

南九州とくにシラス地帯における水稻生育に及ぼす灌漑水温の影響

植 木 健 至

The Influence of Irrigating Water Temperature on the Growth of Paddy Rice in the Warmer District, Southern Kyushu

K. UEKI

(Crop Science Laboratory)

目 次

緒 言	
第1編 晩生稲の秋落ちと昼間水温の低下との関係	
第1章 低水温効果の生育時期別観察	
1. 実験材料ならびに方法	
2. 実験結果	
第2章 根の発育に及ぼす低水温の影響	
1. 実験材料ならびに方法	
2. 実験結果	
第3章 稲体窒素、澱粉の消長に及ぼす低水温の影響	
1. 実験材料ならびに方法	
2. 実験結果	
第4章 考 察	
第2編 生育各期における水温と中生稲の生育様相について	
第1章 分けつ期の水温の高低と生育収量との関係	
1. 実験材料ならびに方法	
2. 実験結果	
第2章 幼穂発育期の水温の高低と幼穂発育との関係	
1. 実験材料ならびに方法	
2. 実験結果	
第3章 考 察	
第3編 水稻の生育、とくに穂数に及ぼす分けつ期水温の影響と品種特性との関係	
第1章 低水温効果の品種間差異	
1. 実験材料ならびに方法	
2. 実験結果	
第2章 昼夜水温較差による影響の品種間差異	
1. 実験材料ならびに方法	
2. 実験結果	
第3章 考 察	
第4編 栄養生長に及ぼす昼夜水温の影響—とくに生育時期の移動にもなる気温の変化との関連において—	
1. 実験材料ならびに方法	
2. 実験結果	
3. 考 察	
総 括	

要 約
引 用 文 献
Summary

緒 言

南九州稲作の収量が、全国最低に近い水準にあることは、統計資料のしめす通りである。とくに、川内川、大淀川以南の沿岸シラス地帯は、第1には、含有機物の乏しいうえに極端に水持ちのわるい劣悪な砂質(シラス)土壌からなること¹⁸⁾⁵⁸⁾、第2には、畑地を多くかかえこんだ地形のために、推肥の施用による地力の向上をあまり多く期待できないこと、さらに第3には、2期作も可能とする亜熱帯の高気温が加わって、南九州のなかでも最低収地帯を形成している。このような諸条件を反映して、従来、少肥、疎植による安全栽培が、この地帯の一般農家の栽培慣行として定着してきたために、ごく最近の穂数型品種の出現までは、品種の転換も長い間進行せず、最晩生の瑞豊と、中生の農林18号の2品種によって、作付面積の大部分が独占されてきたといっても過言ではない²¹⁾。

ところで、本研究が開始された1951年は、西日本において、水稻秋落ちに関する論議がようやく煮つまり、土壌改良をはじめとした国の諸施策もまた軌道にのろうとしていた時期であった。松尾²⁸⁾、朝隈²⁾などにより、高温障害の可能性が指摘されたのも当時のことであって、暖地稲作の当時の最大の関心事は、生育後期の凋落をいかに防ぐかにあったといえる。著者が最初の視点を水温低下による老化抑制においた理由もまたここにあった。

その後、農林18号をはじめとした中生系の品種を扱うにおよんで、これらの水温に対する反応が、晩生稲に比べると多くの類似点をもつ反面、非常に相異なる側面をも有し、とくに、従来暖地稲作の懸案とされてきた単位面積当り穂数の確保²²⁾に水温の引き下げが大変有効であることがわかった。すなわち、水温に

着目した水管理が、当初の単なる秋落ち回避という受動的な視点から脱却して、暖地の高気温を活用した増収技術の1つとして有効であることを知ったのである。

しかし、近年全国的な品種改良の動向に対応して、南九州においても、ようやく農林18号の王座がゆらぎ、代りに短稈穂数型品種が急速に広まりつつある。とくに、今後の展望としては、さらに早生種の導入が試みられるのではないかと思われ、このような観点から、中晩生稲において得られた知見が最近の導入品種にどこまで有効であるかどうかの検討をも行なった。

この研究のすべては、ここ10余年の間に、鹿児島大学農学部内のシラス土壌を用いてなされたものであり、途中断絶する時期もあって、いまだ問題提起の領域を出ないものも多々あるが、今後暖地における水管理の開発への1つの起点となればと考え取りまとめを行なったものである。

なお、この研究にあたり、はじめて暖地稲作における水管理の特異性を御数示戴いたいまは亡き鹿児島大学松尾大五郎教授に深甚の謝意を表わすとともに、本論文に対する御校閲を賜った東京大学川田信一郎教授に衷心より感謝の意を捧げる次第である。またこの研究の遂行にあたり、多くの御援助と御協力を戴いた鹿児島大学池田三雄教授、ならびに鹿児島県農業試験場主任研究員湯田保彦氏に深謝の意を表するものである。

第1編 晩生稲の秋落ちと昼間 水温の低下との関係

第1章 低水温効果の生育時期別観察⁴⁸⁾

1. 実験材料ならびに方法

コンクリート製の大型水槽2つを設け、1つは貯溜とし、他は昼間すなわち午前9時から午後5時までの間のみ水道水の掛流しを行なった。そして各々の水槽のなかに、5千分の1アールのワグナーポットに植えた水稲を入れ、生育全期間あるいは特定の期間のみ、1方の水槽から他方にポットを移動させるという処理を行なった。なお、ポットの表面から水面までの水深は約3cmに保つようにした。処理時期の構成は第1図にしめす通りである。1952年は1区当り4ポットとしたが、1953年は前年度の実験結果をさらに確認するために、幼穂発育期を中心とした組立てを行ない、ポット数を増加して、1区当り8ポットとした。栽培方法について、品種は瑞豊を用い、1952年度は播種期6月8日、移行期7月11日、ポット当り1株1本2株植とし、元肥に窒素、燐酸、加里各々0.5gを施し追肥は与えなかった。また、1953年度は同じく瑞豊を用い、播種期6月13日、移植期7月7日、ポット当り1株1本1株植とし、元肥は前年同様であるが、7月26日に窒素のみ0.25g追肥として施した。

2. 実験結果

1952, 1953の両年における気象は、全般的に気温

Table 1. Effects of water-temperature lowering at the different stages on the plant height and the number of tillers.

1952

Item	Plot	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Plant height ¹⁾	106.6	105.9	111.6*	101.4	104.3	103.4	113.8**	114.3**	106.0	111.6	115.0**
No. of tillers ²⁾		44.3	44.8	45.5	46.0	46.0	46.8	45.3	45.5	44.5	42.5	45.5	44.3

1953

Item	Plot	1	2	3	4	5	6
		Plant height ¹⁾	108.6	116.1*	110.7	110.4	113.0*
No. of tillers ²⁾		38.5	41.0	40.3	42.2	39.8	41.0

1) Measured at the heading period

2) Measured at the stage of the maximum number of tillers

*, **: Significant at 5%, 1% level against plot 6, respectively

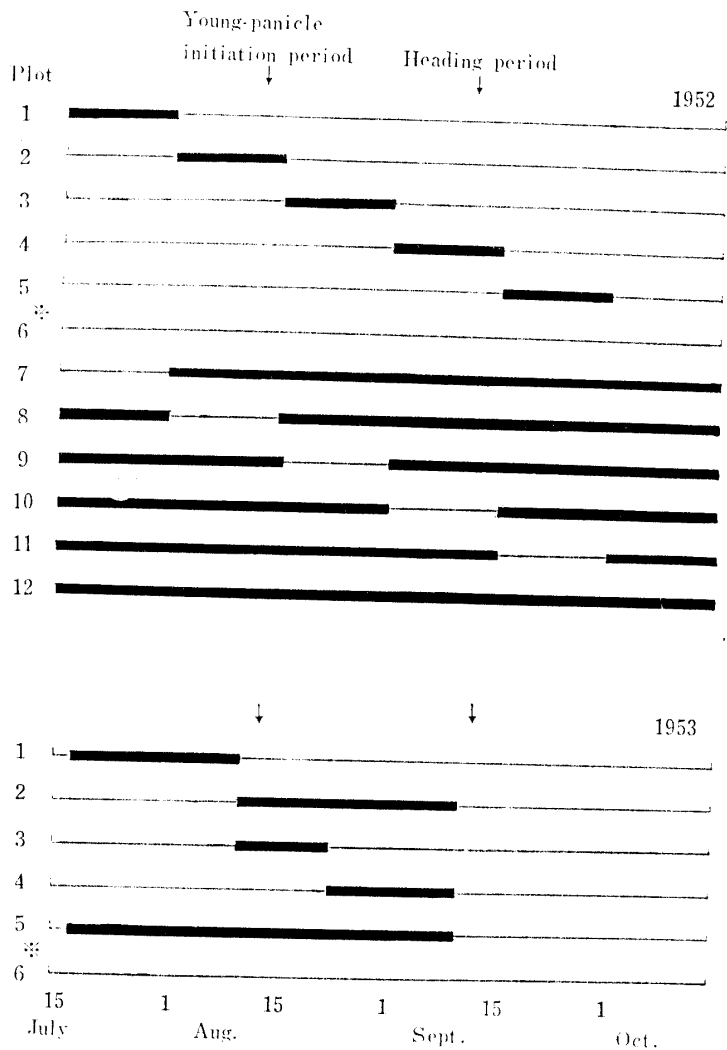


Fig. 1. Experimental design.

— Running water irrigation - - - Stagnant water irrigation * Control

は平年なみで日照時数も多く、台風の襲来もなく、典型的な多収年であった。

貯溜水槽、掛流し水槽の午後2時のポットの地表面における水温を第2図にしめた。水槽が30cmの深度をもつために、貯溜区の日中最高水温は水田のそれ程高くなり、分けつ期が31~35°C、幼穂発育期が30~32°C、登熟前半で26~30°Cであった。これに対し掛流し区は、分けつ期が25~30°C、幼穂発育期が25~27°C、登熟期が23~26°Cであった。すなわち貯溜水槽の水温は、従来のいわゆる“適温”とみてよく、これに対し掛流し処理により移植後出穂期まで大体4~5°Cの水温の低下をみたことになる。

出穂期における草丈と最高分けつ期における茎数を第1表にしめた。まず、全期掛流し区をはじめ幼穂発育前期の掛流し処理を含んだ区は、有意差のみられなかった1953年度の第3区を除いて、何れも草丈の

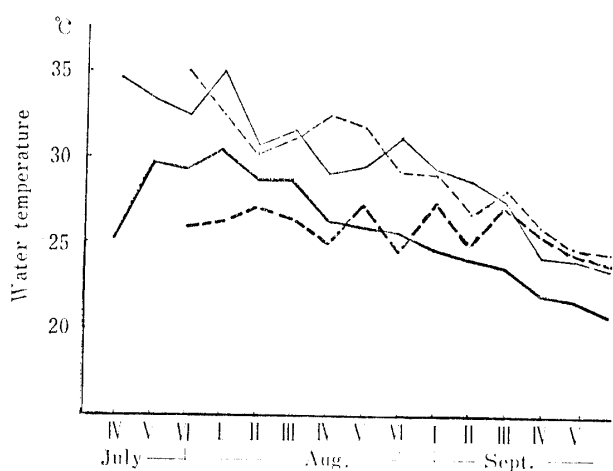


Fig. 2. Temperature of the irrigation water (mean 5 days, at 2 p.m.).
 — Stagnant water (1952)
 - - - Stagnant water (1953)
 — Running water (1952)
 - - - Running water (1953)

伸長が明瞭で、逆に同時期に貯溜した区は、前時期の水温の高低にかかわらず、対照区（全期貯溜区）に比べて有意でなかったことは注目すべきであろう。この時期は、第16葉および第17葉（止葉）の出葉期にあたり、後述のように、これらの葉の伸長の増大が結果的に草丈の増大をもたらしたものと考えられる。

次に最高茎数については、兩年とも全処理区を通じて全期貯溜区との間に有意差がみられない。すなわち、最穂重型の品種特性を反映して、この程度の水温の高低と茎数の増加とは無関係であったとみてよい。

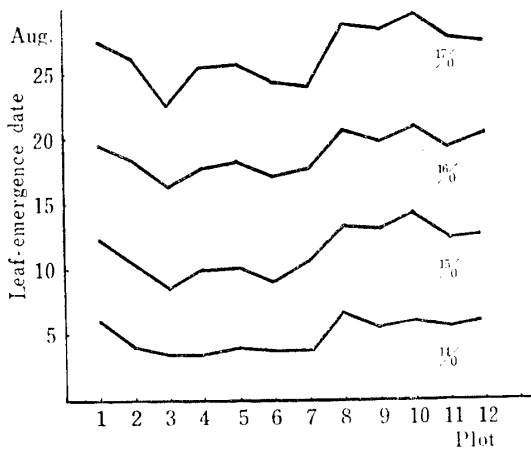


Fig. 3. Effects of water-temperature lowering at the different stages on the leaf emergence rate of main stem (1952).

主程出葉期は第3図に示すように、分けつ初期に処理を行なった区においていずれも影響が表われ、同時期の掛流しによる水温低下は2～5日の出葉期のおくれをきたし、この遅延は生育後期まで回復できなかった。これに反し、幼穂分化期以後の処理は、本実験程度の水温変化によっては殆んど影響力がなかったとみてよいと思われる。

葉位別最大面積は、1958年の結果では第2表にみ

Table 2. Effects of water-temperature lowering at the different stages on the leaf area.

		1953					
Leaf age	Plot	1	2	3	4	5	6
17th leaf (Flag leaf)		19.7cm ²	30.3	30.8*	20.4	25.6	20.5
16th leaf		26.9	30.1	32.6	27.6	30.6	27.4
15th leaf		29.4	28.8	31.1	30.4	31.3	30.9
14th leaf		30.7	31.0	31.3	31.6	33.5	31.9
13th leaf		31.4	31.9	34.3	30.8	34.7	31.6
12th leaf		31.0	33.0	33.4	33.6	35.0	34.3

* Significant at 5% level against plot 6

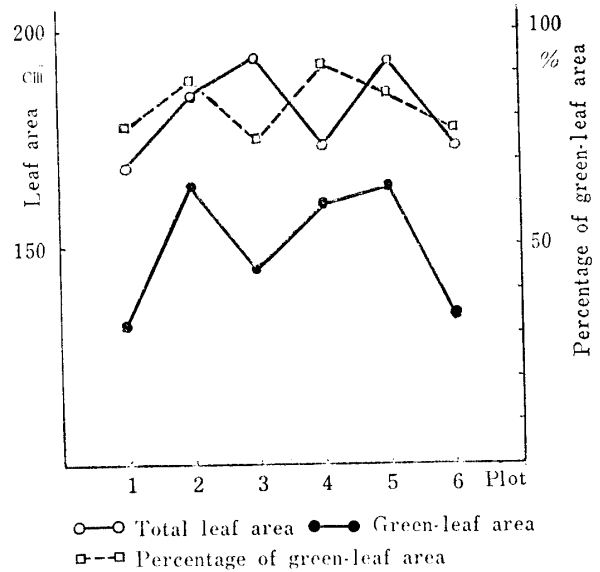


Fig. 4. Effects of water-temperature lowering at the different stages on the leaf area of main stem (1953).

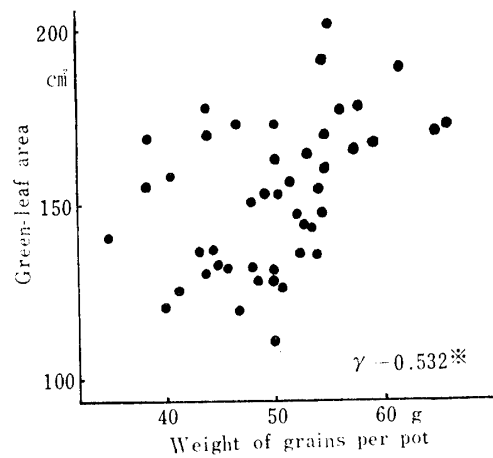


Fig. 5. Relations between the green-leaf area of main stem at heading period and the grain yield.

* Significant at 5%

るように、第15葉までは区間に差異を認め難いが、第16葉、第17葉(止葉)、とくに後者において差異が認められ、幼穂発育前期、すなわちこれらの葉の伸長期に掛流し処理し、他時期を貯溜した区は、全期貯溜区よりも葉面積の増大をみた。また、出穂期における主稈の第12葉以上についての全葉面積、緑葉面積および緑葉歩合は第4図にしめした。全葉面積については、区間に大差を認め難いが、1953年の第2、第4、第5区すなわち、幼穂発育後期に掛流し処理をした区は、いずれも緑葉歩合が高く、従って緑葉面積も大で、葉枯の進行が著しく抑制されたことをしめしている。

出穂期には明瞭な区間差が認められなかった。

収穫物の調査結果を第3表にしめした。1952年度

の結果において、第6図にみるように、長期間貯溜状態において一時期掛流し処理を行なった第1~第6区は、長期間掛流し状態において一時期貯溜処理を行なった第7~第12区のグループに比べて、全体的に低収量レベルをしめしている。このうち、前者すなわち1~6区の間では、幼穂発育期の前、後期ともに掛流し処理区の収量増加が目につくし、逆に後者7~12区の間では、幼穂発育期後半の貯溜による悪影響と掛流しによる好影響の発現時期が一致したことより考えて、瑞豊における水温の問題は、幼穂発育期にとくに集中されるものといえよう。

次に収量の成立過程について処理時期別にみると次の通りである。第1に全期貯溜区と全期掛流し区を比べると、概重に明瞭な有意差がみられるが、これを収

Table 3. Comparison of the characters influencing to yield

Character	1952											
	Plot 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Length of main stem	88.1 ^{cm}	84.8	89.9 [*]	83.7	84.8	85.3	91.6	92.2 ^{**}	86.9	90.8 [*]	94.3 [*]	93.0 ^{**}
Length of panicle	19.1 ^{cm}	18.7	21.1 ^{**}	18.9	18.1	18.0	21.3 ^{**}	21.9 ^{**}	18.7	20.5 ^{**}	21.5 ^{**}	21.6 ^{**}
Number of panicles	18.3	22.0	19.3	20.3	19.5	20.8	21.6	20.5	20.8	21.5	21.0	21.3
Weight of grains per pot	34.9 ^g	40.9	40.5	37.5	35.6	33.6	45.8	46.1 [*]	40.1	48.4 ^{**}	50.2 ^{**}	51.8 ^{**}
Weight of top per pot	50.2	53.6	65.2 [*]	53.6	52.5	51.0	75.7 ^{**}	73.5 ^{**}	66.0 ^{**}	64.5 [*]	74.6 ^{**}	76.1 ^{**}
Weight of root per pot	22.8 ^g	27.0	26.6	25.8	23.6	24.8	27.7	26.2	24.8	24.4	28.5	28.9
Grain/top ratio	69.7 [%]	76.7	62.0	70.1	68.1	75.9	61.5	62.6	60.6	75.5	67.2	68.1
Weight of 1,000 grains	29.7 ^g	28.9	31.2 ^{***}	29.8	30.4	29.8	29.6	31.1 ^{**}	29.0	29.5	30.2	30.4
Number of grains of main stem	88.0	92.7	93.3	81.9	82.6	82.4	108.3	95.6 ^{**}	97.8 ^{**}	103.6 ^{**}	113.3 ^{**}	120.8 ^{**}

Character	1953					
	Plot 1	2	3	4	5	6
Length of main stem	86.9 ^{cm}	95.5 [*]	88.6	92.4	96.9 ^{**}	88.7
Length of panicle	20.1 ^{cm}	22.9 ^{***}	19.7	19.9 [*]	20.8 ^{**}	18.2
Number of panicles	22.0	21.5	22.0	22.0	21.5	22.0
Weight of grains per pot	42.8 ^g	56.6 ^{***}	49.2 [*]	52.2 [*]	55.0 ^{***}	40.7
Weight of top per pot	49.1 ^g	60.4 ^{**}	57.8	60.0 ^{**}	57.0	54.4
Grain/top ratio	87.0 [%]	93.8	85.0	86.8	98.0	74.5
Weight of 1,000 grains	31.8 ^g	32.1	30.2	33.3 [*]	29.8	30.9
Number of grains of main stem	104.3 ^{**}	112.3 ^{***}	101.5 ^{**}	97.0 [*]	131.0 ^{***}	77.8

*, ** and *** : Significant at 5%, 1% and 0.1% level against plot 6, respectively

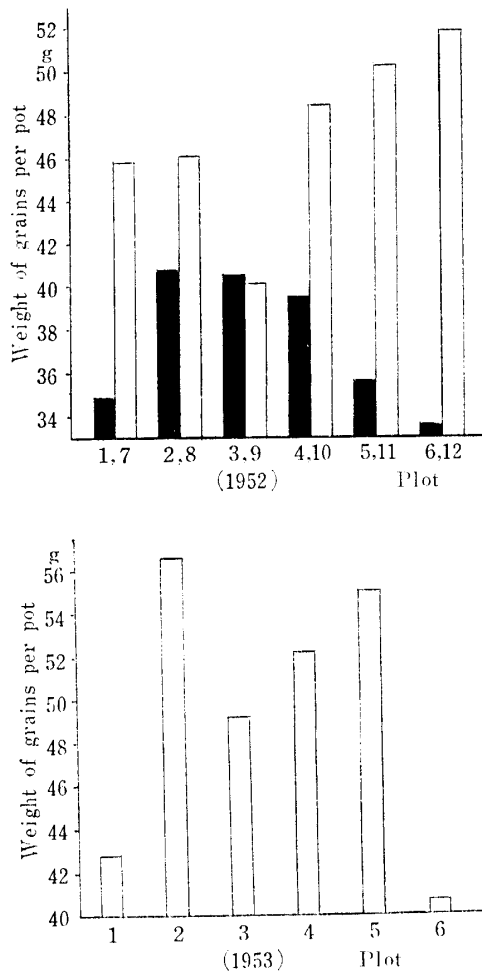


Fig. 6. Effects of water-temperature lowering at the different stages on the grain yield.

量構成要素と照合すると、精粳 1000 粒重には差異が認められず、1 穂粒数の多少によるものと思われる。このことは稈長、穂長の大小からもうかがえることであって、昼間水温の引下げによる稈長の増大が、1 穂粒数の増加と密接に関連しているものように思われる。第 2 に分けつ期の掛流し処理は穂数の大小に対して影響せず、従って籾重にも差異が認められなかった。第 3 に幼穂発育期間のみの水温低下効果は、全期間掛流し処理区にみられるほどではないが、前述のように、明らかに貯溜区に対して有意的な収量増をしめしており、その成立要因も 1 穂粒数の増大によることは全期間処理区におけると同様である。ただ、とくに好天に恵まれた 1953 年度の実験において、幼穂発育前期の掛流し処理によって、精粳 1000 粒重が著しく増大したことは特筆してよいであろう。このことは第 5 図にみた主稈緑葉面積と籾重との関係をあわせ考えるときに第 4 図にみるように、緑葉歩合を最も高く保持した

ことと関連するようと思われる。第 4 に出穂期後の水温処理による区間差はなく、収量に対してはほとんどその効果を期待できないといってよいであろう。

第 2 章 根の発育に及ぼす低水温の影響⁵⁰⁾

1. 実験材料ならびに方法

第 1 章で述べたと同様に、コンクリート水槽 2 つを設け、その各々のなかに水稻を植えたワグナーポット 40 を入れ、1 つは昼間（午前 9 時～午後 5 時）水道水を掛流した掛流し区と、対照として貯溜区の 2 区を設けた。掛流し処理期間は 7 月 15 日から 9 月 24 日までとした。品種は瑞豊を用い、6 月 7 日播種、7 月 7 日移植を行ない、ポット当り 1 株 1 本 1 株植えとした。施肥量は元肥として窒素、リン酸、加里各々 0.5 g、追肥として窒素 0.25 g を施した。

処理開始後、草丈、莖数が最も平均値に近い生育をしている 2 株を 1 週間毎に各区より抜きとり、水道水で土を洗いおとした後、新根（白色を呈し分枝数も少なく、酸化鉄の附着もみられない）、褐色根（褐色を呈し分枝数も多い、ただし生育後期にはかなり退色した）、および黒色根（黒色を呈し、出穂前後より半透白蠟状の腐根が混在した）の 3 種に分類して、各々の根重、ならびに 5 cm 以上の根数を測定した。また、同試料の一部をとり、ワールブルグ検圧計で 30°C における呼吸量を測定した。

2. 実験結果

本実験を実施した 1955 年の気象は、8 月中旬より 9 月上旬、すなわち幼穂発育期に相当する時に曇雨天がつづき、概して低温寡照の年であったために、貯溜区の水温は第 7 図にしめすように低めに経過し、午後

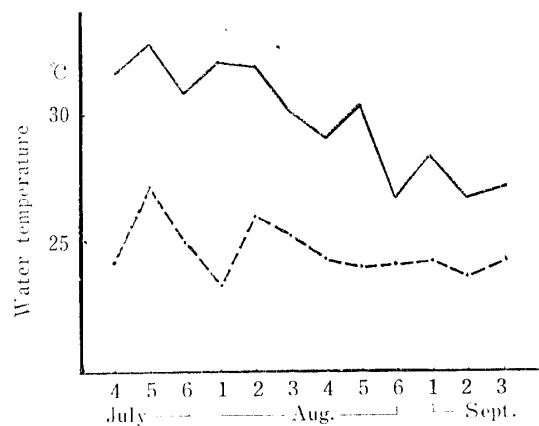


Fig. 7. Temperature of the irrigation water (mean 5 days, at 2 p.m.).

— Stagnant water irrigation
 --- Running water irrigation

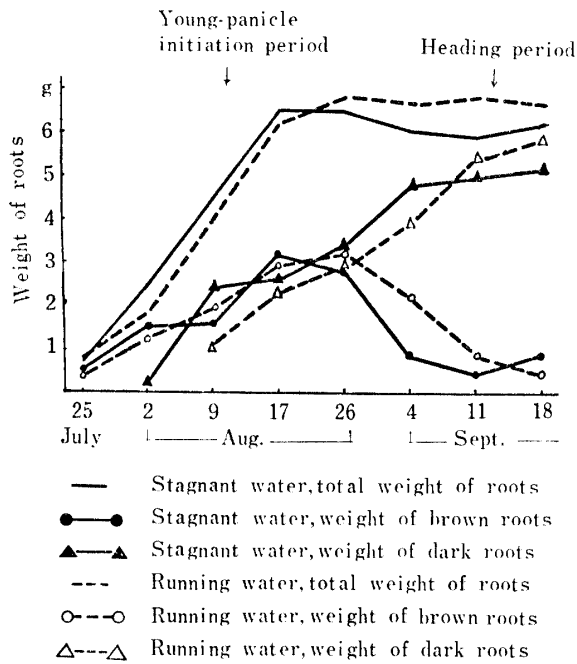


Fig. 8. Changes of the weight of roots (air dried basis per one plant)

2時水温で、分けつ期が 31~33°C, 幼穂发育期間で 27~30°C であった。これに対し、掛流し区の水温はほぼ 24~27°C であった。

根重の推移は第8図にしめした。全根重は8月26日、すなわち出穂前約2週間頃までは両区とも差異がみられず、やや貯溜区が勝る傾向がみられたが、同時期以降は逆に掛流し区において若干大となった。また、褐色根重について同じく8月26日までの増加過程においては、両区間に差異を認め難いが、同時期以降出穂期までの間の減少過程において明らかに掛流し区が大であった。この事実は黒色根の推移においても、掛流し区が貯溜区よりも約1週間おくらせて出現し、貯溜区より少なく経過したことからもうなずける。この褐色根、黒色根の動向からみて、根の老化が幼穂发育期の中期頃から急速に進行しはじめるという理解

してよく、この際、水温の低下がその抑止的效果を与えているものとみてよいであろう。

次に新根数、新根重の動向を第9図にしめした。根数と根重の両者が平行して推移することは同図により明らかであるが、貯溜区が8月9日、掛流し区が8月17日の測定時点でピークをしめし、幼穂分化期(出穂前30日)の前後に約1週間ずれて表われ、かつ根重、根数ともに掛流し区に大であった。この新根の消長にみられる両区の差異が、前記褐色根のそれと異なって幼穂分化期近くに集中的に表われたことは注目してよいであろう。

第4表は株当たり全根数に対する新根、褐色根、黒色根の比率を生育時期別に表示したものであって、幼穂发育前期において新根が、後期において褐色根の占める比率が掛流し区において大であると同時に、根腐れの進行もまた緩慢であることが明瞭である。すなわち、この程度の水温の高低によって生ずる根の发育上の差異は、幼穂发育期に集中して表われ、分けつ期な

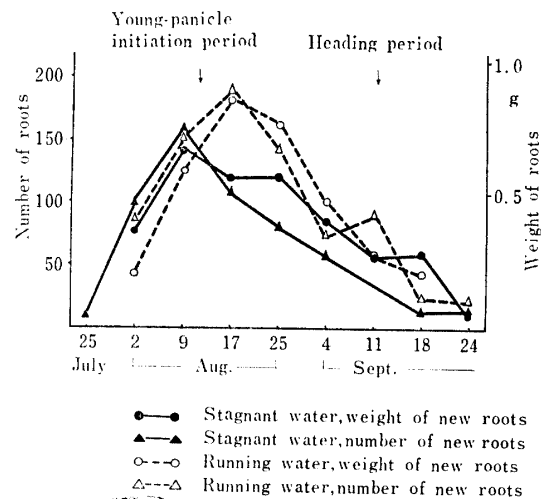
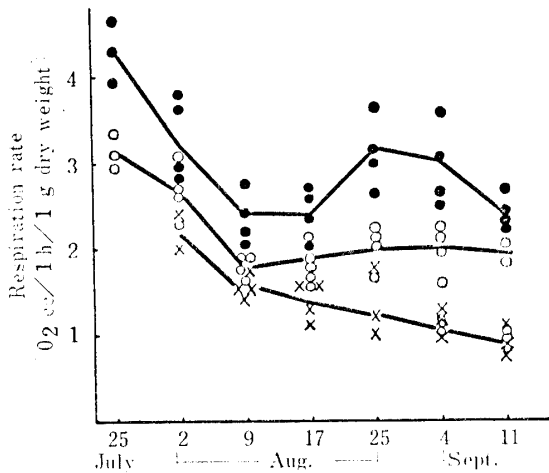


Fig. 9. Changes of the weight and the number of new roots (per one plant).

Table 4. Changes of the classified roots in per cent.

Plot	Sort	July		Aug.			Sept.		
		15	25	2	9	17	26	4	11
Stagnant water	New root	18.0%	50.4	32.3	13.8	12.3	7.3	—	1.4
	Brown root	82.0	49.5	53.8	32.2	24.3	29.1	—	22.6
	Dark root	0	0	13.8	54.0	63.4	63.6	—	76.0
	Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Running water	New root	18.0%	50.3	32.8	31.9	21.1	9.3	11.3	4.0
	Brown root	82.0	49.7	67.2	42.9	42.1	41.6	26.6	28.3
	Dark root	0	0	0	25.1	36.8	49.1	62.1	62.7
	Total	100.0	100.0	100.0	100.1	100.0	100.1	100.0	100.0



● New root ○ Brown root × Dark root

Fig. 10. Changes of the respiration rate of classified roots

らびに出穂以後に対しては影響力が殆んど認められないといつてよい。

著者は、根の老化程度に対する判断の一法として、上述の3種類に分類して量的な追跡を行なった。しかし、これは単なる外観的な色による分類であつて、これらの間どの程度の生理的な差異があるかを検討する必要があると思われ、その一法として、生育時期別に単位乾物当りの呼吸量を測定した結果が第10図である。同色の根であれば貯溜、掛流しの処理別の差異はみられず、新根、褐色根、黒色根ともに同有の曲線をしめすことが明らかである。すなわち、3者ともに8月上旬の幼穂分化期頃までは呼吸量は減少するが、その後幼穂發育後期にかけて新根は再び呼吸量が増加するのに対し、褐色根は見るべき増減はなく、黒色根は下降の一途をたどっている。このように生育時期によって3者間の差異の程度は異なるが、とくに、幼穂發育期においては明瞭であることから、大体においてこの色感による分類の方法は老化程度の差異を表わし得たものと思われる。

第3章 稲体窒素、澱粉の消長に及ぼす低水温の影響⁴⁹⁾

1. 実験材料ならびに方法

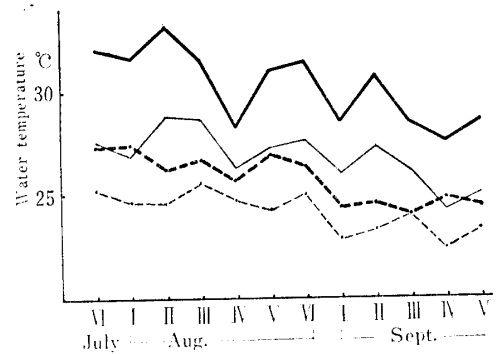
品種は処理区の構成、処理の方法、栽培方法、試料の採取方法は、第2章におけると同様であるが、ただ、移植期は7月11日で、掛流し処理期間は7月27日(移植後16日)から9月30日(出穂後17日)とし、1株1本2株植とした点だけが相異なる点であつた。試料は7~10日毎に晴天の日の午前10時に茎数、

草丈が最もその区の平均値に近い2ポット計4株を採取し、ガラス室内で風乾後粉碎して乾物重を測定した後、全窒素、粗澱分、全糖、粗灰分の定量を行なった。なお、分析方法は窒素はケールダール法、糖分はベルトラン法を用い、東大農芸化学分析書にしたがつたものである。

2. 実験結果

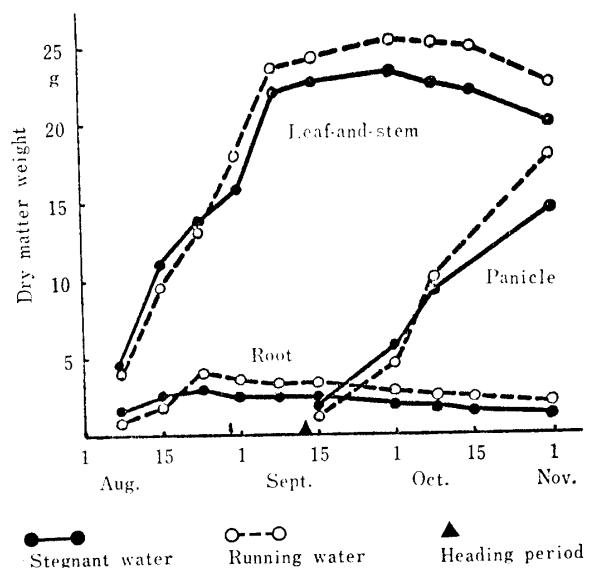
本実験の行なわれた1954年は、7月下旬に多雨寡照で分けつが発生が少なく、その後順調な天候がつづいたが、登熟後期の低温をうけて一般的に生育、収量ともにやや不良であつた。

水温条件は第11図にしめすように、第1章でのべた1952年、1953年の結果と略近似して、貯溜区は午



— Stagnant water, at 2 p.m.
- - - Stagnant water, at 10 a.m.
... Running water, at 2 p.m.
- · - · Running water, at 10 a.m.

Fig. 11. Temperature of the irrigation water (mean 5 days).



● Leaf-and-stem ○ Panicle ▲ Root

Fig. 12. Changes of the dry weight of each organ.

後2時水温で 32~33°C, 幼穂發育期 29~32°C, 登熟前半期で 28~30°C であり, これに対し掛流し区は, 分けつ期 26~27°C, 幼穂發育期 25~27°C, 登熟前半期が 23~25°C であった.

株当り乾物重の推移は第 12 図に示すように, 茎葉部は幼穂發育期中頃までは両区間に大差ないかやや貯溜区が勝る傾向がみられたが, 同時期以降はこれが逆転し, 登熟中期まで掛流し区が大であった.

根部については地上部と同様の傾向をしめすが, 地上部と異なる点は, 掛流し区の根重が貯溜区の根重を追越す時期が, 地上部重の追越し時期より若干早まって幼穂分化期附近にあることが注目された. また, 穂においても登熟前半期は貯溜区が勝ったが, 登熟中期頃より逆転し掛流し区が大となった. 以上のべたように, 根重は幼穂分化期頃, 茎葉重は幼穂發育中期頃, 穂は登熟中期頃と時期的に順々と掛流し区が貯溜区を凌駕していく様相は, 低水温の稲体に及ぼす様相を端的にしめしているといえよう.

生育時期別における稲体各成分の含有率を第 5 表, このうちとくに全窒素は第 13 図に, 粗澱粉は第 15 図にしめた. 登熟中期までつねに掛流し区は貯溜区よりも茎葉部の窒素含有率高く, 逆に澱粉含有率が低く経過していることが明瞭である. 穂部についても同様の傾向は登熟初期に認められるが, 登熟後期になると

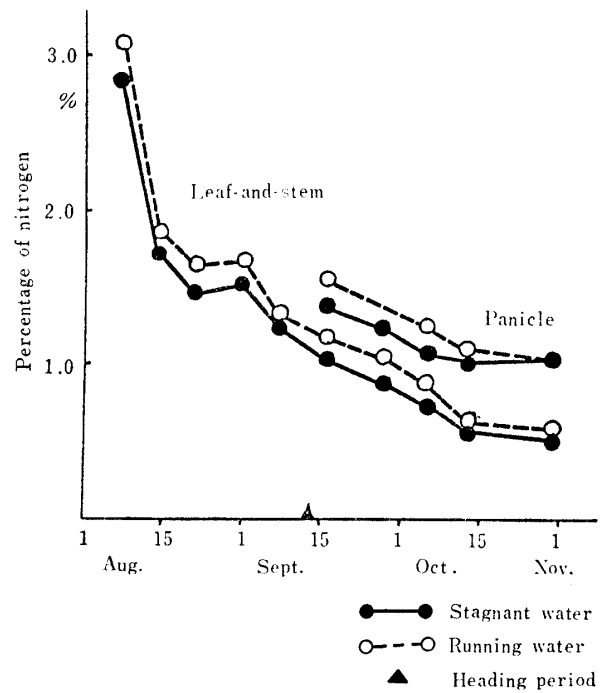


Fig. 13. Changes of the percentage of total nitrogen.

掛流し区の澱粉含有率が貯溜区よりも高くなった. 全糖ならびに灰分含有率については, 特筆すべき区間差は認められなかった.

窒素含有量を第 14 図にしめた. 幼穂發育期から

Table 5. Changes of the percentage of each constituents.

	Part	Plot	Aug.				Sept.			Oct.		
			7日	14	21	30	7	16	27	6	13	30
Total nitrogen	Leaf-and-stem	A	2.86%	1.74	1.47	1.52	1.24	1.04	0.88	0.72	0.56	0.54
		B	3.09	1.81	1.61	1.67	1.31	1.18	1.04	0.85	0.58	0.53
	Panicle	A						1.38	1.24	1.09	1.02	1.03
		B						1.51	—	1.22	1.07	1.03
Crude starch	Leaf-and-stem	A	13.79	15.47	18.11	19.21	21.31	23.99	22.50	21.87	21.77	21.05
		B	—	13.83	16.10	17.31	20.23	22.88	21.40	21.66	21.96	21.05
	Panicle	A						19.30	26.81	44.72	54.01	60.06
		B						17.65	23.45	45.95	57.62	64.10
Total sugar	Leaf-and-stem	A	—	4.21	3.63	3.39	5.36	5.39	6.50	7.05	5.82	5.39
		B	—	4.28	3.40	3.76	6.20	6.01	7.07	5.71	5.85	5.23
	Panicle	A						0.99	3.18	—	1.36	1.71
		B						1.84	2.23	—	1.62	0.99
Crude ash	Leaf-and-stem	A	11.43	13.01	12.21	13.45	11.40	10.41	11.95	11.38	11.20	10.55
		B	11.82	13.71	13.21	12.18	11.36	10.99	11.90	12.42	10.59	10.79
	Panicle	A						4.65	—	4.27	5.00	4.03
		B						3.93	6.69	4.67	4.64	3.63

A : Stagnant water
B : Running water

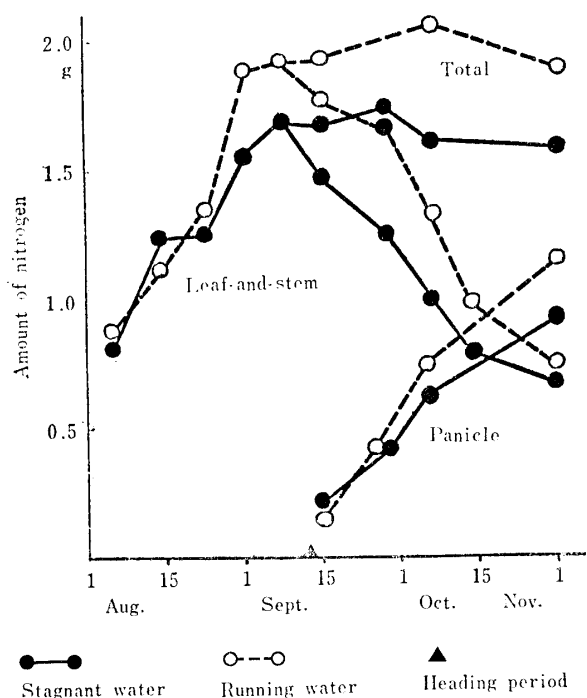


Fig. 14. Changes of the amount of total nitrogen per hill.

ピークをしめす出穂期にかけて、掛流し区における窒素の増加量が著しく大で、出穂後の減少過程においても貯溜区に比べて減少度が著しく緩慢であることが認められた。また、穂部においても登熟中後期にかけて明らかに掛流し区が大であったために、全植物体における窒素含有量の区間差は、幼穂発育中期より登熟後期まで明瞭であった。

澱粉含有量は第16図にしめすように、出穂期までは両区間に全く差異を認め難いが、出穂後やや掛流し区に大なる傾向がみられるがその差は僅少であった。これに反し穂部では、登熟期後半においては掛流しの増加量が著しかった。

最後に、両区における生育状況ならびに収量および収量構成要素をあげると第6表の通りである。前述のように、本年度の気象状況を反映して低収量レベルで

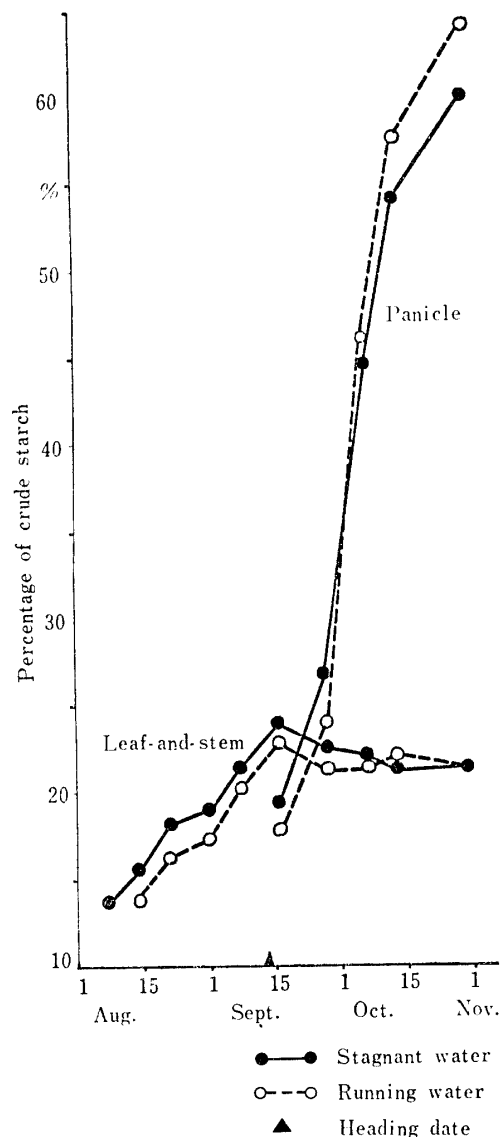


Fig. 15. Changes of the percentage of crude starch.

あるが、掛流し区の収量が貯溜区より大で、この成立過程をみると穂数、精粒1000粒重は変わらず、1穂稔実粒数の大小によるものと思われ、このことは稈長、穂長の増大とも符合する。これらの傾向は第1章

Table 6. Comparison of the characters influencing to yield in each plot.

Plot	Plant height	Length of stem	Length of panicle	Weight of top	Weight of grains per pot	Weight of 1,000 grains	Number of panicles	Number of grains per panicle
Stagnant water	98.0	72.0	18.6	47.1	30.4	25.9	21.5	87.4
Running water	101.5	77.8**	19.4*	50.2*	38.2**	25.6	22.9	101.6**

* and **: Significant at 5% and 1%, respectively

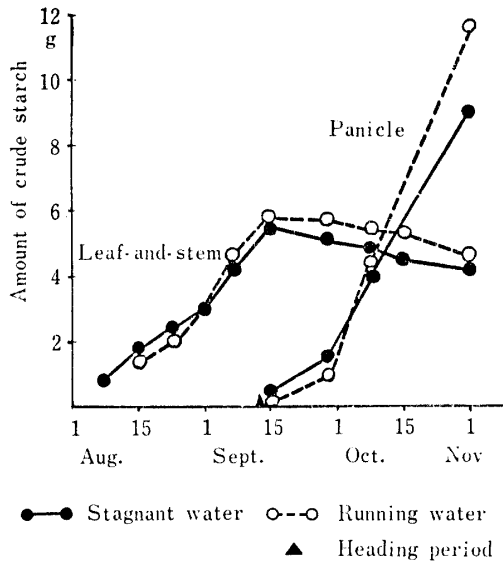


Fig. 16. Changes of the amount of crude starch.

にしめした傾向と全く同様であった。

第4章 考 察

本実験においては、分けつ期から出穂期までの間、掛流し処理によって昼間水温を約 4°C 下げ得たのであるが、生育時期別試験の結果は、できるだけ長期間にわたって掛流し処理を行なうことが、収量を増大させるうえで効果的であることをしめしている。ただしこの場合、処理期間のなかに幼穂発育期を含むことが不可欠の条件であって、この時期を貯溜状態におくことは掛流し処理の効果を消去してしまうこと、逆に他時期は貯溜状態であっても幼穂発育期のみ掛流しを行なうことにより、相当の増収効果を期待し得るということである。従来西南暖地において、水稲生育と水温との関係を生育時期別にみた例として、佐藤³⁸⁾は夏秋別に掛流し灌漑を行なった場合、夏期の効果が著しいことを報じ、朝隈²⁾は最高分けつ期前の2週間における水温低下の効果を強調しているが、これらはいずれも供試品種に中生系の品種を用いているために、本実験結果と異なるところがあるのは当然であろう。とくに後章でのべる中生系の農林18号にみられるような、分けつ期の掛流し処理による茎数引いては穂数に及ぼす影響が瑞豊においては全くみられない反面、幼穂発育期の掛流し処理により草丈、稈長が高く、上位葉1~2の葉身は長く、かつ出穂期における葉枯も少なく経過したことは、嵐³⁾、松尾²⁸⁾、香山²³⁾の指摘する秋落ち稲の生育様相を打ち消す上に顕著な効果があったと考えてよく、このことが1穂粒数を増加し、収

量を高めた原因であると思われる。とくに1953年度の成績は、非常に好天にめぐまれば1000粒重の増大も可能であることをしめすものである。もちろん、この背景には草型が最穂重型であるということ、また感光性が高いために、低水温による若干の出穂期の遅延が出穂期の遅延に直結しないという品種の特性が影響していることはいままでのない。

以上の地上部にみられる諸様相の差異は根の生育状況とよく符合する。佐藤³⁷⁾は水稲の発根力は最高分けつ期に最大をしめし、以後伸長期には減退し始め、出穂を転機として激減することを報告し、稲田など¹⁴⁾も新根の発生は最高分けつ期から幼穂形成期にかけて多く現われ、出穂後は認められないとしている。さらに萩原など¹²⁾は、秋落ち稲と非秋落ち稲にみられる根群蔓延状況の差異は幼穂形成期以前にはみられず、出穂期近くになって現われるとしている。このように秋落ちと関連した根の消長の問題は、時期的には幼穂発育期間に集中して現われるものと考えられる。また温度との関連において、長井など³¹⁾は23, 28, 33°C の3段階の恒温水槽を用いて根の発育状況をみた結果、 28°C 区において地下部重は中間をしめすが、地上部重は最大であったことを報告し、山川⁶²⁾は 25°C と 30°C における根の生育を観察した結果、 25°C 区は細胞伸長はやや劣るが、細胞分裂において勝ることから、根の生育に対する総合的な適温は 30°C 以下であると推定した。このような観点から本実験における根の推移をみると、幼穂分化期頃を中心にして掛流し区の新根数、新根重のピークが1週間おくれて現われると同時に量的にも大であり、以後出穂期にかけて新根→褐色根→黒色根への移行過程が貯溜区におけるより緩慢であったことは、前述の地上部の生育様相を誘起する上で、とくに10日以上も長い無効分けつ期間を有する晩稲の老化を防ぐうえで効果的であったと認めよう。

なお掛流しによる地上部、地下部の秋優り型への転換は、稲体内成分の消長からも裏付けられる。石塚など¹⁶⁾、山田など⁶⁰⁾、山口⁶¹⁾、山川⁶²⁾、小畑³⁴⁾は早期栽培と普通期栽培との比較において、また馬場など⁴⁾、萩原など¹²⁾は秋落ち稲と非秋落ち稲との比較において、いずれも暖地の秋落ち稲が養分吸収の低下をしめすことを報告しているが、なかでも窒素含有率が終始低レベルで経過することはすべてに共通してみられることである。本実験の掛流し区にみられる茎葉部窒素の推移はまさに秋落ち型から秋優り型へ、あるいは暖地型から寒地型への移行をしめすものであり、と

くに幼穂発育前期において比較的高濃度の窒素含有率をもったことは玖村²⁴⁾の指摘するように、1穂粒数の増加に効果的であったと考えられるし、さらに出穂期にかけての窒素吸収量の著しい増加はその後の登熟に好影響を与えたものと考えられる。茎葉部澱粉含有率は掛流し、貯溜区間に大きな差異を認め得なかったが、嵐³⁾によれば秋落ち稲と非秋落ち稲の茎葉、籾含有澱粉は部位別に異なるので、本実験のように茎葉部を一括して測定した結果のみではより以上の考察は難しい。菅原⁴¹⁾は東北地方の健全稲は、成熟後の籾内残留澱粉量が殆んど認められないが、暖地の稲ではなお多量に残留することから暖地稲の同化生産物の穂への転流の非効率化を指摘している。一般に米粒の登熟の多くは出穂後の光合成に依存することは戸刈など⁴⁶⁾によりしめされているが、この茎葉への依存率がとくに暖地において強いとすれば、出穂後の先合成の収量に及ぼす影響は寒地よりもさらに重視されなくてはならないであろう。このような見地からも第1章にのべた掛流し区にみられる上位葉の増大、緑葉歩合の増大や窒素濃度の高まりのもつ意義はとくに大であると考えられるし、1957年の結果にみるように幼穂発育期の水温低下による1000粒重の高まりもまた理解されるのである。

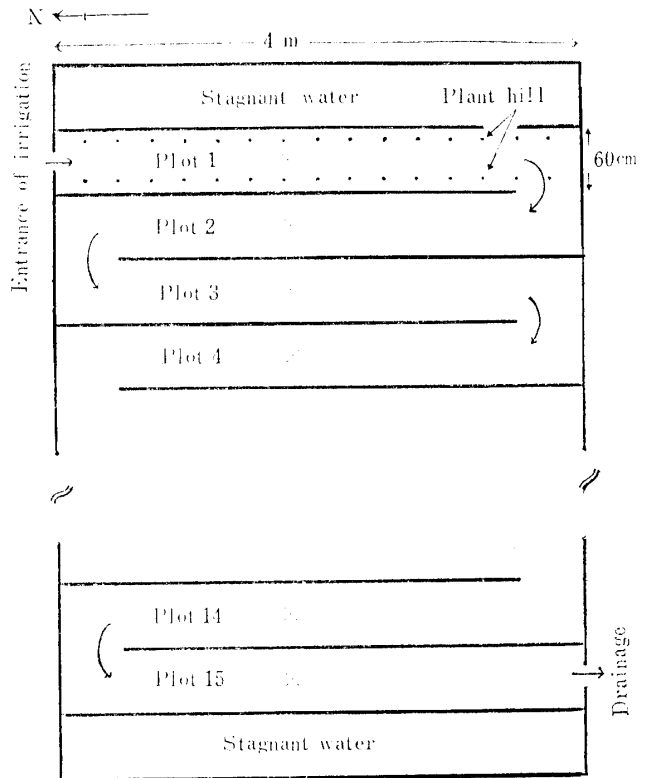
第2編 生育各期における水温と 中生稲の生育様相について

第1章 分けつ期の水温の高低 と生育収量との関係⁵¹⁾

1. 実験材料ならびに方法

第17図にしめすように、東西9m、南北4mのコンクリート枠で囲まれた水田を使用し、東端より60cm間隔に木板で仕切って合計15区の短冊形の区を設け、東側の1区より水道水を昼夜を通じて掛流した。なお掛流しを行わない貯溜区を東西両端に設置した。なお土壌はシラスを多量に含む火山灰土壌である。

本実験は1956年および1957年に行なったものである。処理期間は7月15日(移植後10日目)から8月10日(出穂前27日)までとし、これ以外の期間は貯溜とした。栽培法は7月6日に8葉展開の農林18号を30×25cmの間隔で1区2列の並木植を行ない、元肥として10アール当り窒素3.75kg、燐酸3.75kg、加里4.50kgを施用し、1956年のみ8月10日に窒素



× Place of temperature measurement

Fig. 17. Method of running water irrigation.

1.5kgの追肥を施した。なお移植直前にコンクリート枠内土壌を地下10cmまで掘出し、よく攪拌後もとに還元するという半精密栽培を行なった。各区毎に最高最低温度計を置いて毎日の最高、最低水温を測定するとともに、移植後5~10日毎に生育調査を行ない、出穂前25日に当る8月12日には各区の中穂株2株を採取して、ケールダール法により窒素を測定し、収穫後の分解調査と対比した。

2. 実験結果

実験を行なった2ケ年のうち、1956年は分けつ期は非常に好天にめぐまれ、茎数増加には好適な年であったが、出穂直後台風の影響をうけ、例年に比べて登熟が不良で低収量年であった。これに反し1957年は前年とは逆に分けつ期は低温寡照で茎数増加には非常に悪い条件であり、このため穂肥も施用しなかったのであるが、出穂期頃の台風害を避け得たために、結果的には前年度よりは多収をしめた。

1956年の半月別水温は第18図にしめた。水口からの距離に応じて1日の振幅は大となり、貯溜区も含めて平均水温で約21°Cから約30°Cに至る段階的な差異がみられるが、概して最低水温に大差なく、もっ

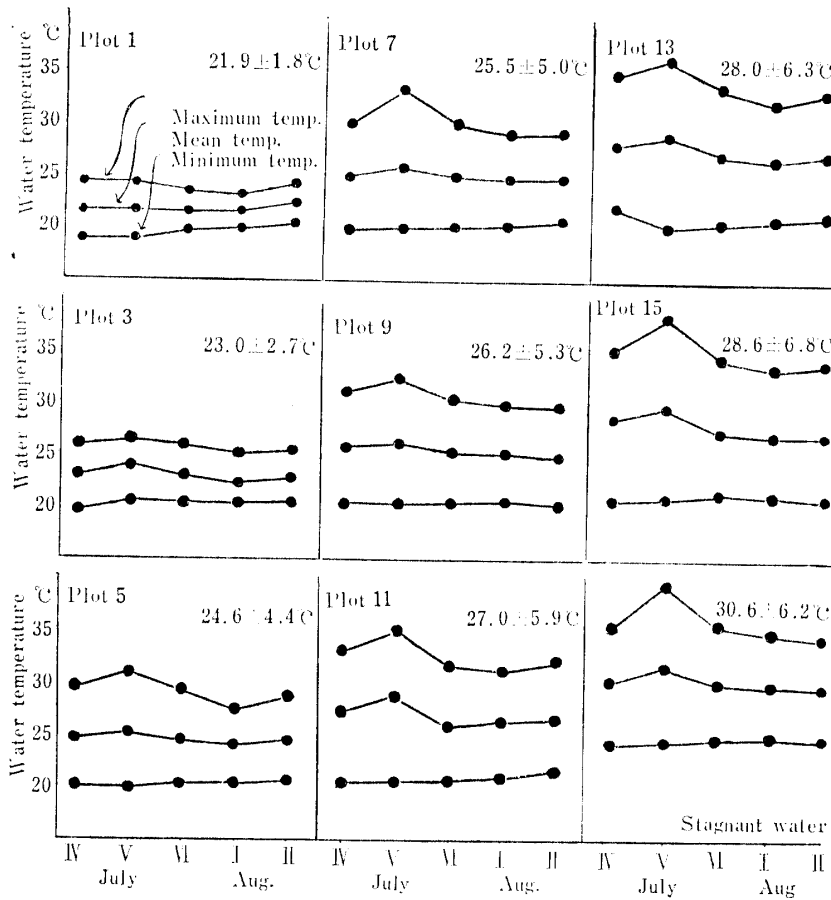


Fig. 18. Temperature of irrigation water in each plot (mean 5 days).

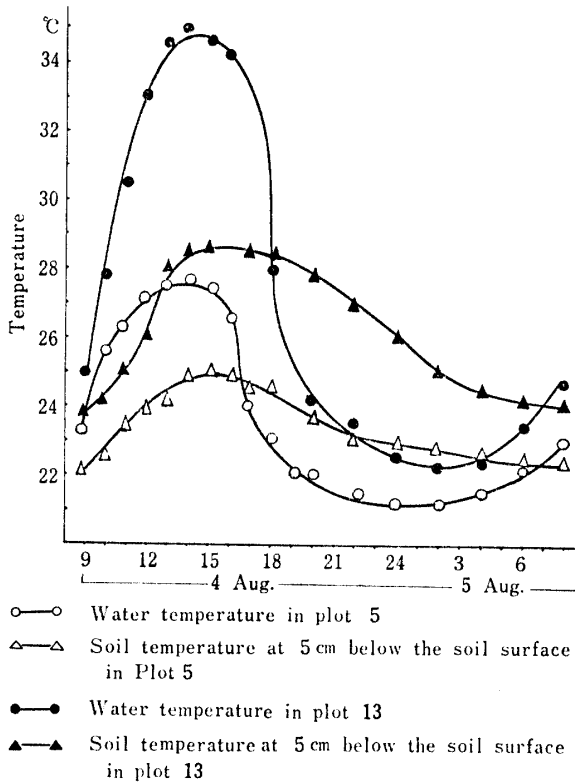


Fig. 19. Diurnal changes of water and soil temperatures.

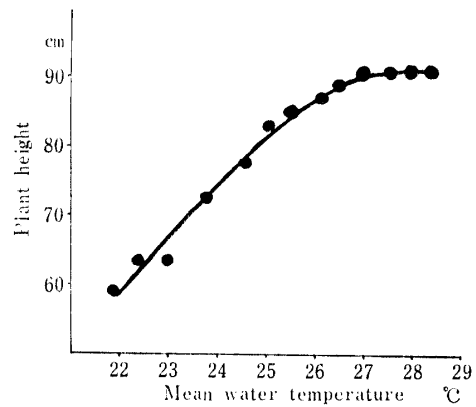


Fig. 20. Effects of water temperature on the plant height at young-panicle formation period

ばら最高水温の差によることが明らかである。なお晴天日の8月5日における5区と13区における水温ならびに地表下5cm地温の日変化は第19図にしめすように、両区の差異は水温は12~5時に大で、地温はそれよりやや遅れて現われ夜間まで続くことがみられる。この傾向は古くは、難波²²⁾、近藤など²⁶⁾により報告されたものと同様である。前述のように1957年

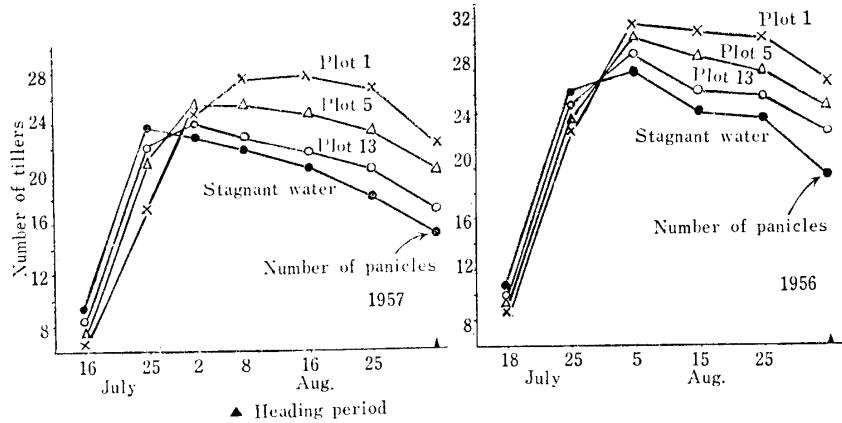


Fig. 21. Changes of the number of tillers in each plot.

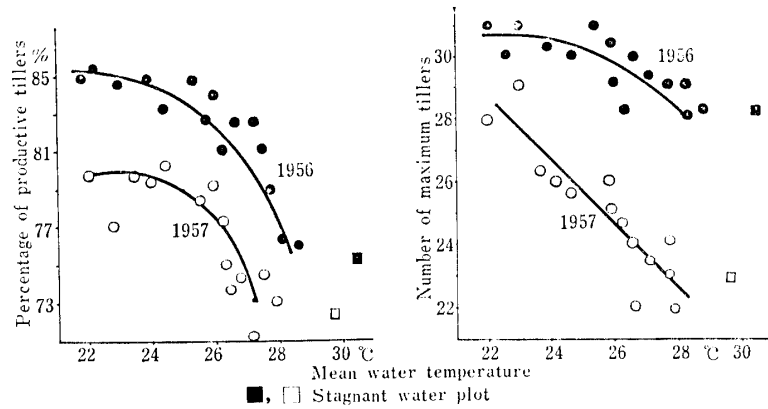


Fig. 22. Effects of water temperature on the maximum number of tillers and the percentage of productive tillers.

は低温寡照が続いたために、水温は前年度よりとくに10区以上の区において低目に経験したが、水流を調節することによって1956年度とほぼ近似の傾向が得られた。

草丈は第20図に示すように、処理終了時は低水温区はど低い傾向がみられるが、処理終了後、すなわち幼穂発育期に入って水口の1~3区を除けば急速に区間差は小となった。これに反し茎数の推移については第21図にみるように注目すべき現象がみられる。すなわち分けつ初期には高水温区程旺盛であるが、7月下旬の分けつ中期以降低水温区が追越していくことが

明らかである。非常に好天にめぐまれた1956年度と低温寡照の1957年の両年にみられる様相を考慮に入れば、少なくとも第5区(24.6±4.4°C)程度まで水温が低下しても、南九州においてはこの追越時期が幼穂分化期(出穂前30日)前約10日頃であり、同時に最高分けつ期もほぼ大差がないことがいえる。次に最高茎数は第22図にみるように、高温多照年では大きな区間差はないが、低温寡照年には高水温区程直線的に減少することが明らかであり、このことから気象的な悪条件による最高茎数の低下は、高水温区において拡大して表われることがいえる。また有効茎歩合は

Table 7. Composition of panicles per hill (1957).

Sort \ Plot	1	3	5	7	9	11	13	15	Stagnant water
Main stem	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
1st tiller	11.0	10.5	11.5	11.0	11.0	10.0	10.5	10.5	10.5
2nd tiller	7.5	6.5	5.0	4.5	3.0	3.0	3.5	2.5	3.0
Total	21.5	20.0	19.5	18.5	17.0	16.0	17.0	16.0	16.5

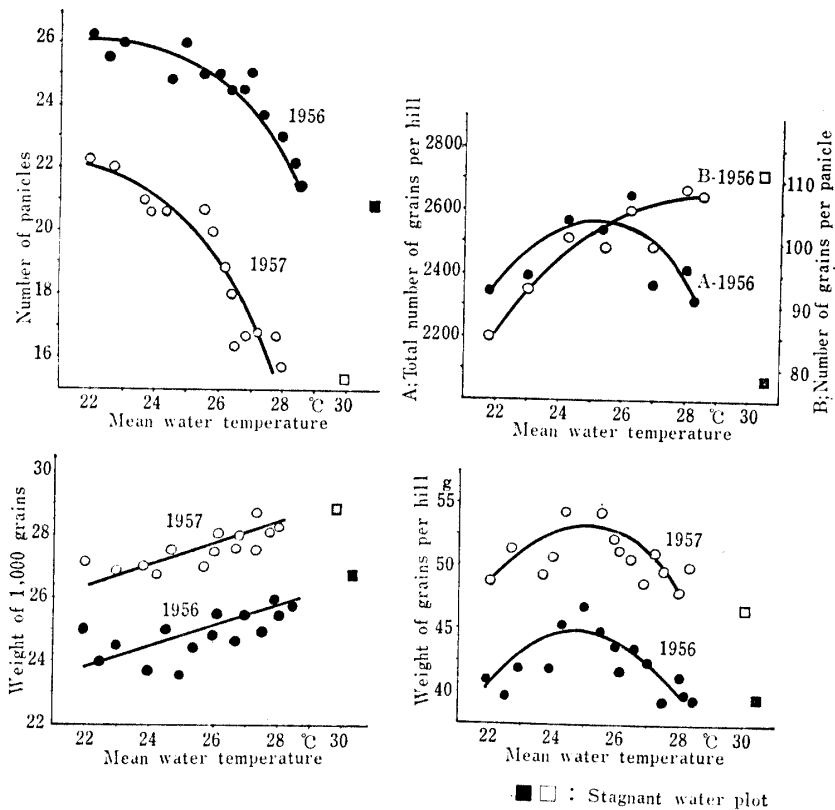


Fig. 23. Effects of water temperature on the yield and the components of the yield.

同じく第22図にみるように、両年ともに共通して平均水温 25~26°C 区を境として高水温になる程急激に減少することが明らかである。なお1957年に申庸株2株について有効茎にみられる区間差を次位別に調査した結果は第6表にしめすように、明らかに1次分けつには差異がなく、2次以上の分けつによる差異と考えられる。次に出葉期は低水温区程遅れる傾向をしめすが、1956年の調査では最もおそい第1区が第15区に比べて2~3日遅れる程度で最終葉数には全く差異がなく、出穂期も殆んど同時期であった。

収量構成要素および収量は次にのべる通りである。穂数の区間差は第23図にのべるように、明らかに平均水温の高まりとともに減少し貯溜区で最低をしめた。これに反し平均1穂粒数は逆に水温の高まりとともに増加する傾向がみられたが、平均水温 25~6°C 以上の区において大差がみられないため、穂数との総合において、1株全粒数は同温度附近においてピークをしめし、それにより水温が高低するにつれて減少した。稔実歩合は区間に大差がみられなかったが、精粍1000粒重は穂数との補償作用と思われるが、水温の上昇とともに増加する傾向がみられ水口と貯溜区の差異は大体2g程度をしめた。以上の収量構成要素を

総合したとき、1株総粒数の大小がよよく影響して、同じく第23図にみるように1株穂重は平均水温 25~26°C 附近の区において最大となった。前述のように1956年は分けつ期は好天にめぐまれたのであるが、出穂直後に台風12号の襲来をうけ全体的に稔実歩合、精粍1000粒重の減少をみたために、1957年度に比べて収量レベルは低くなったが、両年とも全く同様の傾向をしめたことは興味深い。

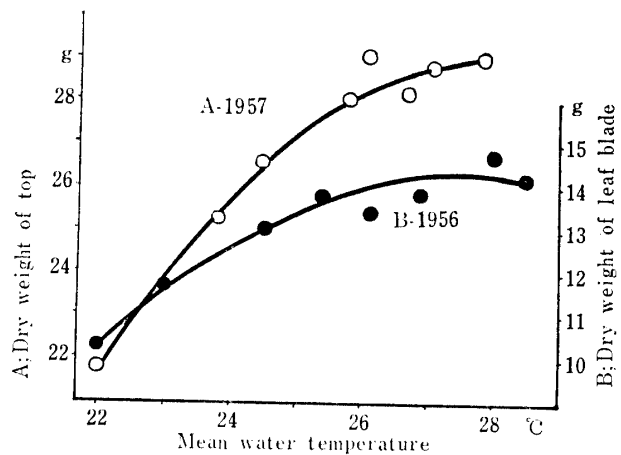


Fig. 24. Effects of water temperature on the dry weight of top and leaf blade at 25 days before heading.

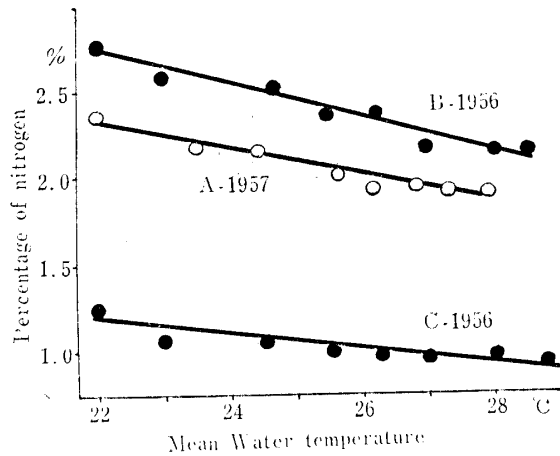


Fig. 25. Effects of water temperature on the percentage of nitrogen at 25 days before heading.

A; Top
B; Leaf blade
C; Leaf sheath

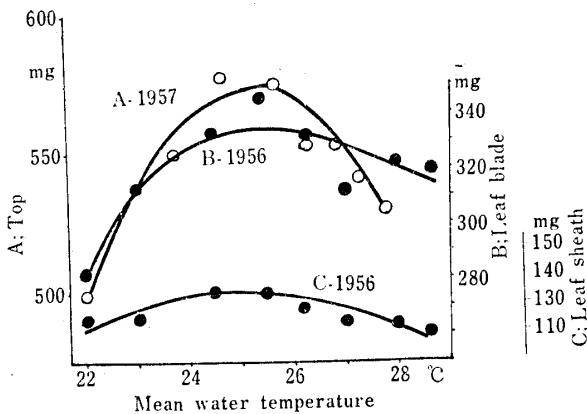


Fig. 26. Effect of water temperature on the amount of nitrogen at 25 days before heading.

なお出穂前 25 日における稲体乾物重をみると、第 24 図のように高水温区程増大するが、25~6°C 以上の区間においては大差が認められない。好天にめぐまれた 1956 年の方が水温の高まりにつれて増大の程度は著しいがこの傾向は同一である。また出穂前 25 日における稲体窒素含有率を第 25 図にしめした。1965 年は葉身と葉鞘に分けて、1957 年は株全体を対象として測定を行なったが、水温の低下につれて窒素濃度が高まることは共通してみられる現象であった。したがって第 26 図にしめしたように 1 株当窒素含有量は、前述 1 株全株数と同様に、平均水温 25~6°C 附近をピークとして水温が高低するにつれて減少する傾向がみられたことが注目された。

第 2 章 幼穂発育期の水温の高低と 幼穂発育との関係⁵²⁾

1. 実験材料ならびに方法

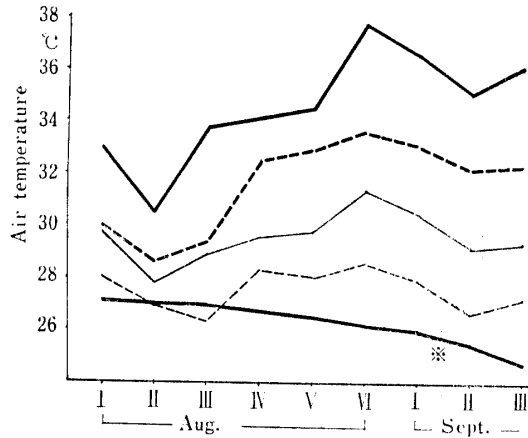
供試品種は農林 18 号と、出穂期は農林 18 号よりは 4~5 日早く、かつ馬場⁵⁾により根腐れ抵抗性が大きいとされている農林 37 号の 2 品種を用いた。

第 1 実験—恒温水槽を用いたポット実験—、ガラス室内と屋外（自然条件）の両所に、26°C±1°C、32°C±1°C、37°C±1°C の 3 段階の大型水槽を設置し、各水槽に 1 品種 5 千分の 1 アール 10 ポット宛浸漬し、土壌表面から水面まで約 3 cm に保つようにした。栽培法は 7 月 4 日に 1 株 1 本 2 株植えとし、元肥としてポット当り窒素、燐酸、加里各々 0.5 g を施用した。第 28 図にみるように処理開始時期は、農林 37 号は 8 月 2 日（苞分化期）、農林 18 号は 8 月 11 日（第 1 次枝梗分化期）からとし、26°C、32°C は両区の出穂完了時をもって処理を終った。ガラス室、屋外ともに 37°C 区は前者においては出穂しなかったり、後者においては出穂が長引いたので 9 月 14 日まで処理を継続した。ただし実験期間中農林 37 号の屋外 37°C 区の恒温水槽が故障したので同区のみ除外した。

第 2 実験—圃場実験—、第 2 編第 1 章でのべたと同様に、東西 9 m、南北 4 m のコンクリート枠の永田 2 カ所に木板で短冊型の 15 の区割をつくり、各々 1 品種ずつ 7 月 5 日に 30×25 cm の間隔で 1 区 2 列の並木植を行ない、元肥として 10 アール当り窒素、燐酸 3.75 kg、加里 4.50 kg を施用した。農林 37 号は 8 月 2 日から 9 月 5 日まで、農林 18 号は 8 月 11 日から 9 月 11 日まで水道水を掛流しその他の期間は貯溜とした。最も低水温の入水口から貯溜温に近い出水口までの間に 5 段階の水温区を設定し、低水温から高水温の順に 1~5 区とした。

第 1、第 2 実験ともに処理開始後 1 区 4 株を採取し、主稈および 1 次分けつ（5 号および 6 号分けつで代表し、以下便宜上主稈群とよぶ）と 2 次分けつ（51、61 号分けつで代表し、以下 2 次分けつ群とよぶ）の 2 群に分類し、各々の幼穂長を測定するとともに、パラフィン切片を作成して幼穂の発育段階を調査した。また出穂直前の採取穂について松島など²⁹⁾の方法により発育顕花数ならびに発育停止顕花数を肉眼あるいは解剖顕微鏡を用いて測定した。地下部の調査は各採取株の根をよく水洗し、4 cm 以上の冠根について白色ないし褐色根と黒色根（半透白蟻状の腐根を含む、ただし分枝根の部分のみ黒色化しているものは含まない）

の2種に分け、両者の根数、根重(通風乾燥器で80°C 5時間乾燥させた乾物重)を測定した。



※ Mean temperature in normal year
 — Greenhouse, maximum temperature
 - - - Outdoor, maximum temperature
 — Greenhouse, mean temperature
 - - - Outdoor, mean temperature

Fig. 27. Air temperatures of greenhouse and outdoor (mean 5 days).

2. 実験結果

まず第1実験について処理期間中の気温は第27図に示すように、8月下旬から9月上旬にかけて高温が続いたが、ガラス室は屋外よりも、最高気温、平均気温ともに概して2~3°C高く経過した。

第28図に主稈群幼穂の発育状況を示した。各時期の幼穂の伸長程度、発育段階を26°C区と32°C区と比較すると、農林37号は26°C区において穎花分化期以後幼穂の発育、伸長ともにやや早くなる傾向が得られたが、概して両品種ともにこの程度の水温差によっては差異がないとみてよい。この関係はガラス室、屋外ともに傾向を同じくした。これに反し37°C区は26°C、32°C両区よりも著しく発育、伸長がおくれたが、この様相はまたガラス室と屋外で異にした。すなわち屋外37°C区(農林18号のみ)は主稈で1~2階級程度の遅延にすぎなかったが、ガラス室37°C区のそれはほとんど見るべき伸長をしめさず、処理終了後において、農林37号では2次枝梗分化後期、農林18号で穎花分化初期(いずれも主稈)にあることが認められたにすぎない。主稈群と2次分けつ群との

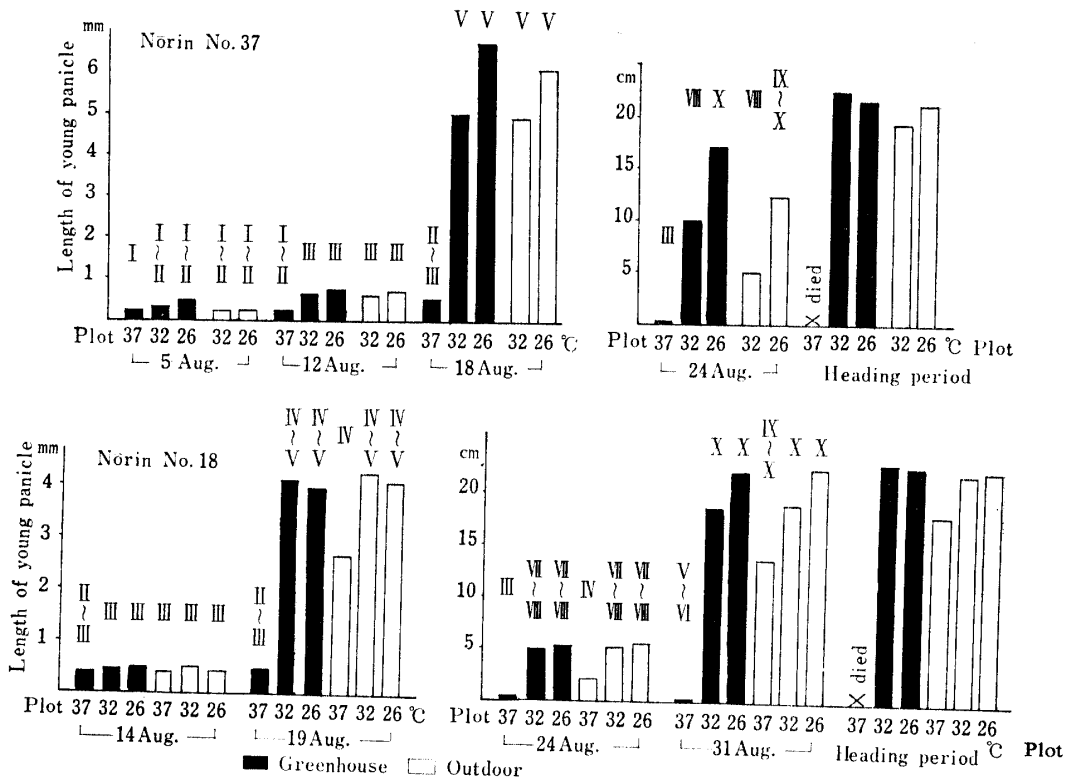


Fig. 28. Effects of water temperature on the growth and the development of young panicle in the main stem.

I~X indicate stages of differentiation of young panicle primordia, viz., I; bract, II; primary branch, III; secondary branch, IV~V; flower, VI~VII; pollen mother cell, VIII; reduction division of pollen mother cell, IX~X; extine formation of pollen.

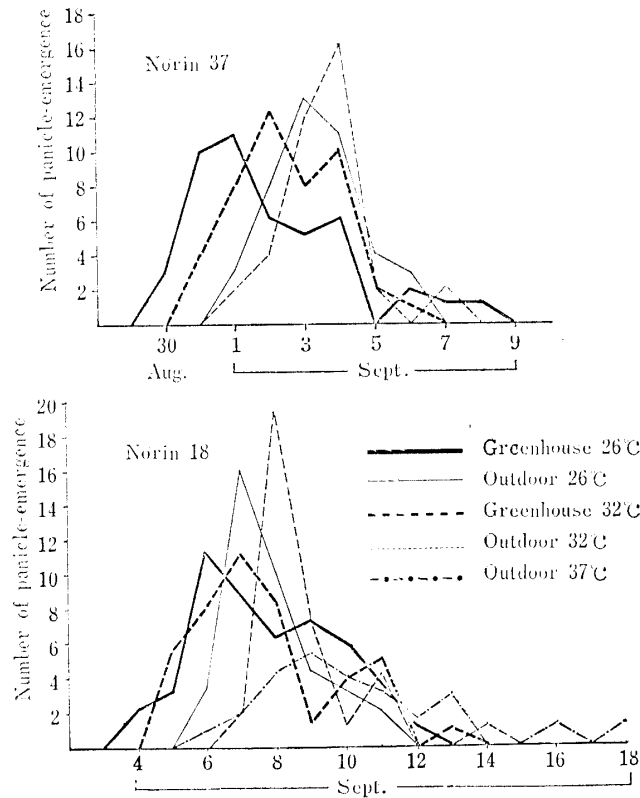


Fig. 29. States of heading in each plot.

間の発育進度の差異は、 26°C 、 32°C 両区間では1階級程度であったが、 37°C 区においては2階級以上に開く場合もあり、高水温による1株内での発育の不揃いが明瞭であった。

出穂状況は第29図にしめした。両品種ともガラス室 37°C 区は、処理終了後には1株中数本の出穂をみたが、処理期間中は出穂せず、屋外 37°C 区は出穂始期は他区より僅かおくれた程度であるが、出穂期間が長引き、ピークをしめす日が判然とせず、処理終了後も多数の遅れ穂の発生をみた。 26°C 、 32°C 両区間では特に大きな差異がみられないが、農林37号では 26°C 区において若干早まる傾向がみられた。

1穂中の穎花の発育は第30図にしめしたが途中発育を停止したガラス室 37°C 区は除外した。両品種ともに 26°C と 32°C との比較において、屋外では水温の高い区ほど1穂発育穎花数は減少しているが、反面発育停止穎花数は増加しているため、両者の合計である分化穎花数は屋外処理区で大差がみられない。ただガラス室内では 26°C 区が 32°C 区よりもやや大なる傾向がみられたが、前者が後者よりも若干穂数が少なかった(第31図)ことを考えると、水温による直接的な差異ということより、穂数との間の補償作用と見ることができる。これらの様相は主稈群も2次分けつ

群も同様であった。これに対し屋外 37°C 区は主稈群において、1穂分化穎花数が減少する傾向がみられるが、とくに注目されるのは2次分けつ群についてである。これらは幼穂発育遅延のために、上記採取時期に発育停止穎花数を測定し得なかったため、出穂後の退化2次枝梗を数えることにより類推すると(従って第30図には記載しなかった)、主稈群よりわずかに多い程度であったにもかかわらず、発育穎花数は半減しているため、株全体からみれば水温 37°C 区では明らかに穎花の分化が抑制されたものと思われる。なお同区の2次分けつ群は、稈歩合においても著しい減少を見た。以上の結果として1株総発育穎花数は、第31図にみるように屋外では高温区ほど減少したが、ガラス室内では 26°C と 32°C 両区間に明瞭な差異は見出さなかった。

処理期間中における根の状態を第32図にしめした。1株根数、根重はガラス室と屋外で若干の差異をしめしたが、概して 32°C 、 37°C 区においては、農林37号で8月18日(雌雄蕊分化期)、農林18号で8月19日(穎花分化期)すなわち、ほぼ歴日からみて同時期に1株総根数、1株総根重ともに最大をしめしたのに対し、 26°C 区においては最後まで漸増する傾向がみられた。ただガラス室 37°C 区においては、後期に腐

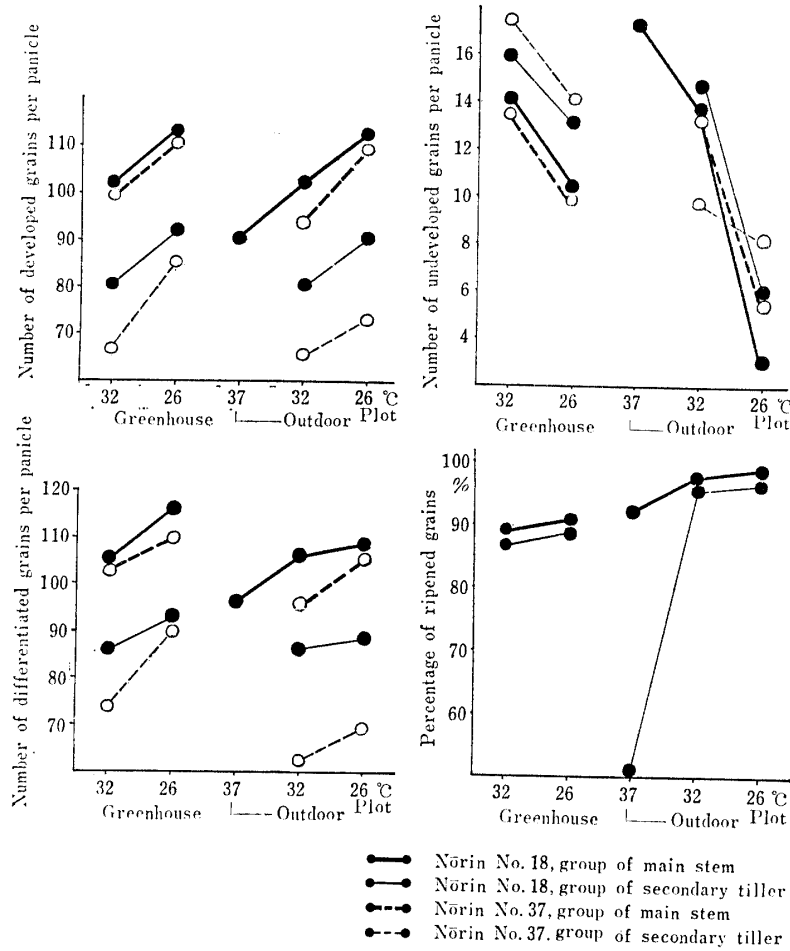


Fig. 30. Effects of water temperature on the number of grains per panicle and the percentage of ripened grains.

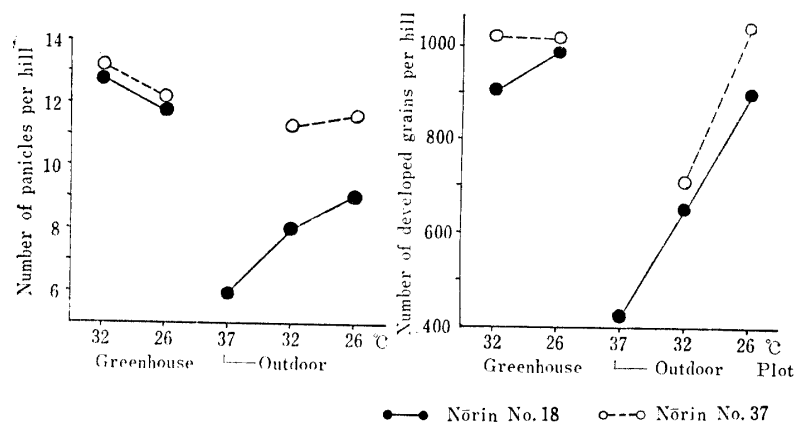


Fig. 31. Effects of water temperature on the number of developed grains per hill and the number of panicles.

根が脱落する反面、短い新根の発生が最後まで多数認められた。処理後10日目頃における根色は、26°C区淡褐～褐色、32°C区褐～濃褐色、37°C区暗褐～黒褐色を呈し、その後幼穂発育期後半にかけて高温区ほど黒色根の発生が著しく明瞭な区間差がみられ、また同

一水温でもガラス室内は屋外よりもその程度が大であった。従って屋外26°C区で黒色根の発生が最も少なく、反面ガラス室37°C区は発生時期も早く急激に増加し、出穂期近くには半透明白蠟状の腐根が脱落する様相が認められた。なお同一水温下では根腐れ進行の

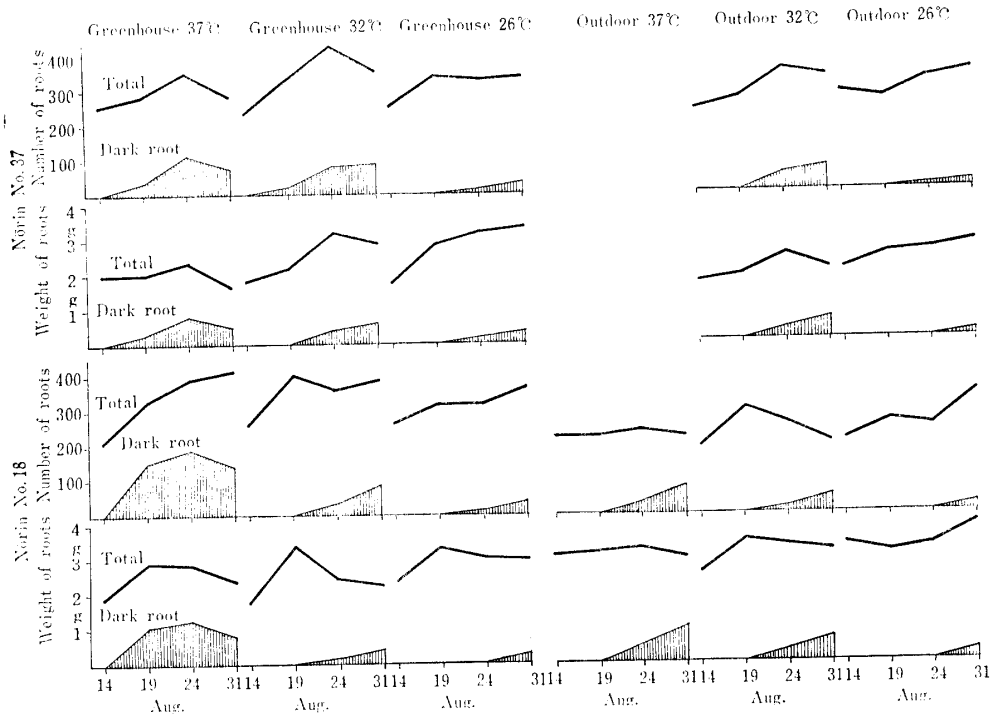


Fig. 32. Changes of the number and the weight of roots in each plot.

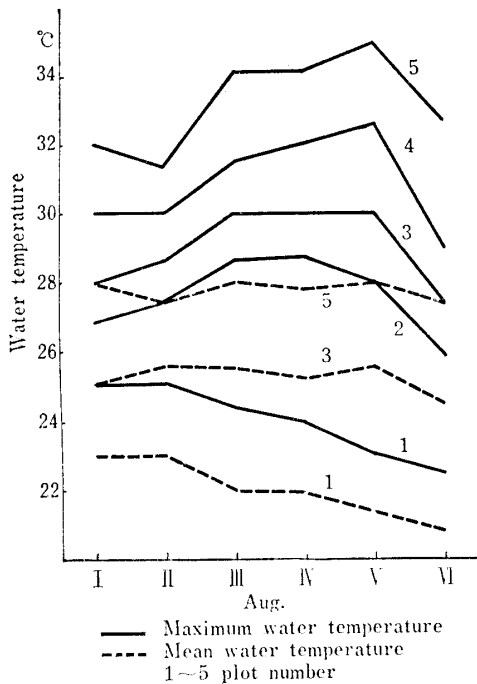


Fig. 33. Temperature of irrigation water (mean 5 days).

品種間差はみられなかったが、ガラス室 37°C 区において農林 18 号の方に根腐れ程度が大なる傾向がみられた。

次に圃場実験の結果は次の通りである。

農林 37 号における各区の水温は第 33 図にしめした。両品種の試験圃場は隣接しており、掛流し水量も

できるだけ同量に保つため農林 18 号の場合もほとんど同様である。すなわち第 2 区から 5 区にかけて、最高水温で約 2°C、平均水温で約 1~2°C の区間差が得られた。

各区の幼穂の伸長、発育状態は、低水温の第 1~第 2 区で若干遅延した以外は、第 3~第 5 区ではほとんど区間差は認められず、出穂期についても同様であった。

穎花の発育は品種により様相を異にした。第 34 図および第 35 図にみるように、農林 37 号では発育停止穎花数には区間差がみられず、発育穎花数および分化穎花数は低水温の第 1~第 2 区、とくにその 2 次分けつ群において減少した。しかし穂数は低水温区ほど増加したので、1 株総発育穎花数は第 1~第 4 区で差異がなく、第 5 区のみが減少する傾向をしめた。つまり穂数の多少がつよく影響したわけである。これに反し農林 18 号では穂数に差異はみられず、発育停止穎花数は高温区ほど、とくに第 5 区の 2 次分けつ群に多かった。一方分化穎花数は水温の低い第 1、第 2 区で減少したので、1 穂発育穎花数ならびに 1 株総発育穎花数は第 3~第 4 区で大で、それより水温が上下する区においてやや減少する傾向がみられた。稔実歩合は 1 穂の発育穎花数と逆の関係がみられたが、その区間差は小であった。

根に関しては、実験圃場が非常に透水性のよいシラス土壌であったため、第 1 実験と異なり、全区とも処

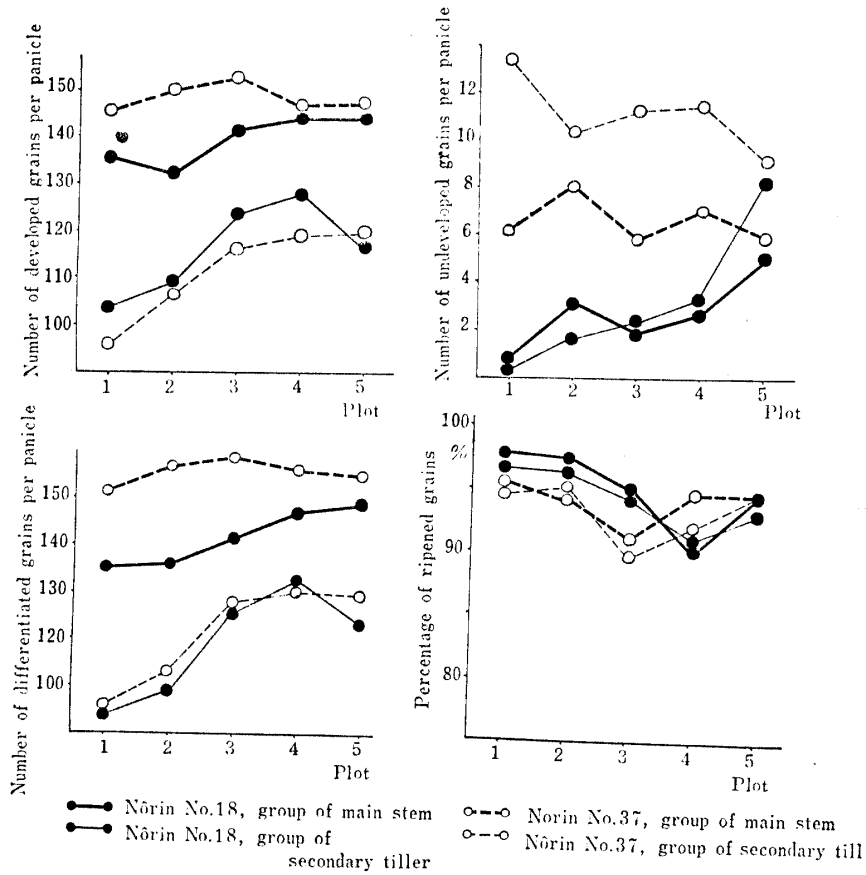


Fig. 34. Effects of water temperature on the number of grains per panicle and the percentage of ripened grains.

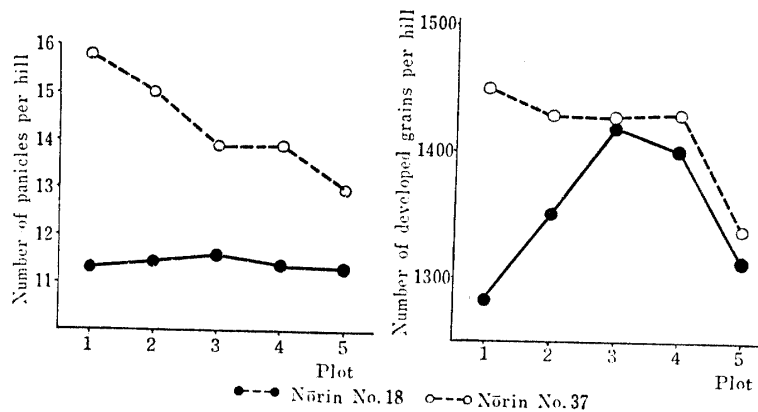


Fig. 35. Effects of water temperature on the number of grains per hill and the number of panicles.

理期間中の黒色根の発生は極めてわずかであった。また根数の推移も明瞭な区間差をみなかったのであるが、第36図にしめすように根重については、最高水温の5区は処理期間中みるべき増減をしめさないのに対し、1~4区のそれは処理開始後も次第に漸増し、幼穂发育中期から後期にかけて最大をしめす傾向がみられ、また低水温区はど増加量の著しいことが認めら

れた。

第3章 考 察

段階的な水温を得るために蛇行水路を利用して掛流しする方法は、すでに榎本⁷⁾、田中⁴³⁾によって試みられているところであるが、とくに前者は水温領域が本実験のそれと近似しているので興味深い。すなわち榎

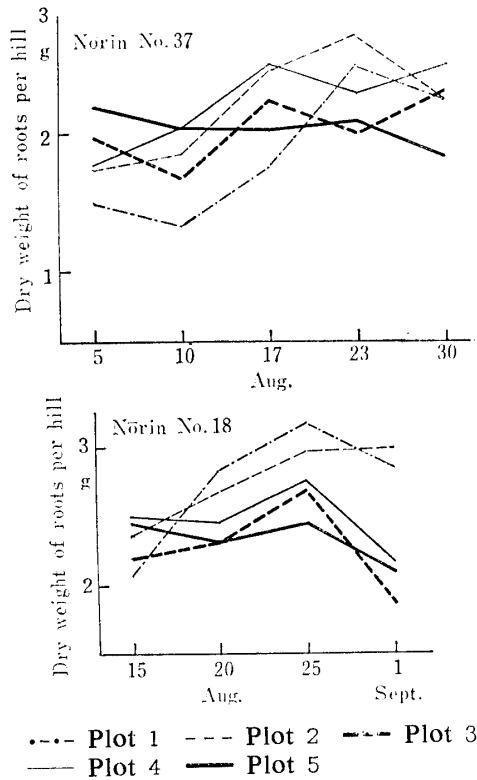


Fig. 36. Changes of the weight of roots in each plot.

本によると、平均水温で 25°C 程度までは水温を低下しても茎数の様相には大差がないが、同温度以下になると遅発分けつを著しく増加することを報告している。本実験においても、たしかに低温寡照年には低水温区ほど遅延する傾向がみられるが、高温多照年には水口の1区すら最高分けつ期にみるべき差異がなく、低水温による茎数の増加が複本のいう遅発分けつとならず、有効穂数の増加に効果的であったことは注目される。とくに重要なことは、分けつ期の日中最高水温を約 30°C 以下に押え、平均水温を約 $25\sim 6^{\circ}\text{C}$ 附近まで下げた区で、穂数増にもかかわらず1穂平均粒数も高水温区と大差なく、したがって収量増をもらったことである。

低温下で分けつが増加する理由として、石塚など¹⁷⁾は北の稲と南の稲との比較において、高温では葉の伸長が促進され葉が大きくなるために窒素含有率は低下し、また葉が大となるために多量の養分が消費され、従って分けつが充分に行なわれないことを指摘している。また早期栽培の水稻が普通期栽培のそれと比べて著しく単位面積当り穂数を増大することについて、佐本³⁹⁾、山田⁶⁰⁾によれば、分けつ期の低気(水)温によって草丈の伸長が抑制され、栄養生長期間が長引くことによって分けつの増加が行なわれること、そして

低温多照のために呼吸に対する光合成の割合が高く、従って炭水化物の蓄積が大になることが、有効茎歩合を高めて増収を来たすとのべている。

ところで暖地においては水温低下により稲体の窒素濃度が高く保持される反面、予想される草丈の減少、生育の遅延が極めて僅少であり、従って多発した分けつの有効茎歩合も高度に保持され、結果的に収量増に直結し得たことは、その背景に第4編に詳述するように、暖地の高気温が有効に働いていることを見逃すわけにはいかないのであって、このことは暖地において穂数増に及ぼす低水温効果の機構が、前述の寒地あるいは早期栽培における場合と全く異なることをしめすものである。

従来南九州稲作の低収性は、穂数の少ないことによることが指摘されて²¹⁾²²⁾きたのであるが、土壌が砂質なことに加えて、秋落ち的な気象環境により容易に解決し得なかった問題である。しかし中生系の品種において本実験にみるように、分けつ期の水温を $3\sim 5^{\circ}\text{C}$ 低下させることにより穂数増を期待し得ることは、今後の水管理に対し一つの指針を与えるものといえよう。

次に幼穂発育期間における水温と水稻の幼穂発育との関係について、 37°C 、 32°C 、 26°C (恒水温)の3段階に類別して行なったポット試験から次のことが推定される。まず 37°C に着目すると明らかに幼穂の発育が抑制されるが、高水温障害の様相が気温の高低により、また1株内でも強勢分けつと弱小分けつとによって非常に異なることが特徴的であった。すなわちガラス室内では、穎花ないし雌雄蕊分化期までに幼穂の発育は停止し、屋外の自然条件下でも 32°C 区に比べ主群で1~2階級、2次分けつ群でそれ以上に幼穂の発育が遅延し、出穂も著しく不揃いになることが認められたのであるが、ここで注目すべきは、根の生育との関連であって、穎花分化期以後急速に進行する根腐れの増大に平行して障害が拡大されることである。このことは馬場⁶⁾の指摘したように、根の機能減退にともなって生ずる養、水分の吸収障害が、2次的に幼穂発育に悪影響を及ぼすとの見解と一致するものである。高水温障害の限界温度を求めることは、処理期間、環境条件などが複雑に影響するために、簡単に結論を出すことは危険であるが、近藤・岡村²⁶⁾、朝隈²⁾、角田⁴⁷⁾などの諸成績によれば、 $35\sim 40^{\circ}\text{C}$ の間にあることが推定され、本実験にみるように、幼穂発育進度の遅延に加え、分化穎花数の減少、発育停止穎花数の増大などから考えてほぼ 37°C 附近に一つの曲折点⁵⁹⁾があることが推定される。ただし、これは昼夜恒水温の場合で

あって、吉田⁶³⁾⁶⁴⁾、角田⁴⁷⁾の指摘するように、夜間低温のときには昼間の高温が意外に稲体に有効的に影響する場合のあることはいうまでもない。

次に、従来適温領域とみなされている 32°C および 26°C とを比較した場合に、幼穂発育進度ならびに出穂の遅速に関しては、おおよそ類似したにもかかわらず、1穂穎花数の生成過程には差異がみられたことは注目すべきであろう。とくに分化穎花数には差異がなく、発育停止穎花数に明瞭な差を生じたことは、幼穂発育中、後期における根の様相、すなわち 32°C 区の根数、根重ともに下降をしめすのに対し、 26°C 区は依然として増加をしめし、根腐れが極端に抑制されたという事実と全く時期的に符合するものである。松島など²⁹⁾は発育停止穎花の増大は、減数分裂期頃の栄養不良によるものとされているが、この観点をあわせ考えれば、 26°C 区は 32°C 区に比べて1穂発育穎花数の保持に効果的であったといえるであろう。

以上はポットを用いた恒水温の場合であるが、圃場においても農林18号を用いた場合に幼穂発育期間中の掛流し操作によって、昼間最高水温を $30\sim 32^{\circ}\text{C}$ でおさえ、平均水温 26°C 附近に保った場合に、発育停止穎花数を減少し、結果として1株発育総穎花数を増加する傾向がみられたことは注目に値しよう。また農林37号が農林18号より概して処理により穂数の増減をみたことについては、前者が同じ中生でも早生に近い品種で、最高分けつ期と幼穂分化期が時期的に接近していたことによるものと思われる。

圃場においては、幼穂発育期に至れば茎葉の相互遮蔽などにより、分けつ期ほどには高水温にならないが、それでも晴天日には日中最高 34°C 附近にまで上昇する。この場合、第1編においてのべた晩生稲におけるほど秋落ちをしめさないとしても、軽度の生育阻害は充分予想され得るのである。前述のように供試圃場が非常に透水性のよいシラス土壌であったために、根の状態がポット試験にみられるような顕著な差異をしめさなかったのであるが、これをもし根腐れの発生しやすい湿田地帯において行なえば、より一層明瞭な水温低下による効果が認められるのではないかと推定される²³⁾。

これまで適水温の概念は古く吉川²⁵⁾、東条⁴⁵⁾、近藤など²⁶⁾を始めとし、最近では角田⁴⁷⁾などによって約 30°C を中心としたほぼ $25\sim 35^{\circ}\text{C}$ の範囲にあることが指摘されてきたのであるが、しかし、詳細に観察すれば、天辰など¹⁾の指摘するように、いわゆる適温とよばれている範囲内においても、水温の高低によって

水稲の生育、収量に与える影響は顕著であって、本実験において農林18号を用い、水温を最高約 30°C 、平均約 26°C まで低下させた場合に、分けつ期処理においては穂数を、幼穂発育期においては1穂穎花数を確保するうえで大変有効であったという事実は、このことを証明するものである。嵐³⁾をはじめ多くの統計資料²²⁾によって、寒地では本田において高温多照の年は明らかに多収をしめすのに対し、暖地とくに南九州においては、日照はともかく、気温については全く相関がみられず、むしろ気温の低い年に多収となる傾向があることをしめしていることは、南九州では水稲の生育、収量に対して平年の気温がやや高すぎ、潜在的に秋落ちを誘発する一因を形成していることを意味するものと思われるが、このことは水温の場合でも同様なことはいえるであろう。

第3編 水稲の生育、とくに穂数に及ぼす分けつ期水温の影響と品種特性との関係

第1章 低水温効果の品種間差異⁵⁵⁾

1. 実験材料ならびに方法

水温条件として、貯溜および分けつ期昼間掛流しの2段階、施肥条件は多肥(標肥の5割増)および標肥(鹿児島県耕種基準によるもので、10アール当り窒素9kg(基肥5kg、分けつ期追肥2kg、穂肥2kg)、磷酸5kg、加里6kg)の2段階、品種は早生のシラスイ、中生のタチカラ、農林18号、晩生の瑞豊の4品種とし、以上の組合せ16区を設けた。1区当り面積 2m^2 とし、移植前に土壌の表層 15cm を取出し混合攪拌した後、再び還元するという半精密栽培を行なった。7月13日より8月7日までの25日間昼間のみポンプアップした水の掛流しを行なった。移植後1週間ごとに草丈、茎数を測定するとともに、収量構成要素の調査を行なった。

2. 実験結果

本実験を行なった1942年度は、分けつ期は非常に高温多照にめぐまれた反面、幼穂発育中期から登熟初期はやや低温寡照に経過した。得られた水温は第8表にみるように、貯溜区において日中最高水温で $32\sim 34^{\circ}\text{C}$ 、掛流し区で約 25°C であった。本実験を遂行するにあたり次の制約は避けられなかった。第1に掛流し処理終了時期を農林18号に基準を以て一律に8月7日としたために、早生系のシラスイにとってはやや遅い反面、晩生系の瑞豊にはやや早すぎ、品種間に多少のずれを生じたこと、第2に試験土壌がきわめて

Table 8. Temperature of irrigation water (mean 5 days, at 1 p.m.).

Plot	July			Aug.
	IV	V	VI	I
Stagnant water	34.8°C	32.8	32.5	31.7
Running water	24.5	24.4	24.9	25.5

瘠薄でかつ減水深の大(8~10 cm)なるシラス土壌であったため肥料の下部への流亡が大で、そのため標準肥料区は葉色その他から判断して、やや少肥区の様相を呈したあとでこる。

草丈は全品種ともに、多肥貯溜>多肥掛流し=標肥貯溜>標肥掛流しの傾向で推移し、処理終了時点において、多肥貯溜と標肥掛流し区との間に約10 cmの開きがみられた。

茎数の推移を第37図に示した。最初に早生系のシラスイに着目すると初期分けつ力が他品種に比べきわめて旺盛で、とくにこれが多肥、高水温条件によって助長されたために、低水温(掛流し)による追越期はおそくなり幼穂分化期と重複するに至った。また第9表および第10表に示すように、多肥貯溜区は幼穂分化期頃における草丈率が高く、また株内草丈変動係数が低いこと、つまり1株内分けつの草丈の揃いの良好なことがうかがわれた。なお標肥下における貯溜区の動向をみると、幼穂分化期以降における茎数減が明瞭で有効基歩合を著しく低下し、穂数型品種のもつ特性が多肥条件でなければ生かされないことがうかがわれた。次に中生系のタチカラ、農林18号についてみると、多肥貯溜による初期分けつ力がシラスイより劣ったために、掛流し区の茎数が移植後約25日位で貯溜区に追付き追越し、幼穂形成期までに約10日間

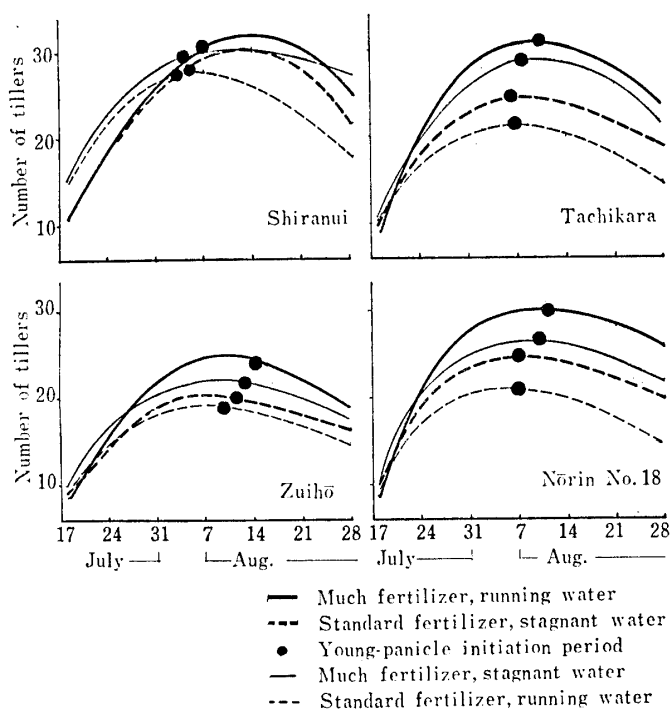


Fig. 37. Changes of the number of tillers in each plot.

Table 9. Effects of water temperature on the percentage of tillers showing the length more than 66% of the tallest tiller in height at 5 August.

Variety	Much-fertilizer		Standard-fertilizer	
	Stagnant water	Running water	Stagnant water	Running water
Shiranui	81.8%	70.8	67.0	71.6
Tachikara	70.3	71.8	71.5	73.7
Nōrin No. 18	77.8	72.9	82.3	81.6
Zuihō	90.3	76.5	81.0	76.5

Table 10. Effects of water temperature on the coefficient of variance of the tiller height in a hill.

Vaviety	Treatment	Much fertilizer		Standard fertilizer	
		Stagnant water	Running water	Stagnant water	Running water
Shiranui		21.91	24.05	23.55	30.09
Tachikara		33.43	31.17	28.61	27.50
Nôrin No. 18		22.68	28.81	22.28	24.91
Zuihō		15.71	23.63	26.46	25.24

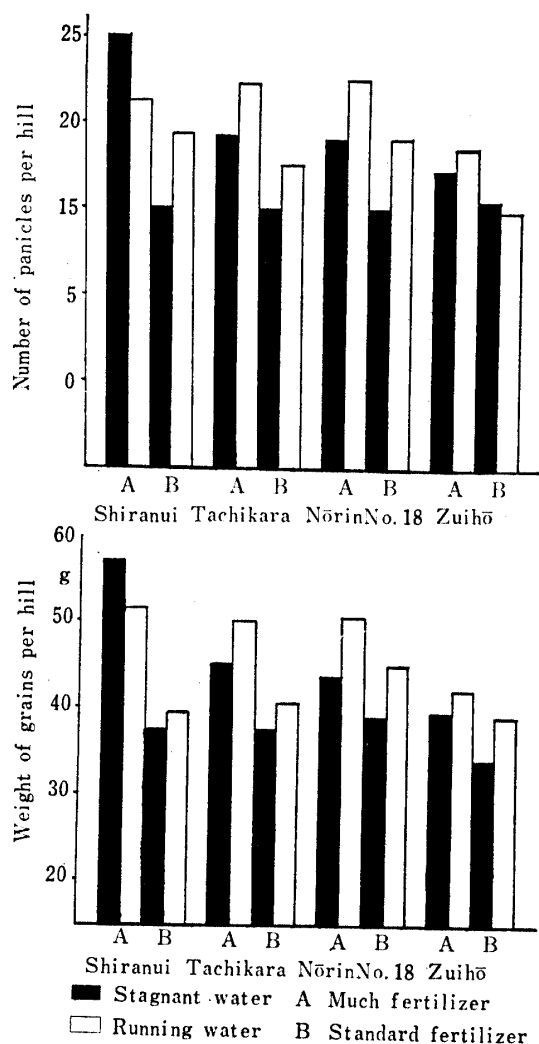


Fig. 38. Varietal difference of the effect of water temperature on the weight of grains and number of panicles.

のゆとりをもっており、また幼穂分化期における株内分けつ揃いも水温処理区間に大差が認められなかった。最後に瑞豊については、一般に分けつ増加速度が最もおそく、かつ最晩稲であるために、追越点もおくれるが、幼穂分化期もまたおくれ、したがって農林18号と類似の様相をしめすものの、掛流し処理による莖数増加の程度は僅少であった。一方多肥貯溜区の幼穂

分化期における分けつ揃いは掛流し区に比べ大変良好なことが認められた。

得られた収量上の差異を第38図にしめしたが、これを要約すると第11表のごとくなる。すなわち多肥下では穂数型のシラスイの収量(籾重)は貯溜による日中水温の上昇が効果的であったのに対し、偏穂数型のタチカラ、偏穂重型の農林18号の収量は、逆に掛流しによる日中水温の低下が効果的であり、穂重型の瑞豊も同傾向がみられたが、水温処理による差異は小であった。これと対照的に標肥(やや小肥)条件では、多肥条件でみられたシラスイ収量に対する水温上昇効果は消失すると同時に、瑞豊収量に対する低水温効果がやや認められた。すなわち穂数型から穂重型へと品種の特性に対応して、収量に対する水温の影響度もまた段階的に変化するが、その様相はまた施肥量の大小によっても変化することが推定された。

各処理区を通じ収量と穂数との相関をみると、シラスイ： $r=0.967^{**}$ 、タチカラ： $r=0.793^*$ 、農林18号： $r=0.815^{**}$ 、瑞豊： $r=0.315$ (註 *5% **1%水準で有意)であって、穂重型の瑞豊を除いた3品種に高度の相関がみられる。そこで穂数の成立に及ぼす水温処理の影響を第38図にしめした。大体において収量にみられる傾向に類似したが、シラスイにみるように多肥条件では明らかに貯溜>掛流しであるのに対し、標肥条件では逆に貯溜<掛流しとなっていることであって、このことは穂数型品種といえども、肥料不足状態では農林18号におけるごとき穂数に対する低水温効果が期待されるのではないかと思われた。

第2章 昼夜水温較差による影響の品種間差異⁵⁷⁾

1. 実験材料ならびに方法

大型恒温水槽を設け 32°C 恒水温(対照区)、昼 37°C 夜 26°C 区および昼 26°C 夜 37°C 区の3水温条件とした。この場合昼とは午前9時から午後6時まで、したがって夜とは午後6時から午前9時までである。

Table 11. Varietal difference of the effects of stagnant and running water irrigation methods on the yield during the tillering period.

Varieties	Fertilizer		Much		Standard	
	Stagnant water	Running water	Stagnant water	Running water	Stagnant water	Running water
Shiranui {early maturing type *1 {much tillering type middle maturing type	"	>	"	>	"	≐
Tachikara {middle tillering type *2 {middle maturing type middle maturing type	"	<	"	<	"	<
Nōrin No. 18 {middle tillering type late maturing type	"	≐	"	≐	"	<
Zuihō {less tillering type	"	≐	"	≐	"	<

*1: inclined to much tillering type *2: inclined to less tillering type

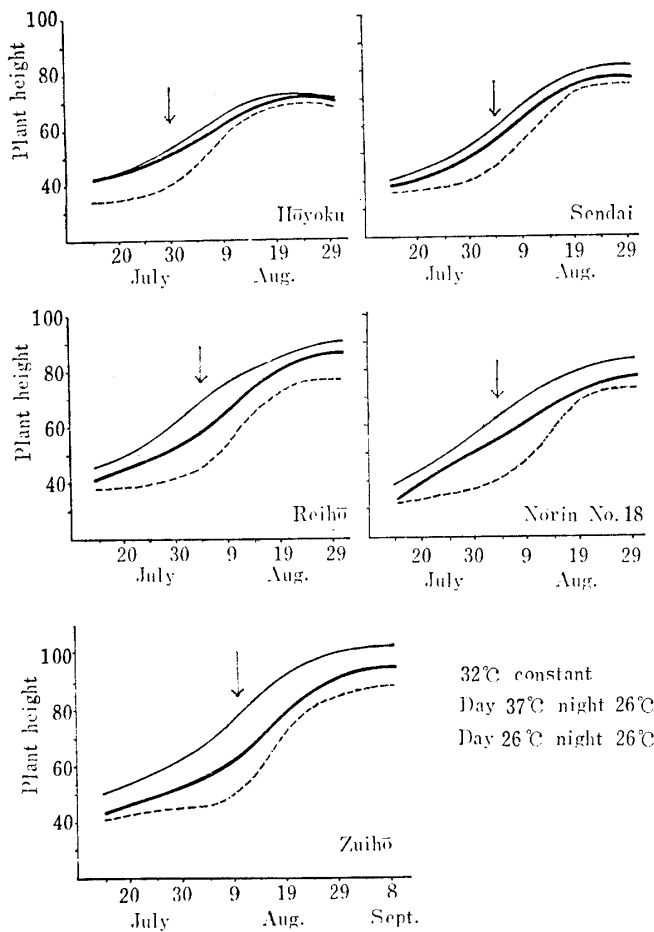


Fig. 39. Changes of the plant height in each plot.

↓ indicates the date of end of treatment

品種は早生のホウヨク，早～中生種のレイホウ，中生種のセンダイ，農林 18 号，晩生種の瑞豊の 5 品種を用いた。処理期間(水槽中えのポットの浸漬期間)は活着してから出穂前 30 日に相当する日，すなわちホウヨクで 7 月 30 日，レイホウ，センダイ，農林 18 号で 8 月 4 日，瑞豊で 8 月 10 日までとし，処理終了後はポットを水槽から取り出し自然条件下においた。5 千分の 1 アールのポットを用い 7 月 1 日に 1 株 1 本 2 株植えとした。施肥は元肥としてポット当たり窒素，燐酸，加里各々 0.5 g，穂肥とし，処理終了直後に各品種ともに窒素 0.2 g を施した。

移植後 5 日ごとに草丈，茎数を測定するとともに収量構成要素の調査を行なった。

2. 実験結果

本実験を行なった 1969 年は 7 月 17 日までは完全に梅雨の影響をうけて顕著な日照不足の状況を呈したが，梅雨あけとともに高温多照となりとくに登熟期間は台風もなく非常に好天にめぐまれ登熟には良好な年であった。

処理期間中の草丈(第 39 図)については，各品種ともに水温処理の影響が明瞭で，32°C 恒水温(対照区) > 昼 37°C 夜 26°C 区 > 昼 26°C 夜 37°C 区の順であり，とくに昼 26°C 夜 37°C 区は処理期間中ほとんど草丈の伸長がみられなかった。処理終了直後の草丈率は第 12 表にしめすように，むしろ昼 26°C，夜 37°C 区にやや高い傾向がみられ，昼夜変温によ

Table 12. Effects of water temperature on the percentage of tillers showing the length more than 66% of the tallest tiller in height (measured at the stage of young panicle initiation).

Variety	Hōyoku	Reihō	Sendai	Nōrin No. 18	Zuihō
Plot					
32°C constant	72.8%	74.0	68.3	74.4	72.8
Day 37°C night 26°C	60.3	75.5	62.5	67.3	78.0
Day 26°C night 37°C	76.2	76.1	72.9	85.5	75.0

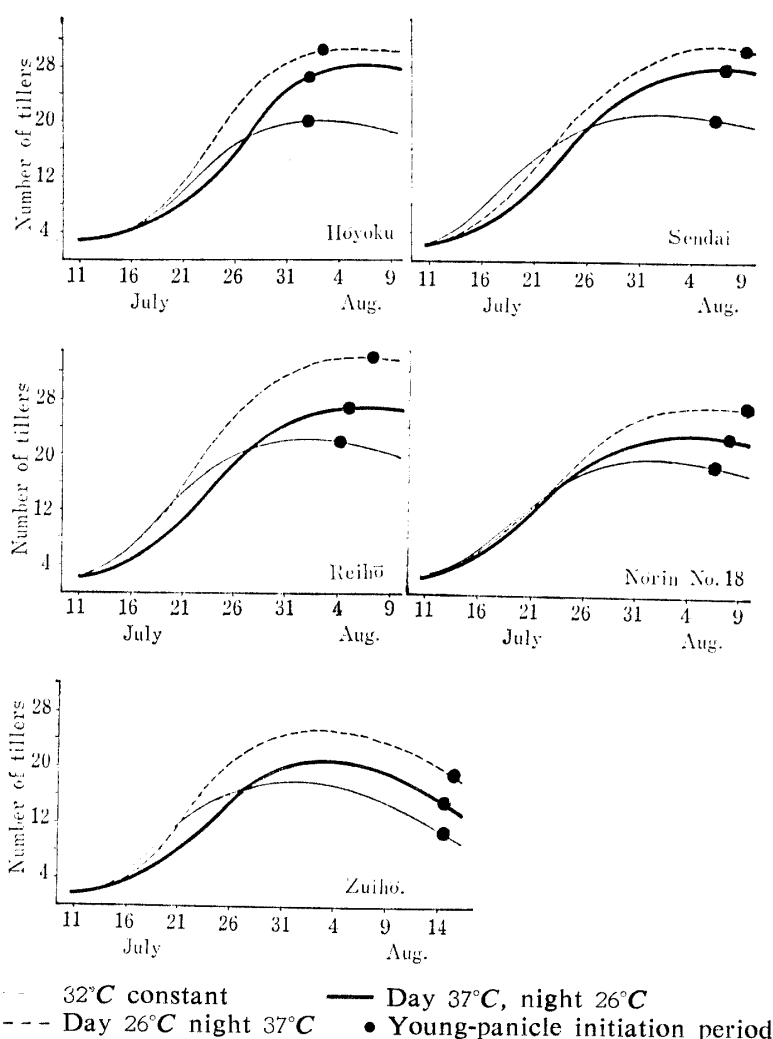


Fig. 40. Changes of the number of tillers in each plot.

て分けつ間の草丈の不揃いを誘起するようなことは認められなかった。なお処理終了後出穂期にかけて前述の草丈における区間差は急速に小さくなっていくが、処理期間中にみられた傾向は最後まで持続した。葉数に関してはやや対照区が勝る傾向があったが、区間差は極めて僅少で昼 37°C 夜 26°C 区、昼 26°C 夜 37°C 両区ともに処理終了時においても対照区との差が 0.5 葉以内であり、最終総葉数には全く差異は認められな

かった。

次に茎数については第 40 図にみるように、草丈とは逆に全品種とも昼 26°C 夜 37°C 区において、処理開始後 2 週間頃より茎数の増加が顕著であった。これに比べて昼 37°C 夜 26°C 区は分けつ初期は対照区より劣るが、全品種とも 7 月 26 日、すなわち歴日からみてほとんど同時期に対照区を超越することが認められた。この昼 37°C 夜 26°C 区と対照区にみられる茎数の推

Table 13. Effects of water temperature on the average length of stem and the coefficient of variance of plant height in a hill.

Plot	Hōyoku		Reihō		Sendai		Nōrin No. 18		Zuihō	
	Average length of stem	c.v	Average length of stem	c.v	Average length of stem	c.v	Average length of stem	c.v	Average length of stem	c.v.
32°C constant	58.3cm	10.5	63.9	11.7	70.2	11.2	79.6	7.7	82.0	7.7
Day 37°C night 26°C	55.5	11.6	60.8	8.2	63.5	16.3	71.8	12.5	72.9	12.6
Day 26°C night 37°C	53.7	13.6	55.2	13.5	61.6	17.1	67.8	13.8	67.5	10.3

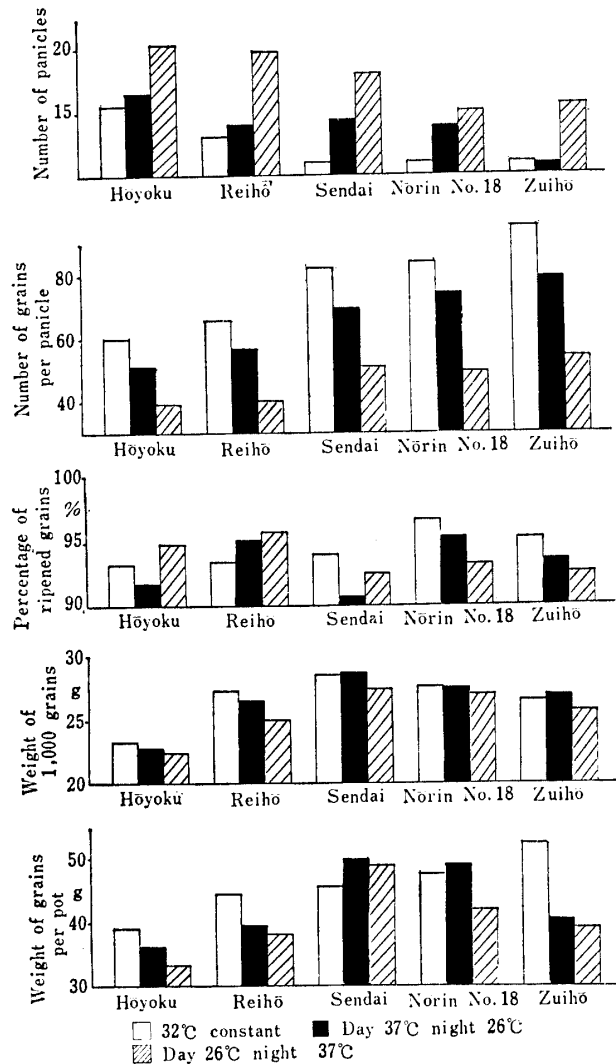


Fig. 41. Effects of water temperature on the components of yield.

移を、前章でのべたように穂数成立上重要と思われる切穂分化期と追越時期に着目してみると、追越点の7月26日から幼穂分化期(出穂前30日)までの日数は、ホウヨクで約5日、レイホウで約9日、センダイ、農林18号で約12~13日、瑞豊で約19日であった。

次に稈長については第13表にみるように、全品種ともに明らかに32°C区>昼37°C夜26°C区>昼26°C夜37°C区であり、とくに晩生系の品種の差異が顕著であった。変動係数も稈長における同様の傾向がみられ、とくに晩生系の品種において明らかになった。

収量および収量構成要素は第41図にしめた。一般的に穂数、1穂粒数に最も変動が大で、登熟歩合、精粒1000粒重には差異を認めなかった。すなわち穂数は全品種を通じて昼26°C夜37°C区>昼37°C夜

26°C区>昼夜32°C区(対照区)であったが、昼26°C夜37°C区は平均1穂粒数が極端に減少したために、収量はセンダイを除いて同区が最低をしめた。一方昼37°C夜26°C区においては、水温較差による穂数、1穂粒数および収量の変動が、品種の特性に応じて相当の差異をしめた。まず中生系のセンダイ、農林18号に着目すると穂数は明らかに対照区より大であるが、反面1穂粒数はそれほど減少しないために、結果として収量は同程度かやや大なる傾向がみられた。これに反し、早生系のホウヨク、早~中生系のレイホウは穂数における差異が小さいわりに1穂粒数の減少度が大で、従って収量は明らかに対照区が大であった。また晩生系の瑞豊は穂重型的特性を反映して穂数における差異は全くみられないと同時に、1穂粒数が大きく減少したために、対照区に対する収量減は全品種中最も大であった。

第3章 考 察

灌漑水の人為的操作によって、茎数を増加させる方法には、日中水温を低下させる方法与昼夜の水温較差を大きくすることが考えられる。このうち実際の利用の可能性からみれば、第4編でのべるように、前者の方に意義が大きいことはいうまでもない。

元来、低水温は初期分けつの発生をおくらせるが、やがては高水温区を凌駕していくことはすでに明らかにされているところであるが、その追越点が幼穂分化期よりどれほど早くくるかが有効穂数の成立上重要である。多田⁴²⁾、舟山¹¹⁾、松島²⁹⁾などにより指摘されたように、青葉数3~4枚が有効茎の限界とすれば、感光性品種を用いたときに、低水温による分けつ数の追越時期が少なくとも幼穂分化期前約10日頃までには実現しているものでなければ、有効穂数の増加は保持できないであろう。従って低水温効果発現に關与する条件を考えると、第1に品種の早晩性があげられ、栄養生長期間の長い晩稲ほどその効果もまた発現しやすいものといえる。第2は品種の草型に関する特性である。現在南九州で問題とされつつある早~中生種に属するホウヨク、シラスイ、レイホウは、極めて短穂数型的特性をつよくもつものに対し、晩生種の瑞豊は極端な長穂数型的特性をもち、中生種の農林18号、センダイ、タチカラは両者の中間型の性格をもつ。すなわち早生種のシラスイにみたように、初期の分けつ発生が、他品種に比べ極めて旺盛で、しかもこれが多肥、高水温条件によって助長されるために、低水温による追越時期がわそくなること、他方晩稲の瑞豊にみ

のように、穂重型の特性を反映して、水温による茎数の変動そのものが少ないか、あるいは若干の穂数増があっても、補償的に稈長、1穂粒数の減少を結果して、収量に対する影響度が小である場合には、ともに分けつ期における低水温による有効穂数、引いては収量の増大を期待し得ないであろう。以上を総合すれば、早生種よりは晩生種へ、また穂重型よりは穂数型へと品種の特性に対応して低水温効果も発揮しやすいものと考えられるのであって、この観点にたてば現行品種のなかでは穂数増の最も期待され得るのは中生、中間型品種においてしかないといって差支えないであろう。

なお、ここで施肥量の多少もまた考慮に入れる必要がある。従来冷水害は多肥条件下において発現しやすいといわれているが⁴³⁾⁴⁴⁾、暖地の低水温効果の場合には多肥が逆に有効であって、とくに草丈について、低水温による草丈の抑制度を多肥によって軽減していること、つまり肥料の多少と水温とが相互に補償し合うことは注目してよいと思われる。今後南九州においても、多肥化は必然的な方向であるが、最近の新品種が若干短稈化しているとはいえ高気温に加えて養分保持力の少ないシラス土壌⁵⁸⁾¹⁸⁾のもとでは、多肥により草丈、稈長を増大して、倒伏を助長する可能性は依然として高いのであって、日中水温により草丈、稈長をある程度抑える反面、2次分けつを有効化し、穂数を増大させ得ればまさに一石二鳥といえるであろう。

昼夜の水温較差の拡大もまた茎数増加に効果的であることは明らかであるが、ここで昼 26°C 夜 37°C 区を 32°C 恒水温区と比較すると、前者において処理期間中みるべき草丈の増加をほとんどしめさなかったことが注目される。夜間 37°C という温度条件はもちろん自然下ではありうることがなく、ただ実験的環境においてみるだけであるが、処理終了後、出穂まで約1カ月の間における草丈のかなりの回復があるにもかかわらず結局、著しい穂数増をさらに上廻る1穂粒数の減少をきたし収量が最低となったのである。とくに両区における収量の差異が穂数型品種よりも穂重型の瑞豊に拡大して現われたことは、品種特性を知るうえで興味あることと思われる。茎数の増大に対して低水温のみならず水温較差の影響もまた大であることは第4編で論議を行ない、その原因は低水温効果とは異なり、恐らくは高温による生長阻害にもとづくものではないかと推定した。ここで昼 26°C 夜 37°C 区における夜過高温による徹底した草丈の抑制と茎数の増加が1穂粒数の激減を結果したことより考えて、高水温障害の一形態とみなすことができよう。榎本⁸⁾、田中⁴³⁾など

の指摘した冷水障害は、生育が遅延し、草丈は低く、遅発分けつを多発し、葉色は緑が濃いのであるが、昼 26°C 夜 37°C 区にみられる様相は草丈の伸長が抑制されることは同様としても、出葉期はほとんど遅延せず、分けつは初期から多く発生して揃いはよく、葉色も 32°C (対照区) と変わらなかったことは明らかに冷害とは対象的であり注目してよいであろう。

次に昼 37°C 夜 26°C 区における生育様相の品種期間差異は、前述の低水温処理区にみられた様相と非常に類似をしめしている。すなわち 32°C (対照区) との比較において、全品種ともに分けつ増加の追越点は7月26日頃に現われたが、早～中生系のホウヨク、レイホウは幼穂分化期までの期間が短かく、また晩生系の瑞豊も穂重型の特性がよよく影響して、結果的には穂数に明瞭な差異を生ずるに至らず、ただ中生、中間型のセンダイ、農林18号においてのみ処理による著しい穂数増がみられたことは前述の低水温効果の成立要因に対する理解を別の側面から立証したものとえよう。しかし低水温処理にみたように生じた穂数の増加がそのまま収量に直結した場合と異なり、補償的に生じた1穂粒数の減少が影響して、収量は早、晩生種では明らかに対照区(32°C 恒水温)が勝り、中生系品種では昼 37°C 夜 26°C 区がやや勝るもの大差ない結果となったことは、やはり軽度の高水温障害が存在したためとみるべきであろう。とくに葉色から判断して、低水温処理におけるような幼穂分化期における葉身窒素濃度の高まりは期待できず、また低水温処理による根に対する好影響もみられなかったことが補償的に1穂粒数を減少し、穂数の増大を収量に直結し得なかったものと考えられる。

以上分けつ期における水温処理により穂数、引いては収量増を期待できる範囲は、中生系品種に限定されることが結論的にいえるが、このことは南九州における現行栽培品種についての観察であって、今後晩稲穂重型品種が定着するようなことがあれば、これらに対しては再検討の余地があることはいうまでもない。

第4編 栄養生長に及ぼす昼夜水温の影響 一とくに生育時期の移動にもなる 気温の変化との関連において—⁵²⁾

1. 実験材料ならびに方法

26°C, 30°C, 34°C, 37°C (それぞれ±1°C) の4段階の大型恒温水槽を設け、その中に水稲農林18号を植えた5千分の1アールのポットを浸漬し、ポットを入れ替えることにより昼夜の水温の異なる16区を

Table 14. Air temperature and sunshine duration in different nine cultivation period.

Plot	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
Air temp.	max.	22.7°C	24.8	27.1	32.0	32.2	32.4	30.6	28.1	22.7
	min.	12.8	16.6	19.4	24.8	24.9	24.5	21.7	18.0	13.0
	mean	17.7	20.6	23.0	28.0	28.0	28.1	25.8	22.5	17.5
Sunshine duration per day	4.9hr	3.9	4.2	7.5	6.1	7.7	7.3	7.8	5.9	

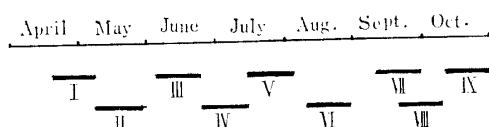


Fig. 42. Cultivation period in each plot.

I~IX indicate plot number.

設けた。施肥量はポット当り窒素，磷酸，加里をおのおの成分として 0.5 g, 1区3ポット，ポット当り2株1本植えとした。処理開始は第8葉展開時で，第42図に示めた9時期におのおの20日間処理した。9時期の気温および日照時間は第14表の通りである。処理終了後，草丈，莖数，主稈葉数を調査し，ガラス室内で乾燥風乾重を測定した。昼間処理は午前8時より午後6時までの10時間，従って夜間処理は14時間である。処理期間中の幼穂形成をさけるために，8月以降は午後8時まで80ワットの電燈照明を行なった。本実験は1961年に行なったものである。

2. 実験結果

水稻の生育に関与する諸形質に及ぼす昼夜水温の影響の，栽培時期別（気温別）差異をしめすと次の通りである。

草丈に関し，各処理区の平均値についての分散分析表を第15表に示めた。各単独効果ならびに交互作用はいずれも有意であったが，中でも夜水温の影響が昼水温のそれより著しく大なることが認められた。第

43図は各水温区における草丈に及ぼす気温の影響を表わしたものである。草丈の伸長は気温の上昇とともに直線的に増加するが，直線の勾配，すなわち気温の上昇に伴う草丈の伸長の割合には区間差がみられる。すなわち本図で勾配は，左，上方の区が大で，右，下方の区が小となっている。すなわち昼水温，夜水温いずれも高い区において勾配が小で，逆に，いずれも低い区が大となっているのであって，一般に高水温ほど高気温の悪影響が発現しやすいといえる。ただし昼37°C夜26°Cの区に比べて，逆の夜37°C昼26°C区の勾配が著しく小さいことから，夜間の高水温が昼間のそれよりも草丈の伸長に対する抑制度が大きいことがいえる。第44図は平均気温の差の大きい第I~第IV時期について，昼夜の平均水温（昼水温×10/24+夜水温14/24）と草丈の関係をしめたものである。ただし昼水温の高低に関係なく，夜水温37°C処理の区はいずれも高水温障害と思われるが，草丈が極端に抑制されたために，これを除いて記したものであり，このことは第47図，第48図，第49図の場合も同様である。すなわち第44図にみるように，概して，34°C以上の高水温側において著しく大なることが特徴的であった。夜水温37°C区を除いて草丈の伸長に好適な平均水温をみると，第I時期では28~32°C第IV時期では26~29°C，第II~第III時期ではその中間であり，高気温時ほど低水温側に移行するものといえよう。

Table 15. Analysis of variance of plant height.

Factor	N	S. S.	S.S./N	F
Day water temp.	3	1,445.84	481.95	88.75***
Night water temp.	3	8,692.72	2,897.59	539.59***
Cultivation period	8	15,698.88	1,962.36	365.43***
Day water temp.×night water temp.	9	364.94	40.55	7.55***
Day water temp.×cultivation period	24	221.23	9.22	1.72*
Night water temp.×cultivation period	24	1,383.05	57.63	10.73***
Error	72	386.60	5.37	—

*, ** and ***: Significant at 5%, 1% and 0.1%, respectively

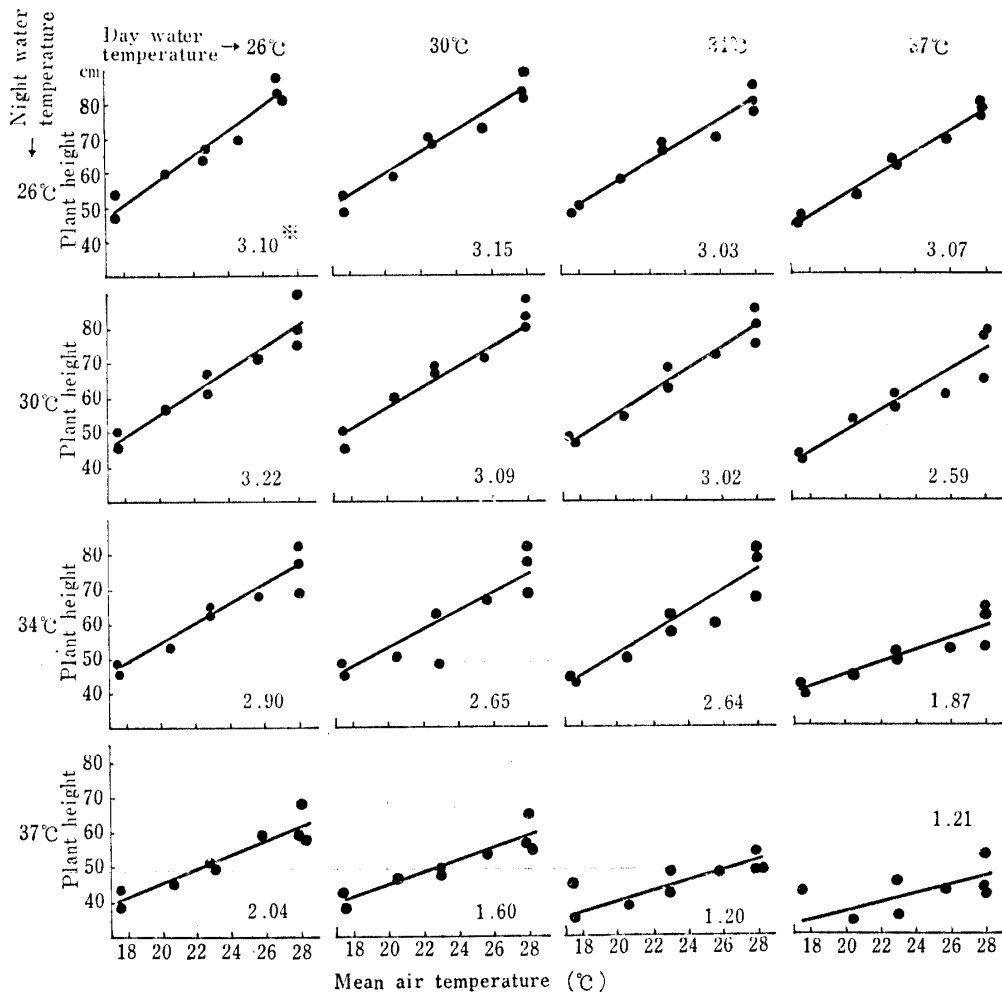


Fig. 43. Combination effects of day-and-night water temperature and air temperature on the plant height.

※ Gradient of linear regression.

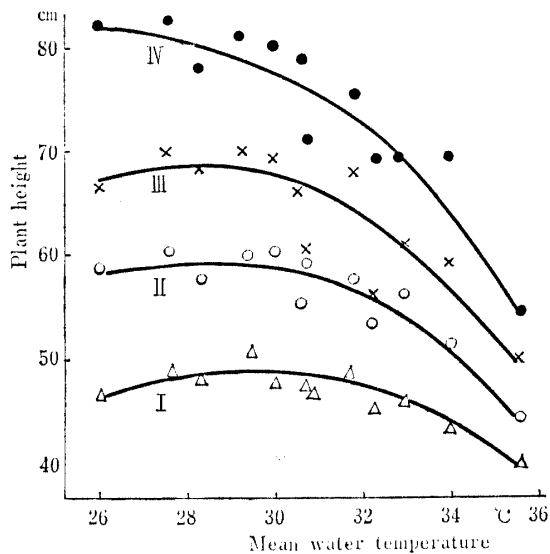


Fig. 44. Effects of water temperature on the plant height in relation to different cultivation period.

I~IV indicate cultivation period.

各処理区の茎数の平均値についての分散分析表を第16表にしめした。草丈の場合と異なる点は、昼水温と夜水温の影響度の差異が比較的小さいことと、昼水温と栽培時期(気温)との交互作用が有意でなかったことである。各水温区における茎数に及ぼす気温の影響を第45図にしめした。全区ともに茎数は平均気温20~26°Cの範囲で大で、それより気温が高低するにつれて減少した。なお同図において、右上方、左下方とくにその中でも昼37°C夜26°C区および昼26°C夜37°C区が他区に比べ概して茎数が多い傾向が認められた。このことは、昼夜の別を問わず水温較差の大きいことが茎数の増加に好影響を与えることをしめすものであるが、このことを他の水温区をも含めてしめすと第46図のごとくである。ただし、草丈ならびに分けつに対する高水温障害の著しい昼夜37°C区、昼37°C夜34°C区、昼34°C夜37°C区は除去した。同図から第II、第III、第VII時期すなわち20~26°Cの気温のと

Table 16. Analysis of variance of number of tillers.

Factor	N	S. S.	S.S./N	F
Day water temp.	3	68.58	22.86	14.38***
Night water temp.	3	177.08	59.03	37.13***
Cultivation period	8	260.63	32.58	20.49***
Day water temp.×night water temp.	9	345.76	38.42	24.16***
Day water temp.×cultivation period	24	45.19	1.88	1.18
Night water temp.×cultivation period	24	66.96	2.79	1.75*
Error	72	144.30	1.59	—

*, ** and *** : Significant at 5 %, 1 % and 0.1 %, respectively

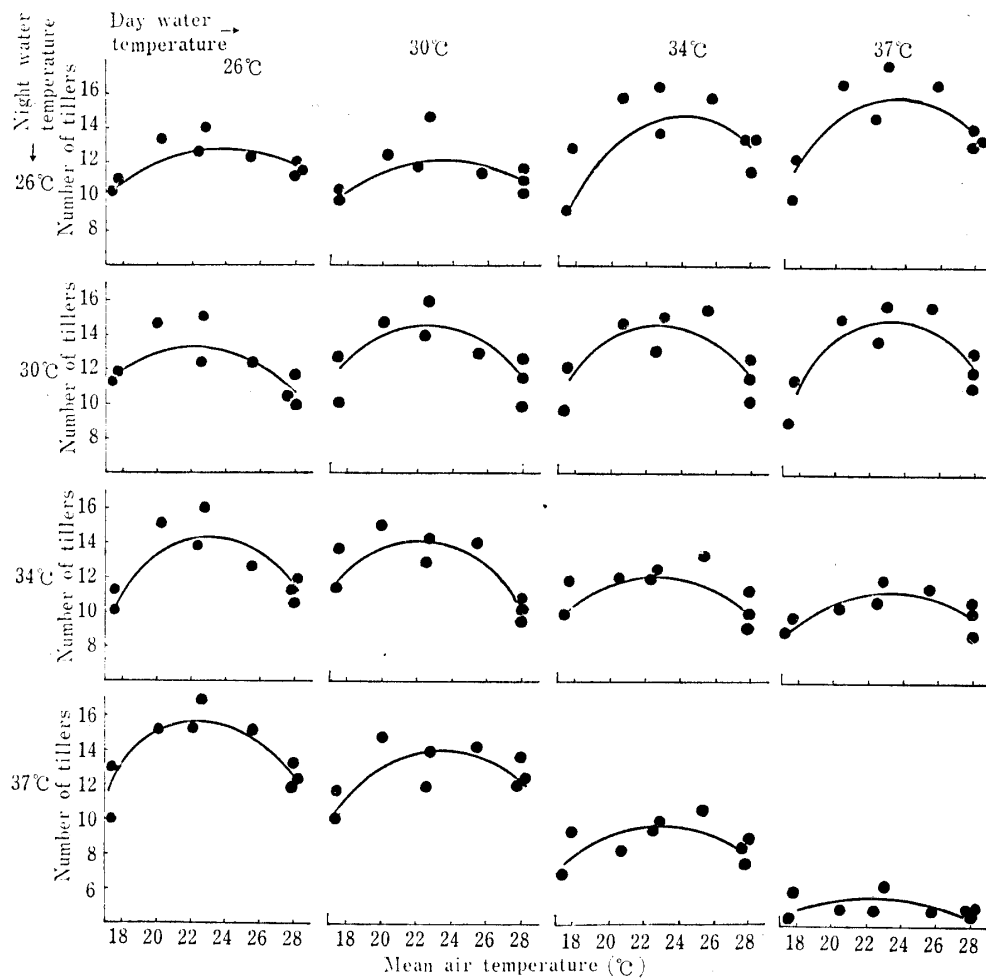


Fig. 45. Combination effects of day-and-night water temperature and air temperature on the number of tillers.

きに水温較差の効果もまた発現しやすいこと、逆に気温が高すぎたり低すぎたりする時には、水温較差の影響もまた発現し難いことが認められた。

主稈葉数は草丈の場合と異なって、昼の高水温に比べて夜の高温の悪影響がとくに大きいことは認められず、また莖数における場合とも異なり、水温の日較差の効果も認められなかった。第47図に各区における平均水温と主稈葉数との関係をしめしたが、第Ⅰ時

期では平均水温の上昇とともに葉数はほぼ直線的に増加し、そのピークは34~35°Cにあるが、第Ⅱ時期では29~35°C、第Ⅲ時期では28~35°Cにあって、気温が高まるにつれて低水温側にピークの幅が広がることが認められた。

夜間37°C区を除いて、根重および地上部重に及ぼす平均水温の影響の栽培時期別差異をそれぞれ第48図、第49図にしめた。根重のピークは第Ⅱ時期以

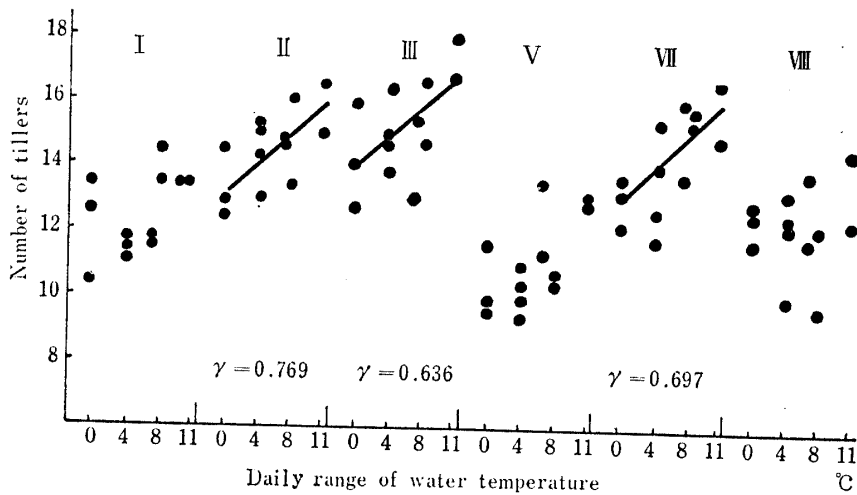


Fig. 46. Effects of daily range of water temperature on the number of tillers in relation to different cultivation period.

I~VIII indicate cultivation period.

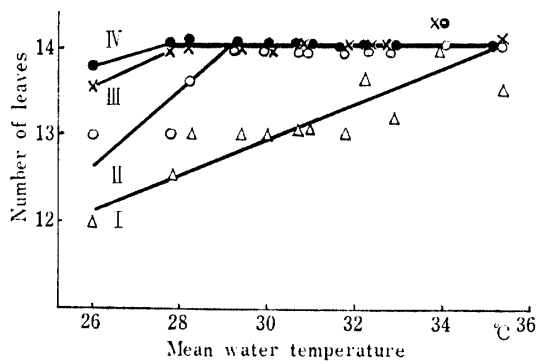


Fig. 47. Effects of water temperature on the number of leaves in main stem in relation to different cultivation period.

I~IV indicate cultivation period.

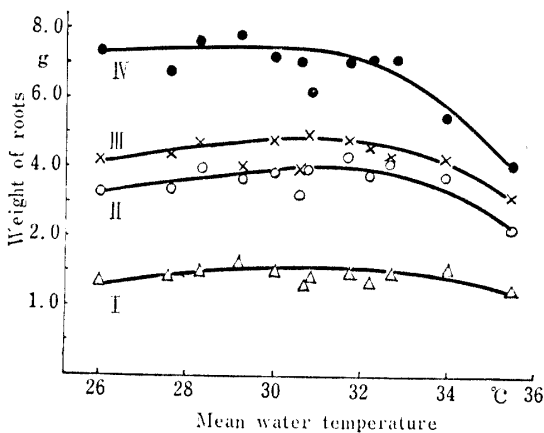


Fig. 48. Effects of water temperature on the air-dry weight of roots in relation to different cultivation period.

I~IV indicate cultivation period.

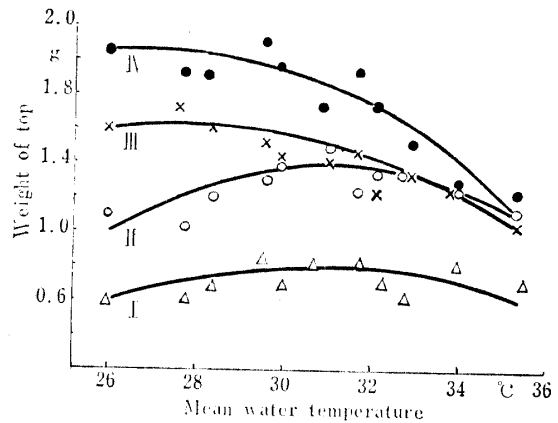


Fig. 49. Effects of water temperature on the air-dry weight of top in relation to different cultivation period.

I~IV indicate cultivation period.

降明らかに現われ、かつピークの位置は気温の高い時期ほど低水温側に移行していくことが認められた。また根重ほどには明らかではないが、地上部重においてもほぼ同様の傾向がみられた。これらの傾向は草丈の場合に類似するわけであるが、これを裏付けるように、根重と草丈間および地上部重と草丈間には、それぞれ $r = 0.640$, $r = 0.910$ の正の相関が認められた。

3. 考 察

温度に激変がおこるとき、これに対して植物の生長度はある特定の反応をしめす。コムギ、エンバクなどを用いた実験から SILBERSCHMIDT³⁶⁾, ERMAN⁹⁾ はこの現象に対して熱生長反応³⁵⁾と名付け、また著者⁵⁵⁾ は水稲用の伸長速度が水温を急激に高めたときには一時

的な生長の昆進が、逆に急に低温に移したときには生長の停滞を生ずることをみた。ところで普通、昼夜水温の影響をみるときに、われわれは数個の既知温度の水槽を作成し、そのなかにポットを浸漬し、所定時間に入れ替えるという手法をとるが、入替時に受ける水温の急激な変化に対応して生ずるであろう稲体の刺激的反応を考えれば、この結果を直ちに緩慢にかつ連続的に変化する自然の水温状態に適用することは問題が残る。次に本実験において気温の差異を栽培時期の移動にもとめたが、いうまでもなく栽培時期の移動にもとづく生育様相の変化は、気温をはじめ日照、湿度などの複合条件の差異によることは論をまたない。ただここで日照条件は異なるが、平均気温の類似している6月と9~10月にしめた生育様相が極めて類似したことより考えて、気温による影響度が最も大であろうと推定しているわけである。

以上若干の制約をまえた上で、昼夜水温の影響の栽培時期別差異をみるときに、草丈、茎数、葉数の三要因がそれぞれ個性的な反応をしめたことは注目に値する。

草丈の変動が昼夜の水温較差によることが少なく、もっぱら平均水温の高低によって影響されることは、すでに角田⁴⁷⁾の認めるところである。また一般に自然条件下では、気温の高まりとともに草丈の伸長が増大することは疑う余地のないことであって、このことは水温条件によって乱されることはないといえる。しかし吉川²⁵⁾などによって古くからしめされてきた25~35°Cのいわゆる適水温範囲において、高気温時では草丈の伸長適温が下限近くの低水温側に移行すること、つまり、佐藤など⁴⁰⁾もオーチャードガラスの草丈で認めているように、気温と水(地)温が補償的に働くという事実は、暖地稲作における水温問題を理解する上で極めて重要なことと思われる。嵐³⁾のしめすように、南九州の分けつ期(7月)の平均気温は26°Cをこえ、とくに本実験を行なった1965年は、高温多照年のため28°C近くをしめし、東北、北海道の分けつ期のそれと比較し極めて高い。第1編にしめたように、長稈種の瑞豊を用いた場合、掛流し区の草丈が貯溜区を上廻ったこと、あるいは第2編にしめたように、農林18号において平均水温を26°C附近まで低下させてもみるべき草丈の減少をみなかったことはこれを裏付けるものである。また著者⁵⁴⁾は、過去において水温の高低と草丈の伸長との関係が高気温のガラス室と低気温の屋外では逆の傾向になったことを観察しているのもこの現われとみてよいと思われる。

茎数に関しては処理期間が20日間という制約のため、初期遅延をとまなう低水温の分けつ増に対する効果を発揮し得なかったために、もっぱら昼夜の水温較差の影響がつよく現われたように考えられる。佐本³⁹⁾、石塚など¹⁶⁾によって過高気温はかえって茎数の増加を抑制することがしめされているが、本実験において、平均気温で20~26°Cの時期に水温較差の効果もまた拡大して現われたことはこれを裏付けるものである。しかし、これら水温較差の効果が実験的環境ならともかく現実の水田に存在するかどうかは疑問である。その理由として最も茎数の増大をみた昼37°C夜26°C区または昼26°C夜37°C区に注目するとき、その原因が温度較差自身にあるのではなく、高水温による単独的な影響と考えられるからである。著者⁵⁵⁾は1日の水温の変化に対応した水稻幼植物葉の伸長を追跡した結果、ひとたび過高温(35°C以上)に遭遇すると、鈍化した生長速度は水温が低下してもなかなか回復せず、とくに過高温が長ければ長いほど回復に時間を要すること、つまり過高温による生長阻害の予想以上に大なることを知ったのである。従って夜37°C昼26°C区あるいは昼37°C夜26°C区において茎数のみ増大したことは、この過高水温による草丈抑制(一種の高水温障害)が大きく影響したと考えて差支えないと思われる。従って、元来分けつ増加を誘発する水温条件として低水温によるものと水温較差が考えられるが、第3編でのべたように両者における生育様相の差異をあわせ考えるとき、その成立機構は異質なものであろうと考える。暖地において、たしかに自然の水田水温は夏期晴天日には日中水温が37°Cを越すことも珍らしくないが、このような高水温に遭遇する時間は限定されたものであり、一般的に草丈高く茎数少なく経過する南九州稲作³⁾のなかで、茎数増加に対する高水温の効果を期待することは難しいように思われる。

主稈葉数については、気温が高まるにつれて好適水温の領域が低水温側へと幅を拡大するという点で特色的である。長谷川¹³⁾などによって従来葉数の増加には気温に比べて地温の影響力のつよいことが強調されているが、本実験の供試品種が極めて感光性の高い品種であったこともあるが、やはり気温の影響によるところが大なるものと考えられる。

地上部、根重にみられた傾向が草丈と類似の傾向をしめし、高気温時には地上部重は平均水温26~32°C間で、一方根重は26~30°C間で大差を認めないまでに接近したことは注目してよく、このことは水

温低下によっておこりやすい乾物生産低下の危険性が暖地では軽減されることをしめすとともに、掛流し灌漑における水稲作の安定性を意味するものであろう。

従来、気温と水温とは独立的に働くことが強調されてきたが³⁰⁾、以上を総合すれば稲体を形成する各形質は水温の高低に対異なった反応をしめし、また稲全体からみても水温に対する反応が気温によって微妙に変化することがわかるのであって、このことは暖、寒地間あるいは栽培時期の差異によって生育収量に対する適水温の所在もまた変化することをしめすものである。

総 括

水田水温に関して、吉川²⁵⁾、東条⁴⁵⁾ 以来の多くの業績は、平均水温で 30°C 附近を中心とし、25~35°C の範囲に適水温が存在し、それより高低するにつれて何らかの生育障害を生ずる可能性のあることを報告してきた。ここで重要なことは、南九州では本田初期から出穂期まで真夏の高気温下で経過するために、いわゆる適温といわれている水温領域においても、その間のわずかな水温の高低が水稲の生育収量に及ぼす影響が意外に大であったことである。最近、西南暖地稲作の低収の一因に高水温障害があげられるが、寒地における冷水障害を考えれば、この言葉は少し語感がつよすぎる。しかし、明らかな異常生育を生ずるほど高温ではないけれども、全体的な水田水温の高まりが収量に対する潜在的な阻害要因を形成していることは事実であって、ここに暖地における水田水温問題の特異性をみることができるのである。ところで、気温と地温との組合せを種々に変えたときに生ずる稲体内の生理的变化については、これまで解明されていないが、著者の扱った温度領域内では、少なくとも外形的な変化に対しては気温と水温とが相互に補償的に影響することが随所で確認された。すなわち、稲体を形成する各形質の水温に対する反応の程度は、気温の差異によって微妙に変化するものであり、引いては暖地と寒地間、あるいは暖地における普通期作と早期作間では水稲生育に異なった好適水温が存在すると推定されるのである。

以上のような観点にたてば、暖地における生育各期の適水温の所在が若干の制約がつくとはいえ、平均水温で 25~26°C 附近にあること、すなわち榎本⁸⁾ のいう限界温度近くまで水温を低下させた場合に増収効果を期待し得ることが理解される。南九州における普通作品種は感光性が大きく、温度による出穂期の変動

が非常に少ないことが背景にあると思われるが、本研究において、日中水温の低下により、晩生種にみられる生育後期の秋落ち型から秋優り型への転換が、あるいは中生種にみられる有効穂数の増加がより得られたことはこれを証明するものである。ここで特色的なことは、高気温下では水温低下によって生ずるであろう生育の遅延が非常に軽減されること、および生育収量に対する水温低下の効果が品種の早晩生や草型の特性によって異なることであった。とくに後者は今後南九州においても急速に進展するであろう品種の転換に際して、これまでの農林 18 号や瑞豊で得られた知見をそのまま応用することなく、新品種のしめす特性に対応した水温対策を考慮すべきことを意味するものである。

最後に今後の南九州稲作を考えるうえで、本研究で得られた掛流しによる水温低下効果の現代的意義について若干ふれたい。第 1 は 1953 年に農林省によって「西南暖地稲作増強事業」が着手されて以来、土地改良その他多くの秋落ち改良事業がなされてきたにもかかわらず、南九州の水稲収量は依然として低く、最も期待された早期栽培¹⁹⁾ も停滞下降気味であることは周知の事実である。このことは秋落ち問題解決の困難性をしめすものであるが、低水温によって、中生稲に対しては穂数の、晩生稲に対しては 1 穂粒数の増加が可能となったことは、今後の対策に 1 つの方向をしめすものといえよう。第 2 に、低水温効果は暖地の高気温のもとではじめて可能であり、また養分保持力乏しく、肥切れしやすいシラス土壌におこり勝ちな過剰な初期生育と生育後期の栄養凋落を防止するうえで効果的であって、このことはいわば南九州において、従来阻害要因とみなされてきた気象ならびに土壌条件を逆に活用した技術といえる。暖地稲作の発展には、与えられた気象、土壌条件を十分に活用した暖地独自の技術開発が要望される今日、鹿児島県が稲作のビジョンとして提起している²⁰⁾ 地下水利用による生産装置化の構想は、本研究結果から考えてもまことに当を得たものと思われる。

要 約

普通期水稲の生育、収量と灌漑水温との関係を品種特性との関連のもとに解明し、暖地における水温問題の特異性を探索したものである。

I. 晩生稲の秋落ちと昼間水温の低下との関係

(1) 低水温効果の生育時期別観察

大型水槽 2 つを設け、1 つは昼間 (9 AM~5 PM)

水道水を掛流し、他は貯溜とした。このなかに1/5000アールのポットに植えた水稻（品種瑞豊）を入れ、所定の期間づつ一方から他方から地方に移動させた。水温条件は貯溜区の日中最高 29~35°C に比べ掛流し区のそれは 25~29°C であった。生育時期別処理の効果はできるだけ長期間にわたって掛流し処理を行なうことが、収量を増大させるうえで効果的であることがわかった。ただしこの場合、掛流し処理期間のなかに幼穂発育期を含むことが不可欠の条件であり、この時期を貯溜状態におくことは前段階における掛流し処理の効果も消去してしまうこと、逆に他時期は貯溜状態であっても幼穂発育期のみ掛流しを行なうことにより、相当の増収を期待し得るということである。これを生育様相から見ると、幼穂発育期の水温低下により上位2葉は長く、下位葉の葉枯れの進行がおくれ、稈長ならびに1穂粒数が増加し、出穂後の好天に恵まれれば1000粒重の増大も可能であることが認められた。

(2) 根の発育に及ぼす低水温の影響

全期間掛流し区および貯溜区における根の発育様相を調査した。新根の消長に着目すると、幼穂分化期（出穂前30日）附近を中心に明瞭な区間差が認められ、掛流し処理により新根発生量のピークが貯溜区により約1週間おくれて現われるとともに幼穂発育前期における新根重、新根数がともに大となった。一方幼穂発育後期における根の減少過程においても、黒色根（腐根を含む）の発生は掛流し区において少なく経過したことから、水温低下が根に対する明瞭な老化抑制効果をもつことが認められた。

(3) 稲体主要成分の消長に及ぼす低水温の影響

全期間掛流し区と全期間貯溜区における稲体の全窒素、粗澱粉、全糖、粗灰分の推移を対比した。乾物重における差異は幼穂分化期以降に明瞭で、時期的にみて最初に根、次に茎葉、穂と順次に掛流し区が貯溜区を凌駕した。茎葉の全窒素濃度は処理期間中掛流し区がづねに高く、したがって前記乾物重における増加を反映して株当たり全窒素含量は、出穂期を中心とし、分けつ末期から登熟中期にかけて同区において著しく大となることが特徴的であった。一方茎葉澱粉濃度は窒素とは逆に掛流し区において低く経過したが、株当たり澱粉含量においては乾物重の傾向を反映して出穂期以降は同区においてやや勝る傾向がみられた。全糖、粗灰分については明瞭な区間差は得られなかった。

以上(1)、(2)、(3)を総合して、長稈穂重型の晩生稲の生育に対し、幼穂発育期を中心とした日中水温の低下が、秋落ち型から秋優り型への転換をもたら

すうえで極めて効果的であることが確認された。

Ⅱ. 生育各期における水温と中性稲の生育様相について

(1) 分けつ期の水温の高低と生育収量との関係

農林18号を用い圃場において、分けつ期間水道水を掛流しすることによって生ずる低水温の影響を検討した。なお平均水温は取水口で約21°C、出水口は約31°C、その間水口からの距離に応じて段階的に異なる水温条件が得られた。茎数の推移に着目すると、分けつ初期には高水温区ほど茎数が大であるが、次第に低水温区が追越し、とくに平均水温25°C附近を境とし水温の高まりにつれて有効茎歩合が低下し、出水口附近では明瞭な穂数減となることが認められた。一方平均1穂粒数ならびに1000粒重は穂数増の補償作用と思われるが、水温の低下とともに漸減しとくに取水口近くの水温区において少となった。これらを総合して、1株当全穂数および収量は平均水温25~26°C、最高水温30°C以下に抑えた区において最大をしめし、それより水温が上下するにつれて減少することが明らかとなった。なおこれを裏付けるように、幼穂分化期における株当たり全窒素量もまた同水温区において最大であった。

(2) 幼穂発育期の水温の高低と幼穂発育との関係

農林37号と農林18号を用い、屋外とガラス室の両所で、幼穂発育期間中、37°C、32°C、26°Cの恒水温下で行なったポット試験の結果は次の通りである。第1に37°C区においては、32°C、26°C両区より幼穂の発育ならびに出穂が遅延し、1穂の分化穎花数、発育穎花数ともに減少する反面発育停止穎花数が著しく増加した。とくにガラス室内の高気温下では、幼穂発育の遅延は一層甚しく、遂に処理期間中出穂をみなかった。第2に32°C区は26°C区に比べて、幼穂の発育の進捗はほぼ同じで、また1穂の分化穎花数にも差異はみられなかったが、発育停止穎花数の増加をみたために、1株総発育穎花数は減少した。以上の幼穂発育様相と対応して根の発育の推移をみると、37°C、32°C両区では幼穂発育後期には根重、根数ともに減少の段階にあるが、26°C区では出穂期まで漸増する傾向がみられた。また黒色根の発生も、減数分裂期頃から水温の高まりに比例して著しいことが認められた。

圃場において、幼穂発育期間中、掛流し操作により段階的な水温低下の処理を行なった結果は、昼間最高水温を30~32°Cで抑え平均水温約26°Cに保った区においては、最高水温約34°C平均水温約28°C区よ

りも、発育停止穎花数を減少し（農林 18 号）、あるいは穂数の増加をもたらす（農林 37 号）、結果として 1 株総発育 穎花数を増加する傾向が認められるとともに、根重の推移においても、低水温区ほど幼穂発育後期まで漸増する傾向がみられた。

以上（1）、（2）の結果から中生稲においては分けつ期、幼穂発育期ともに平均水温約 26°C、最高水温を約 30°C 以下、すなわち東日本でみられてきた適温領域より 4~5°C 低い水温領域に適水温の存在することが推定された。とくに晩生稲の瑞豊にみられなかった分けつ期の低水温による有効穂数増が中生稲において明瞭に認められたことは特色的であった。

Ⅲ．穂数に及ぼす分けつ期水温の影響と品種特性との関係

（1）低水温効果の品種間差異

圃場において分けつ期間中掛流し区（日中最高 25~26°C）、貯溜区（日中最高 31~35°C）の 2 つを設け、両所にシラスイ（早生、多けつ型）、タチカラ、農林 18 号（中生、中間型）、瑞豊（晩生、少けつ型）の 5 品種を栽培した。低水温区における分けつ増加の様相は、初期は緩慢であってもやがて分けつ中期頃より貯溜区を超越すわけであるが、この両区にみられる分けつ増加曲線の交差時期は各品種ともほぼ同時期で明瞭な品種間差異はみられなかった。それ故、移植期から幼穂分化期までの期間の長い品種ほど穂数の増加を期待し得るわけであるが、他方草型における差異もまた影響し、最も少けつ性の瑞豊は晩生にもかかわらず低水温による穂数の変動は小であった。

（2）昼夜水温較差の拡大による影響の品種間差異

分けつ期間、昼 26°C 夜 37°C、昼 37°C 夜 26°C の 2 水温区における生育様相を 32°C 恒水温のそれと対比した。昼 26°C 夜 37°C 区においては、全品種ともに分けつならびに穂数の著しい増加をみたにもかかわらず夜過高温のために草丈、稈長が極度に小となり 1 穂粒数が激減し収量は最低となった。一方昼 37°C 夜 26°C 区の生育は（1）に記したと同様中生品種において穂数増が得られたが、全般的に葉身窒素濃度の高まりは得られず、1 穂粒の補償的な減少がみられたために収量増加度は小であった。

以上（1）、（2）の結果から有効穂数の増加に対する分けつ期の水温処理の効果の大小は、品種の早晩生からは晩生>中生>早生であり、また草型からは穂数型>穂重型の傾向をしめし、両者の観点から南九州の現存品種をみると、農林 18 号、センダイ、タチカラなどの中間型、中生品種においてのみ有効であること

が認められた。

Ⅳ．栄養生長に及ぼす昼夜水温の影響——とくに生育時期の移動にもなる気温の変化との関連において——

第 8 葉展開時の農林 18 号を用い、26°C、30°C、34°C、37°C の昼夜水温の組合せ 16 区を構成した（ポット試験）。処理期間は 20 日間で、気温の異なる 9 時期にこれを行なった。草丈は気温の上昇とともに直線的に増加するが、この上昇の勾配は高水温条件とくに夜 34°C 以上の区において小であった。すなわち草丈の伸長に対する好適水温は処理時期別に差異がみられ気温の高まりにつれて低水温側に移行することが認められた。分けつは処理期間が短かいために平均水温そのものの影響は少なく、水温較差の大なる区に増加が著しかったが、この日較差による影響は、平均気温で 20°C から 26°C の時期に大でそれより高、低気温時には比較的小であった。主稈葉数に対しては、高気温は好適水温の範囲を低水温側に広めることが認められた。茎葉重および根重に及ぼす水温、気温の影響は草丈の場合と類似した。

以上の結果から稲体を形成する諸形質が水温の高低に対して特異的に反応するとともにつよく気温の影響をうけること、とくに南九州の夏期温度のもとでは水稲生育に対する好適水温の所在が、低水温側に移行ないしは範囲を広げることが推定された。

本研究結果を東日本において得られた既往の諸結果と対比するとき、暖、寒地間あるいは栽培時期の差異により、さらには品種特性の差異によって水稲生育に対する適水温の所在もまた変化することが推定される。とくに昼間水温の低下によって有効穂数の増加、あるいは生育後期の秋落ち抑制が可能であるという事実は、高気温に加えて、砂質で肥切れを誘発しやすい南九州シラス地帯のもとではじめて可能であり、このことは同時に今後の水管理を考えるうえで重要な意義をもつものと考えられる。

引用文献

- 1) 天辰克巳・阿部新一：水稲に及ぼす灌漑水温の影響，九州農試報告，**3**（1955）
- 2) 朝隈純隆：暖地における灌漑水温が水稲の生育に及ぼす影響，九州農業研究，**10**（1952）
- 3) 嵐 嘉一：水稲の生育と秋落ち診断，養賢堂，（1960）
- 4) 馬場勉・高橋保夫・岩田岩保：昼夜の水温が水稲生育に及ぼす影響，農業気象，**10**(1, 2)（1954）

- 5) ———— : 水稲品種の根くされ抵抗性の差異及び簡易検定法, 日作紀. **23**(2) (1955)
- 6) ———— : 水稲の胡麻葉枯病及び秋落ち発生の機構に関する栄養生理的研究, 農技研報告 **D**, **7** (1958)
- 7) 榎本中衛: 冷水灌漑の水稲特性に及ぼす影響 第2報 灌漑水温特に灌漑口よりの距離と水温との関係, 京大附属農場彙報. **1** (1937)
- 8) ———— : 同上 第3報 分蘖と灌漑水温との関係, 京大附属農場彙報. **1** (1937)
- 9) **ERMAN, C.**: *Thermowachstumsreaktionen bei den Koleoptilen von Avena sativa L.* Ber. deut. bot. Gessell. **43** (1926)
- 10) 藤原彰夫・大平幸次・大槻勝成・成田精二: 作物の窒素栄養に関する研究—窒素の施用と水稲の生育状況及び炭水化物集積との関係—, 日土肥. **22**(2) (1951)
- 11) 舟山謙三郎・阿部敏雄・山本信一: 試験研究資料18集, 農林省統計調査部. (1956)
- 12) 萩原種雄・西原典則・松井幹夫: 暖地水稲の生育経過に関する肥料学的研究, 福岡農試報告. (1958)
- 13) 長谷川浩: 水稲の出葉速度と土壤温度, 農及園. **34**(12) (1959)
- 14) 稲田勝美・馬場赴: 水稲根の生理生態的研究 I. 水稲根の諸特性と養分吸収との関係, 農業技術. **13**(7) (1958)
- 15) 石塚嘉明・田中明: 水稲の生育経過に関する研究 第1報 無機栄養素吸収移動過程, 日土肥. **23**(2) (1953)
- 16) ———— . ———— : 水稲生育様相特にその栄養生理的特性の地域性について 第1報, 日土肥. **27**(1) (1956)
- 17) ———— . ———— : 水稲の栄養生理, 養賢堂. (1963)
- 18) 泉 清: 宮崎県のシラスについて, 日土肥. **14**(3) (1940)
- 19) 鹿児島県: 水稲早期栽培の歩み. (1963)
- 20) ———— : 20年後のかごしま. (1968)
- 21) 鹿児島農試: 鹿児島県稲作の現状と問題点及び技術対策. (1967)
- 22) 鹿児島統計調査事務所: これからの米づくり, 鹿児島農林統計協会. (1968)
- 23) 香山俊秋: 根腐れ防止としての水のかけ引き, 農及園. **30**(7) (1955)
- 24) 玖村敦彦: 水稲における葉身窒素濃度が収量構成要素ほぼす影響, 日作紀. **24**(3) (1955)
- 25) 吉川祐禪: 灌漑水の温度につきて, 農学研究. **14** (1930)
- 26) 近藤萬太郎・岡村 保: 水温と稲の生育との関係, 農学研究. **15**, **17** (1930~1931)
- 27) 松尾大五郎: 稲作—診断篇—養賢堂. (1950)
- 28) ———— : 西南暖地稲作の諸問題(1), (2), 農業技術. **8**(2(3)) (1953)
- 29) 松島省三: 稲作の理論と技術, 養賢堂. (1967)
- 30) ———— . 田中孝幸・星野教文: 生育各期の気温, 水温の組合せが水稲の生育及びその他諸形質に及ぼす影響, 日作紀. **33**(2) (1965)
- 31) 長井 保・松下栄二: 異なる土壤温度における水稲根の生理生態, I その生態について, 日作紀. **31**(4) (1963)
- 32) 難波得三: 水田の温度変化について, 日作紀. **2**(5) (1930)
- 33) 野口弥吉: 水稲の栄養生理に関する研究, 農及園. **24**(9)(10) (1949)
- 34) 小畑秀雄: 水稲2期作栽培における養分吸収に関する研究, 鹿児島農試特別報告. (1961)
- 35) 坂村 徹: 植物生理学, 堂華房.
- 36) **SILBERSCHMIDT, K.**: *Unterzuchungen für die Thermowachstumsreaktion.* Ber. deut. bot. Gessell. **43** (1926)
- 37) 佐藤健吉: 水稲の生育時期による発根力の変化, 日作紀. **13**(4) (1940)
- 38) 佐藤正一: 本邦暖地の稲作気候と水田微気候らびに微気候調節に関する研究, 九州農試彙報. **6**(4) (1960)
- 39) 佐本啓智: 水稲早, 晩期栽培の生態に関する研究, 東海近畿農試報告. **15** (1966)
- 40) 佐藤 康・伊藤睦泰: 気温地温の組合せに対するオーチャードグラスおよびパレニアアルライグラスの生育反応, 日作紀. **37**(2) (1969)
- 41) 菅原友太: 水稲秋落ちの診断と対策, 農業技術協会. (1954)
- 42) 多田 勲・丸山 肇・丸山梅雄: 試験研究資料II集, 農林省統計調査部. (1953)
- 43) 田中稔: 水稲の冷害並に出穂遅延障害に関する研究, 青森農試報告. **7** (1962)
- 44) 富山農試: 冷水は如何に稲の生育を害するや, 農事時報. **98** (1929)
- 45) 東条健二: 地温が水稲に及ぼす一, 二の生理的影響の観察, 日作紀. **2**(1) (1930)
- 46) 戸刈義次・岡本 嘉・玖村敦彦: 水稲における炭水化物の生産及び行動に関する研究, 第1報 生育に伴う諸器官中の主要成分含量の推移, 日作紀. **22**(3~4) (1954)
- 47) 角田公正: 水温と稲の生育収量との関係に関する実験的研究, 農技研報告 **A11** (1964)
- 48) 植木健至・寺山保彦: 暖地における水稲生育に及ぼす灌漑水温の影響, I 低水温効果の時期別観察, 鹿児島大農報告. **3** (1954)
- 49) ———— . ———— : 同上, II 低水温に伴う稲体有機成分の消長, 鹿児島大農報告. **4** (1955)
- 50) ———— : 同上, III 根の発育に及ぼす低水温の影響, 鹿児島大農報告. **4** (1955)
- 51) ———— : 同上, IV 分けつ期の掛流しによる低水温の効果, 日作紀. **27**(4) (1959)
- 52) ———— : 同上, V 幼穂発育に及ぼす高水温の影響—特に根の発育との関連において, 日作紀. **29**(1) (1960)
- 53) ———— : 同上, VI 栄養生長に及ぼす昼夜水温の影響—とくに栽培時期の移動に伴う気温の変化との関連において, 日作紀. **35**(1~2) (1963)

- 54) ———— : 高水温障害に関する一考察(予報).
鹿兒島大農報告. **8** (1959)
- 55) ———— ・宮里満 : 植物の生長測定に対する電気抵抗, 線式歪計の応用, 日作九支報. **24**(1965)
- 56) ———— : 分けつ期の昼間掛流しによる水温低下が水稲の穂数に及ぼす影響—とくに施肥量との関連において, 日作九支報. **31**. (1968)
- 57) ———— : 水稲生育に及ぼす水温較差の影響に関する一考察. 日作九支報 **33** (1970)
- 58) 宇田川畏三 : シラス土壤について, 鹿兒島農専資料. **3** (1949)
- 59) 八木誠乏・蒲生俊興 : 温度と生物, 養賢堂. (1942)
- 60) 山田 登・太田保夫 : 早期及び晩期栽培水稲の生育相, 農及園. **30**(1) (1956)
- 61) 山口尚夫 : 湿田の稲作改善に関する栽培技術的研究, 千葉農試特別報告. **1** (1961)
- 62) 山川 寛 : 暖地における栽培時期の移動に伴なう水稲の生理生態に関する研究. 佐賀大農報告. **14**. (1962)
- 63) 吉田美夫 : 水稲に及ぼす灌漑水温の影響, 農業気象. **6**(3~4) (1951)
- 64) ———— ・八尋 健 : 同上, 農業気象. **7**(2)

Summary

I. Relation between lowering of the day water temperature and the growth of late variety, Zuihō

(1) The rice plants were cultivated in the pots immersed into the stagnant water in a concrete tank. At the different stages during the growing period, several pots were transferred into another tank supplied during daytime (from 9 a.m. to 5 p.m.) with the running water was the temperature of which comparatively lower (maximum; 25-29°C) than that of stagnant water (maximum; 29-35°C): In the plants subjected to the lower tempered condition at panicle developing period, the withering of the lower leaves was delayed and the length of stem and panicle, the number of grains per panicle and the weight of grains per pot were significantly superior to those cultivated under the warmer irrigating water throughout the growing season.

Either during the tiller period or after the heading, both the growth and the yield were not affected by the lower irrigation water.

(2) The growth of rice roots throughout the growing season put under the running with lower day water temperature was compared with that under the reserved water with warmer temperature. The roots were classified into three kinds on the basis of their age; new roots, brown root and dark root, including partly rotted ones in the later season.

At the first half of panicle developing period, both in the number and in the weight the new roots under the lower condition exceeded those under warmer condition and the number of the rotten roots remarkably increased in the ones put under the warmer condition at the later half of the panicle developing period.

Of these three kinds of roots the comparisons of respiration rates were carried out at 30°C by Warburg's technique during the period after the maximum tillering, according to which different rates were obtained. The growth rate of the new root increased to some extent, reaching the peak at the panicle developing period then gradually decreased, while that of brown roots remained approximately constant until the heading period, and those of the dark roots decreased steadily down to the same period.

(3) The effects of the lower day water temperature brought forth by the running water throughout the growing season on the contents of rice constituents, such as total nitrogen, crude starch, total sugar and crude ash were compared with those of warmer one brought forth by the stagnant water.

During the period after panicle initiation, the dry weights of root, leaf-and-stem and panicle under lower condition exceeded those under the condition successively.

Until the middle period of ripening under lower temperature the percentage of total nitrogen of leaf-and-stem was higher and that of crude starch was lower than that under higher one. The amount of nitrogen per plant under lower temperature was larger before and after the heading period in comparison with that under the warmer condition. A similar tendency was also found with crude starch of leaf-and-stem and panicle observed at the ripening period.

II. Relation between water temperature and the growth of middle variety, Nôrin No. 18

(1) In the paddy field, the effects of the lower day water temperature due to the continuous watering during tillering period on the growth on Nôrin No. 18 were investigated. Water temperature gradients occasioned by the difference in the distance between the inlet

(mean; ca. 21°C) and the outlet (mean; ca. 31°C) for irrigation water were ascertained.

As the water temperature increased, the number of tillers and panicles per hill decreased. On the other hand, the number of grains per panicle and the weight of 1,000 grains decreased in accordance with the lowering of the temperature, especially remarkable when it was below ca. 25°C in the mean temperature. Therefore, the total number of panicles and the weight of grains per hill showed the greatest value in the pots subjected to 25-26°C in the mean water temperature and less than 30°C in the maximum water temperature, and they decreased when put under the higher or the lower temperature than these. At the panicle initiation period, the amount of nitrogen per hill showed the same tendency as above mentioned.

(2) Relation between water temperature and the young spike development was investigated. Pots with rice plants were immersed in the water tank kept regulated to three constant temperatures, namely, 26°C, 32°C, and 37°C during the period of the young panicle development. One set was placed in the open air and the other in the greenhouse. In the outdoor the number of differentiated spikelets not affected but the number of developed spikelets per panicle decreased by the 32°C treatment and in both cases was occasioned of decreasing by 37°C treatment more remarkably, compared with 26°C treatment. These bad effects were prompted in the greenhouse, especially in the plants dealt with 37°C treatment, heading was not observed. At the both 32°C and 37°C treatments the amount of roots reached the peak at the half of panicle developing period and thereafter decreased, on the other hand, it increased until heading date at 26°C. The number of rotten roots per plant remarkably increased in the high water temperature plots, especially 37°C plots during the later half of panicle developing period.

In the paddy field, the effects of lowering water temperature brought forth by the continuous watering during the panicle developing period were investigated. The total number of developed spikelets per hill showed the greatest value in the pots subjected to ca. 26°C treatment in the mean temperature and less than 32°C treatment in the maximum temperature.

(3) From the results of experiments, the following assumption may be made. Optimal water temperature to tiller and young panicle development in the warmer district of Japan lies at ca. 26°C in the mean temperature and at the temperature less than ca. 32°C in maximum temperature.

III. Varietal difference of the effects of water temperature on the number of the panicles

(1) In the paddy field, Shiranui (early var., much-tillering type), Tachikara, Nôrin No. 18 (middle var., mid-tillering type) and Zuihō (late var., less-tillering type) were cultivated under two different water conditions, viz., lower day water temperature due to the running water (maximum; 25-26°C) and warmer day water temperature due to the stagnant water (maximum; 31-35°C) during the tillering period.

Tiller increase of plants under lower condition was carried out gradually during the early stage of tillering period, but it exceeded that of plants put under the warmer condition after the half of tillering period. So far, the intersecting dates of the two tillering lines were ascertained to be same, irrespective of the kind of varieties. Therefore, it was assumed that the longer the length of the period covering from transplanting to panicle initiation proper to the varieties, the greater is the increase of the number of the panicles. On the other hand, tiller increase was made various by the varying degrees of tillering ability peculiar to the variety. Then, the number of panicles per hill of Zuihō, belonging to the less tillering type, under lower condition, was not significantly superior to those under warmer condition.

From these experimental results, the following assumption may aptly be made. It was only the group belonging to the middle varieties, Tachikara and Nôrin No. 18, that the increase of the number of panicles due to lower day temperature could be expected.

(2) Water tanks were regulated to the three temperature conditions, namely, '32°C constant; 'day 37°C night 26°C, and 'day 26°C night 37°C, during the tillering period. Hôyoku (early var., much-tillering type), Reihō, Sendai, Nôrin No. 18 (middle var., mid-tillering type) and Zuihō (late var., less-tillering type) cultivated under the respective water condition.

The number of the tillers and panicles put under 'day 26°C night 37°C, condition increased remarkably, but the yield per hill was reduced to minimum on account of the remarkably decline of the number of the spikelets. The process of the tiller increase under 'day 37°C night 26°C, condition was similar to those put under lower day temperature above mentioned, viz., only at the group middle varieties, Sendai and Nôrin No. 18 both the number of panicles and

the yields increased.

IV. Effects of the day and night water temperatures on the vegetative growth in relation to air temperature change accompanied with the shifting of cultivation period

Pots cultured rice plants, var. Nôrin No. 18' were grouped in sixteen plots. Each plot was subjected to the different combinations of day and night water temperatures, twenty days, in the four water tanks regulated at 26°C, 30°C, 34°C, and 37°C, respectively. These tests were conducted at nine different periods from April to November.

Plant height increased linearly as the air temperature increased, but those gradients were kept smaller under the conditions of high water temperature, especially, when put the water temperature higher than 34°C at night. Optimal water temperature for plant height lowered with the increasing air temperature. Favourable effects of the daily wide range of water temperature on the number of the tillers were observed clearly, especially, at the period with optimal air temperature (mean; 20-26°C) for the increasing of tillers. High air temperature was ascertained to have effectiveness to widen the optimal water temperature range in which the number of the main stem's leaves increases. Both effect of the air and water temperatures on the weights of top and root, showed a similar tendency of the effects on the plant height.

From the results of the experiments, it was assumed that the optimal water temperature for rice growth lowered inversely to the increasing of the air temperature.