日作紀（Jpn. J. Crop Sci.）68(2)：187—193（1999）

研究論文

栽　培

水稲の耐冷性関連形質としての葯長，葯幅および充実花粉数に及ぼす施肥窒素の影響

立田久善*
（青森県農業試験場）

要旨：通常の気象条件下において，窒素施肥条件の異なる圃場で栽培したイネの葯長，葯幅および充実花粉数を比較した．基肥窒素量を1 m²当たり0，4，7，10，13 gとした圃場で栽培したイネの場合，基肥窒素量が多くなるほど葯長，葯幅は短くなり，充実花粉数は減少した．また，基肥窒素量を1 m²当たり4 gまたは10 g施用し，穂首分化期，幼穂形成期，減数分裂期に1 m²当たり3 g窒素追肥したイネと無追肥のイネの場合，基肥窒素量が1 m²当たり4 gのときは，無追肥に比較して幼穂形成期の追肥で葯長，葯幅が短くなり，充実花粉数も減少した．基肥窒素量が10 gの場合も同様の傾向がみられたが，追肥時期の違いによる差は基肥窒素量が4 gの場合よりも小さかった．これらのことから，イネの葯長，葯幅および充実花粉数には窒素施肥が大きな影響をおよぼしており，低温の影響を受けていない年でも，基肥窒素を多く施用した場合や幼穂形成期頃の追肥は，葯長や葯幅を短く，充実花粉数を減少させる．また，追肥時期の影響は基肥量の多少によって異なった．

キーワード：基肥窒素量，充実花粉数，耐冷性，追肥時期，葯長，葯幅，冷害．

冷害年において，窒素施肥量が多い場合には，不稔の発生が多くなり，大きく減収することは古くから知られており，また，実験的にも証明されている（佐々木・和田1975，天野・森脇 1984）．そのため，適正な肥培管理をすることが，寒冷地稲作の基本となってきた．

しかし，窒素施肥量が多い場合に，どのような理由で不稔が増加するのかについては，これまでに明らかにされていない．

Nishiyama（1982）は，冷温による不受精の発生を穂上の位置ごとに調べ，花粉数が冷温感受性差異の要因である可能性を示した．また，穂上位置による穎花の冷温感受性の差異に関連しての研究から，小胞子初期に冷温処理を受けた場合，充実花粉数が受精率に対して高い相関を持つことを示した（Nishiyama 1983）．

Satakeら（1987）は，小胞子初期の冷温処理による不稔の発生は，穎花分化期から小胞子初期までの水温（前歴水温）および窒素供給量（前歴窒素）によって著しく変動し，小胞子初期のイネの耐冷性は，前歴期間の高水温および低窒素によって増大することを明らかにした．また，受精に関連する形質を調査した結果，前歴水温上昇による耐冷性の向上は充実花粉数の増加によるものであり，充実花粉数の増加は分化小胞子数の増加に起因することを明らかにした（Satake 1989）．さらに，Satake（1991）は出穂前25～2日の期間における時期別の冷温処理実験を行って，冷温処理および品種による稔実歩合の差が，開花期の充実花粉数の差に起因することを示した．

これらの報告は，花粉数が耐冷性の原因となっていることを示していることから，多肥栽培における不稔の増加も最終的には充実花粉数の減少が原因の一つと推定された．そこで，穂孕期に低温を受けていない通常の気象条件下において，窒素施肥条件の異なる圃場で栽培したイネの葯長，葯幅および充実花粉数を調査した．

材料と方法

実験1：基肥窒素量の影響について

材料は1994年と1995年の2ヶ年，青森県農業試験場の一筆450 m²の圃場（黒石市，多湿黒ボク土・壌土）を3筆用いて栽培した．

品種は「むつほまれ」（耐冷性「中」）を用いた．栽培方法は中苗（葉齢4.5葉程度）と乳苗（葉齢2.5葉程度）を用い，中苗は1株3～4本植え，乳苗は5～6本植えの手植えで，栽植密度は条間30.3 cm，株間13.6 cm（24.2株/m²）とした．移植時期は1994年が5月17日，1995年は5月18日とした．

試験区は，施肥前に1回耕起した後，板で区切り，基肥窒素量を1 m²当たり0，4，7，10，13 g（燐酸と加里はすべて1 m²当たり10 g）施用し，施肥区ごとにもう1回耕起した．

また，各々に追肥区と無追肥区とを設け，追肥区は幼穂形成期に窒素と加里（NK化成）を1 m²当たり3 gを追肥した．試験は1区15～20 m²の2反復で実施した．

調査材料は，各区の出穂始め頃に，その日に出穂した主稈または強勢な1次分げつとみられる穂を10穂程度採取し，直ちに50%アルコール液で固定した．

葯長，葯幅および充実花粉数の調査には，固定した穂の中から5穂を任意でとり，各穂のそれぞれ上位3本の1次

1998年12月24日受理．＊連絡責任者（〒036-0389 黒石市青森農試．fax 0172-52-4399）．

NII-Electronic Library Service

枝梗の先端から3，4，5番目の穎花を用いた．それらの中から葯長，葯幅は任意に30葯ずつ万能投影機（倍率20倍）で測定した．充実花粉数の測定は，刈屋ら（1985）の懸濁法とその改良法（注：平成5年度研究成果情報，総合農業，農水省総合農業試験研究推進会議，農業研究センター，45－46）を参考に，次のように行った．すなわち，2 mL溶液（50%アルコール，10%グリセリン，花粉を染色するためのヨード・ヨードカリ液）に上記の葯を30個入れて，ピンセット等で葯を小さく切断した後，超音波洗浄器で葯壁を破壊して花粉を溶液に懸濁し，赤血球計算板（厚さ0.2 mm）を用いて各区20回ずつ計測し，葯当たりに換算した．なお，ヨウド・ヨードカリで染色したものを充実花粉としたが，花粉のほとんどが充実花粉として計測された．

実験2：追肥時期の影響について

材料は1994年と1995年の2ヶ年，青森県農業試験場の一筆250 m²の圃場（黒石市，多湿黒ボク土・壌土）を2筆用いて栽培した．

品種，栽培方法等は実験1と同じであるが，中苗(葉齢4.5葉程度)のみを用いた．

試験区は，基肥窒素量を1 m²当たり4 gと10 g（燐酸と加里は1 m²当たり10 g）施用し，各々について，穂首分化期または幼穂形成期，減数分裂期のいずれかの時期に窒素と加里（NK化成）を1 m²当たり3 g追肥した区を設けた．また，追肥しない区を無追肥区とした．試験は1区15 m²程度の2反復で実施した．調査材料の選定と調査方法は実験2と同じである．

結果と考察

1. 基肥窒素量の多少と葯長，葯幅および充実花粉数との関係（実験1）

1994年と1995年の施肥量別の葯長を第1図に示した．基肥窒素だけの場合，また，基肥窒素のほかに幼穂形成期に1 m²当たり3 g追肥した場合も，中苗，乳苗どちらを用いても1 m²当たりの基肥窒素量が増加するにともなって葯長は短くなった．

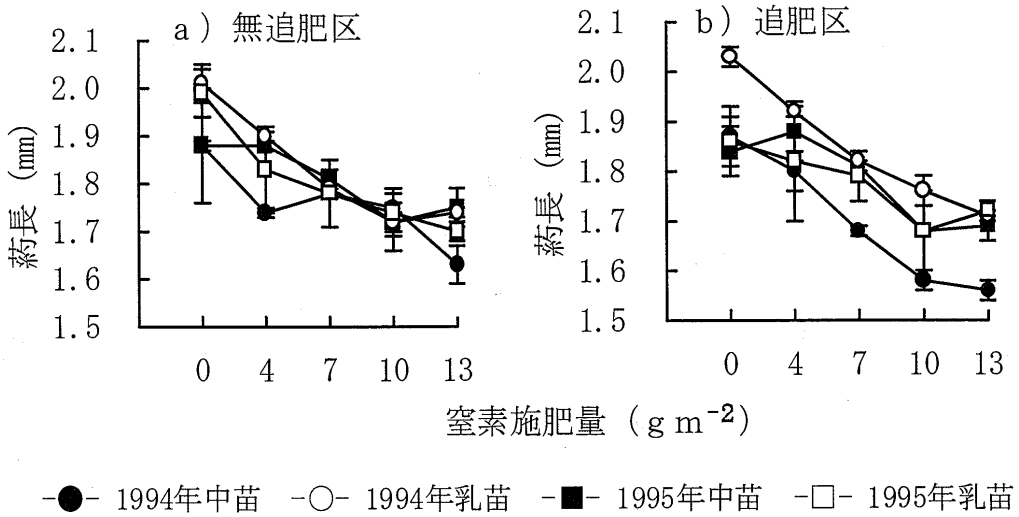
1994年と1995年の施肥量別の葯幅を第2図に示した．葯長ほど顕著ではなかったが，基肥窒素だけで生育させた場合，中苗，乳苗ともに基肥窒素量が増加するにともなって，葯幅は短くなる傾向が認められた．幼穂形成期に追肥を行った場合は，乳苗では基肥窒素量が多いほど葯幅が短くなる傾向が認められたが，中苗では基肥窒素7 gで最も短くなった．

1994年と1995年の施肥量別の充実花粉数を第3図に示した．葯長と同じく基肥窒素だけで生育したイネの場合，また，幼穂形成期に追肥を行った場合も，中苗，乳苗とも基肥窒素量が増加するにつれて充実花粉数は減少した．

渡部（1994）は，基肥窒素量の増加が障害不稔の発生を助長する一要因は，窒素量増加による受光態勢の悪化が水稲群落内の微気象に影響を与える，すなわち，畦間気温，葉鞘内温度，水温，地温の昇温を阻害するためとしている．

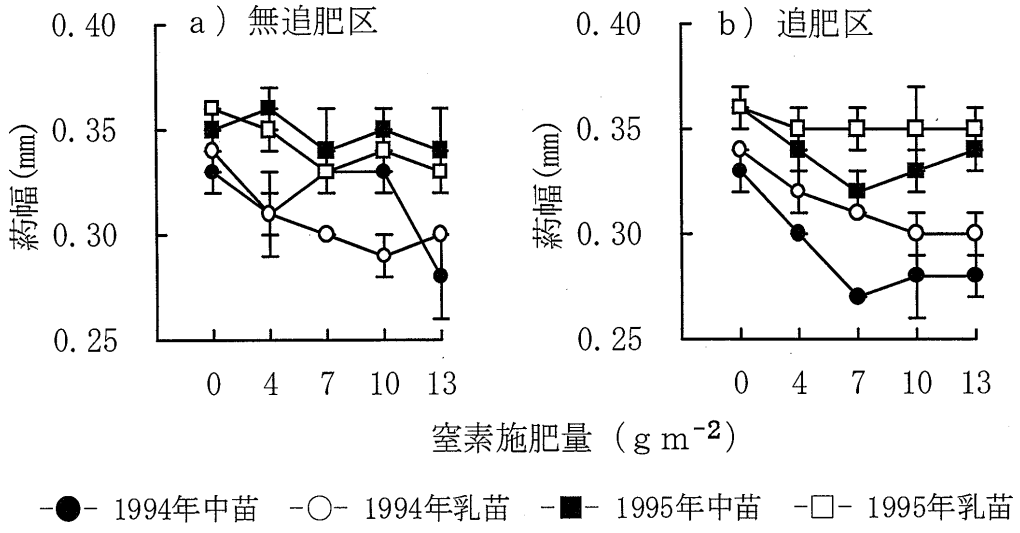
本試験では圃場のm²当たり籾数は，第4図に示すとおり，基肥窒素量が多いほど多く，施肥量によっておよそ20000～50000粒程度まで差があり，イネの繁茂度もかなり相違していた．第5図に1994年と1995年の7月第1半旬から8月第6半旬までの平均気温を，また，第1表には出穂前30日間の気象条件を示した．中苗移植の場合，出穂前30日間の平均気温が1994年は22.9℃，1995年は23.0℃で，平年値よりもそれぞれ1.6，1.7℃高かった．また，乳苗移植の場合1994年は23.8℃，1995年は23.1℃で平年値（中苗移植）よりもそれぞれ2.5℃，1.8℃高かった．

このように，1994年と1995年は青森県としては比較的

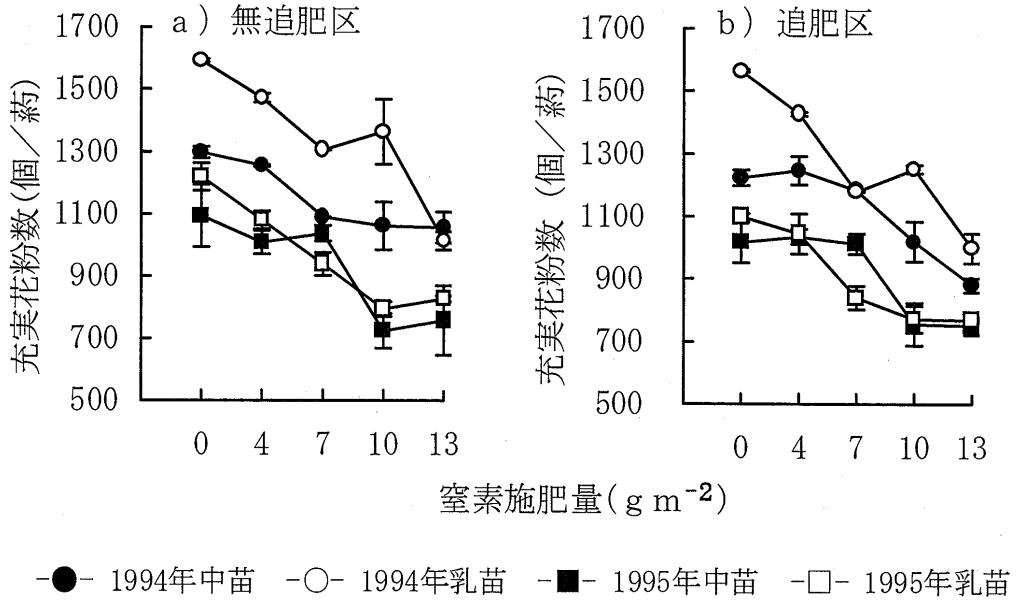


第1図　窒素施肥量と葯長．
図中の縦線は区間差を示すが，記号内に隠れているものもある．以下の図においても同様である．

NII-Electronic Library Service



第2図　窒素施肥量と葯幅.



第3図　窒素施肥量と充実花粉数.

高温年で，繁茂度の相違によっておこる群落内の微気象の影響は小さく，葯長と葯幅とが短くなり充実花粉数が減少するのは窒素施肥量が直接影響しているものと考えられた.

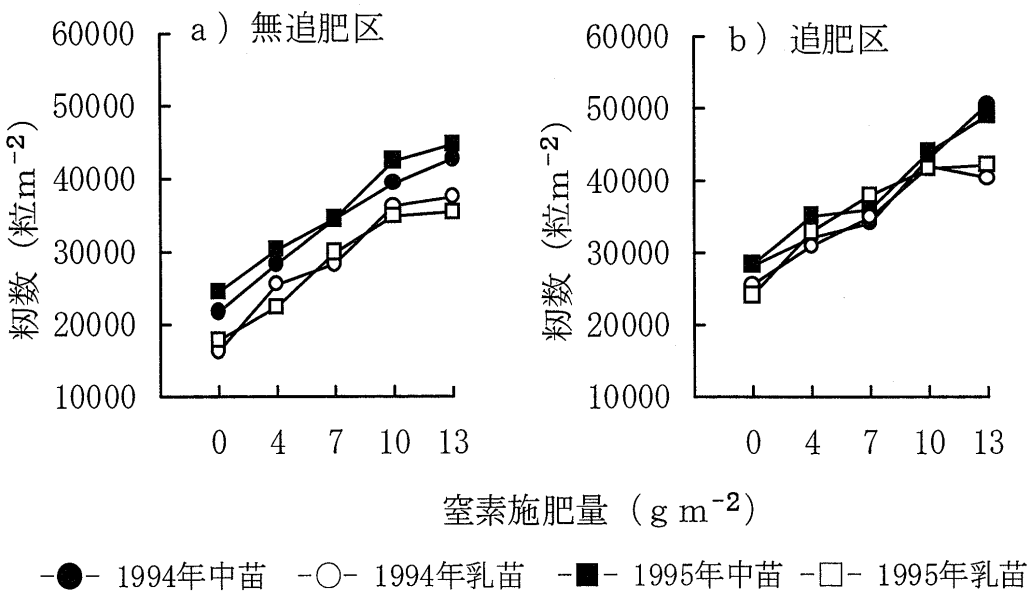
2. 追肥時期の違いと葯長，葯幅および充実花粉数との関係（実験2）

第2表に追肥月日と出穂前日数を示した．穂首分化期は，主茎の幼穂長が0.2 mm程度になった時期とした．通常年では出穂前31日頃（農業試験場における作況試験の平均）であるが，試験実施年次はやや気温が高かったので1994年が出穂前28日，1995年が出穂前29日頃となった．幼穂形成期は主茎の幼穂長が1.5 mm程度になった時期とした．通常年では出穂前23日頃であるが，1994年は出穂前19日頃，1995年は出穂前22～23日頃となった．減数分裂期は通常年の場合，幼穂形成期後10日目頃で出穂前14日頃である．減数分裂期追肥は止葉の抽出し始めを目安に行ったが，1994年は幼穂形成期後7～8日目で出穂前11～12日，1995年は幼穂形成期後9日目で出穂前13～14日であった．また，いずれの時期の追肥でも，追肥後3日目頃から葉色の変化が観察された.

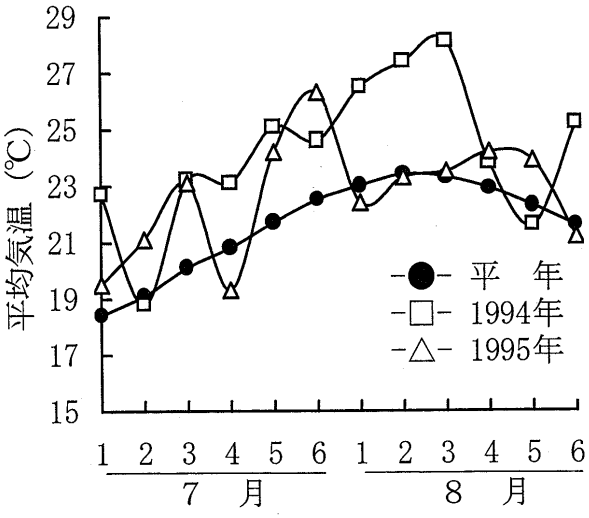
1994年と1995年の追肥時期と葯長との関係を第6図に示した．2ヶ年とも追肥時期の違いにかかわらず基肥窒素量が10 g/m^{2}の場合は，4 g/m^{2}の場合よりも葯長は短かった.

また，追肥時期によって葯長が異なった．基肥窒素量が4 g/m^{2}の場合には，およそ幼穂形成期＜穂首分化期＜減数分裂期≒無追肥の順に長くなり，幼穂形成期の追肥で最も短くなった．基肥窒素量が10 g/m^{2}の場合には，およそ穂首分化期≒幼穂形成期＜減数分裂期≒無追肥となっ

NII-Electronic Library Service



第4図 窒素施肥量と m² 当たり籾数.



第5図 7～8月の半旬別平均気温.

第1表 出穂前30日間の気象条件.

年 次	苗の種類	最高気温 ℃	最低気温 ℃	平均気温 ℃	日照時間 h	降水量 mm
1994年	中苗	27.2	19.2	22.9	201.0	14.0
1994年	乳苗	28.0	20.1	23.8	202.6	47.0
1995年	中苗	26.4	19.8	23.0	121.3	77.0
1995年	乳苗	26.5	20.0	23.1	108.2	183.5
平 年	中苗	25.5	17.8	21.3	152.0	96.2

第2表 追肥時期と出穂前日数.

年 次	追肥時期	追肥月日	同左出穂前日数
1994年	穂首分化期	7月 2日	28
	幼穂形成期	7月11日	19
	減数分裂期	7月18日	11～12
1995年	穂首分化期	7月 6日	29
	幼穂形成期	7月12日	22～23
	減数分裂期	7月21日	13～14

た．穂首分化期と幼穂形成期の追肥によって，減数分裂期追肥や無追肥の場合より葯長は短くなったが，穂首分化期と幼穂形成期の差は小さかった．

1994年と1995年の追肥時期と葯幅との関係を第7図に示した．追肥時期の違いにかかわらず基肥窒素量が10 g/m² の場合は，4 g/m² の場合よりも葯幅が短かった．

また，追肥時期の違いによる葯幅の差は，葯長ほど明確ではなかったが，穂首分化期≒幼穂形成期＜減数分裂期≒無追肥となった．穂首分化期または幼穂形成期の追肥で葯幅が短くなる傾向が認められた．

1994年と1995年の追肥時期と充実花粉数との関係を第8図に示した．2ヶ年とも追肥時期の違いにかかわらず基肥窒素量が10 g/m² の場合は，4 g/m² の場合よりも充実花粉数は少なかった．

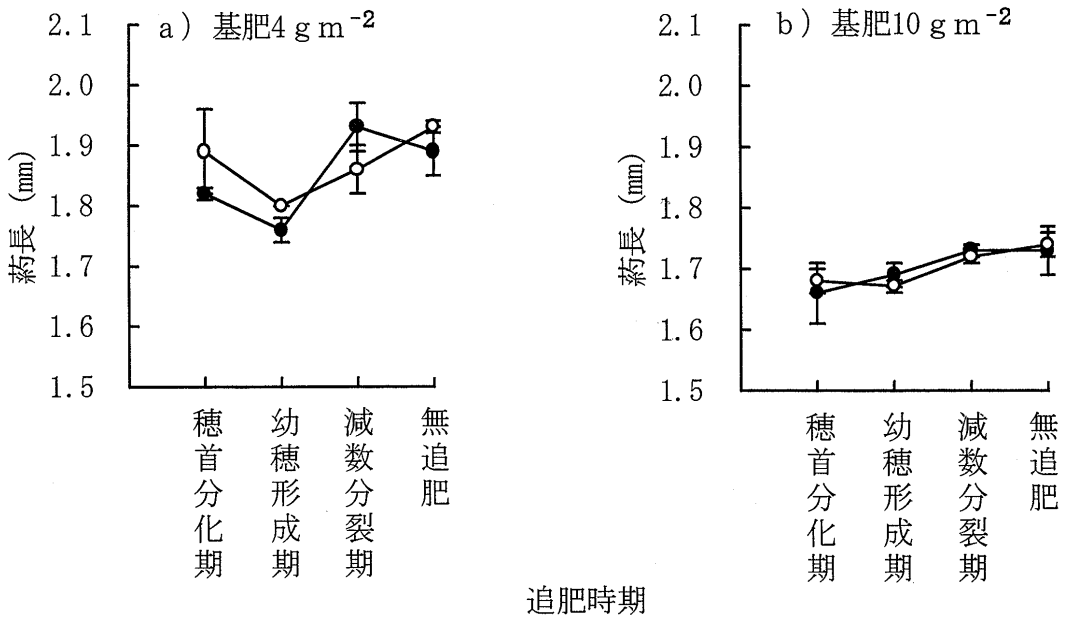
また，追肥時期により充実花粉数が異なった．年次によって若干のふれがみられたが，基肥窒素量が4 g/m² の場合には，およそ幼穂形成期＜穂首分化期＜減数分裂期≒無追肥の順に多くなり，葯長と同様に幼穂形成期の追肥で少なくなった．基肥窒素量が10 g/m² の場合も，およそ幼穂形成期＜穂首分化期＜減数分裂期＜≒無追肥となった．基肥量が4 g/m² の場合よりも区間差は小さかったが，幼穂形成期の追肥により充実花粉数が減少する傾向がみられた．

松崎・松島（1971）は，葉齢指数70～90の期間窒素の供給を制限するV字理論稲作を行うと減数分裂期の低温抵抗性が増大することを報告している．志賀ら（1977）は幼穂形成期頃の窒素追肥は籾数を増加させるが不稔発生の危

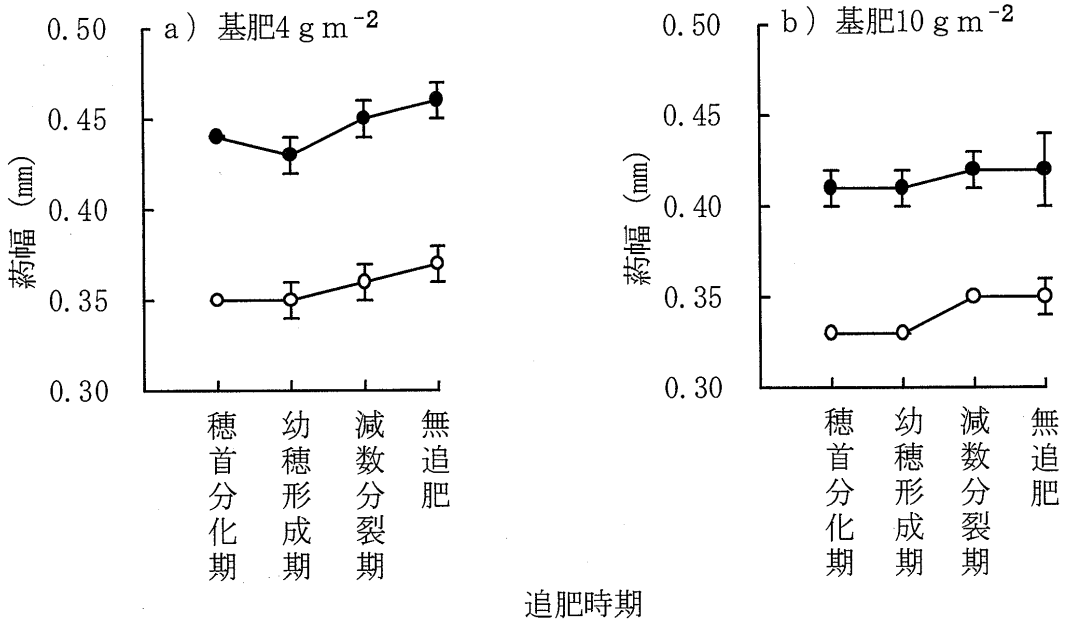
NII-Electronic Library Service

険性が高いこと，止葉期の追肥ではその危険性が少ないことを報告している．また，Satake ら（1987）は，水耕栽培によって時期別に窒素の供給量を変えて栽培したイネを危険期に冷温処理して，どの時期の多窒素が不稔を増加させるか実験した．その結果，不稔を助長するのは穎花分化期から冷害危険期までの多窒素であること，穎花分化期以前および冷害危険期以後の多窒素は不稔発生にほとんど影響しないことを明らかにした．

これらの報告は，いずれも葯サイズ，花粉数は見ていないが，幼穂形成期から止葉期までの間に，特にイネの小胞子初期の耐冷性を低下させる追肥時期があることを示している．本試験では，幼穂形成期頃の追肥により最も葯長，葯幅が短くなり，充実花粉数が減少した．また，幼穂形成期の追肥の影響を無追肥と比較して考えると，基肥量が 4 g/m² の場合は，10 g/m² の場合に比べて葯長，葯幅の短小化や充実花粉数の減少が大きかった．このことは，基肥窒素量が少なく幼穂形成期頃の稲体内窒素含有率が低下したときに，急激に窒素を吸収させると，葯長，葯幅の短小

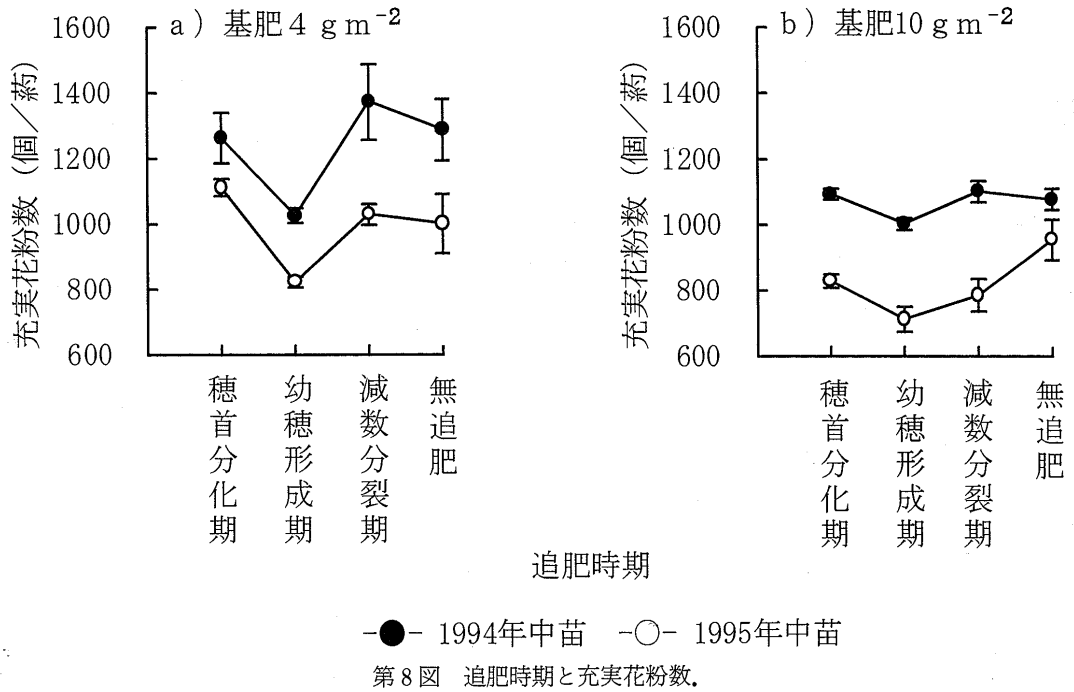


第 6 図　追肥時期と葯長．



第 7 図　追肥時期と葯幅．

NII-Electronic Library Service



第8図 追肥時期と充実花粉数.

化や充実花粉数の低下が大きくなること，基肥窒素量が多く幼穂形成期頃の稲体の窒素含有率が比較的高い場合には，追肥の影響が現れにくいことを示していると考えられる.

以上の結果から，基肥を多量に施用した場合や幼穂形成期頃の追肥は，耐冷性を低下させると考えられる．したがって耐冷性を強化するためには，堆肥を施用して地力の増大に努め，基肥量を減じ，追肥は幼穂形成期を避け（実施する場合はなるべく少量とする)，減数分裂期頃に実施することが望ましいと言える.

謝辞：本報告を取りまとめるにあたり，東北大学農学部後藤雄佐博士には有益なご助言および懇切なご校閲をいただいた．ここに記して感謝の意を表する.

引用文献

天野高久・森脇良三郎 1984. 水稲の冷害に関する栽培学的研究 第2報 穂孕期不稔に関する葉身の限界窒素含有率. 日作紀 53：1—6.

刈屋国男・佐竹徹夫・小池説夫 1985. イネの葯あたり花粉数の懸濁法による簡易計測. 日作紀 54(別2)：230—231.

松崎昭夫・松島省三 1971. 水稲収量の成立原理とその応用に関する作物学的研究. 第105報 V字理論稲作と減数分裂期の低温抵抗性との関係. 日作紀 40：519—524.

Nishiyama, I. 1982. Male sterility caused by cooling treatment at the young microspore stage in rice plants. XXIII Anther length, pollen number and the difference in susceptibility to coolness among spikelets on the panicle. Jpn. J. Crop Sci. 51：462—469.

Nishiyama, I. 1983. Male sterility caused by cooling treatment at the young microspore stage in rice plants. XXVI The number of ripened pollen grains and the difference in susceptibility to coolness among spikelets on the panicle. Jpn. J. Crop Sci. 52：307—313.

佐々木一男・和田定 1975. イネの冷害不稔発生に及ぼす窒素, 燐酸, および加里の影響. 日作紀 44：250—254.

Satake, T., S.Y. Lee, S. Koike and K. Kariya 1987. Male sterility caused by cooling treatment at the young microspore stage in rice plants. XXVII Effect of water temperature and nitrogen application before the critical stage on the sterility induced by cooling at the critical stage. Jpn. J. Crop Sci. 56：404—410.

Satake, T. 1989. Male sterility caused by cooling treatment at the young microspore stage in rice plants. XXIX The mechanism of enhancement in cool tolerance by raising water temperarure before the critical stage. Jpn. J. Crop Sci. 58：240—245.

Satake, T. 1991. Male sterility caused by cooling treatment at the young microspore stage in rice plants. XXX Relation between fertilization and the number of engorged pollen grains among spikelets cooled at different pollen developmental stages. Jpn. J. Crop Sci. 60：523—528

志賀一一・宮崎直美・遠藤和雄 1977. 寒地における高収水稲のための窒素供給法 第2報 幼穂形成期及び止葉期の追肥について. 北海道農試研報 117：31—41.

渡部富男 1994. ヤマセによる早期栽培水稲の障害型冷害の防止に関する研究. 千葉県農業試験場特別報告 第25号 1—90.

Influence of Nitrogen Application on Anther Length, Anther Width and Number of Engorged Pollen Grains as Characters Related to Cooling Injury in Rice Plants : Hisayoshi TATSUTA* (*Aomori Agr. Exp. Stn., Kuroishi 036-0389, Japan*)

Abstract : Anther length, anther width, and number of engorged pollens were reported to have a relationship to cooling injury of rice. The effects of nitrogen application on anther size and number of pollens were studied in a field for two years. Higher basal nitrogen application (tested from 0 to 13 g/m^2) resulted in shorter anther length, shorter anther width, and fewer engorged

NII-Electronic Library Service

pollens. The top dressing of nitrogen (4 g/m²) applied at the panicle formation stage resulted in shorter anther length, shorter anther width, and fewer engorged pollens compared with top dressings at other stages or with no top dressings. The effects of a top dressing on anther size and on the number of pollens were small when the nitrogen applied was 10 g/m².
Key words : Anther length, Anther width, Basally applied nitrogen, Cooling injury, Cooling tolerance, Number of engorged pollen grains, Top-dressing time.

NII-Electronic Library Service