

## 早期栽培地帯における水稲障害型冷害に関する研究

### 第2報 施肥法による被害軽減対策\*

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** : 水稲の障害型冷害に強い施肥法を開発するため、圃場試験において、標準施肥にリン酸、加里、堆肥などを加えた基肥施肥法による耐冷性の変化と受光態勢との関係および通常年での深層追肥栽培法の耐冷性向上効果を検討した。

(1) 標準施肥にリン酸 6 kg/10 a や溶リン 60 kg/10 a ・珪酸カルシウム 20 kg/10 a の加用は堆肥との組み合わせで(多窒素条件)耐冷性向上に有効であった。すなわち、リン酸の増施は低温下での多窒素の害作用を軽減する効果が認められた。リン酸の増施は葉面窒素濃度の低下→LAIの減少を促し、これが、「窒素増施→LAIの増加→畦間遮光率の増加→水稲および周辺温度の昇温阻害→不稔の増加」の経路で、不稔軽減に作用するためと判断された。

(2) 通常気象条件での深層追肥栽培水稲は、葉面積に大差がなくても、畦間遮光率が小さく、受光態勢が良好で、幼穂を包んでいる位置の葉鞘表面温度が高く推移した。また、稲体窒素濃度は標準施肥栽培や多肥栽培より常に低く、葉鞘+稈の C-N 率は穂ばらみ期で標準施肥より低くなったが、それ以前は高く維持された。このような深層追肥栽培におけるイネの受光態勢の改善による稲体温度の上昇、前歴期間におけるイネの低窒素・高澱粉の成分組成は、穂ばらみ期の耐冷性向上に寄与すると推察された。

**キーワード** : C-N 率, 受光態勢, 障害型冷害, 深層追肥栽培, 早期栽培, 堆肥, 基肥施肥法, リン酸,

**Floral Impotency Due to Cool Weather in Paddy Rice Plants in the Early-Season Culture Area II. Countermeasure to the damage by fertilizer application : Tomio WATANABE and Yoshio TAKEICHI (Chiba Prefecture Agriculture Experimental Station, Chiba 280-02, Japan)**

**Abstract** : The present study was conducted to develop the basal fertilizer application methods which mitigate the damage due to cool weather at booting stage by investigating the relationships between the changes in cool tolerance and light-intercepting characteristics with the methods of fertilizer application as basal dressing adding phosphate, potash, compost and soil conditioning materials respectively to the standard basal fertilizer. And the effect of improvement against the cool tolerance on the topdressing to deeper layer culture was also investigated. The results are as follows. (1) The addition of 6 kg/10 a phosphate or 60 kg/10 a fused phosphate and 20 kg/10 a calcium silicate (soil conditioning materials) to the standard basal fertilizer had an effect on the improvement of cool tolerance in combination with addition of compost (heavy nitrogen applied condition), i. e. the increase of phosphate application had an effect on mitigating the injurious action of heavy nitrogen application against the cool tolerance. And it was judged that the increase of phosphate application promoted the reduction of leaf nitrogen content and leaf area index, and effected to decrease the sterility by the path of "Increase of nitrogen application→Increase of leaf area index→Increase of shaded percentage in the space of rice plants community→Obstruction of raising temperature at various points surrounding rice plants→Increase of the sterility" which discussed in our first report. (2) Under the ordinary weather condition, in spite of the rice plants in the topdressing to deeper layer culture was as large leaf area index as the standard fertilizer application, its shaded percentage in the space of rice plants community was smaller, and the light-intercepting characteristics maintained better, and the temperature of leaf sheath surface, in which the young panicle exists, raised higher than those in the heavy and standard fertilizer application. And nitrogen content of the rice plants was lower than the other applications at all times, and its C-N ratio in leaf sheath and culm before the booting stage maintained higher than the other applications although it was lower at the booting stage. From the above mentioned, the topdressing to deeper layer culture accelerates the cool weather resistance by improving the light-intercepting characteristics and the constitution of the rice plants.

**Key words** : C-N ratio, Compost, Cool-summer damage, Early-season culture, Light-intercepting characteristics, Methods of basal fertilizer application, Phosphate, Topdressing to deeper layer.

前報<sup>30)</sup>では、窒素施用量の増加は過繁茂を招い

て、受光態勢を悪化させ、相互遮蔽による畦間気温、葉鞘内温度、水温、地温の昇温を阻害することによって不稔発生を助長する可能性があることを明らかにした。すなわち、温暖地早期栽培では、障害型

\* 大要は第178回講演会(1989年10月)、第179回講演会(1985年4月)において発表。

\*\* 現在は千葉県植物防疫協会。

冷害による不稔発生程度は水稻の受光態勢に大きく影響されている。また、松崎ら<sup>12)</sup>、佐竹ら<sup>17)</sup>により、冷温感受性期におけるイネの体質は不稔発生程度を左右する重要な要因であることが明らかにされている。

本報ではこれらの結果を受け、冷害に強い施肥技術を開発するため、冷害の被害軽減効果があるとされているリン酸、加里、堆肥などの基肥施用量を変えて耐冷性の変化と受光態勢との関係および深層追肥栽培<sup>22)</sup>による受光態勢の改善効果を検討した。

### 材料と方法

**1. 基肥施肥法による軽減対策** 試験は1977年から1984年に、千葉市刈田子町・千葉県農試・水田作研究室の東西方向に2列に配置された1m<sup>2</sup>のライシメーターで、標準施肥にリン酸、加里、堆肥、土壌改良剤を上乗せする施肥法など8試験区で実施した(第1表)。耐倒伏性の極めて高い早生のハヤヒカリを供試し、毎年4月25日をめどに、栽植様式30×15cm・1株5本の稚苗手植えを行い、2区制で栽培した。なお、使用した促成稲わら堆肥は含水率65%、C/N比23.0の未熟に近い堆肥<sup>21)</sup>で、窒素含

有率は1.2%であった。

冷温感受性期に冷温とならなかった年は通常の生育、収量調査を実施した。冷温が襲来した1982、'83年には、更に、冷温感受性期頃(概ね葉耳間長が±0)に、1982年には葉面積と葉身窒素含有量、1983年には葉面積と葉身窒素含有量、更に畦間相対照度を携帯型照度計で調査した。

**2. 深層追肥栽培法と受光態勢** 試験は1984年に、茨城県つくば市・農業生物資源研究所・水田圃場で、標肥栽培(基肥窒素成分量6kg/10a、穂肥窒素成分量3kg/10a)、深層追肥栽培(基肥3kg/10a、穂肥6kg/10a)、多肥栽培(基肥9kg/10a、穂肥3kg/10a)の3試験区で実施した。リン酸、加里の施用量は10kg/10aとした。供試品種はアキヒカリで、5月17日に30×15cm・1株5本の稚苗手植えを行い、1区50m<sup>2</sup>の2区制で栽培した。

通常の生育、収量調査の他に、時期別に抜取りを行い、葉面積および乾物重を調査した。また、冷温感受性期頃に当たる7月21日(終日晴天)に、携帯型照度計で地表面上15cmの畦間相対照度を、赤外線温度計で葉鞘表面温度を測定した。更に、時期別に実施した抜取り株を用い、部位別の澱粉含有量

Table 1. Experimental treatments of basal fertilizer application.

Experimental plot	Methods of basal dressing (kg/10a)
1. Non-dressing	non-dressing
2. Standard	N:8, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> :10, K <sub>2</sub> O:10
3. Phosphate added	Plot 2+superphosphate of lime:6
4. Potash added	Plot 2+potassium chloride:6
5. Compost added	Plot 2+compost:1,000
6. Three times compost added	Plot 2+compost:3,000
7. Phosphate added to plot 6	Plot 6+superphosphate of lime:6
8. Total soil improvement	Plot 5+fused phosphate:60+calcium silicate:20

Table 2. 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****	.....	.....	.....	115.3	100.0	0.0
1982	5.18	100.0	14.3	115.2	99.9	13.3
1983	3.08	59.5	16.4	79.9	69.3	17.3

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

\*\* : Panicle formation time, heading time: 1982; 19. June, 14. July. 1983; 25. June, 20. July.

\*\*\* : 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.

と窒素含有量を測定した。澱粉の定量は F-キット（ペーリンガー・マンハイム・山之内）を用いる酵素法（HK/G 6 P 脱水素酵素法）<sup>27)</sup> で、窒素の定量はセミケルダール法で行った。

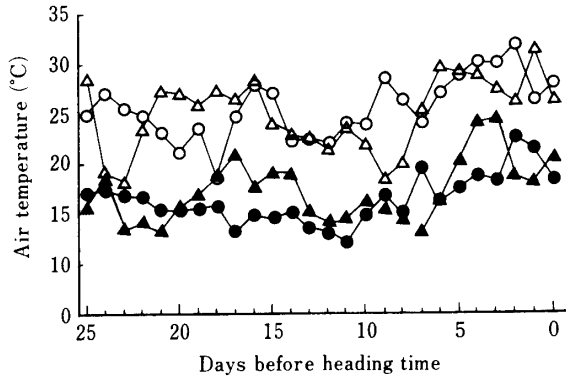


Fig. 1. Maximum and minimum temperatures in 1982 and 1983.

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

結 果

1. 基肥施肥法による軽減対策

1977年から'81年までの5か年間および1984年には、障害型冷害の発生はなかった。1982年には、

Table 4. Multiple regression analysis among the yield, number of grains and percentage of sterility.

Year	Factor	b	b'	t-value
1974~'81,	No. of grains	0.017	1.01	19.49***
1984:	sterility	-7.797	-0.22	-4.33***
ordinary	Const.	228.600		
weather				
years	R=0.954***	N=42	F=194.65**	
1982~'83:	No. of grains	0.009	0.73	3.55**
cool-	sterility	-6.198	-1.51	-7.33***
summer	Const.	419.380		
damage				
year	R=0.942***	N=14	F=43.66**	

\*\*, \*\*\*: 1%, 0.1% level significance.

Table 3. The growth and yield of paddy rice plants in different methods of basal fertilizer application.

Experimental plot	No. of tillers	Culm length	No. of ears	Total D.W.
	(/m <sup>2</sup> ) 1977~'84	(cm) '77~'84	(/m <sup>2</sup> ) '77~'84	(g/m <sup>2</sup> ) '77~'84
1. Non-dressing	13.2	52.6	9.9	631
2. Standard	28.1	61.0	18.2	1292
3. Phosphate added	30.4	61.2	18.5	1327
4. Potash added	29.1	61.9	19.0	1346
5. Compost added	32.6	64.1	20.5	1437
6. Three times compost added	32.4	66.3	21.0	1552
7. Phosphate added to plot 6	31.3	64.3	20.0	1412
8. Total soil improvement	29.5	62.8	18.9	1377
L.S.D (5%)	2.5	1.9	1.2	81

No. of paddy			Weight of whole grains			Percentage of sterility		
(/m <sup>2</sup> )			(g/m <sup>2</sup> )			(%)		
'77~'84	'77~'81, 84	'82~'83	'77~'84	'77~'81, 84	'82~'83	'77~'84	'77~'81, 84	'82~'83
12934	13117	12386	300	312	267	5.5	4.4	9.0
31546	32575	28459	661	705	530	11.0	7.4	21.6
32861	33195	31859	697	737	576	11.5	7.5	23.5
33229	34083	30667	690	743	532	12.4	7.3	27.8
36455	36363	36732	688	787	393	20.3	8.6	55.4
39299	38068	42995	731	829	438	20.6	6.8	61.9
35714	35512	36320	716	769	557	14.8	7.5	36.8
33154	33140	33196	681	746	487	14.7	6.1	40.6
2704	2444	9529	59	49	74	8.0	1.4	20.5

\*: 1977~'81, 1984: Ordinary weather year. 1982~'83: Cool-summer damage year.

\*\* : Values in the table show the average value of indicated years.

\*\*\* : L.S.D (5%) was calculated without Non-dressing plot.

幼穂形成期から出穂期の日平均気温の平均値が平年に比べ2.9°C低い21.0°Cの冷温となり、供試水稻に障害不稔が多発した。また、日照時間は平年の99.4%であった。障害不稔の発生要因となった冷温は出穂前23日から出穂前11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であった。1983年には、幼穂形成期から出穂期の日平均気温の平均値が平年に比べ2.7°C低い21.2°Cの冷温となり、供試水稻に障害不稔が多発した。また、日照時間は平年の69.3%であった。障害不稔の発生要因となった冷温は、出穂前23日から出穂前19日および出穂前13日から出穂前7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であった(第1図、第2表)。

生育、収量調査結果を試験期間8年間の平均値で第3表に示した。まお、m<sup>2</sup>当たり籾数、粗籾重および不稔歩合については障害型冷害の発生しなかった6年間および冷害年の2年間の平均値も示した。

基肥施肥法と収量との関係を粗籾重でみると、無肥料区を除いた分散分析結果から、試験期間を通しては、標準施肥区に比べ堆肥3トン単独加用区が有意に多収であった。通常年6か年では、堆肥を1トン、3トン単独で加えた2試験区および堆肥3トン・燐酸6kg加用区が有意に多収であった。また、冷害年2か年の収量は燐酸増施肥区と堆肥3トン・燐酸6kg加用区が多収の傾向を示し、通常年に多収となった堆肥単独加用の2試験区が有意に減収し、総合土壌改善区も減収の傾向を示した。

通常年、冷害年の粗籾重について、籾数、不稔歩合で重回帰分析を行った結果(第4表)、通常年、冷害年とも粗籾収量は籾数と不稔歩合で説明されるが、通常年では籾数が、冷害年では不稔歩合と籾数が支配要因であることが認められた。したがって、以下は冷害年の被害軽減対策を不稔歩合と籾数、特に、標準偏回帰係数の大きい不稔歩合に重点をおいて検討した。

冷害年の不稔歩合は標準施肥区に比較し、堆肥単独加用の2試験区が有意に増加し、堆肥が加用されている堆肥3トン・燐酸6kg加用区および総合土壌改善区も増加傾向を示した。また、燐酸増施肥区や加里増施肥区では標準施肥区との有意差は認められなかった。一方、堆肥3トン・燐酸6kg加用区の不稔歩合は堆肥3トン単独加用区に比較し有意に低下し、総合土壌改善区も堆肥1トン単独加用区に比較し低下する傾向が認められた。籾数は標準施肥区に比較

Table 5. The rate of nitrogen content in leaf blade and leaf area index at the booting stage in different methods of basal fertilizer application.

Experimental plot	Nitrogen Cont. (%)	LAI*
1. Non-dressing	2.10**	1.39
2. Standard	2.51	3.84
3. Phosphate added	2.44	3.37
4. Potash added	2.47	3.79
5. Compost added	2.63	5.02
6. 3 times compost added	2.68	5.64
7. Phosphate added to plot 6	2.56	4.58
8. Total soil improvement	2.61	4.76
L.S.D (5%)	0.09	0.78

\*: Leaf area index.

\*\* : Data indicated the average value of 1982 and '83.

し、無施肥区を除くいずれの試験区でも増加傾向を示し、なかでも堆肥3トン単独加用区が有意に増加した。なお、基肥施肥法による籾数の変化は茎数、穂数の増加にみられる初期生育の増大によるものであった(第3表)。

不稔発生と密接な関係がある穂ばらみ期の葉身窒素濃度および前報<sup>30)</sup>で不稔発生との関連が認められた葉面積指数を第5表に示した。これによると、葉身窒素濃度は標準施肥区に比較し、堆肥単独加用の2試験区および総合土壌改善区で有意に高く、燐酸増施肥区は低くなる傾向が認められた。なお、堆肥3トン・燐酸6kg加用区の葉身窒素濃度は堆肥3トン単独加用区に比較し有意に低下した。また、基肥施肥法による葉面積指数の変化は葉身窒素濃度の変化と同様の傾向を示し、標準施肥区に比較し、堆肥単独加用の2試験区および総合土壌改善区の葉面積指数は有意に増加し、燐酸増施肥区は減少する傾向が認められた。特に、堆肥1トン、3トン単独加用区の葉面積指数は顕著に増加した。なお、堆肥3トン・燐酸6kg加用区の葉面積指数は堆肥3トン単独加用区に比較し有意に減少した。

加里増施肥区の葉身窒素濃度および葉面積指数は標準施肥区と差が少なかった。

基肥施肥法による耐冷性の変化と受光態勢との関係を検討するため、1982年の葉面積指数、m<sup>2</sup>当たり籾数と不稔歩合の関係を第2~3図に示した。これらによると、葉面積と不稔歩合、m<sup>2</sup>当たり籾数と不稔歩合には高い正の相関が認められた。また、1983年の葉面積指数、遮光率、葉身窒素含有率、m<sup>2</sup>当たり籾数と不稔歩合の関係を第4~7図に示し

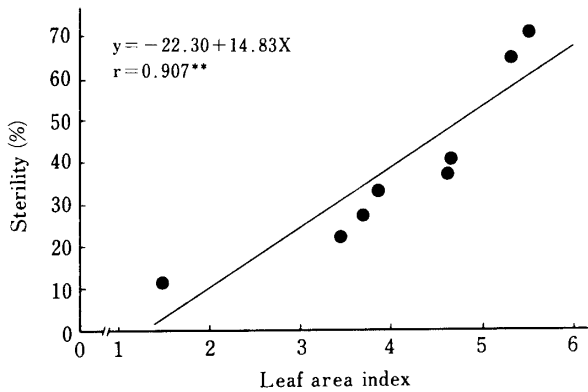


Fig. 2. Relationship between the leaf area index at the most sensitive stage to cool temperature and the percentage of sterility in 1982.

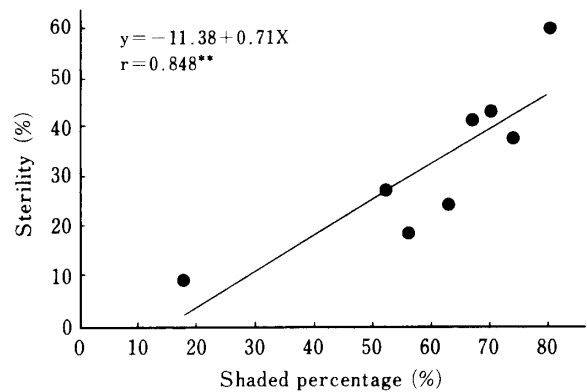


Fig. 5. Relationship between the shaded percentage in the space of rice plants community at 15 cm above the soil surface and the percentage of sterility in 1983.

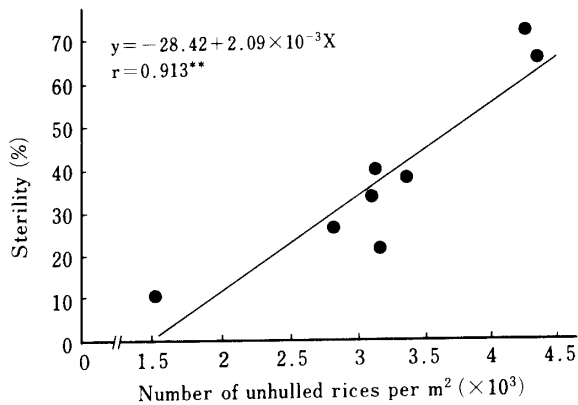


Fig. 3. Relationship between the number of unhulled rices per m<sup>2</sup> and the percentage of sterility in 1982.

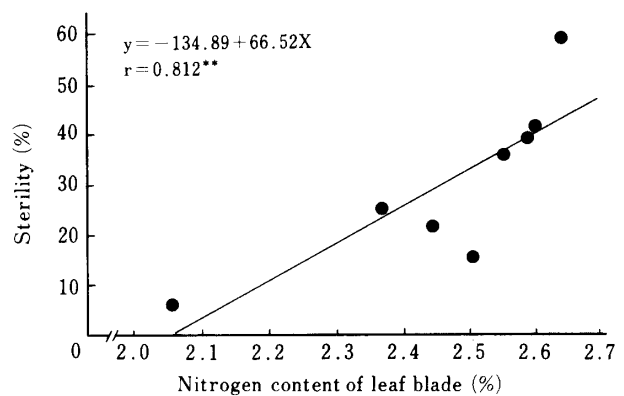


Fig. 6. Relationship between the nitrogen content of leaf blade at the most sensitive stage to cool temperature and the percentage of sterility in 1983.

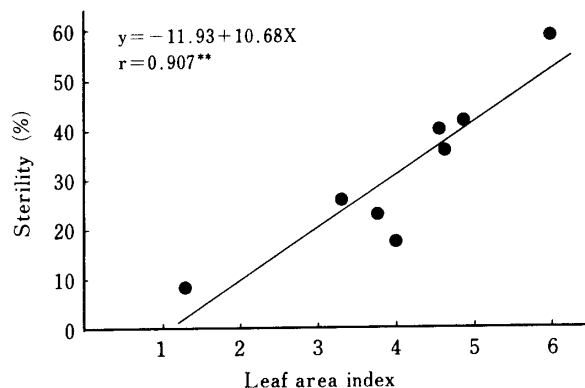


Fig. 4. Relationship between the leaf area index and the percentage of sterility in 1983.

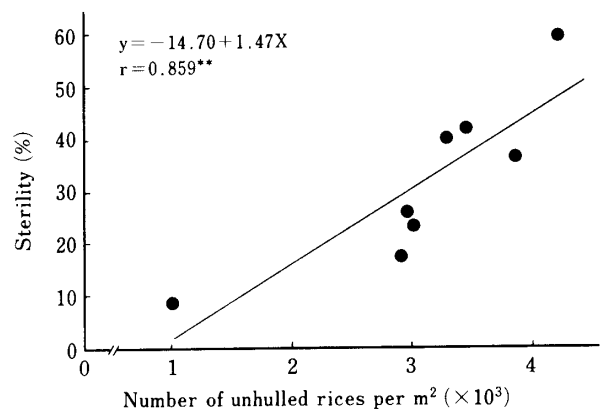


Fig. 7. Relationship between the number of unhulled rices per m<sup>2</sup> and the percentage of sterility in 1983.

た。これらによると、いずれの要因も不稔歩合とは正の相関関係が認められた。また、葉身窒素含有率と葉面積指数、遮光率の関係を第8～9図に示したが、これらにも正の相関関係が認められた。

## 2. 深層追肥栽培法と受光態勢

施肥法と草丈、茎数の推移を第6表に、葉面積指数の推移を第10図に示した。これらによると、当然のことながら、基肥窒素施用量の多い順に草丈は

高く、茎数は多く推移した。葉面積指数も同様の推移を示したが、深層追肥区では追肥の効果で、冷温感受性期頃には標準施肥区並となった。

冷温感受性期における畦間遮光率、葉鞘表面温度の推移を第11図に示した。これによると、深層追肥区の畦間遮光率は最も低く推移した。一方、葉鞘

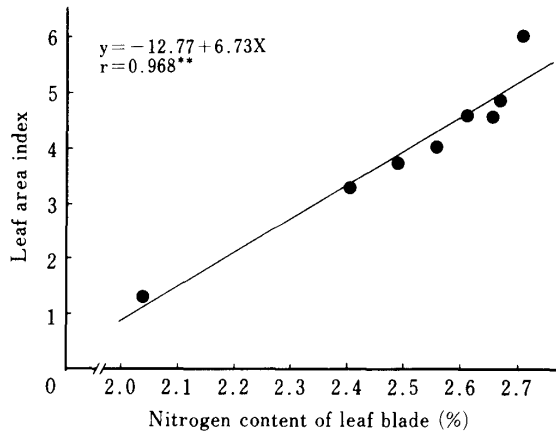


Fig. 8. Relationship between the nitrogen content of leaf blade at the most sensitive stage to cool temperature and the leaf area index in 1983.

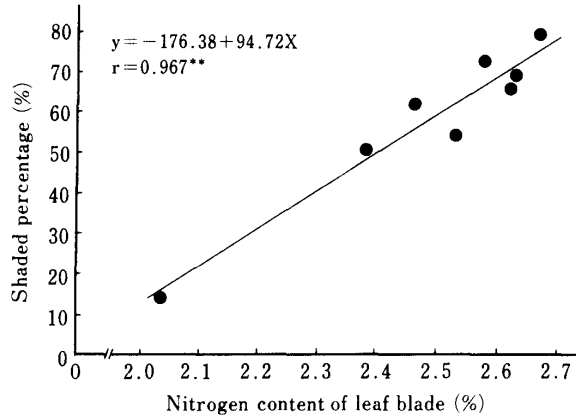


Fig. 9. Relationship between the nitrogen content of leaf blade at the most sensitive stage to cool temperature and the shaded percentage in the space of rice plants community at 15 cm above the soil surface in 1983.

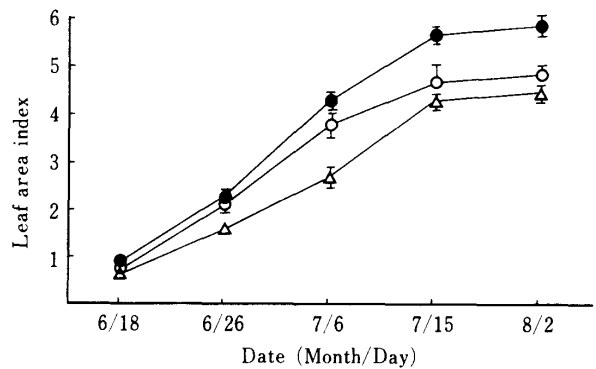


Fig. 10. Changes in the leaf area index in different methods of fertilizer application.   
 ○—○: standard fertilizing culture,   
 ●—●: heavy fertilizing culture,   
 △—△: top-dressing to deeper layer culture.   
 Vertical bars show standard errors (n=5).

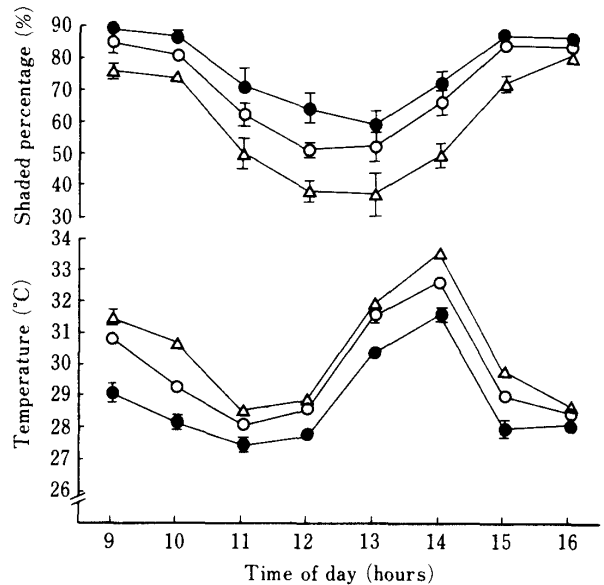


Fig. 11. Changes in the shaded percentage in the space of rice plants community and temperature of leaf sheath surface at 15 cm above the soil surface at the most sensitive stage to cool temperature in different methods of fertilizer application.   
 Vertical bars show standard errors (n=10).   
 Symbols show the same as in Fig. 10.

Table 6. Changes in the plant length and number of tillers in different methods of fertilizer application.

Fertilizer application	Amount of fertilizer (N kg/10a)		Plant length (cm)			No. of tillers (/m <sup>2</sup> )		
	basal dressing	top dressing	6/16	6/26	7/6	6/16	6/26	7/6
Standard fertilizing	6	3	36	51	62	352	595	603
Heavy fertilizing	9	3	36	51	63	390	630	630
Top dressing to deeper layer culture	3	6	35	46	55	323	505	505

Table 7. The rate of nitrogen content in leaf blade and stem at the booting stage in different methods of basal fertilizer application.

Fertilizer application	Amount of fertilizer (N kg/10a)		Leaf blade (%)				Leaf sheath and culm (%)			
	basal dressing	top dressing	6/18	6/26	7/6	7/15	6/18	6/26	7/6	7/15
Standard fertilizing	6	3	5.05	4.86	3.20	3.47	2.63	2.47	1.21	1.32
Heavy fertilizing	9	3	5.52	5.14	3.85	3.69	2.99	2.83	1.64	1.47
Top dressing to deeper layer culture	3	6	4.92	3.81	3.04	3.32	2.48	1.87	1.14	1.21

Table 8. Changes in the C-N ratio in leaf sheath and culm in different methods of basal fertilizer application.

Fertilizer application	Amount of fertilizer (N kg/10a)		Leaf sheath and culm (%)			
	basal dressing	top dressing	6/18	6/26	7/6	7/15
Standard fertilizing	6	3	2.6	1.2	11.4	13.9
Heavy fertilizing	9	3	2.6	1.2	6.8	5.9
Top dressing to deeper layer culture	3	6	3.2	37.4	14.0	10.2

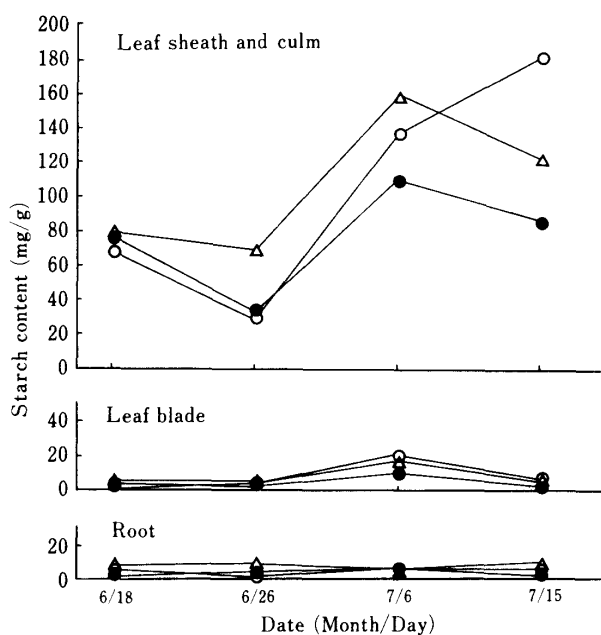


Fig. 12 Changes in the starch content in each organ in different methods of fertilizer application. Symbols show the same as in Fig. 10.

表面温度は逆に最も高く推移した。特に、太陽光線が斜めから水稻群落内に照射される午前9時から11時、午後2時から3時にかけての時間帯で1~2℃高く推移した。

時期別の稈+葉鞘、葉身および根の澱粉含有量の推移を第12図に、時期別の葉身と稈+葉鞘の窒素濃度を第7表に、時期別の稈+葉鞘のC-N率を第

8表に示した。これらによると、葉身と稈+葉鞘の窒素濃度は、いずれの時期でも多肥区>標準施肥区>深層追肥区で推移した。深層追肥区の葉身窒素濃度は標準施肥区に比較し、最高分けつ期頃で1%、幼穂形成期頃~穂ばらみ期頃で0.2%前後低く推移した。稈+葉鞘の澱粉含有量は、移植後1か月では施肥法による差は認められないが、最高分けつ期頃から幼穂形成期には深層追肥区が最も多くなった。しかし、穂ばらみ期頃の7月15日には減少し、多肥区より多かったが、標準施肥区より少なかった。葉身や根の澱粉含有量は、稈+葉鞘の10%程度と極めて少なく、施肥法間差はないと判断された。稈+葉鞘のC-N率は最高分けつ期頃から差が生じ、基肥の少ない深層追肥区では最高分けつ期頃が37.4と極めて高く、幼穂形成期頃も他の施肥法よりやや高かった。しかし、穂ばらみ期頃には追肥の影響で、標準施肥区よりやや低くなった。

生育および収量調査結果を第9表に示した。これによると、深層追肥区は基肥が少なかったことから出穂期が標準施肥区より1日、多肥区より2日早まった。1984年は生育前半は低温寡照に推移したが、幼穂形成期以降は好転し、特に、登熟期間は極めて多照に推移した。このため、障害型冷害の発生は認められなかった。玄米収量は登熟期間が多照であったことから、籾数が多いほど多収を示し、多肥区が

Table 9. The growth and yield of paddy rice plants in different methods of fertilizer application.

Fertilizer application	Amount of fertilizer (N kg/10a)		Heading time (M.D)	Culm length (cm)	Ear length (cm)	No. of ears (/m <sup>2</sup> )	Total D.W (g/m <sup>2</sup> )	Brown rice yield (g/m <sup>2</sup> )	1000 kernel weight (g)	Percentage of sterility (%)
	basal dressing	top dressing								
Standard fertilizing	6	3	7.30	81	18.6	411	148.4	61.1	20.7	6.8
Heavy fertilizing	9	3	7.31	84	18.7	454	157.3	64.7	20.5	9.5
Top dressing to deeper layer culture	3	6	7.29	82	19.5	414	142.6	62.7	21.3	8.2

最も多く、次いで深層追肥区であった。深層追肥区は、籾数が標準施肥区より少なかったが、玄米千粒重が重くなり、玄米収量は標準施肥区を上回った。

### 考 察

窒素レベルが標準的な場合には、本試験で検討した基肥施肥法のいずれも障害不稔を軽減する効果は認められなかった。なかでも堆肥の単独加用は明らかに障害不稔を増加させた。しかし、堆肥との組合せ（多窒素条件）での磷酸加用や溶磷・珪カルスの加用は障害不稔の軽減に有効であった（第3表）。

障害不稔に対する磷酸の施用効果についての報告はいくつかあるが、施用効果を肯定するもの<sup>15,18,28</sup>と否定するもの<sup>16,29</sup>があり、一定していない。柴田ら<sup>18</sup>は窒素多用条件下で磷酸施用効果を認め、佐々木ら<sup>15</sup>、渡部ら<sup>28</sup>も窒素との関連で磷酸施用効果を認めている。しかし、効果の発現要因はほとんど報告されていない。

前報<sup>30</sup>において、基肥窒素施用量の増加が不稔発生を助長する一つの経路として「窒素の増施→葉面積の増加→畦間遮光率の増加→畦間気温、葉鞘内温度、水温、地温などの低下→不稔増加」を明らかにした。1983年のデータをこのような立場から考察してみると、穂ばらみ期の葉身窒素濃度の増加は不稔発生を助長しており（第6図）、しかも、葉身窒素濃度と葉面積指数および畦間遮光率には一回帰直線で示される関係が存在している（第8、第9図）。これらの関係は基肥窒素施用量の増加が不稔発生を助長する一つの経路と良く合致する。したがって、多窒素条件下での磷酸加用や溶磷と珪カルスの加用が不稔発生を軽減した要因の一つに生育の抑制による受光態勢の改善があげられる。本試験で認められた過剰生育の抑制、葉身窒素濃度の低下、葉面積の過剰防止などの作用が磷酸の増施にあるとすれば、磷酸施用の不稔軽減効果の一因を説明できる。しかし、磷酸施用量と生育は比例的な関係にあると

るとする報告が多い<sup>3,5,19,20,31</sup>。したがって、多窒素条件での磷酸加用が生育を抑制した原因については今後の検討が必要である。

堆肥施用が冷害対策として有効な手段であるとした天野ら<sup>21</sup>は、堆肥の上乗せは基肥窒素施用量の増加を意味し、葉身窒素濃度を高めて、障害不稔を助長すると報告している。本実験の結果は不稔を増加させる点でこれと一致した。しかし、堆肥1トン、3トンの加用は葉身窒素濃度を高め、最高茎数や葉面積指数を増加させ、生育の過剰をもたらしたが、障害不稔が増加するとされる限界葉身窒素濃度3.0%<sup>11</sup>を超えるほどにはならなかった。この点については、供試品種、使用した堆肥の窒素含有量や穎花分化期追肥の窒素施用量（4 kg/10 aと本試験より1 kg/10 a 多い）などの違いが原因と考えられる。

実際の冷害年で、深層追肥栽培は全層施肥栽培に比較し、被害の少なかった事例が田中<sup>22,23,24,25</sup>によって数多く紹介されている。これらの事例は厳密な実証試験とはいえないが、それらの中で田中は、深層追肥栽培の耐冷性向上は有効茎歩合の向上、籾/藁・比の向上、直下根の増大などで表される健全な稲作り（体質向上）によるとしている。障害不稔の発生の多少にはイネの体質が影響するとする報告は伊藤ら<sup>4</sup>、清沢<sup>6</sup>、近藤<sup>7,8,9,10,11</sup>、松崎ら<sup>12</sup>、西山<sup>13</sup>、佐竹<sup>17</sup>など数多くある。しかし、深層追肥との関連での報告はほとんどない。ここでは、深層追肥栽培水稻の耐冷性向上を受光態勢とイネの成分組成の面から考察する。

深層追肥栽培の水稻は、最大葉面積は標準施肥並に確保されるが（第10図）、冷温感受性期頃の畦間遮光率は、多肥栽培や標準施肥栽培に比べ明らかに低い（第11図）。これは無効分けつの減少と深層追肥の肥効が発現する前に展開した第7～9葉の葉身が小さく、畦間を遮閉しないためと思われる。この受光態勢の改善には幼穂の包まれている位置の葉鞘



表面温度を晴れた日中に1~2°C高く維持する効果が認められる（第11図）。この葉鞘表面温度の上昇は、佐竹ら<sup>17)</sup>が明らかにした前歴水温を上げることによって穂ばらみ期の耐冷性が向上したという事実や受光態勢の改善が幼穂付近の葉鞘内温度を高め、不稔歩合を減少させた前報<sup>30)</sup>の結果から、深層追肥栽培水稻の耐冷性向上に寄与すると推察された。一方、深層追肥栽培水稻の穂ばらみ期の成分組成をみると、低澱粉（第12図）、低C-N率（第8表）など耐冷素質にとってマイナスの面もあるが、穂ばらみ期の低窒素（第7表）、前歴期間の低窒素・高澱粉・高C-N率（第7~8表、第12図）など耐冷素質にとってプラス面<sup>12)17)</sup>も多くある。このように、深層追肥栽培水稻の前歴期間における低窒素・高澱粉の成分組成と受光態勢改善による稲体温度の上昇は、耐冷性の向上に寄与する要因として注目される。

なお、本試験における深層追肥栽培の穂ばらみ期葉身窒素濃度は、標準施肥や多肥栽培より低いものの3.3%と高く、天野ら<sup>1)</sup>が示した限界窒素含有率を超えている。この点については、追肥量との関連で更に詳細に検討する必要がある。

安定多収栽培法や冷害軽減対策を確立するうえで、受光態勢の改善に重点を置く考えは温暖地、寒冷地いずれにも共通した稲作の基本になると思われる。しかし、温暖地早期栽培での水稻は、わずかな窒素増施で初期生育が旺盛となり、過繁茂状態になりやすい。この点は寒冷地稲作とは異なる。したがって、温暖地の稲作技術は寒冷地に比較し、受光態勢の改善に主眼をおいた栽培法の確立が極めて重要である。

温暖地早期栽培水稻で受光態勢を改善するためには、基肥を減じ、追肥に重点を置いた施肥法が基本と考えられる。出穂前25日頃の窒素成分量3 kg/10 a程度の穂肥施用は上位葉の伸長を促すが、最高分げつ期後2週間程度経過した時期にあたるため、分げつ発生には関与せず、受光態勢の極端な悪化にはつながらないと考えられる。また、この時期の窒素成分量3 kg/10 a程度の追肥は若干の不稔歩合の増加を引き起こすが、追肥によって粒数が増加し、冷害年においても玄米収量は結果的に増加した<sup>28)</sup>。このことは、冷害年の粗粒収量の支配要因は不稔歩合であるが、粒数もかなり関与していることから推察される（第4表）。このような考えから、千葉県では冷害軽減対策として、障害不稔の発生が

予測される場合でも、出穂前25日の窒素成分3 kg/10 aの穂肥施用を奨励している。なお、その際の追肥は磷酸もしくは加里を窒素と同量施用することを原則としている<sup>28)</sup>。この点は、障害型冷害に遅延型冷害が併発する可能性が高く、穂肥の回避あるいは施用時期を遅らせる寒冷地とはやや異なる。

受光態勢の改善に重点をおいた施肥法としては、本報告で取り上げた深層追肥栽培の他に、つなぎ肥を控えた側条施肥栽培（肥料の利用効率が高く、初期生育が旺盛で、肥料切れが早く、つなぎ肥が施される場合が多い<sup>14)</sup>）があげられる。

本報における深層追肥栽培の耐冷性向上要因の検討は通常気象条件下で実施した。このため、冷害年に圃場試験でこれを実証する必要がある。冷害発生は極めて不定期で、圃場での実証試験には非常な困難を伴うが、機会を捉え検討する予定である。

**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. ———— 1984. 水稻の冷害に関する栽培学的研究 第3報 穂孕期不稔に対する堆肥施用の効果. 日作紀 53: 7-11.
3. 本谷耕一・吉野 喬 1965. 磷酸施肥に関する基礎研究. 東北農試研報 32: 41-30.
4. 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 45: 558-562.
5. 上沢正志・内田好哉 1983. 多湿黒ボク土水田における磷酸肥沃度と水稻の生育反応並びに寒冷地水田土壌の磷酸肥沃度水準について. 東北農試研報 68: 69-77.
6. 清沢茂久 1960. 水稻冷害における寡照の意義. 農業技術 15: 306-309.
7. 近藤頼巳 1943. 水稻の冷害現象に関する実験的研究. 農及園 18: 710-714.
8. ———— 1944. 水稻の發育生理に基く栽培技術の攻究. 農及園 19: 58-63.
9. ———— 1952. 水稻品種の冷害抵抗性に関する生理学的研究. 農技研報告 D3: 113-228.
10. ———— 1956. 水稻品種の冷害抵抗性の研究 [1]. 農及園 31: 905-908.
11. ———— 1956. 水稻品種の冷害抵抗性の研究 [2].

- 農及園 31:1053-1056.
12. 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.
  13. 西山岩男 1978. 古くて新しい問題“冷害”—障害型冷害研究の最近の展開に関連して—. 科学 48: 766-773.
  14. 太田保夫・勝田真澄・渡部富男 1985. 湛水直播栽培における側条施肥—深層追肥がイネの生育に及ぼす影響. 日作紀 54 (別 1): 26-27.
  15. 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.
  16. 佐竹徹夫・伊藤延男 1960. 水稻障害型冷害に対する燐酸の効果と不稔発生機構. 農業技術 21: 229-232.
  17. Satake, T., S. Y. Lee and S. Koike 1978. 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.
  18. 柴田和博・佐々木一男・本間 昭 1969. 水稻品種の肥料三要素反応の 1 例—その品種差と年次差—. 育種 19: 28-38.
  19. 志賀一一・山口紀子・栗崎弘利 1976. 寒地稲作における土壌の燐酸肥沃度及び燐酸施肥の効果に関する研究 第 2 報 各種水田ほ場における燐酸抽出値変動と水稻の生育反応. 北海道農試研報 113: 95-107.
  20. ————・————— 1976. 寒地稲作における土壌の燐酸肥沃度及び燐酸施肥の効果に関する研究 第 3 報 窒素施用量及び年次変動との関係. 北海道農試研報 116: 139-155.
  21. ———— 1985. 農耕地における有機物施用技術. 農水省農業研究センター編, 総合農業研究叢書 第 5 号. 農水省農業研究センター, つくば, 8-14.
  22. 田中 稔 1983. 深層追肥稲作の再認識 [1]. 農及園 58: 1023-1028.
  23. ———— 1983. 深層追肥稲作の再認識 [2]. 農及園 58: 1135-1140.
  24. ———— 1983. 深層追肥稲作の再認識 [5]. 農及園 58: 1491-1494.
  25. ———— 1984. 深層追肥稲作の再認識 [8]. 農及園 59: 429-433.
  26. ———— 1984. 深層追肥稲作の再認識 [13]. 農及園 59: 1009-1012.
  27. 建部雅子・村上 高 1984. 酵素法 (HK/G 6 P-DH 法) によるテンサイ植物体の糖の定量. 日作紀 53: 113-114.
  28. 渡部富男・武市義雄 1979. 水稻の障害型冷害に関する調査研究 第 2 報 追肥の影響について. 千葉農試研報 20: 133-137.
  29. ————・————— 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.
  30. ————・————— 1991. 水稻の障害型冷害に関する研究 第 1 報 受光態勢と不稔歩合. 日作紀 60: 225-233.
  31. 吉野 喬・本谷耕一 1970. 水田における燐酸施肥の技術的考察. 東北農試研報 40: 185-208.