

窒素の追肥時期が水稻の収量、米質及び 食味に及ぼす影響

有賀 武・俣野敏子

I はじめに

米の品質は玄米検査規格によって格付けされる形態的・物理的なものと、利用上からみた栄養・食味など多面的である。品質に影響する要因は品種^{3,9,12)}、産地(含土壌)^{6,7)}、気象^{9,12)}、栽培方法^{4,5)}、収穫調製¹⁰⁾など数多いが、栽培方法においては窒素施肥の量および時期が重要とされている。松島ら^{15,19)}により出穂後、特に穂揃期の窒素追肥が登熟歩合を高め収量を増大させる可能性のあることが理論的・実践的に示され、昭和30年代にV字型稲作理論が提唱されて以来、既往の施肥法に比べて生育の後半に施肥量の重点をおく新しい施肥法が各地に生じた。その代表的なものが青森県の深層追肥法、山形県の区分施肥法、佐賀県の後期重点施肥法、長野県の施肥配分法などで増収に大いに効果を発揮した。また、栄養的にみれば穂ばらみ期および穂揃期の窒素追肥は米粒の蛋白含有率を高め^{4,5,11,13)}、蛋白資源の確保にも役立つことが認められている。このように収量、栄養の両面にわたり後期追肥の価値は大きい、反面食味に関しては米粒中の蛋白含有率が高くなると味の低下をきたすとの報告^{7,14,17)}が数多く出されている。収量と食味を両立させる施肥法を早急に見出す必要があるが、食味については機械的に簡単に判定できるものではないだけに明確な結論は出されていない。同じ後期追肥でも施肥時期や施肥条件が異なれば米質、食味に及ぼす影響は様々であり^{8,14,17)}、増収と品質向上を兼ねそなえた施肥法の開発の余地は充分にあるとの報告¹⁴⁾もある。しかし、依然として各地では上述のような施肥法の一部改良されているものが多く残っており、しかも改良といっても施肥量の加減にとどまっているものも少なくない。そこで、本実験は窒素の追肥時期の違いが収量と品質にかかわる要因にどのような型で影響を与えるかを調査し、栄養価・食味を低下させずに収量を高める施肥法開発をすることを目的として行った。

II 実験材料および方法

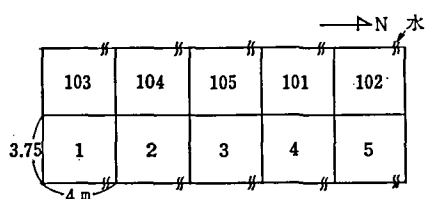
信州大学農学部附属農場(標高750m, 洪積層火山灰土壌)の水田で実施した。“しなのこがね”(中性の早, 偏穂数型)を供試し, 5種類の試験区を設定した(表一1)。基肥にはBM重焼燐(0-35-0)4kg/a, 珪カル10kg/aを荒代前にBBC-086号(10-18-16)6kg/aを荒代後に施用した。追肥には硫安を用い, また, 各区とも塩化加里を7月21日に成分で0.26kg/a施用した。なお, 追肥時期を上記のように設定した理由は, 収量構成要素や炊飯特性, 食味への影響が判明しやすいことを考慮したものであり, また, 慣行法に従ったものでもある。なお計画では7月21日は出穂25日前, 7月28日は18日前, 8月4日は11日前であった

表一 試験区の設定

(kg/10a)

試験区名	区番	基 肥			窒 素 追 肥				窒素計
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	穎花分 化前期	穎花分 化後期	減数分 裂期頃	穂揃期	
					-27*	-20*	-13*	+3*	
						7月21日	7月28日	8月4日	8月20日
1-0-0-0	1,101	6	24.8	9.6	5	0	0	0	11
$\frac{1}{2}$ -0-0- $\frac{1}{2}$	2,102	6	24.8	9.6	2.5	0	0	2.5	11
0-0-0-1	3,103	6	24.8	9.6	0	0	0	5	11
0- $\frac{1}{2}$ - $\frac{1}{2}$ -0	4,104	6	24.8	9.6	0	2.5	2.5	0	11
0-0-0-0	5,105	6	24.8	9.6	0	0	0	0	6

* 出穂前日数



図一 試験区の配置図

が、低温により出穂が遅れたため実際上の出穂前日数は表一のとおりとなった。1区面積は15m²で2反復とし、配置は左図(図一)に示す通りで、区間の仕切りは波板を用いた。

4月26日に播種し、中苗(M式)トンネル折中育苗によった。移植は5月20日で畦幅30cm, 株間15cm, 1株3本植とした。

生育調査：草丈と茎数は6月3日から穂揃期まで7日毎に所定の10株を追跡調査した。

成熟期調査：1株穂数, 稈長, 穂長を各区20株調査した。なお, 稈長, 穂長は最長稈について測定した。

収量調査：周囲の一行を除く全刈り調査とした。玄米千粒重は1.8mmのフルイで選別した精玄米を1000粒づつ3回測定した。登熟歩合は比重1.06の塩水選にて行い, 不受精粒と発育停止粒とは触感法を用いて各区5株づつ調査した。

稲体窒素含有率：穂揃期と成熟期は5株, 他の時期は3株をサンプリングして葉身, 葉鞘・茎に分けキエルダール法にて定量した。

乾物重：葉身, 葉鞘・茎に分け秤量した。

米粒の物理的性状：玄米検査等級は食糧事務所検査官の判定により, また, 不完全粒調査は1.8mmのフルイ上の精玄米について100gを3回調査した。

米粒の化学的性状：米粒の窒素含有率はキエルダール法にて定量した。この際, 精白米についてはケツ式パーラーにて搗精歩留りを88.9±0.2%としたものを用いた。アルカリ崩壊度は1.45%の苛性カリを用い, 江幡¹⁾の方法に準じて, 20°C-24時間後に観察した。

炊飯特性：ケツ式パーラーにて搗精歩留り90.2±0.1%の精白米を用い, 8gを10mlの水を入れた20mlのメスシリンダーに空気を混入しないように振とうしながら入れ容積を測定し, 高さ10mm, 直径40mmの円筒形のシンチュウ網に入れ, 10分間水浸後160ccの蒸留水を入れた200ccビーカーに入れ, 1.8l炊き電気炊飯器(水を1,150cc注入)内に5個入れて25分間炊

いた。10分間水切り後重量を測定し、30mlの水を入れた50mlのメスシリンダーで容量を測定した。

食味官能検査：パネラー18名により外觀、香り、味粘り、硬さ、総合の6形質について評価した(表-2)。1回の試食は基準品を入れ4点とし、基準品は精白米の窒素含有率が試験の区間では中庸であり、また慣行区でもある区番104を用いた。

表-2 食味官能値の評価基準

不					基準と同じ	良				
も	たい	か	す	わず		わず	す	か	な	も
つ	そ	な	こ	か	か	こ	な	な	つ	
と	う	り	し	に	に	し	り	な	と	
も	そう	なり	し	に	に	し	り	な	も	
-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5

III 実験結果および考察

1982年の稲作期間中の気象経過は、4月下旬～6月上旬は高温・多照であったが、6月中旬～8月中旬にかけては低温と日照不足が続き、8月下旬になって平年をやや上回る気温となったが9月に入ると再び低温となった。このため、稲の生育経過は初期は順調で分げつも旺盛であったが、生育中期から草丈の伸長が抑制され短稈・多けつ型を呈した。更に7月21日の穎花分化前期から8月17日の出穂期にかけて、最低気温が17°C以下となった日が13日も達し、加えて曇雨天が続いたため障害型冷害を呈した。なお、黄化葉の発現は7月4半旬、出穂期は8月17日で各区とも同様であった。

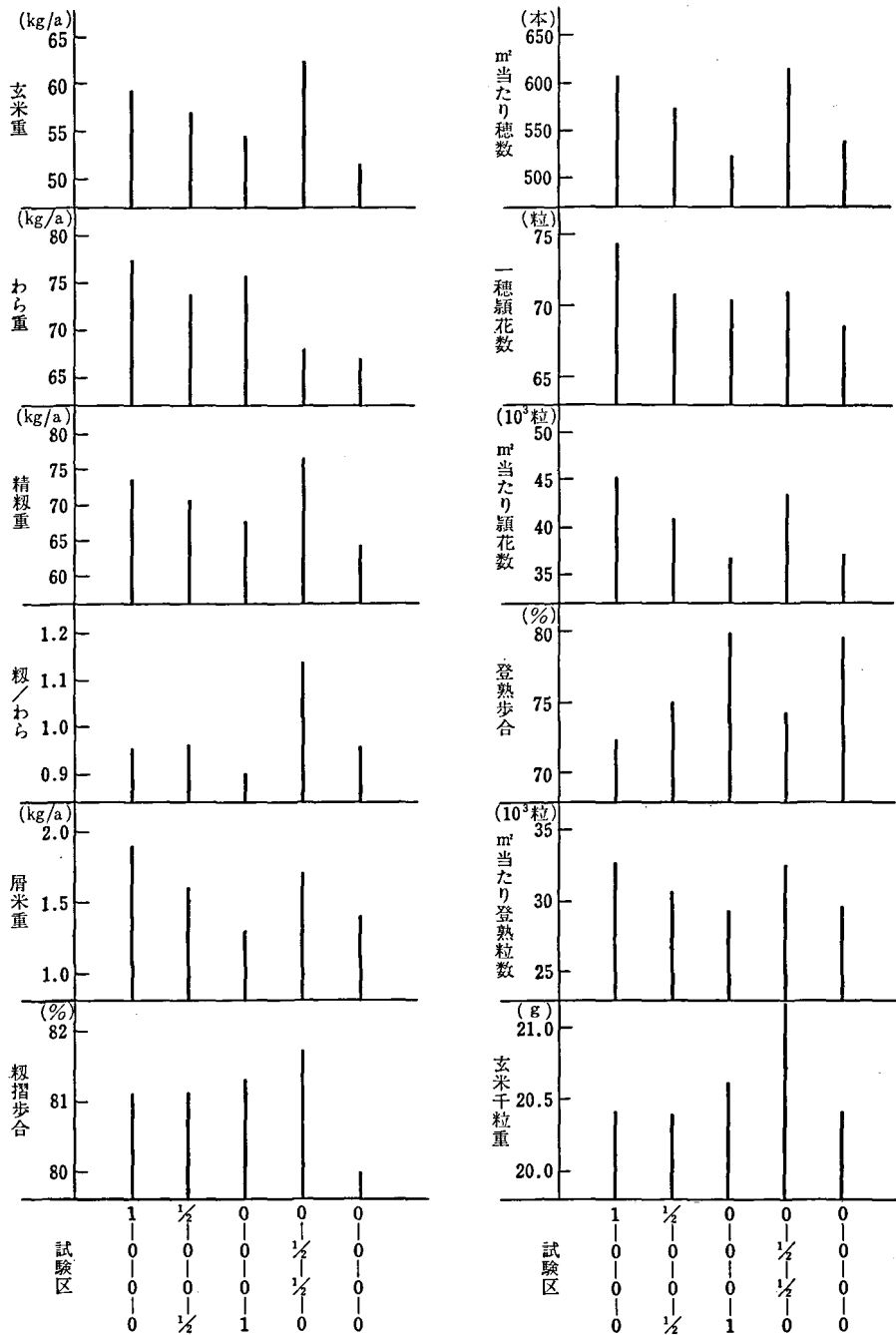
1 追肥時期が生育・収量に及ぼす影響

地上部の生育：草丈、稈長、穂長はいずれも早期追肥ほど長くなる傾向が認められた。有効茎歩合は穂揃期追肥区以外はいずれも無追肥区より高かった。

器官別乾物重：穂揃期の乾物重に強く影響を与える追肥時期は-27日で、草丈の増加と有効茎歩合の上昇が乾物重に反映した。穎花分化後期から減数分裂期頃にかけての追肥は、穎花分化前期の追肥よりは穂揃期の乾物増加に対する影響が小さく、穂揃後の乾物重、ことに穂の乾物の増加をもたらし、収/わらを上昇させた。穂揃期の追肥は登熟期における乾物増加量に最も影響が大であったが、それは主に葉身、葉鞘・茎であり穂の乾物増加にはつながらなかった。その原因は、本実験年度の気象条件によるものと考えられる。すなわち、出穂後40日間の積算温度は769.5°Cであり、特に出穂後19日目頃からは気温が急激に低下し、日照も平年を下回り、このことが稲体窒素含有率と関連し炭水化物の転流速度を遅くしたものと思われる。9月6日以降の登熟後期に(0-0-0-1)区の穂の乾物増加が急激に減少したのはこのためと推測される。

器官別窒素含有率の推移：穂揃期において(0- $\frac{1}{2}$ - $\frac{1}{2}$ -0)区は葉身、葉鞘・茎ともに最も含有率が高かったが、葉身ではその後急激に低下し、成熟期には(1-0-0-0)区と同程度になった。穂揃後に葉身、葉鞘・茎の乾物増加が著しかった(0-0-0-1)区は、成熟期の含有率も高く、葉身では無追肥区の登熟中期と同程度であり、葉鞘・茎では穂揃期よりも高い値であった。(1/2-0-0-1/2)区は穂揃期に半量施用したにもかかわらず、登熟後半は追肥区の中では最も低く経過した。

収量および収量構成要素：主な項目について述べると以下の通りである(図-2)。穂数は(0- $\frac{1}{2}$ - $\frac{1}{2}$ -0)区が最も多かったが、これは高位分げつ(二段穂)の影響である。



図一2 追肥時期が収量形質に及ぼす影響

一穂穎花数は(1-0-0-0)区が多かった以外は大差は認められなかった。

単位面積当り穎花数は穂数の多い区ほど多い傾向であったが、なかでも(1-0-0-0)区は一穂穎花数が多く穂数も比較的多くて最大であった。

登熟歩合は全区とも80%以下で低かったが、単位面積当り穎花数が多い区ほど(図-3)、また出穂前13日の稲体窒素含有率が高い区ほど(図-4)低い傾向が認められた。不稔実籾の内訳をみると、不受精籾がほとんどで障害型冷害の様相を呈した。

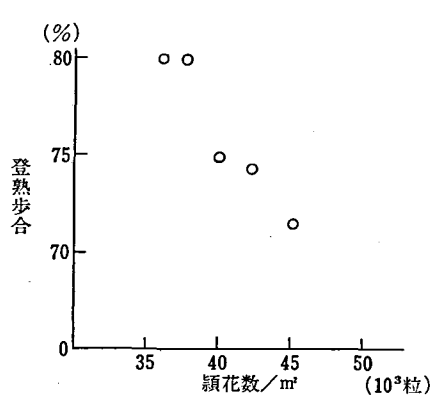


図-3 単位面積当り穎花数と登熟歩合

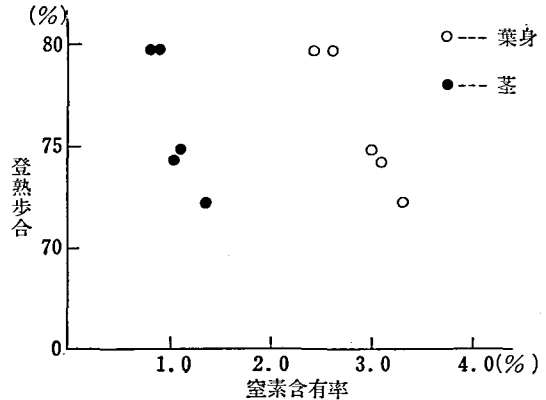


図-4 出穂前13日の稲体窒素含有率と登熟歩合

単位面積当り登熟粒数は穎花数が多い区ほど登熟歩合が低下して区間差は縮まったが、なお単位面積当り穎花数の多い区ほど多かった。

玄米千粒重は(0- $\frac{1}{2}$ - $\frac{1}{2}$ -0)区が重いほかは大差は認められなかった。

玄米収量は(0- $\frac{1}{2}$ - $\frac{1}{2}$ -0)区が最も高く、次で(1-0-0-0)区の順で、無追肥区が最も低かった。(1-0-0-0)区は穎花数は多かったが、登熟歩合の低下により収量は無施肥と大差なかった。

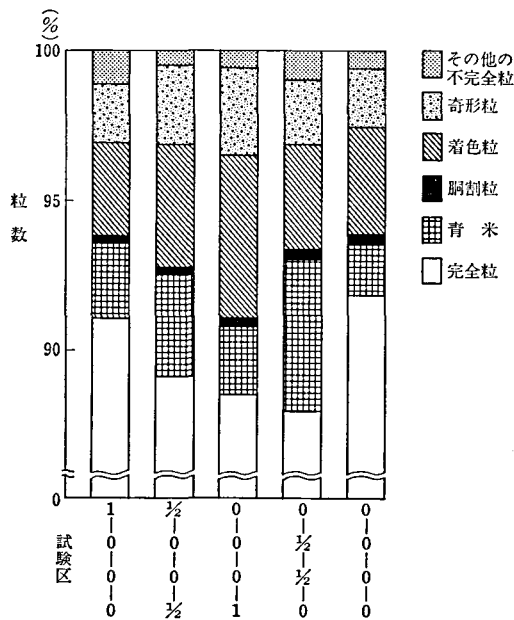
籾/わらは乾物重の推移で述べたとおり、(0- $\frac{1}{2}$ - $\frac{1}{2}$ -0)区が極めて高くなり、他の区はいずれも1.0以下と低かった。

2 追肥時期が米質に及ぼす影響

米粒の物理的性状：青米は収量が高い(0- $\frac{1}{2}$ - $\frac{1}{2}$ -0)区に多かった(図-5)。これは高位分げつの発生に起因すると思われる。着色粒は各区とも多かったが、殊に穂揃期の追肥区に多かった。なお、着色粒は背黒粒で、各区とも80~85%含まれていたが、玄米から白米にする時点でほとんどのものは黒い条斑が除去されるため、玄米検査等級では被害粒に計測されていない。玄米検査等級は各区とも1等で差は認められなかった。

米粒の化学的性状：窒素含有率は穂揃期の追肥によって明らかに高まることが認められ、また、早い時期の追肥ほど米粒にとりこまれる窒素は少ない傾向を示した(表-3)。稲体窒素含有率との間には一定の関係はみられなかった。

精白米のアルカリ崩壊性は無追肥区を除いては、窒素含有率の高い区で大きい傾向であった(表-3)。無追肥区は窒素含有率は低かったがアルカリ崩壊度が最も大きかった。江幡¹⁾はア



図一五 追肥時期が米粒の物理的性状に及ぼす影響

表一三 施肥時期が米粒の化学的性状に及ぼす影響

試験区	窒素含有率 (%)		アルカリ崩壊性
	玄米	精白米	
1-0-0-0	1.60	1.44	4.13
1/2-0-0-0	1.74	1.53	4.35
0-0-0-1	1.85	1.67	4.62
0-1/2-1/2-0	1.68	1.50	4.09
0-0-0-0	1.58	1.33	4.67

ルカリ崩壊度の大きいものは窒素レベルが高く、登熟環境が低温、遮光などの条件にあった登熟障害米であるとし、登熟速度の遅いものや胚乳組織の充実度の粗いものなどをあげている。無追肥区は窒素含有率が最も低いにもかかわらずアルカリ崩壊度が最大だったのは、窒素レベル以外の何かの要因が働いているものと考えられるが詳細は不明である。

3 追肥時期が食味に及ぼす影響

炊飯特性：加熱吸水率は無追肥区が最も大で、穂揃期に追肥を行った区は小さかったが、穂揃期以前の追肥区では大差はなかった(表一四)。このことから、穂揃期追肥は加熱吸水率を低下させ、炊飯の粘りと硬さを劣化させるものと思われる。

膨潤率は加熱吸水率と同様の傾向を示し、穂揃期の追肥区で小さく無追肥区が大きかった。穂揃期前の追肥区では大差がなかった。

以上、炊飯特性について要約すると、炊飯特性を劣化させる主な追肥時期は穂揃期であり、それ以前の追肥は時期による差はなく、著しい劣化はないものと思われる。

食味官能検査：最も食味官能値が勝ったのは窒素含有率が小さく、炊飯特性値が高かった無追肥区であり、逆に最も劣ったのは米粒の窒素含有率の高い全量穂揃期追肥区であった(表一

5, 図-6)。しかし、窒素含有率が比較的少ない(1-0-0-0)区は、これよりも窒素含有率の高い($\frac{1}{2}$ -0-0- $\frac{1}{2}$), (0- $\frac{1}{2}$ - $\frac{1}{2}$ -0)区より劣った。また、同じ時期の追肥でも、その量により食味官能値が大きく異なった。すなわち、-27日の追肥と穂揃期の追肥では、いずれもその量を半分に減じると食味官能値は大きく上昇した。ここで注目したいのは窒素含有率はさして高くなく、炊飯特性も悪くなく、玄米検査等級も同じでありながら食味が劣る傾向にあった穂肥の多量施用区(1-0-0-0)である。これに関連した報告として松崎ら¹⁴⁾の、穂肥無施用区は蛋白質含有量が同程度でも食味が良かった事例や、御子柴¹⁷⁾の、時期別に窒素施用量を変えた穂肥窒素少水準の方が多水準より食味官能値の向上がみられた例などがある。この時期の多量施肥が食味を低下させる要因についての説明は今後の施肥法の改善上重要なことである。なお基準品として104区を用いた理由は、これまでの調査の結果、窒素含有率、炊飯特性が中庸であることから、食味も中庸であろうと推察し、かつ、慣行施肥からでもある。

以上総合すると、食味官能値に強く影

表-4 追肥時期が炊飯特性に及ぼす影響

試験区名	炊飯特性	
	加熱吸水率(倍)	膨潤率(倍)
1-0-0-0	2.23	2.84
$\frac{1}{2}$ -0-0- $\frac{1}{2}$	2.18	2.74
0-0-0-1	2.16	2.64
0- $\frac{1}{2}$ - $\frac{1}{2}$ -0	2.24	2.84
0-0-0-0	2.31	2.92

(注) 加熱吸水率 = $\frac{\text{炊飯の重量}}{\text{炊飯前の重量}}$
 膨潤率 = $\frac{\text{炊飯の容量}}{\text{炊飯前の容量}}$

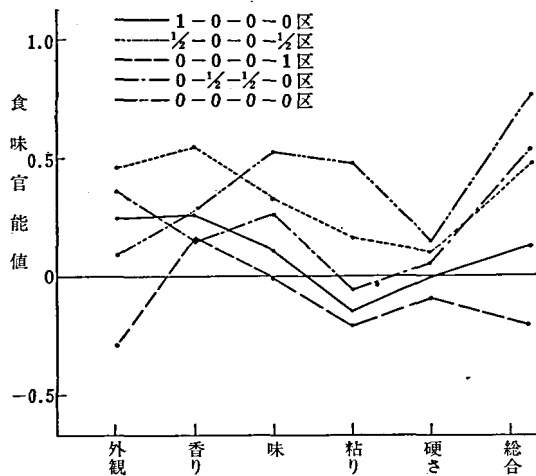


図-6 追肥時期が食味に及ぼす影響

表-5 追肥時期が食味に及ぼす影響

試験区名	食味官能値					総合
	外観	香り	味	粘り	硬さ	
1-0-0-0	0.245	0.265	0.110	-0.150	0	0.130
$\frac{1}{2}$ -0-0- $\frac{1}{2}$	0.455	0.545	0.325	0.165	0.10	0.480
0-0-0-1	-0.295	0.165	-0.010	-0.210	-0.090	-0.205
0- $\frac{1}{2}$ - $\frac{1}{2}$ -0	0.355	0.145	0.265	-0.060	0.060	0.530
0-0-0-0	0.090	0.275	0.525	0.475	0.145	0.765

響を及ぼす追肥時期は、一27日と穂揃期であり、この場合、施用量が食味官能値に大きく作用し、いずれの時期も量が多い場合は食味を低下させ、少ない場合には影響が小さい傾向であることが認められた。

IV 摘 要

窒素の追肥時期の違いが生育、収量、米質および食味にどのような影響を与えるかを調査し、収量・品質向上のための施肥法検討の資料を得ることを目的として実験を行った。肥料はアンモニア系窒素を用い、追肥時期はそれぞれ出穂前27日、20日、13日および穂揃期の4期とした。

収量は穂数と千粒重が多い出穂前20日に2.5kgと出穂前13日に2.5kg追肥した区が最も高く、次で出穂前27日5kgの一穂穎花数と穂数が多い区であった。穂揃期の追肥は気象の影響からか、葉身、葉鞘・茎の乾物増加にはなったが増収には結びつかなかった。

出穂前13日の稲体窒素含有率が高いほど、また穎花数が多い程、低温・日照不足による不受精粒が多発し登熟歩合が低下した。

米粒の物理的性状への影響は大差なく、また玄米検査等級は各区とも同じであった。背黒粒の発生は各区とも多かったが、特に穂揃期の追肥で多い傾向を示した。

米粒の窒素含有率は穂揃期の追肥で明らかに高かった。また、穂揃期前の追肥では遅くなるほど窒素含有率が高くなる傾向を示した。

精白米のアルカリ崩壊度は、無追肥区を除いては米粒の窒素含有率の高いものが崩壊度も大きかった。

炊飯特性の加熱吸水率と膨潤率はともに穂揃期の追肥で劣化し、他の追肥時期では著しい劣化は認められなかった。

食味官能値に強く影響を与える追肥時期は穎花分化前期と穂揃期であった。この場合、施肥量が大きく影響し、いずれの時期においても多量の場合は食味を低下させ、少量の場合は低下しなかった。

V 引 用 文 献

- 1) 江幡守衛 1968. 米のアルカリ崩壊性に関する研究. 第1報 白米のアルカリ検定法について. 日作紀37: 499-503.
- 2) ———— 1968. ————. 第2報 白米のアルカリ崩壊性の品種間差異ならびに二、三の登熟環境条件との関係. 日作紀37: 504-509.
- 3) 倉沢文夫 1963. 化学性分からみた米の品質. ①②③④. 農業技術18: 26-28, 128-130, 218-221, 265-268.
- 4) 平 宏和・松島省三・松崎昭夫 1970. 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92報 窒素施肥による米の蛋白質の収量およびその栄養価増大の可能性の栽培試験. 日作紀39: 33-40.
- 5) ———— 1970. 多収穫栽培米のタンパク質含有量に与える施肥の影響. 日作紀39: 200-203.
- 6) 茶村修吾・川瀬金次郎・横山栄造・本田康邦 1972. 米の食味と土壌型との関係. 第1報 土壌型とその化学的性質が水稻の生育・食味に及ぼす影響. 日作紀41: 27-31.
- 7) ————・本田康邦・飯田耕平・坪川藤夫 1972. ————. 第2報 米粒の物理化学的性質と食味との関係. 日作紀41: 244-249.

- 8) ———・多田 茂・坪川藤夫 1972. 水稻の後期窒素追肥と米質・収量との関係. 第1報 稲の体内の窒素含有率が少ない場合. 日作北陸会報7: 10-12.
- 9) 長戸一雄・F. M. チャウドリー 1969. 登熟期の気温が日本型および印度型稲の稔実におよぼす影響. 日作紀38: 657-667.
- 10) ———1971. 貯蔵および乾燥方法が米の炊飯特性に及ぼす影響. 日作紀40: 299-305.
- 11) ———・江幡守衛・石川雅士 1972. 米粒の蛋白質含有量に関する研究. 日作紀 41: 472-479.
- 12) 本庄一雄 1971. 米のタンパク含有量に関する研究. 日作紀40: 183-189.
- 13) ———・平野貢 1979. ————. 第3報 登熟に伴う体窒素及び穂揃期追肥窒素の穂への移行. 日作紀48: 517-524.
- 14) 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: 54-62.
- 15) 松島省三・和田源七 1958. ————. XLVII, 水稻登熟機構の研究. 転流機構特に温度と転流速度との関係並びに登熟歩合向上方法について. 日作紀27: 6-8.
- 16) ——— 1966. 稲作の理論と技術. 第9版, 養賢堂.
- 17) 御子柴穆 1974. 窒素施肥による水稻の生育収量の制御に関する土壤肥料学的研究. 長野農試報37.
- 18) ——— 1971. 水稻の施肥法に関する研究(その1) 施肥配分による安定多収技術の確立. 長野農試報36.
- 19) 和田源七・松島省三 1962. 水稻収量成立原理とその応用に関する研究. LXI, 穂揃期窒素追肥の研究. 日作紀. 31: 15-18.