

寒地水稻の窒素代謝に関する研究

第2報 低温処理の影響

多賀辰義† 南松雄††

STUDIES ON NITROGEN NUTRITION IN RICE PLANT TISSUES

2. Effects of Low Temperature Treatment on the Rice Plants Grown

Tatsuyoshi TAGA & Matsuo MINAMI

寒冷地稲作における安定性の阻害要因は、いわゆる生育期間中における低温寡照に起因する水稻の生育遅延と、それに伴う登熟不良ならびに穎花形成および開花障害による不稔粒の増大であるといわれている。したがって、生育時期別の低温処理が生育、収量面ならびに水稻体の窒素、炭水化物代謝に及ぼす影響について検討した。

幼穂形成期の低温処理は草丈の伸長および茎数の増加量を顕著に抑制して、その生育を遅延せしめる傾向を示すが、最高分けつ期以降の低温処理では、不稔粒の増大、登熟性の低下により減収を示した。また、水稻体内栄養組成の面からみると、低温処理は明らかに窒素および炭水化物代謝の擾乱を示し、低温処理によって水稻体内の全窒素と蛋白態窒素含有率が低下し、全水溶性窒素とアミド+ NH_3 態窒素含有率が増加する傾向を示した。一方、炭水化物の濃度は低温処理によって高い含有率になる傾向を示した。

I 緒 言

前報¹⁾において、水稻に対する生育時期別の窒素追肥の影響を検討し、幼穂形成期以前の追肥は草丈の伸長や茎数の増加に、止葉葉鞘抽出期追肥は登熟性の向上に寄与し、さらに稲体内の栄養組成では窒素追肥が窒素代謝をおう盛にすることにより、生育後期の炭水化物代謝を高めることを明らかにした。

一方、北海道のように、寒冷地の水稻作の主要な収量制限因子は、生育期間中の低温の影響である。一般に、冷涼気象による冷害には遅延型と障害型の2つがあるが、冷害による減収の要因としては地温、水温の低下に基づく根の養分吸収低下

と、日照不足に基づく炭酸同化作用の遅滞および気温の低下に基づく水稻地上部の代謝、生理作用の低下の3つが考えられる。これまでも土壌肥料面からの冷害対策として漏水防止、地水温の上昇対策、磷酸多用などによる初期生育の促進、窒素分施などの施肥対策により、実際に著しい効果を挙げている。

本報告では、ファイトロンを利用して人為的に生育各期の水稻を低温環境において、生育時期別の低温処理が水稻の生育、収量、稲体内の窒素代謝および炭水化物代謝に及ぼす影響を検討した結果を報告する。

なお、本試験の実施に際し、特にファイトロン使用にあたりご援助をいただいた北海道農業試験場稲第3研究室長佐竹徹夫技官に対し深甚の謝意を表する。

† 中央農業試験場

†† 元中央農業試験場(現上川農業試験場)

II 試験方法

(1) 供試土壌および試験方法

本研究に供した土壌は夕張川沖積土 (LiC) で、その理化学性は前報⁹⁾の Table 1 に示したとおりである。供試品種として「新栄」を用い 1/5,000 a Wagner 氏ポットにより 2 連制で栽培した。各時期の低温処理は北海道農業試験場のファイトロン室に搬入して行ない、それ以外の期間は対照区と同様に戸外網室において管理した。

なお、本研究は次の 2 項について検討した。すなわち、

1) 生育および収量性に及ぼす低温処理の影響

2) 稲体内の窒素代謝および炭水化物代謝に及ぼす低温処理の影響

試験区分は、①対照区、②幼穂形成期 (7月10日～7月20日) 低温処理区、③最高分けつ期 (7月20日～7月30日) 低温処理区、④止葉葉鞘抽出期 (8月1日～8月8日) 低温処理区を設け、各年次の低温処理条件は Fig. 1 に示したように、生育各時期の低温処理温度は 1967 年度の最高分けつ期昼 17℃ とした以外はすべて昼夜とも 15℃ に統一した。

また、各区に対する共通施肥量としては N, P_2O_5 , K_2O 各 0.5g/pot を硫酸、過石および硫酸を用いて作土全質に混合施用した。

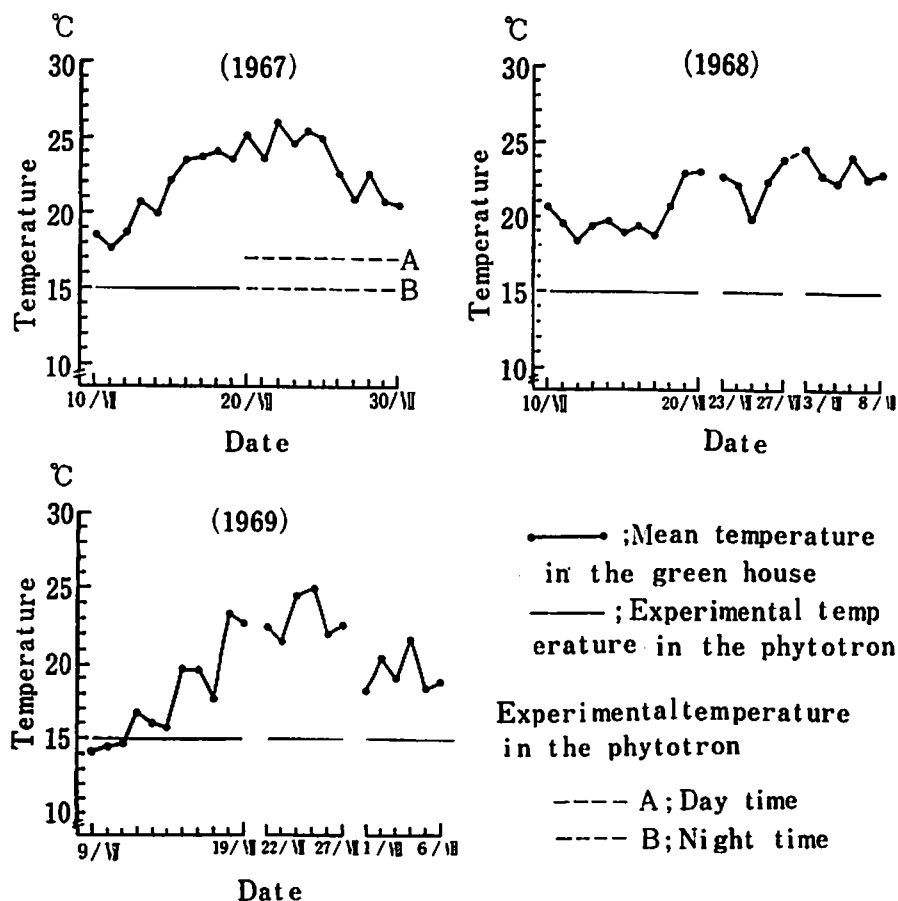


Fig. 1 Experimental temperature condition in the green house and phytotron

(2) 分析試料の採取と調製 前報⁹⁾に準じる

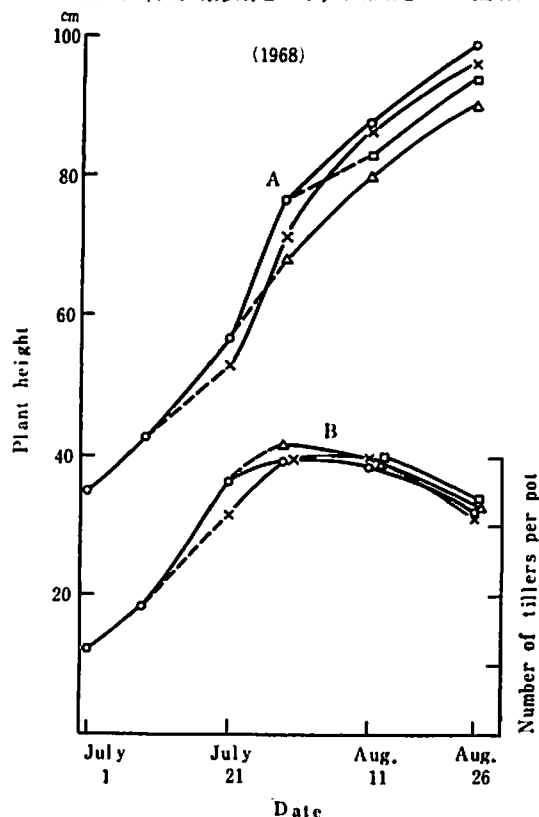
(3) 分析方法 前法⁹⁾に準じる

III 試験成績

1) 生育および収量性に及ぼす低温処理の影響

A. 生 育

a. 草丈および茎数 : Fig. 2 に示すように低温処理によって、各処理区とも明らかに草丈の伸長が鈍化し、茎数の増加量も抑制されるが、その場合は低温処理時期によって異なった。すなわち、幼穂形成期 (以下幼形期という) 低温処理が茎数の



- ; No treatment
- × ; Low temperature in the panicle formation period
- △ ; Low temperature in the maximum number of tillers stage
- ; Low temperature in the booting stage
- A ; Plant height
- B ; Number of tillers

Fig. 2 Effect of low temperature treatment on the plant height and number of tillers

増加量を最も強く抑制し、最高分けつ期 (以下最分けつ期という) および止葉葉鞘抽出期 (以下止葉期という) の処理ではその影響がほとんど認められなかった。

b. 乾物重 : 乾物重の増加推移については、Fig. 3 から明らかなように、幼形期低温処理によって乾物増加量の停滞が顕著に認められる反面、常温環境に戻した場合は急速に回復し、最終的には対照区との差はほとんどなくなった。一方、最分けつ期および止葉期における低温処理が乾物増加量に対する影響度は比較的小さかった。

B. 収 量 性

a. 収量 : 低温処理が収量に及ぼす影響についてみると、Table 1 に示すように、いずれの年次においても、低温処理によって明らかに減収しているが、その減収度合いは低温処理時期により異なり、幼形期低温処理区の収量指数は対照区に比して 80% 以上であるが、最分けつ期および止葉期の処理では減収率がきわめて大きく 30~90% 前後の低い値を示した。

これは後者の低温処理時期が減数分裂期に相当し、低温処理が穎花の發育をきわめて強く阻害したことによるものと考えられる。

b. 収量構成要素 : 収量構成要素に及ぼす低温処理の影響については Fig. 4 に示した。まず、1 株穂数に及ぼす低温処理の影響は幼形期において減少の傾向を示すが、最分けつ期および止葉期の処理ではその影響が少なかった。また、1 穂粒数も低温処理によって明らかに減少しているが、その影響度は低温処理時期により異なり、おおむね最分けつ期 > 幼形期 > 止葉期低温処理区の順に大きかった。さらに、低温処理によって登熟歩合も低下する傾向が認められ、幼形期低温処理区では対照区とはほぼ同程度であったが、最分けつ期以降の低温処理は年次により多少異なるが不稔粒を増大し、登熟歩合を著しく低下させた。結局、低温処理の影響は幼形期以前においては茎数の減少に、最分けつ期以降の処理は不稔粒の増大および登熟歩合の低下に強く影響したものと考えられる。

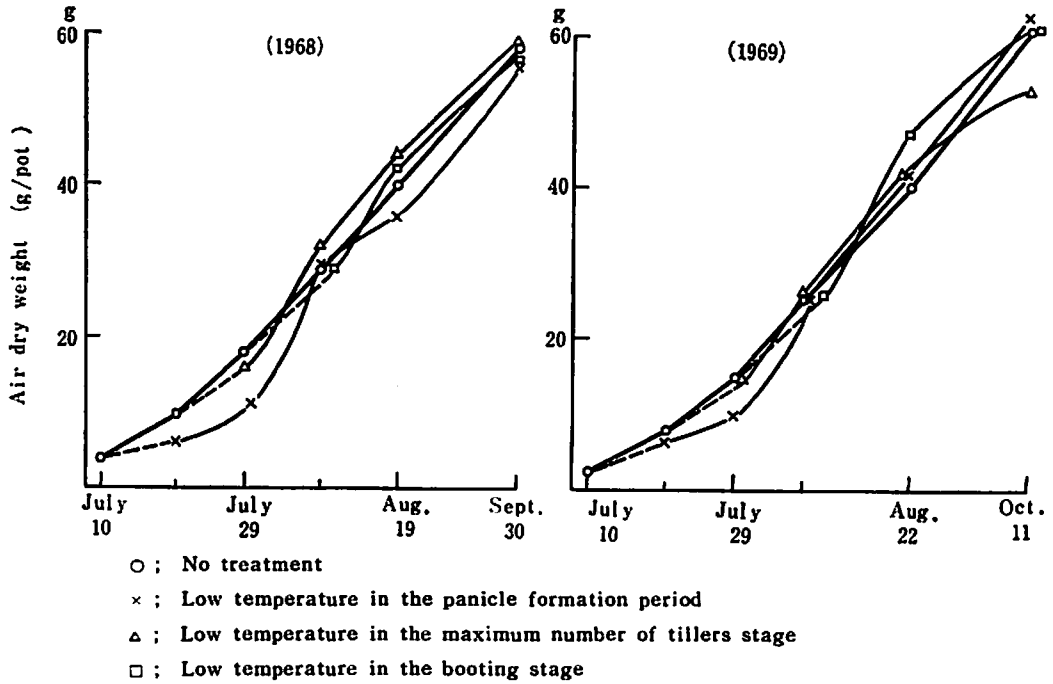
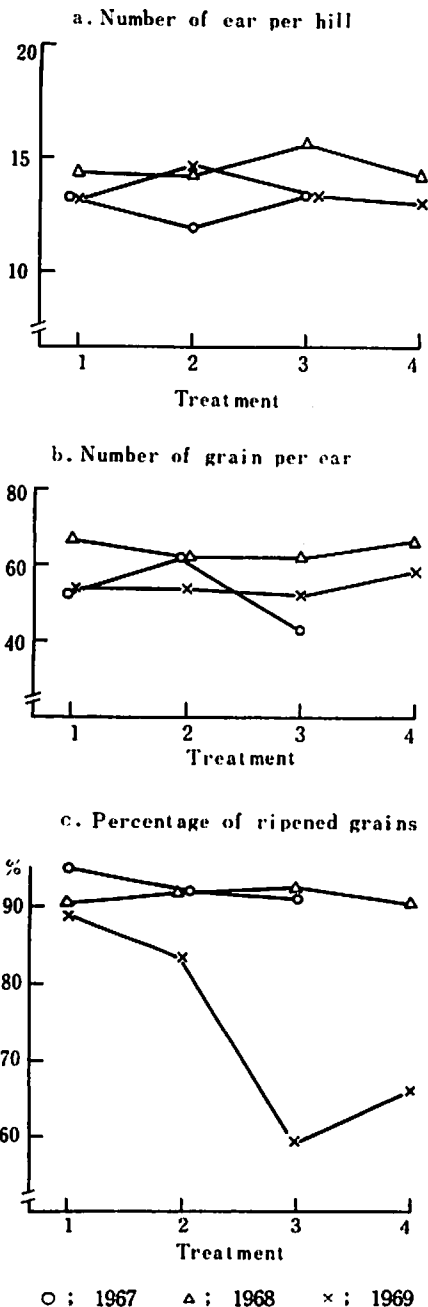


Fig. 3 Effect of low temperature treatment on the air dry weight of plant

Table 1 Effect of low temperature treatment on the yield of rice plant

Years	Treatment	Yield (g/pot)				Grain - straw ratio	Fully ripened grains (g/pot)	Yield index
		Sum of weight	Leaf- blades	Sheath + stem	Sum of ears			
1967	No treatment	62.9	9.1	23.3	30.5	0.94	27.7	100
	Low temperature in the panicle formation period	61.9	9.5	22.5	29.9	0.93	26.8	97
	Low temperature in the maximum number of tillers stage	57.4	10.2	27.3	19.9	0.53	17.7	64
1968	No treatment	57.7	8.0	18.6	31.1	1.17	28.3	100
	Low temperature in the panicle formation period	54.4	8.7	20.5	26.2	0.90	24.2	86
	Low temperature in the maximum number of tillers stage	59.0	8.9	21.2	28.9	0.96	26.8	95
	Low temperature in the booting stage	54.5	8.6	21.4	24.5	0.82	22.2	78
1969	No treatment	61.0	9.3	30.7	21.0	0.52	18.7	100
	Low temperature in the panicle formation period	62.6	9.4	34.9	18.3	0.41	15.3	82
	Low temperature in the maximum number of tillers stage	53.5	9.2	35.2	9.1	0.20	5.3	29
	Low temperature in the booting stage	61.5	10.6	41.8	9.1	0.17	6.1	32



- 1: No treatment
 2: Low temperature in the panicle formation period
 3: Low temperature in the maximum number of tillers stage
 4: Low temperature in the booting stage

Fig. 4 Effect of low temperature treatment on the yield constituting factors

2) 稲体内の窒素代謝および炭水化物代謝に及ぼす低温処理の影響

a. 窒素化合物

水稻体内の窒素化合物濃度の推移と、これに及ぼす低温処理の影響は Table 2-a および b に示すとおりである。

まず、生育期間を通じ総括的に形態別窒素濃度の推移についてみると、全窒素および全窒素の大部分を占める蛋白態窒素はともに類似の消長を示し、生育経過に伴って、しだいに含有率は低下していくが、この傾向は葉身部が茎部に比し顕著であった。

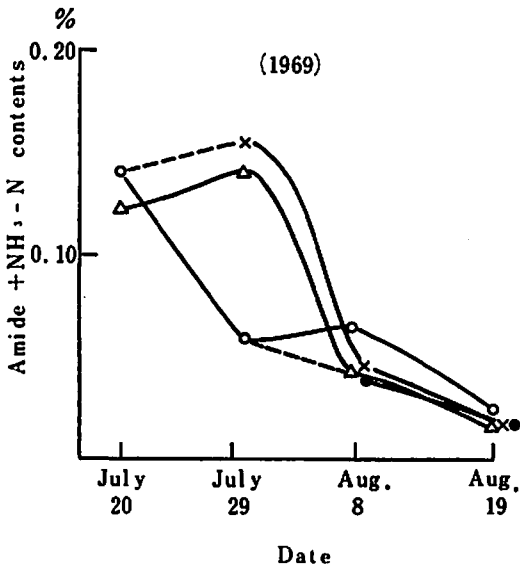
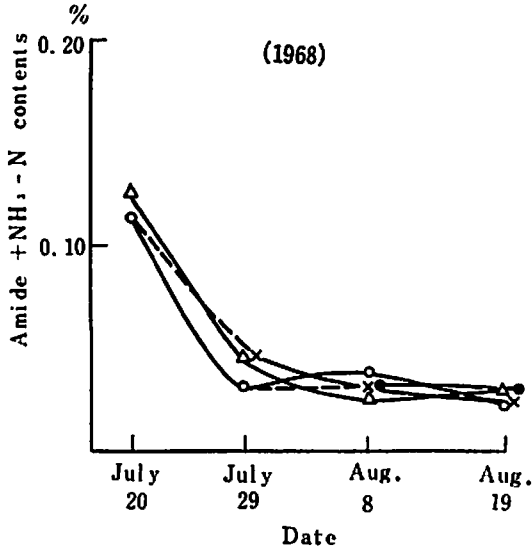
次に、全水溶性窒素と水溶性蛋白態窒素の含有率は生育前期で高く、後期には低くなった。アミド+ NH_4 態窒素は、ほかの形態の窒素に比し、その含有率はきわめて少ないが、その濃度推移は全水溶性窒素に類似した。

残余窒素は全水溶性窒素の大部分を占め、生育経過に伴い含有率は漸減したが、茎部で出穂期に一時的にその濃度は高まった。

一方、低温処理によって葉身部、葉鞘+茎部の全窒素含有率は顕著な影響をうけ、対照区よりも低下の傾向を示すが、常温環境にもどすと逆に対照区よりも高濃度を維持しながら推移した。しかし、この傾向は低温処理時期による差異がきわめて大きく、幼形期低温処理区は前述の傾向が明瞭であるが、最分けつ期以降の低温処理区では、常温転換後の窒素濃度の上昇度合いが小さく、最終的には対照区の窒素濃度を上回ることはなかった。

次に、全窒素の大部分を占める蛋白態窒素は全窒素と類似の消長をし、低温処理による蛋白態窒素濃度の低下の度合いは全窒素よりも一層顕著であった。一方、茎葉部の全水溶性窒素濃度は相対的に高まる傾向にあった。したがって、低温処理によって蛋白態窒素に対する全水溶性窒素の比率は大きくなる傾向を示した。しかしながら、この傾向は年次あるいは処理時期により、若干異なる

場合もみられた。水溶性窒素画分のうち、水溶性蛋白態窒素は蛋白態窒素と類似の推移を示すが、低温処理による変化ならびに濃度推移は明瞭ではなかった。



- : No treatment
- △ : Low temperature in the panicle formation period
- × : Low temperature in the maximum number of tillers stage
- : Low temperature in the booting stage

Fig. 5 Effect of low temperature treatment on the contents of Amide+NH₃ nitrogen in the sheath+stem tissue of rice plant

アミド+NH₃態窒素は全水溶性窒素の1/4~1/5程度で、その含有率はきわめて少ないが、その濃度推移についてみると Fig. 5 に示したように、年次によって多少その程度が異なるが、全般的に幼形期ならびに最分けつ期の低温処理区では処理直後に、茎葉中のアミド+NH₃態窒素濃度が顕著に高まり、一方、止葉期の低温処理では対照区に比し、むしろ低下する傾向を示しているが、蛋白態窒素に対するアミド+NH₃態窒素の濃度の比率は高まる傾向を示した。

また、残余窒素はアミノ酸の窒素を主体とするものと考えられ、水溶性窒素の大部分を占めるが、低温処理直後にその濃度は高くなった。次に、時期別、形態別窒素の吸収量の推移を Fig. 6 でみると、いずれの時期とも、低温処理区の窒素の吸収量は対照区に比し減少しており、しかもこの傾向は幼形期低温処理区が最も顕著であった。さらに、これを蛋白態窒素と非蛋白態窒素吸収量に分けてみると、対照区に比し、各時期の低温処理区とも蛋白態窒素吸収量に対する非蛋白態窒素吸収量絶対値の割合が高い傾向を示した。

b. 炭水化物

生育時期別に炭水化物濃度の推移と、これに及ぼす低温処理の影響についてみると Table 3 に示すように、まず、稲体内の全糖は生育の進行に伴いその濃度はしだいに高まり、葉身部で穂ばらみ期ころに、茎部で出穂期ころに最大となり、再びその濃度は低下した。部位別では葉身部に比し、茎部で高く推移した。この場合、低温処理により茎葉部の全糖含有率は処理期間中はきわめて高く推移し、常温転換後は急速に減少して、出穂期ころには対照区の含有率に接近した値を示した。もちろん、この低温処理による糖濃度の高まりは、処理時期によって異なり、幼形期および最分けつ期低温処理ではこの傾向は明瞭であるが、止葉期低温処理区では対照区との差異がきわめて小さかった。

還元糖についてみると、葉身部では穂ばらみ期ころ(8月8日)に一時その濃度が高まるが、ほかの時期ではいずれも1%前後の低い値で推移した。一方、葉鞘+茎部では穂ばらみ期以降に高濃

Table 2 — a Effects of low temperature on the contents of nitrogen fraction uptake by rice plant
(at 1968) as dry base %

Date of sampling	Treatment	Total -N (%)	Protein -N (%)	Total water sol. -N (%)	Water sol. protein -N (%)	Amide +NH ₃ -N (%)	Other sol. -N (%)	Tot.wat. sol.-N Prot.-N × 100	Amide+ NH ₃ -N Prot.-N × 1000
Whole plant									
July 10	No treatment	3.951	3.216	0.735	0.225	0.114	0.396	22.9	35.4
Leaf-blade									
July 20	No treatment	4.960	4.441	0.519	0.195	0.038	0.286	11.7	8.6
	Low temperature in the panicle formation period	4.996	4.335	0.661	0.225	0.065	0.371	15.3	15.0
	Sheath+stem								
	No treatment	2.872	2.115	0.757	0.231	0.114	0.412	35.8	53.9
July 29	Low temperature in the panicle formation period	2.817	1.839	0.978	0.185	0.128	0.665	53.2	69.7
	Leaf-blade								
	No treatment	3.317	2.962	0.355	0.124	0.029	0.202	12.0	9.7
	Low temperature in the panicle formation period	4.453	4.091	0.362	0.124	0.030	0.208	8.8	7.3
	Low temperature in the max. number of tillers stage	3.725	3.372	0.353	0.101	0.032	0.220	10.5	9.5
	Sheath+stem								
Aug. 8	No treatment	1.556	1.183	0.373	0.107	0.032	0.234	31.5	27.0
	Low temperature in the panicle formation period	2.393	1.874	0.519	0.135	0.049	0.335	27.7	26.1
	Low temperature in the max. number of tillers stage	1.846	1.409	0.437	0.057	0.050	0.330	31.0	35.5
	Leaf-blade								
	No treatment	2.684	2.327	0.357	0.155	0.028	0.174	15.3	12.0
	Low temperature in the panicle formation period	2.817	2.523	0.294	0.154	0.027	0.113	11.7	10.7
Aug. 19	Low temperature in the max. number of tillers stage	2.589	2.268	0.321	0.153	0.029	0.139	14.2	12.8
	Low temperature in the booting stage	2.438	2.001	0.437	0.141	0.039	0.257	21.8	19.5
	Sheath+stem								
	No treatment	0.969	0.763	0.206	0.093	0.039	0.074	27.0	51.1
	Low temperature in the panicle formation period	1.215	0.935	0.280	0.093	0.029	0.158	29.9	31.0
	Low temperature in the max. number of tillers stage	0.904	0.627	0.277	0.090	0.032	0.155	24.3	51.0
Aug. 19	Low temperature in the booting stage	0.986	0.735	0.251	0.087	0.033	0.131	34.1	44.9
	Leaf-blade								
	No treatment	2.439	2.100	0.339	0.148	0.030	0.161	16.1	14.3
	Low temperature in the panicle formation period	2.639	2.343	0.296	0.087	0.032	0.177	12.6	13.7
Aug. 19	Low temperature in the max. number of tillers stage	2.341	2.075	0.266	0.128	0.032	0.106	12.8	15.4
	Low temperature in the booting stage	2.226	1.806	0.420	0.157	0.032	0.231	23.3	17.7

Date of sampling	Treatment	Total -N (%)	Protein -N (%)	Total water sol. -N (%)	Water sol. protein -N (%)	Amide + NH ₃ -N (%)	Other sol. -N (%)	Tot. wat. sol. -N × 100	Amide + NH ₃ -N Prot. -N × 1000
Aug. 19	Sheath + stem								
	No treatment	0.742	0.449	0.293	0.098	0.023	0.172	65.3	51.2
	Low temperature in the panicle formation period	0.826	0.426	0.400	0.089	0.028	0.283	93.9	65.7
	Low temperature in the max. number of tillers stage	0.692	0.344	0.348	0.091	0.024	0.233	101.2	69.8
	Low temperature in the booting stage	0.617	0.357	0.260	0.135	0.027	0.098	72.8	75.6
	Ear								
	No treatment	1.284	0.830	0.454	0.069	0.037	0.348	54.7	44.6
	Low temperature in the panicle formation period	1.540	1.100	0.440	0.092	0.059	0.289	40.0	53.6
	Low temperature in the max. number of tillers stage	1.296	0.932	0.364	0.092	0.048	0.224	39.1	51.5
	Low temperature in the booting stage	1.533	1.144	0.389	0.066	0.063	0.260	34.0	55.1

Table 2 - b Effect of low temperature on the contents of nitrogen fraction uptake by rice plant (at 1969) as dry base %

Date of sampling	Treatment	Total -N (%)	Protein -N (%)	Water sol. -N (%)	Water sol. protein -N (%)	Amide + NH ₃ -N (%)	Other sol. -N (%)	Tot. wat. sol. -N × 100	Amide + NH ₃ -N Prot. -N × 1000
July 10	Whole plant								
	No treatment	3.954	3.098	0.856	0.160	0.131	0.565	27.6	42.3
July 20	Leaf-blade								
	No treatment	5.220	4.710	0.510	0.134	0.055	0.321	10.8	11.7
	Low temperature in the panicle formation period	4.755	4.164	0.591	0.130	0.193	0.268	14.2	46.4
	Sheath + stem								
	No treatment	2.877	2.150	0.727	0.136	0.139	0.452	33.8	64.7
	Low temperature in the panicle formation period	2.645	1.772	0.873	0.141	0.123	0.609	49.3	69.4
July 29	Leaf-blade								
	No treatment	4.419	3.967	0.452	0.123	0.028	0.301	11.4	7.1
	Low temperature in the panicle formation period	5.036	4.569	0.467	0.105	0.042	0.320	10.2	9.2
	Low temperature in the max. number of tillers stage	4.027	3.442	0.585	0.121	0.060	0.404	17.0	17.4
	Sheath + stem								
	No treatment	2.348	1.716	0.632	0.142	0.058	0.432	36.8	33.8
	Low temperature in the panicle formation period	2.951	2.196	0.755	0.173	0.141	0.441	34.4	64.2
	Low temperature in the max. number of tillers stage	2.145	1.452	0.693	0.128	0.156	0.409	47.7	107.4
	Leaf-blade								
	No treatment	3.181	2.790	0.391	0.122	0.033	0.236	14.0	11.8
Aug. 7	Low temperature in the panicle formation period	2.913	2.557	0.356	0.100	0.035	0.221	13.9	13.7
	Low temperature in the max. number of tillers stage	3.142	2.709	0.433	0.137	0.045	0.251	16.0	16.6
	Low temperature in the booting stage	2.703	2.371	0.332	0.087	0.029	0.216	14.0	12.2
	Sheath + stem								
	No treatment	1.431	1.017	0.144	0.149	0.052	0.203	40.7	61.0
	Low temperature in the panicle formation period	1.310	0.973	0.337	0.083	0.041	0.213	34.6	42.1
	Low temperature in the max. number of tillers stage	1.384	0.999	0.385	0.105	0.042	0.238	38.5	42.0
	Low temperature in the booting stage	1.332	1.055	0.277	0.074	0.037	0.166	26.3	35.1

Table 3 Effect of low temperature on the contents of carbohydrate composition uptake by rice plant (at 1968) as dry base %

Date of sampling	Treatment	Reducing sugar (%)	Non reducing sugar (%)	Total suger(%)	Crude starch(%)
July 10	Whole plant				
	No treatment	2.83	6.29	9.12	3.18
July 20	Leaf-blade				
	No treatment	1.53	4.67	6.20	1.37
	Low temperature in the panicle formation period	2.17	6.72	8.89	2.06
	Sheath+stem				
	No treatment	2.17	3.14	5.31	5.57
	Low temperature in the panicle formation period	1.52	6.92	8.44	5.90
July 29	Leaf-blade				
	No treatment	1.68	4.87	6.55	2.24
	Low temperature in the panicle formation period	1.19	3.07	4.26	2.36
	Low temperature in the maximum number of tillers stage	2.13	7.98	10.11	2.74
	Sheath+stem				
	No treatment	2.63	3.32	5.95	5.02
Aug. 8	Leaf-blade				
	No treatment	2.10	2.77	4.87	2.25
	Low temperature in the panicle formation period	3.34	3.33	6.67	2.69
	Low temperature in the maximum number of tillers stage	3.65	4.09	7.74	2.15
	Low temperature in the booting stage	6.37	2.50	8.87	3.40
	Sheath+stem				
Aug. 19	Leaf-blade				
	No treatment	1.75	4.86	6.61	3.20
	Low temperature in the panicle formation period	1.38	4.41	5.79	3.62
	Low temperature in the maximum number of tillers stage	1.55	4.62	6.17	3.06
	Low temperature in the booting stage	1.53	5.86	7.39	2.96
	Sheath+stem				
Sept. 30	Grain				
	No treatment	0.07	1.45	1.52	59.87
	Low temperature in the panicle formation period	0.18	1.09	1.27	69.11
	Low temperature in the maximum number of tillers stage	0.11	1.22	1.33	72.08
	Low temperature in the booting stage	0.15	1.23	1.38	71.14

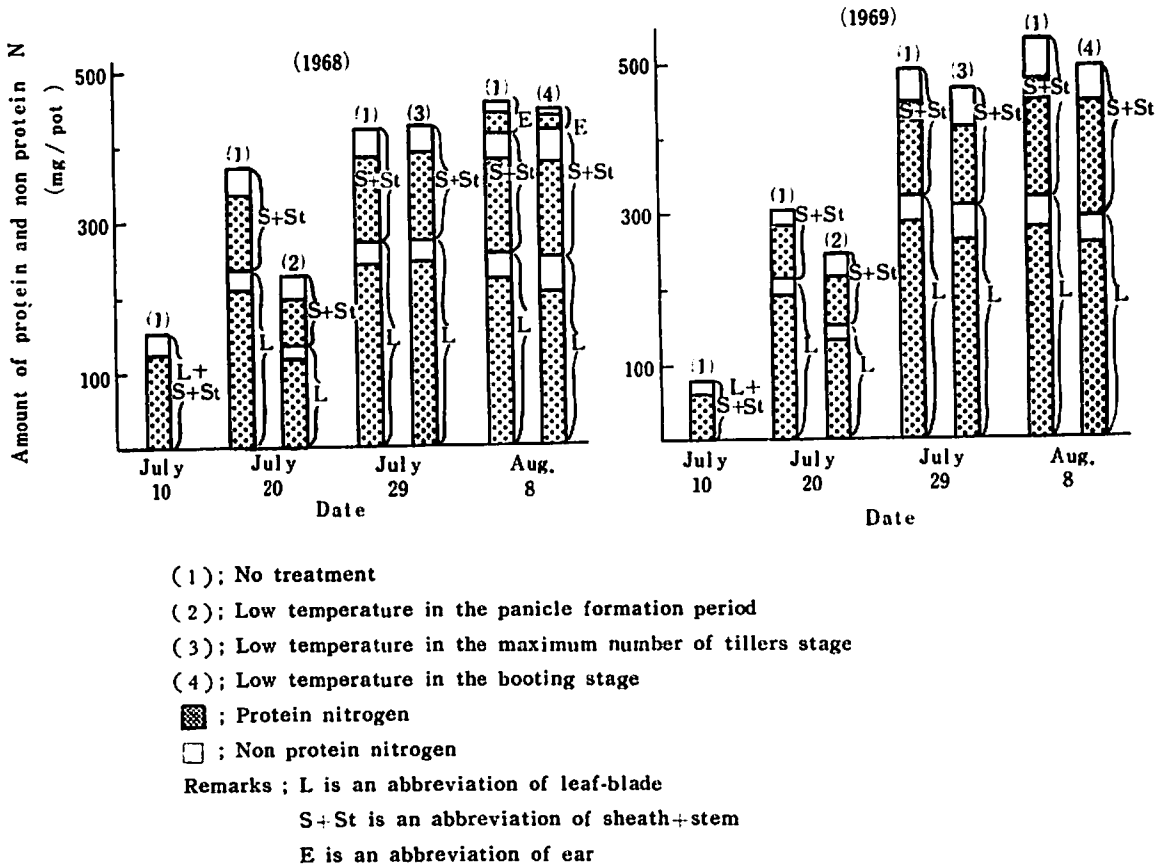


Fig. 6 Effect of low temperature on the composition of nitrogen uptake by rice plant

度で推移し、低温処理によって、全糖濃度と同様に葉身および茎部ともにその濃度は高まる傾向がうかがわれた。非還元糖は穂ばらみ期に最低の含有率を示すが、それ以降は全糖と類似の推移を示した。また、粗澱粉は2～3%の濃度で低く推移しているが、葉身部よりも茎部の方が高く、出穂期ころより飛躍的に増加し、収穫期の穂では60～70%に達した。低温処理の影響は全糖とはほぼ類似した傾向を示し、低温処理区の方がやや高かった。

IV 考 察

水稻の生育各期における低温処理が生育、収量と穂体内の栄養組成に及ぼす影響について考察すると、まず、生育面では低温処理によって草丈の伸長、米数の増加および乾物重の増加が著しく抑制されるが、正常環境すなわち低温室から高温な

戸外にもどすと、これらの急速な回復が認められ、対照区とはほぼ同程度かあるいはこれを上回る生育量を示すこともあった。しかし、この傾向は低温処理をうける水稻の生育時期によって異なり、幼形期低温処理では生育抑制が最も顕著であり、最分けつ期と止葉期処理すなわち栄養生長終期の処理では当然その影響度合いも少なかった。生育前半においては、低温処理による養分吸収の低下および窒素代謝作用の低下によって水稻の栄養生長の進行を停滞させて生殖生長への移行転換を遅延させるため、常温下にもどすと再び分けつの発生によって乾物重が増加するものと推察される。藤原ら²³⁾²⁴⁾も一連の冷害稲の研究(17℃, 2週間低温処理)の中で栄養生長の活発なステージに低温処理をした後戸外へ搬出して対照区と同じ環境下で生育させた場合に、同様の結果を得たと述

べている。

一方、乾物生産量に及ぼす低温処理の影響は各年次によっては、対照区と明瞭な差異は認められないが、傾向的には葉身重、葉鞘および茎重が増加し、籾重が明らかに低下し、籾わら比が小さく登熟歩合も低下して低温処理区の登熟籾重が明らかに低い値を示した。

もちろん、この影響度合いは低温処理時期により異なった。収量は収量構成要素の総乗積であることから、各要素別に検討してみると、穂数は対照区に比し幼形期の低温処理区では明らかに減少しており、最分けつ期以降の処理区ではその減少度合いが小さい。このことは低温処理の期間や温度条件（本実験では15℃で4～10日間低温処理が処理のほとんどを占めた）によっても異なるが、前者の処理がおう盛な栄養生長の時期に相当するため、低温処理の影響度合いが強くその生育面に反映しているが、後者では栄養生長から生殖生長への転換期にあるため、その影響度が小さいものと考えられる。事実、島崎ら¹²⁾は低温処理試験によって、この栄養生長から生殖生長への転換をスムーズにする温度は約20℃の付近にあると推定している。

次に、1穂粒数は対照区に比し各低温処理区ともに減少しており、最分けつ期および幼形期低温処理区では減少の度合いが著しく、止葉期低温処理区での影響が少ないことは、1穂穎花数の決定について、松島⁸⁾は稲の生育各期の剪葉、剪根および遮光試験などから、1穂穎花数を決定的に左右する時期は減数分裂期（最高分けつ期ころ）であると述べていることから十分推量される。

一方、登熟歩合も同様に対照区に比し低温処理区は低下の傾向を示すが、幼形期の処理ではその影響が小さく、最分けつ期以降の処理では著しい低下が認められた。これは幼形期の低温処理は水稻の生育を一時的に停滞遅延させるにとどまる結果、その影響は小さいが、最分けつ期以降の低温処理は穎花の分化、発育機能を阻害するため、不稔粒を増大させた結果と考えられる。これらの点に関して、島崎ら¹²⁾¹³⁾も一連の水稻冷害の解析的研究結果から、幼形期以降の低温処理によっ

て稔歩合の著しい低下を認め、不稔粒発生は開花時の温度と同時に開花以前の穂ばらみ期の低温処理の影響が強く、さらに、低温処理は強度の低温が短時間のくり返しでなく長時間持続したとき、あるいはこれに寡照が加わると低温障害を一層助長するとしており、この傾向は本試験からも推定しうる。以上、低温処理が稲の生育形質に及ぼす影響について検討してきたが、次に稲体内栄養組成面から低温処理の影響を考察してみる。今日まで稲体内の窒素栄養に関する研究¹⁴⁾¹⁵⁾は数多くあるが、この中で低温処理の関連を評論したものはきわめて少ない。そこで本試験の結果をみると、低温処理によって茎葉部の全窒素および蛋白態窒素濃度が低下し、逆に全水溶性窒素とアミド+NH₃態窒素の濃度が増加する傾向を示した。さらに水稻を再び常温環境下にもどすと対照区よりも高い窒素濃度を維持し窒素代謝作用をおう盛にし、ちょうど、窒素が多施された場合に蛋白代謝の優位が長く続くと同様の様相を示すことを明らかにした。

この低温処理区の全窒素と蛋白態窒素濃度の低下は、低温処理による地温、水温の低下が根の窒素吸収を阻害すると同時に、稲体内における蛋白代謝作用が分解的方向に向かわせる結果、全水溶性窒素の増加を生じさせたものと推察される。しかも、この傾向は最分けつ期以前の低温処理区で明らかであるが、止葉期の低温処理では顕著でなかったことは、代謝的にも窒素代謝が優位な時期ほど低温処理の影響が著しいことを意味している。同様に島崎ら¹⁴⁾も生育初期の冷水灌漑がイネの養分吸収に及ぼす影響について検討し、冷水区では対照区に比べ、窒素の吸収を低下しているにもかかわらず、可溶性窒素の異常的な増量によって可溶性窒素と全窒素の比率を高めた原因について、冷水灌漑下では磷酸の著しい吸収阻害が起こり、それによって体内のエネルギー代謝が不順になるとともに、加里および窒素の吸収抑制を誘起して、蛋白合成能の減退を起こすものと推量している。

次に、低温処理による稲体内におけるアミド+NH₃態窒素の増加は窒素代謝の鈍化に伴う集積

形態の窒素と推定される。アミド + NH_3 態窒素について、高橋ら¹⁰⁾はほかの諸形態の窒素に比べて量的に最も少ないが、水稻の生育に伴う変化は特徴があるとし、また、藤原ら¹¹⁾はこれをアミド態窒素と NH_3 態窒素に分けて、アミド態窒素はほかの窒素成分とは異なった行動をとり、一種の貯蔵形態とみられ、吸収された NH_3 態窒素の解毒作用をすると述べている。

次に、炭水化物代謝についてみると、低温処理によって窒素代謝と逆の傾向を示して、稲体内の全糖、粗澱粉などの糖類濃度は一時的に高まり、常温転換後は急速に減少して対照区の濃度に接近した値を示した。このように、低温処理は明らかに窒素代謝とともに炭水化物代謝の擾乱を示すものであるが、この低温処理による糖濃度の高まりは、窒素が欠乏した場合に澱粉の蓄積が早期に開始される場合と類似しており、低温処理による稲体内代謝作用の低下に基づく Energy 源としての分解、利用量が減少することを意味するものと考えられる。

低温処理と同化作用の関係について、松島ら¹²⁾は気温 14~34℃の間では低温でも光合成が衰えないという実験結果をもとにして、寒冷地稲の冷害の原因を考えると、低温は同化作用以外の養分吸収、転流合成などの生理作用を阻害するとともに、低温に随伴する日照不足がより大きい障害を与えるのではなかろうかと推論している。また、石塚ら¹³⁾は 13℃で 6~10 日間低温処理した結果から、低温は炭素の同化作用を減退させると同時に、炭水化物の分解および、他化合物への転化を減退させるために、その差し引きとして炭水化物は低温の場合にむしろ増加するものと考えられるとして、この実証に ^{14}C を同化させ radio auto-graph に示している。もちろん、前者と後者では温度条件も異なるが、低温処理の影響はむしろ後者の傾向を示す場合が多いと考えられる。さらに、村山ら¹⁴⁾は水稻の生育に伴う炭水化物の集積、移行過程を調査し、出穂期前に稈や葉鞘に蓄積する同化産物が、登熟過程において子実に移行して玄米の構成成分の一部となる蓄積型と、出穂期における炭水化物の集積が特に少ない非蓄積型に類別

し、北海道の場合は後者に属するとしている。したがって、本道的水稻のように穂の澱粉が出穂後の同化産物に依存する度合いの高いものは、特に、登熟期間の温度、日照条件の良否と密接な関係にあると考えられ、この面からも低温と低収量の関係の重要性が示唆されると思われる。

V 摘 要

寒冷地における水稻作の安定多収阻害要因は、おもに夏季の冷涼気象に起因する。そこで、ファイトトロンを利用して幼形期から止葉期に至る各生育ステージの水稻を低温処理し、生育各期における低温処理が水稻の生育、収量ならびに稲体内の栄養組成に及ぼす影響について検討した。その結果を要約すると次のとおりである。

- 1) 低温処理期間中、草丈の伸長および茎数の増加はともに抑制され、正常環境にもどすと急速な回復が認められた。この傾向は幼形期の処理区で明瞭であり、最分けつ期以降の処理では明らかでなかった。
- 2) 乾物重の増加も低温処理により顕著な抑制を受け、常温転換後は急速に回復した。その結果、成熟期の葉身重および葉鞘+茎重は対照区と同程度となった。

しかし、初わら比は小さく、登熟初重は明らかに減少し、収量比で 5~70% も低い値を示し、幼形期処理区に比し最分けつ期以降処理区の減少が著しかった。

収量構成要素のうち、1 株穂数は幼形期の低温処理で減少し、最分けつ期以降の処理区は減じなかった。1 穂粒数は幼形期と最分けつ期低温処理区で減少し、止葉期低温処理区の減少度合いは小さかった。一方、登熟歩合に及ぼす低温処理の影響は、年次によりその程度は異なるが、最分けつ期以降の低温処理区における登熟歩合の低下が顕著であった。

- 3) 低温処理直後に茎葉中の全窒素と蛋白態窒素濃度は低下し、逆に、全水溶性窒素およびアミド + NH_3 態窒素濃度は高まる傾向を示した。したがって、蛋白態窒素に対する全水溶性窒素およびアミド + NH_3 態窒素の比率は高まった。一

方、常温転換後の全窒素および蛋白態窒素は高濃度で推移し、全般に、水稻の窒素代謝に及ぼす低温処理の影響は最分けつ期以前の処理の方が強く現われた。

4) 稲体内の炭水化物濃度は、低温処理直後に高い値となり、常温環境にもどすと急速に減少して対照区の濃度に接近した値を示した。

この傾向は処理時期により異なり、最分けつ期以前の処理では茎葉部で、止葉期処理区は葉身部で明瞭であり、対照区と大きい差異を示した。

文 献

- 1) 藤原彰夫, 大平幸次, 1959; 高等植物における磷の生理的機能に関する研究 (第 2 報) (水稻稻) 磷と鉄, マンガン, 窒素の相互関係が水稻含窒素成分に及ぼす影響, 土肥誌, 30, 5, 230—236.
- 2) ———, 石田 博, 1963-a; 冷害稲の栄養生理 (第 1 報) 栄養生長期における低温処理の影響, 土肥誌 34, 4, 97—100.
- 3) ———, ———, 1963-b; (第 2 報) 最高分けつ期における低温および遮光処理の影響, 土肥誌, 34, 4, 101—106.
- 4) ———, ———, 1963-c; ——— (第 3 報) 最高分けつ期における地温, 気温および昼夜温処理の影響, 土肥誌, 34, 5, 150—154.
- 5) 石塚喜明, 田中 明, 広瀬 兄, 1962; 水稻の冷害に関する研究 (第 1 報) 水稻の冷害と物質の体内移動, 土肥誌, 33, 6, 286—290.
- 6) ———, ———, 1969; 水稻の栄養生理, 1—89.
- 7) 松島省三, 岡部 俊, 和田源七, 1958; 戸外の全植物を対象とした水稻の炭素同化作用と稲作, 農及園 33, (3), 449—454.
- 8) ———, 1967; 稲作の理論と技術—収量成立の理論と応用, 95—132.
- 9) 南 松雄, 多賀辰義, 1970; 寒地水稻の窒素代謝に関する研究, 第 1 報, 窒素追肥の影響, 道農試集, 21.
- 10) 村山 登, 塚原貞雄, 吉野 実, 1961; 水稻の生育に伴う炭水化物の集積移行過程の諸型式について, 土肥誌, 32, 7, 323—327.
- 11) 大島正男, 村山 登, 1960; 水稻の窒素栄養に関する研究 (1) 窒素栄養を異にする水稻の生育各期における遮光の影響, 農技研報告 B, 10, 1—36.
- 12) 島崎佳郎, 伊藤延男, 土井康生, 1961; 水稻冷害の解析的研究 II, 生育各時期の低温処理が稲の生育におよぼす影響, 特に低温処理および期間との関係, 北農試集報, 76, 1—8.
- 13) ———, 佐竹徹夫, 渡辺 潔, 1963; 生育初期の冷水灌溉がイネの生育並びに養分吸収に及ぼす影響について, 北農試集報, 80, 1—12.
- 14) ———, ———, 伊藤延男ほか, 1964; 水稻冷害の解析的研究 III 穂孕期の低温処理による不稔粒発生要因の解析, 北農試集報, 83, 1—9.
- 15) ———, ———, 渡辺 潔ほか, 1964; ——— ——— IV 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, 北農試集報, 80, 10—16.
- 16) 高橋治助, 村山 登, 大島正男ほか, 1955; 窒素の施用量の相違が水稻体の組成に及ぼす影響, 農技研報告 B, 4, 85—122.

Summary

In cold regions like Hokkaido, it is well known that the decrease of rice grain yield is due to the cool weather in summer. In fact, the preceding phenomenon is one of the most important factors that injures the rice plants in these area.

Therefore, the authors studied that the effects of low temperature treatment in each growth stage, from the panicle formation period to the booting stage, influence upon the growth of rice plant, the yield and the metabolism of protein and carbohydrate.

As for method of low temperature treatment for the rice plants, the phytotron were used.

The results obtained in these experiments are summarized as follows:

1) The elongation of the plant height and the increase in number of tillers were extremely inhibited by the low temperature treatment. But, it was recognized that growth of the rice plants was promoted rapidly when the rice plants were returned

to normal weather conditions. This tendency was especially prominent in the low temperature plots in the panicle formation period, but was not clearly noticeable after maximum number of tillers stage.

2) The treatment of low temperature inhibited remarkably the increase of plant weight, but after the normal condition was returned, the weight of rice plant in the treated plots began to increase rapidly. The final weight of leaf-blade and sheath+stem in the treated plots was equal to that in the control at the harvest-time.

Therefore, the ratio of the grain to the straw in the treated plants was smaller than that of the control, and the weight of the fully ripened grains in the treated plots was decreased. As a result, the percentage of yield decreased 5 to 70%, compared with that of the control, and the decrease of yield in plots treated after the maximum number of tillers stage was more marked than that in plots treated in the panicle formation period.

As for the effect of low temperature for the yield constituting factors, the number of panicles per hill was decreased in the panicle formation period by the treatment, but was not decreased after the maximum number of tillers stage. The number of spikelets per panicle was decreased in the plots which were treated in the panicle formation period and the maximum number of tillers stage, the degree of decrease in the plots which were treated the booting stage were a few.

The percentage of ripened grains which dominated sharply on the grain yield was decreased remarkably in the plots treated after the maximum number of tillers stage.

3) The contents of total nitrogen and protein nitrogen in the plant tissues were decreased immediately after the low temperature treatment.

On the contrary, the contents of total soluble nitrogen (non protein nitrogen) and amide+ammonia nitrogen in non-protein nitrogen fraction tended to increase. Consequently, the ratio of non-protein nitrogen to protein nitrogen in treated plants was higher than that of the control.

On the other hand, in case of return to the normal temperature, the contents of total nitrogen and protein nitrogen in the plant tissues were changed higher than that of the control. This tendency was clearer in the plants treated before the maximum number of tillers stage.

4) As for the effect of low temperature treatment on the metabolism of carbohydrate in rice plant, the contents of carbohydrate in the plant tissues were increased by the treatment, but these contents became quickly the same level as that of the control in case of return to the normal condition.

Especially, the high contents of various sugar under the treatment of low temperature were recognized clearly in the leaf-blade and sheath+stem of rice plant treated before the maximum number of tillers and the leaf-blade of treated plant in the booting stage.