

## 早期栽培地帯における水稻障害型冷害に関する研究

### 第1報 受光態勢と不稔歩合\*

渡部 富男・武市 義雄\*\*

(千葉県農業試験場)

平成2年7月30日受理

**要旨**：窒素の多量施用が障害不稔を助長する要因を明らかにするため、低温時の日照条件が異なる1982年、'83年の冷害年に、基肥窒素施用量、剪葉処理、稲株の圃場内位置と不稔の関係を検討した。(1) 両冷害年とも、不稔指数は窒素施用量の増加に伴い直線的に高まったが、その増加傾向は晴冷型冷害年で大きかった。また、完全籾収量指数は、晴冷型の1982年では窒素施用量の増加に伴い直線的に低下した。一方、曇雨天型の1983年では、基肥窒素施用量約11 kg/10 aを頂点とする二次曲線で示された。(2) 窒素施肥の増量は葉面積を増加し、畦間遮光率を高め、晴天日には畦間気温、葉鞘内温度、水温、地温の昇温を阻害した。(3) 冷温感受性期に剪葉処理で受光態勢を改善すると、不稔は減少した。これは日射により葉鞘内温度が高くなるためであった。(4) 受光量の多い畦畔沿いの稲株は圃場内部の株より不稔が少なかった。また、圃場西側の同一稲株内で、畦畔側の穂は圃場側の穂より不稔が少なかった。これも日射で葉鞘内温度が高くなるためであった。(5) 以上から、窒素を多量に施用すると過繁茂になり、受光態勢の悪化が水稻群落内の畦間気温、葉鞘内温度、水温、地温の昇温を阻害し、これが障害不稔の発生を助長する一要因になると判断された。

**キーワード**：過繁茂、畦間気温、受光態勢、障害型冷害、早期栽培、日照時間、基肥窒素施用量、葉鞘内温度。

**Floral Impotency Due to Cool Weather in Paddy Rice Plants in the Early-Season Culture Area** I. Relationship between light-intercepting characteristics and sterility : Tomio WATANABE and Yoshio TAKEICHI (*Chiba Pref. Agric. Exp. Stn., Chiba 280-02, Japan*)

**Abstract** : The present study was conducted to make clear the cause of promotion the sterility due to cool temperature at the booting stage by too much nitrogen application with investigating the relationship among the amount of nitrogen applied as basal dressing, treatment of cutting leaves and location of hills in the field and sterility under the different sunshine condition in 1982 and 1983 when cool-summer damage were occurred in paddy rice plants. The results are as follows. (1) For these two years, the sterility index has increased linearly with the amount of nitrogen and the increasing rate has been higher under the longer sunshine condition. The perfect unhulled rice yield index has decreased linearly under the longer sunshine condition. On the other hand, it indicated the curve of secondary degree with maximum value of about 11 kg/10 a of nitrogen under the shorter sunshine condition. (2) The increase of nitrogen application enlarged leaf area and the shading percentage in the space between rows. It prevented the rising of temperature in the space between rows, at the inside of the leaf sheath, of water and of earth on clear day. (3) Improvement of light-intercepting characteristics at the most sensitive stage to cool temperature by the treatment of cutting leaves decreased the sterility. It was caused by the rise in temperature at the inside of the leaf sheath. (4) The sterility of the hills at the edge of field, which received more sunshine, was lower than that at the inside of field. Within the same hill at the nearest furrow to levee in the west side of the field, the sterility of the panicles at the side of levee was lower than that at the side opposite to levee. (5) It can be concluded from these results that one of the causes of promotion the sterility due to cool weather at the booting stage by too much nitrogen application as basal dressing was the obstruction of temperature raising at various points surrounding rice plants with the deterioration of light-intercepting characteristics accompanying overluxuriant growth.

**Key words** : Amount of fertilizer nitrogen, Cool-summer damage, Early-season culture, Light-intercepting characteristics, Overluxuriant growth, Sunshine hours, Temperature at the inside of leaf sheath, Temperature in the space of rows.

千葉県における水稻栽培は、普通期栽培での根ぐされ防止や風水害回避を目的として、昭和30年代

初めから早期栽培に移行し、現在ではほぼ100%が早期栽培となっている<sup>1)</sup>。早期栽培導入当初から昭和50年頃までは気象が非常に安定していた。このため、早期栽培の導入で千葉県の単収は350 kg/10 a から450 kg/10 a と飛躍的に向上し、千葉県は米

\* 大要は第176回講演会(1983年10月)、第178回講演会(1984年10月)において発表。

\*\* 現在は千葉県植物防疫協会。

不足の時代に、端境期の新米供給という早場米生産地帯の重要な役割を担った。ところが、昭和50年代に入ると気象条件は一転して、極めて変動の激しい状況となった。このため、東北地方を中心に大きな冷害を引き起こす偏東風が吹走する南端に位置する千葉県では、早生品種を中心に、6月末から7月上旬の低温でしばしば障害型冷害が発生し、大きな被害を受けている。とりわけ、1976年の冷害では、多収性品種として栽培が増加したアキヒカリや本県の奨励品種に採用されたばかりのハヤヒカリが大きな被害を受けた。これらの品種は耐肥性が大きく、多肥栽培や水田裏作野菜跡での栽培が主流であった。このため、過繁茂状態を呈する 경우가多く、被害程度も大きかった。

従来、温暖地早期栽培地帯での基肥窒素施用量は10a当たり7~8kgが普通で、多肥栽培でも10~11kgであった。水苗代や畑苗代で育苗した成苗を用いての移植栽培では、この程度の施肥量で生育が過繁茂になることは比較的少なかった。しかし、稚苗機械移植栽培では、植え付け本数が1株当たり7~8本と多く、しかも稚苗は成苗に比べ分けつ発生が多いことから、生育は過繁茂状態になりやすくなった。

また、同年の冷害を現地調査した際、山間谷津田で、午後になると山陰に入る部分で不稔発生の多いことが観察され、受光量と不稔発生程度の関係に相関のあることが推察された。

窒素の多量施用が冷害を助長することは、北海道、東北地域の試験研究機関で明らかにされ、そのメカニズムの解明も続けられている。しかし、水稻の生育特性がこれらの地域とは大きく異なる温暖地早期栽培での研究例はほとんどないのが実状であった。そこで、著者らは障害型冷害の軽減対策を明らかにする目的で一連の研究を実施した。その中で、低温下での日照時間の多少によって障害不稔の発生程度が大きく影響される事実から、窒素の多量施用が障害不稔を助長する一つの要因は、過繁茂による受光態勢の悪化が水稻群落内の畦間気温、葉鞘内温度、水温、地温の昇温阻害を引き起こすためであることが明らかとなったので報告する。

## 材料と方法

### 1. 基肥窒素施用量と障害不稔

受光態勢と不稔発生程度との関係を明らかにするため、1982年と'83年に、1.5×7.5mのライシメ

ータ(長辺・東西方向)を用い、繁茂程度を変えるため、基肥窒素成分量を5kg/10aより順次3kg増の5試験区を設けた。供試品種は極早生のフジヒカリで、稚苗を4月17日に移植した。栽植様式は30×15cmで、畦は南北方向とした。試験は2区制で行った。なお、基肥の磷酸、加里の成分量は各々10kg/10aとした。

冷温感受性期頃の畦間気温(田面上15cm)、水温(水面下1cm)、地温(地表面下1cm)をサーミスタ温度計で、幼穂の位置する田面上15cmの葉鞘内温度を熱電対温度計で、畦間の相対照度を照度計で測定した。また、各区とも生育中庸の3株2反復の抜取りを行い、葉面積を測定した。

成熟期には各区36株(0.5坪分)2反復の刈り取りを行うと共に、各区10株2反復の抜取りを行い、収量および収量構成要素を調査した。

### 2. 剪葉処理と障害不稔発生

前項の1982年の試験結果から、水稻繁茂量の違いが水稻群落の各種温度、特に葉鞘内温度と密接に絡み合い、障害不稔の発生程度に影響を及ぼしていると推定された。そこで、これを確認する目的で、1983年に、1.5×7.5mのライシメータで、基肥窒素成分施用量を10a当たり14kg、17kgで栽培したフジヒカリを供試し、冷温感受性期に当たる6月28日に、基肥14kg区では田面から20cm、30cm、基肥17kg区では田面から25cm、35cmで葉身を切除し、受光態勢を強制的に変えて、障害不稔発生との関係を検討した。また、17kg区の各処理区で、幼穂の位置する田面上15cmの葉鞘内温度を熱電対温度計で測定した。なお、この時期の田面上20~25cmでの剪葉処理では、葉鞘部分もある程度切除された。

### 3. 圃場内の障害不稔の発生分布

1982年の晴冷下の障害型冷害において、圃場での稲株の位置によって、障害不稔の発生程度に規則性が観察された。そこで、千葉市刈田子町・千葉県農業試験場・水田作研究室の圃場で、各種の施肥条件で栽培された早生品種数種を供試し、畦畔から1, 2, 5列に位置する株を成熟期に3株ずつ抜取り、株毎に登熟歩合を調査した。

また、前項で供試したフジヒカリ(基肥窒素成分施用量14kg/10a)を用いて、圃場西側畦畔沿いの株と畦畔から3列目の株で、幼穂の位置する田面上15cmの葉鞘内温度を熱電対温度計で測定した。

更に、水稻奨励品種決定試験(4月30日、稚苗

Table 1. Sunshine and temperature conditions during the low temperature period and during the period from the panicle formation to heading.

Year	Low temperature period*			Panicle formation stage~heading**		
	Sunshine		Temperature	Sunshine		Temperature
	Daily (hour)	Rate (%)	Degree days of*** coolness (°C·day)	Accumulated (hour)	Rate (%)	Degree days of coolness (°C·day)
N. value****	.....	.....	.....	108.9	100.0	0.0
1982	5.18	100.0	14.3	144.2	132.4	15.8
1983	3.08	59.5	16.4	88.9	81.6	22.9

\* : Low temperature period : 1982 : June 21~July 3, 1983 : June 27~July 1 and July 7~July 13.

\*\* : Panicle formation time, heading time : 1982 : June 12, July 6 ; 1983 : June 19, July 13.

\*\*\* : Degree days of coolness :  $Q = \sum (20 - T)$ , T : daily mean air temperature (°C).

\*\*\*\* : N. value : Normal value is the average from 1974 to 1983 in Daizenno-cho Chiba, Chiba.

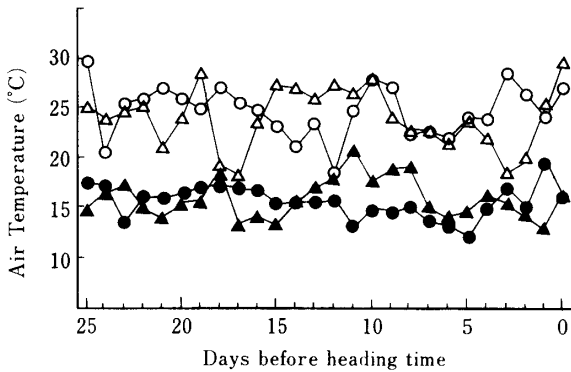


Fig. 1. Maximum and minimum temperatures in 1982 and 1983.

○—○ : Maximum temp. in 1982,  
●—● : Minimum temp. in 1982,  
△—△ : Maximum temp. in 1983,  
▲—▲ : Minimum temp. in 1983.

手植え，基肥窒素成分量 8 kg/10 a，穂肥同 3 kg/10 a)において，圃場の西側畦畔沿いの稲株で，同一株内の畦畔側と圃場側で不稔歩合が明らかに異なる早生品種が多く観察された。そこで，数種の品種・系統を出穂後 3 週間に，3 株ずつ抜取り，稲株を畦畔側と圃場側に 2 分し，不稔歩合を調査した。

気象条件と生育

1. 1982 年 : 移植後から 6 月中旬までの日平均気温は平年より 2~3°C 高く推移した。その後，幼穂形成期から出穂期までは，日平均気温の平均値が平年に比べ 2.3°C 低い 20.2°C，冷却度<sup>22)</sup> 15.8°C・日の低温となり供試水稻に障害不稔が多発した。また，日照時間は平年の 132.4% であった (第 1 図，第 1 表)。この期間の障害不稔の発生要因となった低温は出穂前 16 日から出穂前 3 日に襲来し，日平均気温の平均が 19.1°C，最低気温の平均が 14.9°C，

冷却度が 14.3°C・日であった。1 日当たりの日照時間は 5.18 時間と多く，晴冷型の冷害年であった。また，低温時には，北東の風が吹くのが通常であったが，この年は日中に 4~5 m/s の南風が吹いた。出穂後も成熟期まで低温傾向が続き，日照時間は一転して平年の 50% 程度の寡照となった。

2. 1983 年 : 移植後から 5 月下旬までの日平均気温は平年よりやや高く推移し，その後はやや低く，供試水稻は短草多げつの生育となった。幼穂形成期から出穂期には，日平均気温の平均値が平年に比べ 2.5°C 低い 20.0°C，冷却度 19.9°C・日の低温となり，供試水稻に障害不稔が多発した。また，日照時間は平年の 61.6% であった。この期間の障害不稔の発生要因となった低温は，出穂前 17 日から出穂前 13 日および出穂前 7 日から出穂前 1 日に襲来し，日平均気温の平均が 18.9°C，最低気温の平均が 14.7°C，冷却度が 16.4°C・日であった。また，1 日当たりの日照時間は 3.08 時間と少なく，本県に発生が多い曇雨天型の冷害年であった。出穂後から成熟期までの日平均気温は平年並からやや高く，日照時間は，前半の 10 日間は平年の 35% と寡照で，その後はほぼ平年並であった。

結果と考察

1. 基肥窒素施用量と障害不稔

(1) 生育，収量および障害不稔の発生程度

1982 年 (晴冷型冷害年) の最高茎数，穂数，籽数は 1983 年 (曇雨天型冷害年) に比べやや劣った (第 2 表)。このような差が生じたのは，1982 年は移植後の高温で生育が促進され，栄養生長期が 1 週間程度短縮され，生育量がやや少なかったことによる。

Table 2. Effect of the amount of basally applied nitrogen on the growth and yield of paddy rice plants.

Year	Amount of nitrogen (kg/10 a)	No. of* tillers (/m <sup>2</sup> )	Culm length (cm)	No. of ears (/m <sup>2</sup> )	No. of grains (/m <sup>2</sup> )	Total D.W (g/m <sup>2</sup> )	Unhulled rice yield (g/m <sup>2</sup> )	Ripened grains (%)	Sterile grains (%)
1982	5	582	55	426	22152	847	330.9	50.3	40.4
	8	697	57	455	25389	898	326.9	42.8	46.9
	11	773	58	460	26174	984	310.1	34.8	55.8
	14	924	63	539	34873	1122	254.0	18.9	64.7
	17	950	64	564	36096	897	245.8	64.0	64.0
1983	5	713	52	468	23821	643	218.0	32.4	58.5
	8	831	55	517	26884	783	247.0	30.6	60.0
	11	898	56	567	29371	784	257.0	32.0	63.5
	14	1012	59	615	35486	885	286.0	26.3	64.5
	17	1008	63	678	42714	967	260.0	17.8	76.0

\* No. of tillers: Number of maximum tillers.

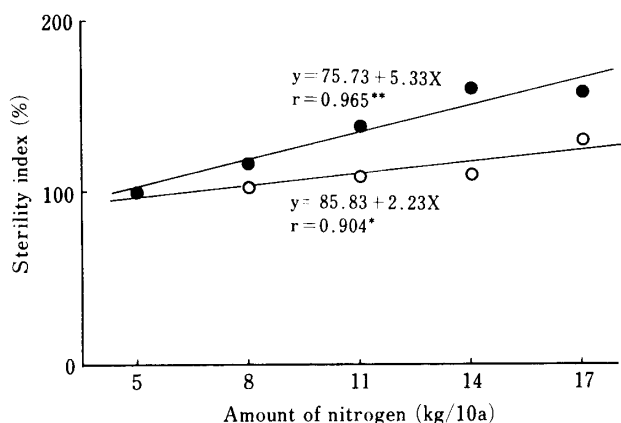


Fig. 2. Relationship between the amount of nitrogen applied as basal dressing and sterility index.

●—●: 1982, ○—○: 1983.

Sterility index was calculated by taking the sterility of 5 kg/10 a nitrogen application as 100.

不稔歩合は、晴冷型冷害年では基肥窒素施用量が5~8 kg/10 a で、通常の約5倍に相当する40%程度であったが、基肥窒素施用量の増加に伴い高くなり、14~17 kg/10 a では約65%となった。一方、曇雨天型冷害年では、基肥窒素施用量の増加に伴い、不稔歩合はやや増加する傾向がみられるが、5~14 kg/10 a では約60%、17 kg/10 a では約75%であった。

また、粗粃収量は、晴冷型冷害年では基肥窒素施用量が多くなるほど低下し、曇雨天型冷害年では、11 kg/10 a までは基肥窒素施用量の増加に伴い、増加する傾向がみられ、それ以上の施用量では停滞もしくは低下した。なお、基肥窒素施用量14~17 kg/10 a で、曇雨天型冷害年の粗粃収量は晴冷型冷

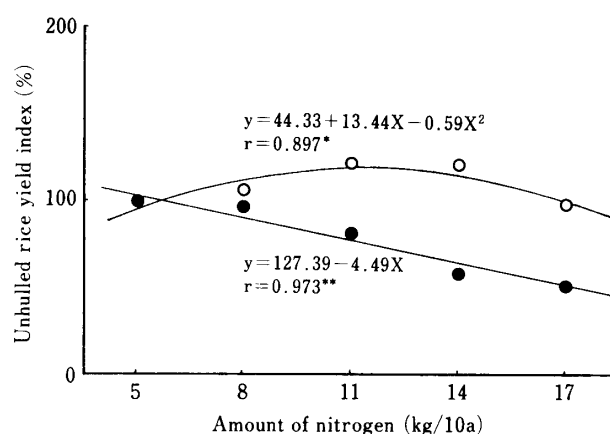


Fig. 3. Relationship between the amount of nitrogen applied as basal dressing and unhulled rice yield index.

Symbols show the same as in Fig. 2.

Unhulled rice yield index was calculated by taking the unhulled rice yield of the plot which was applied 5 kg/10 a nitrogen basally as 100.

害年を上回ったが、これは穂数の増加による粃数増と前述した出穂後の気象条件の違いによる登熟の向上によると推定される。

不稔発生の多少は低温襲来時の水稻の生育ステージ、低温の規模で大きく左右される<sup>11,18)</sup>。また、収量は栄養生長期間の生育にも影響される。前述したように、両年では低温襲来時の生育ステージ、冷却度で示した低温の規模が異なった。このため、両年の障害不稔の発生程度や収量を直接比較し、日照時間の多少と不稔発生や収量との関係を検討することは不適當である。そこで、両年の窒素施用量5 kg/10 a の値を基準にして、不稔歩合および登熟粃数を指数化して図示した(第2~3図)。

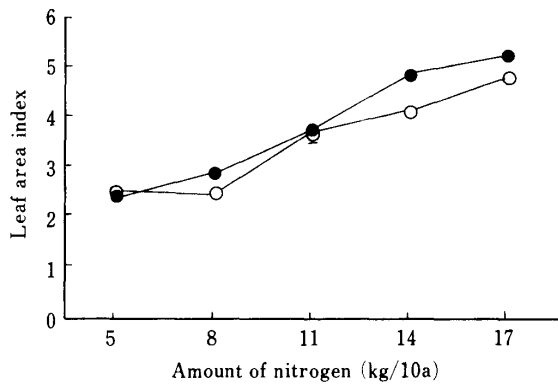


Fig. 4. Relationship between the amount of nitrogen applied as basal dressing and the leaf area index at the most sensitive stage to cool temperature. Symbols show the same as in Fig. 2. Vertical bars show standard errors (n=4).

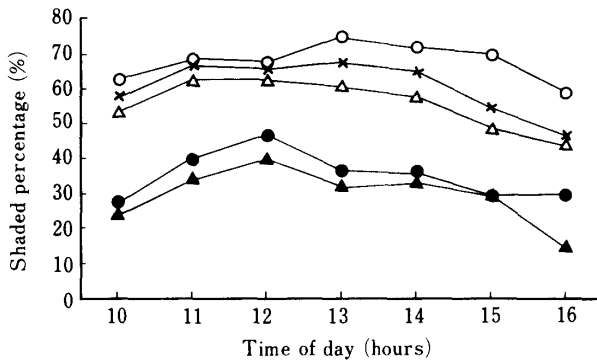


Fig. 5. Relationship between the amount of nitrogen applied as basal dressing and the percentage of shading in the space between rows at 15 cm above the soil surface on June 29, 1982. ○—○, ×—×, △—△, ●—●, ▲—▲: 5, 8, 11, 14 and 17 kg/10 a of nitrogen applied as basal dressing respectively.

これらによると、晴冷型冷害年、曇雨天型冷害年いずれでも、不稔歩合指数は窒素施用量の増加に伴い、直線的に高まる傾向がみられた。しかし、その傾向は晴冷型冷害年で大きいことが認められた。このことから、基肥窒素施用量が障害不稔の発生に及ぼす影響は低温時の日照条件で大きく左右されることが推察された。

また、晴冷型冷害年では、基肥窒素施用量の増加に伴い完全収量指数は直線的に低下した。これに対し、曇雨天型冷害年では、基肥窒素施用量と完全収量指数の関係は二次曲線で示され、完全収量指数は施用量約 11 kg/10 a を分岐点とし、それより少ない施用量の範囲では施用量の増加に伴い増加し、それより多い施用量の範囲では低下した。

基肥窒素施用量と完全収量指数にこのような関

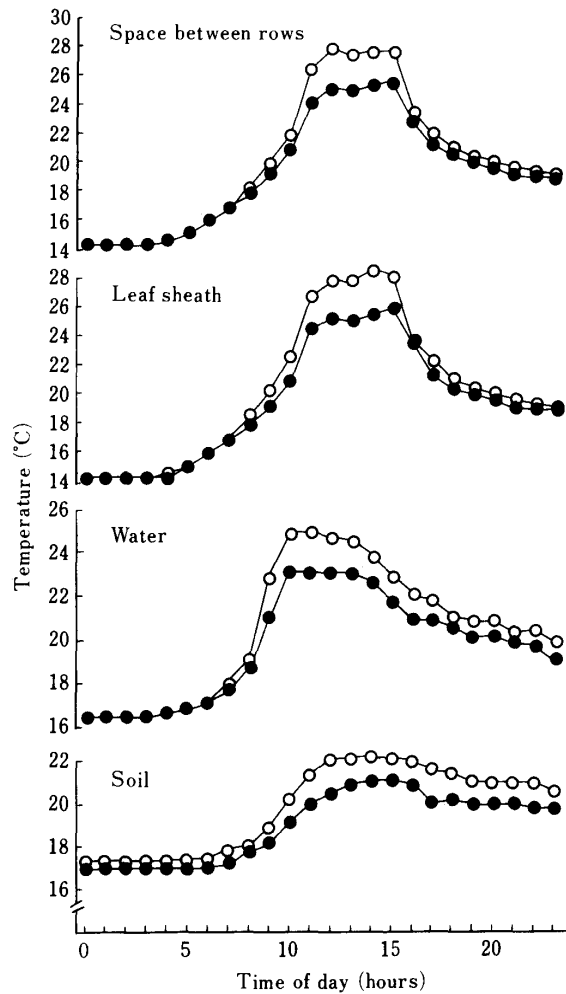


Fig. 6. Time course of temperatures among the space between rows at 15 cm above the soil surface, inside leaf sheath at 15 cm above the soil surface, water at 1 cm above the soil surface and soil at 5 cm under the soil surface (June 29, 1982. Sunshine hours: 11.7). The amount of nitrogen applied as basal dressing: ○—○: 5kg/10a, ●—●: 17kg/10a.

係がみられるのは、晴冷型冷害年では、完全収量指数より不稔歩合（登熟歩合）に強く左右され、曇雨天型冷害年では、収量分岐点を境に、基肥窒素施用量約 11 kg/10 a 以下の場合、収量指数の影響が強く、約 11 kg/10 a 以上の場合、不稔歩合の影響が強くなったためと思われる。

(2) 基肥窒素施用量と微気象

基肥窒素施用量の増加に伴う障害不稔の増加程度が、低温時の日照の多少で異なることが認められた。そこで、その要因を明らかにするため、基肥窒素施用量が水稻群落の微気象に与える影響を検討した。

両年の基肥窒素施用量と低温感受性期頃の葉面積

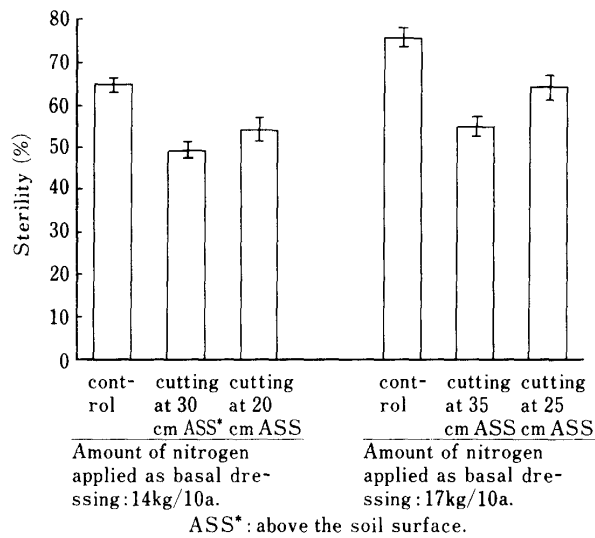


Fig. 7. Effect of the cutting of the leaves on the percentage of sterility in 1983.

Vertical bars show standard errors (n=3).

指数との関係を第4図に示した。また、それぞれの水稻群落の田面上15 cm (冷温感受性期頃の幼穂の高さ)の畦間遮光率を第5図に示した。なお、データは日照時間が11.7時間あった1982年6月29日の調査である。これらによると、基肥窒素施用量が多くなるほど、繁茂量が多くなり、それに伴い畦間遮光率は高くなって、受光態勢が悪化した。

基肥窒素施用量と水稻群落の温度(田面上15 cmの畦間気温、田面上15 cmの葉鞘内温度、水温、地温)推移を、畦間遮光率の調査日と同一の1982年6月29日のデータで第6図に示した。なお、基肥窒素施用量との関係を鮮明に示すため、窒素施用量の差が最も大きい5 kg/10 aと17 kg/10 aデータを用いた。これによると、受光態勢の良好な基肥窒素施用量5 kg/10 a区は17 kg/10 aに比べ、午前11時から午後3時までの約4時間、畦間気温および葉鞘内温度は2~3°C高く、水温、地温は1.5~2°C高く推移した。なお、低下速度が小さい水温、地温の昇温効果は、千葉<sup>3)</sup>の報告と同様、翌日の午前中まで持続した。一方、データは示さなかったが、曇雨天日では畦間気温、葉鞘内温度に差はなく、水温、地温も前日の影響が残った場合を除き、大きな差はなかった。

このように、晴天下では受光態勢の良否が冷温感受性期水稻の幼穂付近の微気象や水温、地温に大きく関与することが明らかとなった。

低温による障害不稔の発生程度が、温度とその持続時間に左右されることは一般的に知られてい

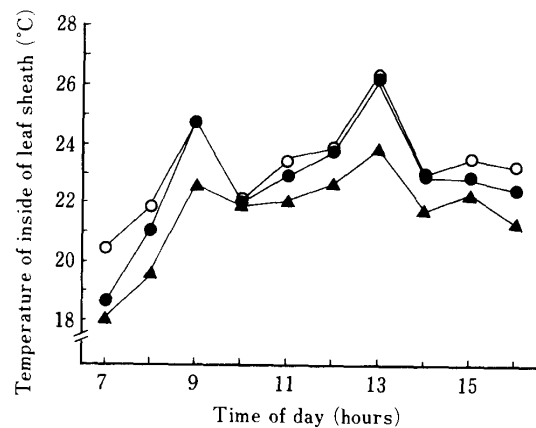


Fig. 8. Effect of the cutting of leaves at 25 cm and 35 cm above the soil surface on the temperature of inside sheath at 15 cm above the soil surface (June 30, 1983. Sunshine hours: 6.0).

Amount of nitrogen applied as basal dressing: 17 kg/10 a.

▲—▲: Control, ●—●: Cutting at 35 cm above the soil surface, ○—○: Cutting at 25 cm above the soil surface.

る<sup>16,22)</sup>。したがって、低温襲来時に数時間でも畦間気温や葉鞘内温度が2~3°C高く維持されることは、障害不稔の発生程度に大きく影響すると考えられる。

## 2. 剪葉処理と障害不稔

剪葉処理によって、冷温感受性期の受光態勢を変えた場合、障害不稔の発生程度がどう変化するかを第7図に示した。また、その際の葉鞘内温度がどのような推移を辿るかを、日照時間が6時間あった1983年6月30日のデータで第8図に示した。これらによると、基肥窒素施用量14, 17 kg/10 a いずれでも、剪葉処理による障害不稔の発生は減少した。

剪葉処理によって、日中の葉鞘内温度は無処理区より1~2°C高く推移した。また、剪葉処理区では、剪葉位置が低い(剪葉程度が大きい)方が朝夕とも2時間程度やや高く推移した。なお、曇雨天日および夜間は無処理区とほとんど差がなく推移した。

以上のように、受光態勢を強制的に改善すると、水稻群落の各部位の温度は日射とともに上昇し、障害不稔を低下させることが明らかとなった。したがって、これまで推定したように、窒素の多量施用は葉面積を増大させる結果、受光態勢が悪化し、水稻群落内の畦間気温、葉鞘内温度、水温、地温の上昇を妨げて、障害不稔を増加させると判断される。

なお、この剪葉処理で、基肥窒素施用量14 kg,

Table 3. Relationship between the position of hill in the field and the sterility due to cool weather.

Side	Row from the levee		
	1 st	2 nd	5 th
East	100	164 ± 15	206 ± 21 (n=7)
West	100	152 ± 15	161 ± 18 (n=8)
South	100	81	73 (n=1)
North	100	115	116 (n=1)

Values in the table show the mean ratio of sterility with standard errors, by taking the sterility of the first hill from the levee as 100.

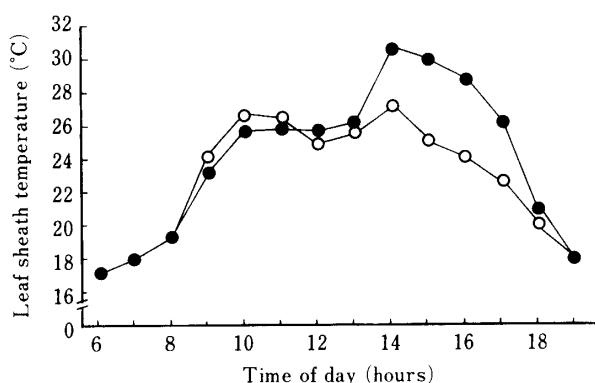


Fig. 9. Relationship between the location of hills in the field and time course of leaf sheath temperature at 15 cm above the soil surface at the booting stage (July 3, 1982. Sunshine hours: 9.1).

●—●: The first furrow from levee,  
○—○: The third furrow from levee.

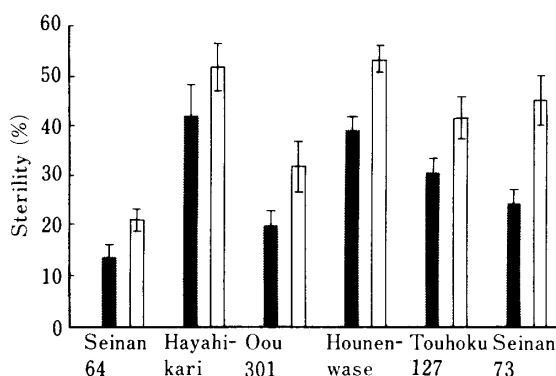


Fig. 10. Difference of sterility between the panicles at the side facing levee and panicles at the opposite side in same hill, in the nearest row to levee at the west side of paddy field in 1982.

■ : panicles at the side facing levee.  
□ : panicles at the opposite side.  
Vertical bars show standard errors (n=3).

17 kg/10 a いずれにおいても、剪葉程度が大きい試験区で、障害不稔の発生がやや増加する傾向がみら

れた。これは冷温感受性期の稲体の養分条件が障害不稔の発生に影響している<sup>5,6,8)</sup>ためと思われる。

### 3. 圃場内の障害不稔の発生分布

#### (1) 圃場における稲株の位置と障害不稔

晴冷型冷害であった1982年に、圃場内の稲株の位置と障害不稔の関係について調査した結果を第3表に示した。稲株の畦畔からの距離と障害不稔の関係をみると、畦畔沿いの株（一番外側の株）は南側を除き、最も不稔歩合は低い。また、東西側の畦畔では、稲株が圃場内部に位置するほど不稔歩合が高くなる傾向を示した。北側の畦畔では、畦畔沿いの株の不稔歩合が最も低かったが、2株目でも畦畔沿いの株とあまり大きな差はなかった。また、南側の畦畔では、不稔発生傾向が他の方位と大きく異なり、圃場内に入るほど不稔歩合は低くなった。多照条件下の低温ではあったが、日中に4~5 m/sの冷たい南風が吹き、幼穂近辺を含む稲体全体が冷却されたためと推察された。このことから、冷風による稲体の冷却を緩和する目的で、北海道や青森県などで推奨されている防風ネットによる障害不稔の軽減対策<sup>2,19,24)</sup>を、温暖地早期栽培でも今後検討に値すると思われる。

多照条件下での低温では、稲株の圃場内での位置によって、不稔発生程度が異なることが明らかとなった。その要因を明らかにするため、西側畦畔における畦畔沿いの株と畦畔から3株目の株の田面上15 cmの葉鞘内温度の推移を、日照が9.1時間あった1982年7月3日に測定した結果を第9図に示した。これによると、午前中は圃場内部の株がやや高く推移した。しかし、午後になり西日が当たり始めてからは、畦畔沿いの株の葉鞘内温度が4~5°C高く推移した。なお、夜温が低い場合でも、日中の温度が高くなると、夜間の低温が不稔発生に及ぼす影響はかなり解消されることが明らかにされている<sup>15,16)</sup>。したがって、畦畔沿いの稲株では夜間の15°C前後の低温の影響が日射でかなり解消されたと推定される。

このように、直射日光による葉鞘内の昇温効果は大きく、水稻の受光態勢が不稔発生に及ぼす影響も大きいことがこのデータからも推察される。

#### (2) 同一株での不稔発生の相違

圃場の西側畦畔沿いの同一株で、畦畔側および圃場内部側の穂に2分した場合の登熟歩合を第10図に示した。これによると、いずれの品種・系統でも午後から夕方まで直射日光が当たる畦畔側は、圃場

内側より不稔歩合が明らかに低いことが認められる。

前項の圃場における稲株の位置別の調査で、直射日光が当たる畦畔側ほど不稔歩合が低いことを指摘した。同じ株の穂でも同様の関係が認められることは、障害不稔の発生程度が直射日光を受ける時間の長短と密接な関係があることを示す現象といえる。

### 総合考察

基肥窒素施用量と障害型冷害の関係については多くの実験例があり、基肥窒素施用量が多いと、障害型冷害の被害程度は増大する<sup>9,10)</sup>。しかし、佐竹<sup>12)</sup>は、ファイトトロンを用いた試験では、窒素施用量と障害不稔に、このような明確な関係は得られなかったと述べている。また、渡部ら<sup>23)</sup>もポット栽培した水稻で同様の試験を行い、基肥窒素の増施は不稔歩合を高めるが、それ以上に籾数を増加させ、最終的な精籾収量は多くなることを認めた。ただし、佐竹<sup>12)</sup>は、現実の冷害では窒素施用量が多いと障害不稔が多くなっている事実も指摘し、ファイトトロンの実験では、ポット栽培した水稻を用い、個体として管理するため、窒素増施による繁茂度、地温、水温などの変化が見逃されるが、圃場レベルではこれらが障害不稔の発生程度となんらかの関連があるのではないかと推察している。また、高館ら<sup>17)</sup>はファイトトロンの実験で、直射日光がイネを栽培しているポットの地温、水温を高めて、障害不稔の発生程度に影響を及ぼすことを認め、ファイトトロンを利用した耐冷性検定では、直射日光の影響を排除するため寒紗で覆うことを提唱している。このように、窒素施用量を多くすることは障害型冷害の被害を助長するとされている中で、試験条件や気象条件によっては、窒素施用量の不稔発生に及ぼす影響は異なるとの推論はいくつかあった。

今回、1982年、'83年の日照条件の異なる低温下での障害型冷害で、基肥窒素施用量の影響を検討した結果、障害不稔の発生に与える影響は日照の多少によって異なることが認められた。すなわち、基肥窒素施用量の増加が障害型冷害を助長する要因として、過繁茂による相互遮蔽が、稲を取り巻く畦間気温、葉鞘内温度、水温、地温の昇温を阻害すること、および受光態勢の悪化に伴ってイネの体質が低下することが推定された。

鳥山や<sup>20)</sup>は、東北地方の1980年の冷夏における障害型冷害の被害程度を内島<sup>22)</sup>の提唱した冷却量

に準じて、5地帯に地帯区分できることを明らかにした。その中で同程度の冷却量でも日照時数の多少で、障害不稔の発生が大きく異なることを指摘している。更に、その要因を明らかにするため、植物気象モデルによるシュミレーションを行い、日射量の差が水稻群落内の微気象に差をもたらし、その結果、障害不稔の発生が異なることを明らかにした<sup>21)</sup>。また、北海道の上川盆地、東北地方の津軽盆地や会津盆地は、オホーツク海高気圧に起因する偏東風に伴う高度の低い雲が脊梁山脈にさえぎられ、晴冷型の気象が発生し易い。そのため穂ばらみ期が同程度の低温でも、日射によって障害不稔の発生は比較的少なく、被害が軽微であると報告している<sup>21)</sup>。

このように、障害不稔の発生に及ぼす日射の影響は極めて重要で、日射が差し込む時間帯に、基肥窒素用量や稲株の圃場内位置の違いで、幼穂を取り巻く温度が2~3°C高くなることは障害不稔発生軽減に結び付くと言える。同じ基肥窒素施用量のイネを供試した剪葉処理で、実験的に受光量を増加させた場合でも、障害不稔の発生が少なくなることはこれらの推論を裏付ける事実の一つと考えられる。

同じ剪葉処理において、剪葉程度が大きくなると、障害不稔が再び増加に転じる傾向を示すのは、前述したように、剪葉によって、光合成の低下とともに稲体から切除される養分が多すぎる結果と考えられる。したがって、障害不稔の発生を高める窒素の多量施用は、本報で検討した水稻群落内の各部位の昇温阻害、葉身窒素濃度の増加<sup>1,13)</sup>、過繁茂に伴う光合成の低下に起因する澱粉・糖含有率の低下やC-N率の低下に代表される稲の体質低下<sup>6,14)</sup>などが複合した結果と考えられる。

受光態勢の悪化は水温、地温の昇温阻害ももたらした。西山ら<sup>7)</sup>によれば、穂ばらみ期に限定した低温の場合、穂のみが感受性であるとされている。しかし、その後の佐竹ら<sup>13,14)</sup>の研究により、前歴水温の高低が穂ばらみ期の障害不稔の発生に大きく影響することが明らかにされた。したがって、水温、地温の昇温阻害も不稔発生を助長する要因になっている可能性が推定される。また、山本ら<sup>25,26)</sup>によると、栄養生長期の溢泌液量と穂ばらみ期の耐冷性に正の相関があるとされ、水温、地温の昇温阻害は根の生理活性の低下などで間接的に障害不稔を増加させている可能性も考えられる。この点については、今後の研究によりさらに明らかにされると思



われる。

**謝辞** 本研究の取りまとめに際し、東京農業大学農学部拓殖学科太田保夫教授に、有益な御助言および原稿の御校閲を戴いた。ここに記して深謝する。

### 引用文献

1. 天野高久・森脇良三郎 1984. 水稻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.
2. 穴水孝道・小野清治 1971. 寒冷紗による防風垣資材の防風保温効果について. 青森農試研報 16:25-33.
3. 千葉 豪 1964. 水田水温の物理的研究. 北海道農試研報 64:1-50.
4. 林 政衛 1961. 稲の早期栽培と早植栽培, 養賢堂, 東京. 18-71.
5. Ito, N. 1976. Male sterility caused by cooling treatment at the young microspore stage in rice plants. XV. Effect of moderate cooling before or after the critical stage on the sterility induced by cooling at the critical stage. Proc. Crop Sci. Soc. Japan. 54:558-562.
6. 松崎昭夫・松島省三 1971. 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 40:519-523.
7. 西山岩男・伊藤延男・早瀬広司・佐竹徹夫 1969. 水稻の障害型冷害防止に対する水温および水深の効果. 日作紀 38:554-555.
8. ———— 1978. 古くて新しい問題 “冷害”. 科学 48:766-773.
9. 佐々木一男・前田 博・和田 定 1973. イネの減数分裂期の不稔発生に及ぼす窒素と温度の影響. 北農 40(9):1-7.
10. ———— ・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.
11. Satake, T. and H. Hayase 1970. Male sterility caused by cooling treatment at the young microspore stage in rice plants V. Estimations of pollen developmental stage and the most sensitive stage to coolness. Proc. Crop Sci. Soc. Japan. 39:468-473.
12. 佐竹徹夫 1971. 障害型冷害におけるイネの雄性不稔(2). 農及園 46:1675-1680.
13. Satake, T., S.Y. Lee and S. Koike 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. Proc. Crop Sci. Soc. Japan. 56:404-410.
14. ————, ————, ———— and K. Kariya 1988. Male sterility caused by cooling treatment at the young microspore stage in rice plants XXVIII. Prevention of cool injury with the newly devised water management practices—effects of the temperature and depth of water before the critical stage. Proc. Crop Sci. Soc. Japan. 57:234-241.
15. 島崎佳郎・佐竹徹夫・渡辺 潔・伊藤延男 1964. 穂孕期の昼夜温ならびに遮光処理が不稔粒発生におよぼす影響 水稻冷害の解析的研究 V. 北海道農試彙集 83:10-16.
16. 柴田和博・佐々木一男・島崎佳郎 1970. 時期別の気温・水温が水稻の生育に及ぼす影響. 第1報 昼夜別気温・水温および処理日数と不稔歩合との関係. 日作紀 39:401-408.
17. 高館正男・浪岡 実・佐藤尚雄・金沢俊光・中川宣興・小山田善三 1976. 水稻冷害の実際的研究 第46報 人工気象室におけるイネの低温処理時のポット水温, 葉鞘内温度に及ぼす日射の影響. 東北の農業気象 21:29-32.
18. 田中 稔 1962. 水稻の冷水並びに出穂遅延障害に関する研究. 青森農試研報 7:1-107.
19. 泊 功・石黒忠之・藤原 忠 1980. 防風施設による冷害気象改善に関する研究. 北海道農試研報 127:31-76.
20. 鳥山國士・斉藤 滋・東 正昭 1983. 水稻の障害型冷害危険度による東北地方の地帯区分. 日作紀 52:28-33.
21. ———— ・井上君夫 1984. イネの冷温による障害型不稔に及ぼす微気象要因のシュミレーションによる解析. 日作紀 53:387-395.
22. 内島立郎 1976. 冷温条件と水稻の不稔発生との関係についての一考察. 農業気象 31:199-202.
23. 渡部富男・武市義雄 1981. 水稻の障害型冷害に関する調査研究 第4報 基肥三要素の影響について. 千葉農試研報 22:71-77.
24. 横田廉一・高橋英紀 1972. 寒冷紗を使用した場合の防風施設の効果 第3報 水田における防風垣内外の微気象. 北海道の農業気象 19:17-21.
25. 山本隆一・久保田田鶴子・大内邦夫・浜村邦夫 1982. 異なる温度条件下における水稻の溢泌液量の品種間差異. 育作北海道談話会報 22:15.
26. ———— ・————— ・————— ・————— 1982. 水稻耐冷性と溢泌液量との関係. 育作北海道談話会報 22:16.