

N_{0s} ：地温上昇効果総量としてのポテンシャル(分解の遅い画分)

B：切辺(定数)

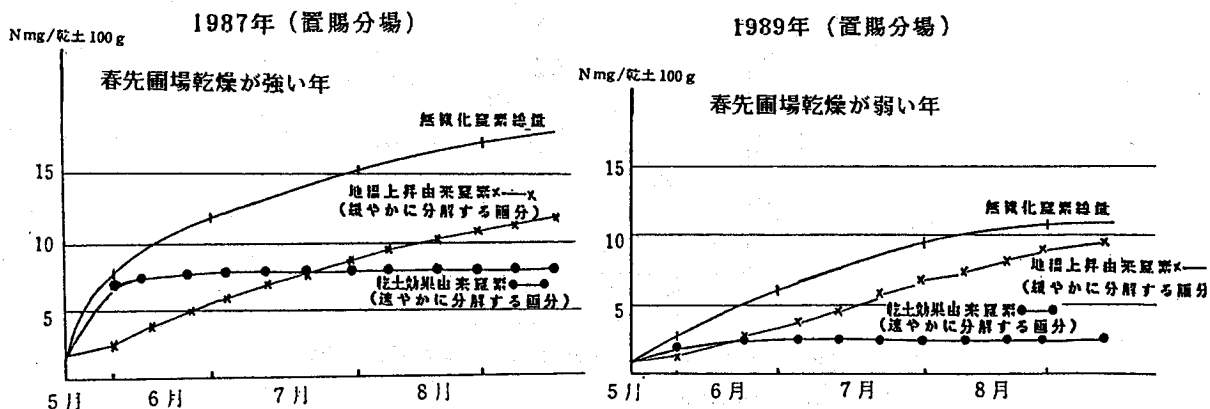


図5 土壌窒素無機化総量(内訳として乾土効果由来窒素と地温上昇効果由来窒素)

(NH₄-N mg/乾土100g)

供試土壌	可分解性有機態窒素量 (N ₀)	風乾土		風乾土1:生土1		生土	
	10 20 30	10 20 30	10 20 30	10 20 30	10 20 30	10 20 30	
農試本場 (灰色低地土)	10.4mg	5.4mg 5.0mg	2.8mg 7.2mg	9.1mg			
最北支場 (黒ボク土壌)	34.7mg	16.3mg 18.4mg	8.3mg 19.0mg	20.1mg			
置賜分場 (グライ土壌)	25.2mg	10.7mg 14.5mg	6.1mg 13.1mg	14.1mg			

□ 乾土効果由来の画分(N₀)からの無機化量 ■ 地温上昇効果由来の画分(N₀)からの無機化量

図6 可分解性有機態窒素量(N₀)とその内訳

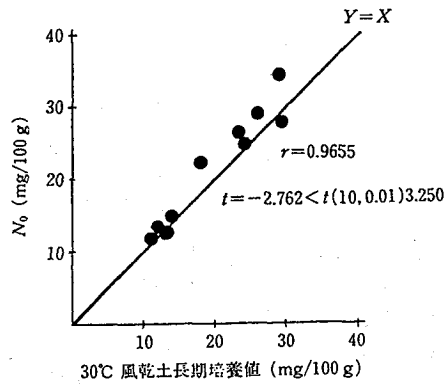


図7 無機化パラメータ(N₀)と30℃風乾土長期培養値の関係

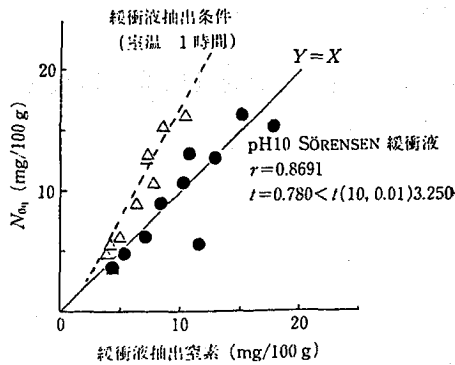


図8 無機化パラメータ(N_{0m})と緩衝液抽出窒素量の関係

表3 玄米収量と時期別窒素吸収割合(1978年)

収量水準	区名	玄米収量 (kg/10a)	窒素吸収割合(%)				窒素吸収量 (N Kg/10a)
			移植~ 6/20	6/20 7/10	7/10~ 穂揃期	穂揃期 ~成熟期	
700 kg 水準	35	757	20	32	25	23	14.9
	44	741	31	23	22	24	13.8
	56	735	23	30	25	22	12.6
	43	733	20	28	40	12	13.3
	52	719	22	28	36	14	13.1
	46	704	22	24	28	26	12.1
	16	701	22	30	34	14	12.8
	平均	727	23	28	29	20	13.2
600 kg 水準	21	690	22	31	46	1	11.7
	11	675	21	28	31	20	11.2
	45	668	28	38	39	5	10.9
	54	666	24	42	30	4	11.9
	47	665	37	35	24	4	11.4
	6	661	22	26	44	8	12.8
	58	646	28	27	32	13	10.5
	平均	667	26	32	34	8	11.5

時期	移植~幼形期	幼形期 ~穂揃期	穂揃期 ~成熟期
N吸収割合%	50	30	20

サニシキで700kg/10a以上の玄米収量を得るための
時期別窒素吸収割合

表4 窒素吸収パターンの類型と収量(1973~1988年)

類型	前中期 後期	N吸収量の指標に対する増減			サン プル 数	倒伏3以 上の数	平均収量 kg/10a	最低収量 kg/10a	最高収量 kg/10a	実効係 数%
		6/30	穂揃期	成熟期						
I	1	-	-	-	87	5	579	352	799	14.8
	2	-	-	0	15	1	601	503	688	10.2
	3	-	-	+	12	0	653	602	732	5.1
II	1	-	0~+	-	18	1	616	525	703	7.3
	2	-	0~+	0	17	0	667	535	823	9.0
	3	-	0~+	+	12	6	656	546	754	10.3
III	1	0	-	-	14	5	563	460	712	16.0
	2	0	-	0	4	2	599	513	671	11.2
	3	0	-	+	1	1	599	-	-	-
IV	1	0	0~+	-	12	2	593	529	702	8.0
	2	0	0~+	0	11	0	632	549	695	9.6
	3	0	0~+	+	14	5	628	522	784	13.5
V	1	+	-	-	9	5	557	474	671	12.7
	2	+	-	0	2	2	508	436	579	19.9
	3	+	-	+	5	5	504	425	594	12.7
VI	1	+	0~+	-	10	5	613	508	677	10.3
	2	+	0~+	0	16	13	583	436	713	13.6
	3	+	0~+	+	21	16	604	449	769	14.1

注) 収量、品質が両立する窒素吸収パターンはII、IV型が望ましい

生育時期別指標

	成熟期	穂揃期	出穂15日前	出穂25日前	出穂35日前
N吸収量(N Kg/10a)	11.9~13.4	9.3~11.2	7.0~9.0	5.4~6.7	4.1~5.3
N含有率(乾物%)		1.05~1.25	1.53~1.78	2.03~2.30	2.60~3.05
地上部乾物重(Kg/10a)		880~1010	440~560	260~315	160~200
生育量(10 ³ cm ³ /m ²)	41~47		40~47	35~42	30~38

	株長(cm)	穂数(本/m ²)	一穂粒数	m ² 当たり穂数10 ³	登熟歩合(%)
成熟期	77~86	520~595	70~81	36~46	70以上

注) 上記指標は、サニシキで玄米収量660kg/10a程度を目標

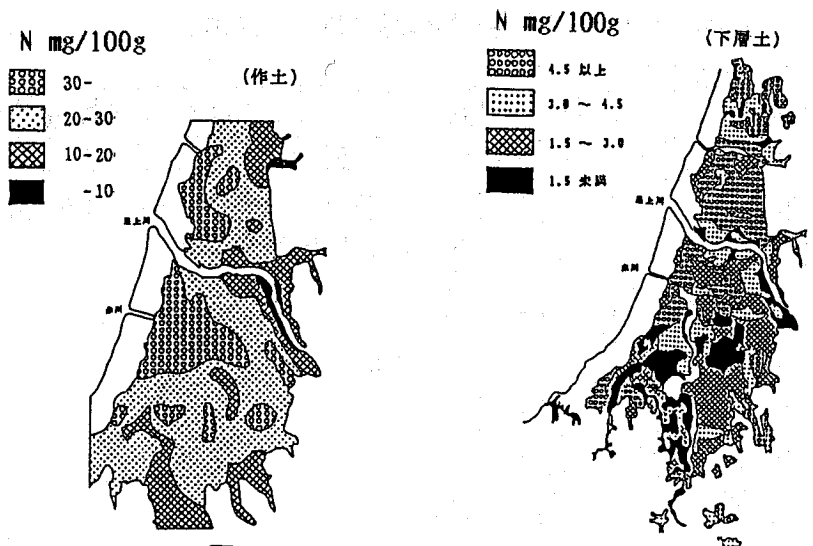


図9 庄内地域における土壤窒素発現マップ

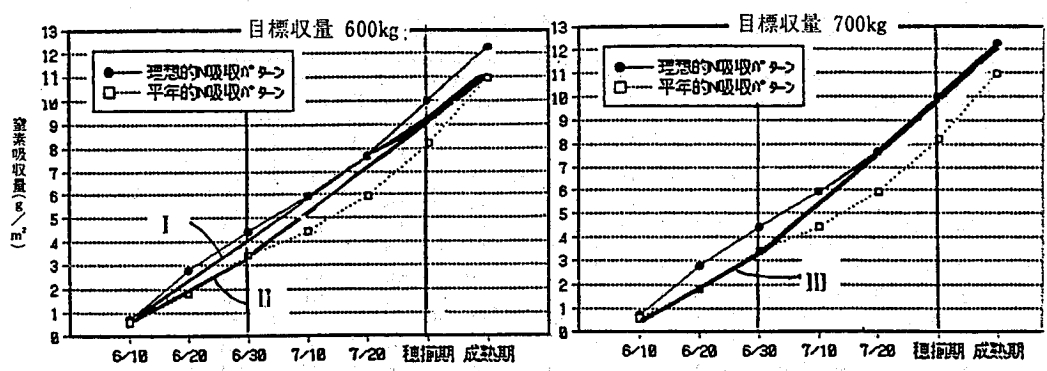


図10 全量基肥施肥技術における理想的窒素吸収パターンの類型

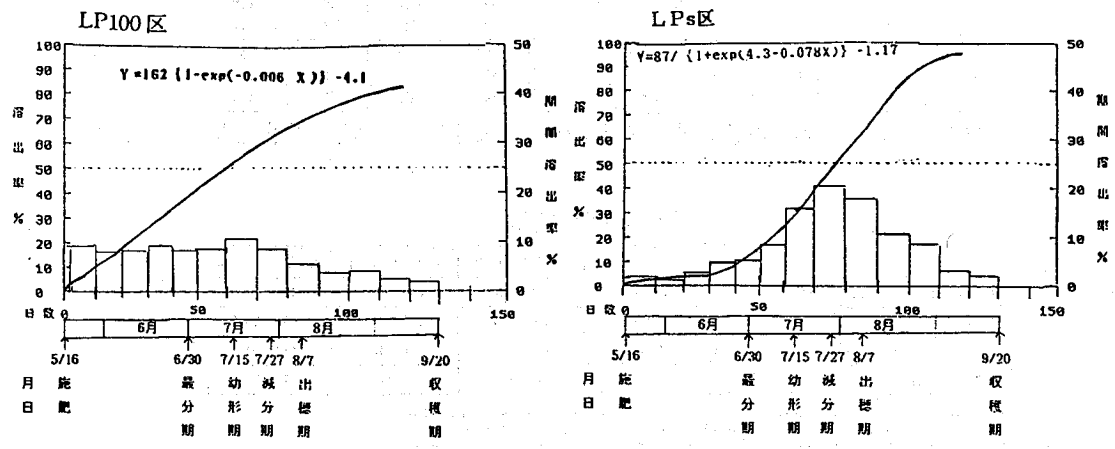


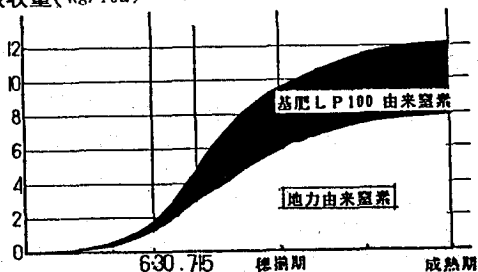
図11 肥効調節型肥料の溶出パターン特性(圃場埋設法)

表5 施肥窒素の利用率

(単位:%)

肥料	年次	6/15	6/30	7/15	穂揃期	成熟期(茎葉・穂)
LP100基肥	(1989)	2.6	7.7	25.6	52.1	61.5 (18.9 42.6)
	(1990)	1.9	10.3	19.9	56.1	59.5 (16.1 43.4)
	(平均)	2.3	9.3	22.8	54.1	60.5 (17.5 43.4)
硫安基肥	(1989)	11.6	26.3	29.3	31.1	32.8 (8.5 24.3)
硫安1回目追肥	(1989)				48.2	54.5 (19.9 34.6)
硫安2回目追肥	(1989)				51.5	56.3 (17.8 38.5)

窒素吸収量(Kg/10a) (LP区)



窒素吸収量(Kg/10a) (慣行施肥区)

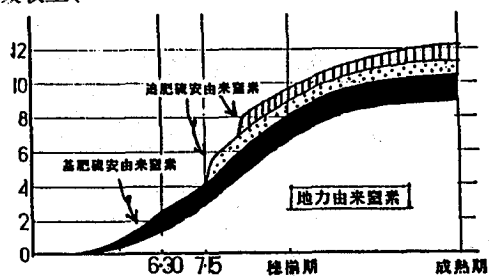


図12 窒素吸収経過とその内訳

表6 土壌窒素と施肥窒素(速効性、緩効性)の利用率

(土壌窒素)	(施肥窒素)
乾土効果由来の無機化量(移植～6月末)…30%	速効性窒素…30%
地温上昇効果由来の無機化量(7月以降)…60%	緩効性窒素…60%
下層土からの無機化量(7月以降)…30%	

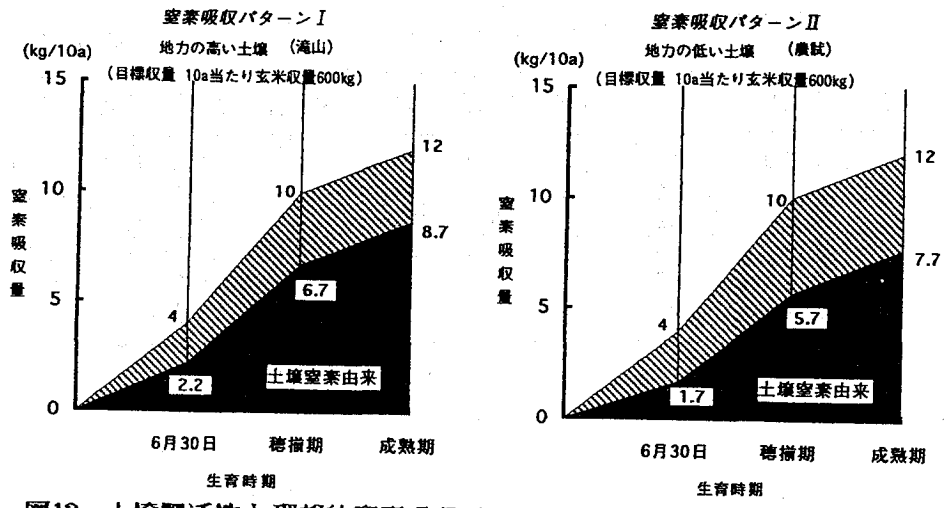


図13 土壤肥沃性と理想的窒素吸収パターン

表7 全量基肥施肥体系の実証試験結果(1990年)

土壌	区名	窒素施肥体系 (kg/10a)				備考	収量調査 (kg/10a)			
		基肥	活着期	-20日	-10日計		わら重	精籾重	玄米重	比 (%)
滝山	LPS区	2.0+4.0	—	—	6.0	高度化成+LPSのブレンド	653	883	629	102
	LP505区	6.0	—	—	6.0	LP505(Nの70%がLP100)	584	834	629	102
	セラコート区	6.0	—	—	6.0	セラコート UCK-LM555	620	889	659	107
	標準施肥区	4.0	2.0	1.5	1.5	9.0 高度化成+NK 化成	615	802	618	100
	無窒素区	—	—	—	—	—	353	577	451	73
農試	LPS区	2.0+6.0	—	—	8.0	高度化成+LPSのブレンド	559	810	601	107
	LP505区	8.0	—	—	8.0	LP505(Nの70%がLP100)	618	802	612	109
	セラコート区	8.0	—	—	8.0	セラコート UCK-LM555	611	811	617	110
	標準施肥区	4.0	2.0	1.5	1.5	9.0 高度化成+NK 化成	477	720	560	100
	無窒素区	—	—	—	—	—	264	460	365	65

注) 滝山土壌:地力の高い土壌 農試土壌:地力の低い土壌
 耕種概要:ササニシキ 稚苗手植(5/16日移植) 4本/株 22.2株/m²

表8 山形県における全量基肥施肥体系と目標収量水準

目標収量 (kg/10a)	地力	時期別窒素吸収量 (N Kg/10a)				計	吸収パターン	施肥体系 (kg/10a)
		移植~6/30	7/1~穂揃	穂揃~成熟				
600	低	3.5	5.5	2.0	11.0	II	速効性+Sタイプ (2~3) (6)ブレンド肥料 (8)	
	高	4.0	6.0	2.0	12.0	I	ブレンド肥料 (6)	
700	高	3.5	6.5	3.5	13.5	III	速効性+Sタイプ (2~3) (5~6)	

注) ブレンド肥料:LP尿素505、セラコートUCK-LM555等、Sタイプ:LP100S等

論文審査の要旨

本論文は、山形県における水稲ササニシキの安定生産のための生育と窒素吸収パターン並びに、地力窒素を生かした窒素施肥法の開発に関する研究成果を以下のように取りまとめたものである。

I. 山形県におけるササニシキの栽培技術と水田土壌の窒素肥沃度の実態

先ずササニシキの栽培技術と生育パターン、収量レベルの特徴を明らかにした。そしてササニシキの栽培の要点は、適正な刈数による登熟歩合の安定が最も重要であり、生育診断に基づき、適期に作溝や中干し等の生育調整を徹底すると共に、適正な施肥対応や水管理により後期の生育凋落を防止し、適期刈取を行い、品質向上に努めることの重要性を指摘した。次に地域別の水田土壌の地形的特徴と土壌型の分布割合を示すと共に、庄内地域における米作り運動の実証田（1973-1988）を調査し、ササニシキを多収するための有機物管理や理想的な土壌窒素の無機化パターンを明らかにした。

II. ササニシキの期待生育のための窒素吸収パターンに対する施肥及び土壌窒素の貢献

水田土壌の窒素無機化過程を速度論的手法によって研究した。それによると、単純平行型モデルがよく適合することが分かり、日平均地温の関数で時期別の土壌窒素無機化量を推定できるシステムを確立した。ササニシキの収量水準と窒素吸収量の関係を研究し、700kg/10a以上の玄米収量を得るための時期別窒素吸収割合（移植-幼形期まで50%、幼形期-穂揃期まで30%、穂揃期-成熟期まで20%）を明らかにした。さらに県内（280点）の窒素吸収経過を解析し、これを6つに類型化し、理想的窒素吸収パターンを提示した。なお速度論的解析法により求めた土壌窒素無機化パラメーターをもとに、庄内地域の土壌窒素発現マップを作成し、これによって任意の地域の土壌窒素無機化量を推定し、水稲の窒素吸収シミュレーションを行った。

III. 肥効調節型肥料を利用した全量基肥施肥技術の完成

土壌窒素発現の予測技術と水稲の理想的窒素吸収パターン、並びに水稲の窒素吸収シミュレーションを組み合わせて、水稲への施肥技術の策定を行った。この施肥技術は、水田の土壌窒素を最大限に活用し、溶出パターンをコントロールできる肥効調節型肥料を利用した全量基肥施与技術体系である。本研究は、耐肥性・耐倒伏性の弱いササニシキを対象としたために、生育パターンや窒素吸収パターンの許容範囲が狭く、精度の窒素吸収シミュレーションが要求された。したがって、この成果は山形県の新品種（はえぬき・どまんなか）に対して安全に適用される。

以上の研究は栽培学と土壌肥科学の分野にまたがる重要な研究にアプローチした労作であり、本成果は今後広く東北日本の稲作技術として活用できるものである。よって、著者は博士（農学）の学位を授与されるに十分な資格があるものと判定された。