

## 高水温が水稻の生育に及ぼす影響

佐々木 修

(作物学研究室)

平成11年8月10日 受理

### Influence of High Water-Temperature on the Growth in Rice Plant (*Oryza sativa* L.)

Osamu SASAKI

(Laboratory of Crop Science)

#### 緒 言

南九州稲作における気象条件の特徴の一つは、本田初期から高気温とそれに伴う日中の高水温が長期間続くことである。従来、水稻の生育に対する水温の影響について多くの研究がなされているが、その多くは好適水温より低い水温の影響をみたものであり、このことは日本の稲作においては高温よりむしろ低温による障害が深刻である事実を反映していると考えられる。

一般に水田水温に関して、好適水温は30℃前後の範囲にあるといわれているが、南九州のような高水温下での好適水温はやや低温側に移行することが指摘されている<sup>8)</sup>。したがって夏期高気温で推移する南九州の水稻の生育は高水温による阻害的影響をより受けやすいと考えられる。しかしながら35℃以上の高水温の影響をみた研究は少なく、とくに物質生産の担い手である葉と根の形態に着目した詳細な検討はほとんどなされていない。このような著しい高水温のもとでは、茎数の増加<sup>1, 7)</sup>や葉齢の進行<sup>1, 2, 6)</sup>は促進されるものの草丈<sup>6, 7)</sup>や根重<sup>4)</sup>が抑制され、結果的に個体乾物重<sup>1, 6)</sup>が低下する傾向を示すことが指摘されている。

そこで本実験においては、高水温条件が水稻の生育および葉と根の形態におよぼす影響について検討した。

#### 材 料 と 方 法

供試材料として普通期水稻品種ミズホを用いた。直径10cm、深さ25cmのステンレス製ポット（鹿児島大学附属農場畑土壌：シラス沖積土を充填）に葉令

4.0の苗を1985年6月21日に1株1本植で移植し、葉令6.5まで自然条件下で生育させたのち、変水温処理を行った。肥料は1ポット当り硫酸アンモニウム、過リン酸石灰、塩化カリウムを成分量でそれぞれ0.15gを基肥として全層に施用し、追肥は行わなかった。ポットの水温の制御は、ガラス室内に25℃、31℃および37℃に保たれた大型高温水槽3個を設置し、各ポットを所定の水槽に入れ換えることによって行った。処理期間中、ポットの土壌表面は水深約3cmに保たれた。なお、予備的に各水槽間でポットの入れ替えを行い、地温の経時的変化をみたところ、ポット中央部の温度は概ね2時間で水槽の温度と等しくなった。昼夜区分は午前8時30分から午後5時30分までを昼間、午後5時30分から翌午前8時30分までを夜間とし、昼夜の各水温をすべて組み合わせて合計9処理区を設け、1処理区6ポットとした（以後、例えば昼水温25℃、夜水温31℃で生育させた処理区を25/31区のように記載する）。変水温処理を7月1日（葉令6.5）より8月13日まで行った後材料を採取した。ただし、37/37区は処理開始後数日で生育を停止したので観察から除外した。採取した材料については各処理区6個体のうち、3個体は乾物重測定に、残り3個体を葉と冠根の形態の測定に用いた。各測定項目のうち、葉身幅については最大幅の部位を、冠根直径については出根部位を、冠根数については茎から出根したものすべてを計測した。

#### 結 果

##### 1. ガラス室内および屋外の気温の推移

実験期間（7月1日～8月13日）を通じて、若干の変動はあるものの、最高気温および最低気温は概

ね一定であったが、ガラス室内と屋外の差は大きくガラス室内の気温は36.8℃で屋外より約5℃高く推移した。これに対して最低気温は、ガラス室内で26.2℃と屋外より約1℃高いにすぎなかった。その結果、平均気温はガラス室内で31.0℃となり屋外より約3℃高く推移した。

## 2. 昼夜水温が諸形質に及ぼす影響 (Table 1)

### (1) 各器官の生長

茎葉および根の乾物重に対する水温の影響についてみると、定水温区では31/31区>25/25区(>37/37区)の順に乾物重は劣った。特に37/37区での生長阻害は顕著であった。また、変水温区では夜間の高水温(37℃)による抑制が著しいのに対し、昼間の高水温の影響は小さく、その乾物重は25/31区および31/25区とほぼ同じであった。以上のように茎葉および根の乾物重に対する水温の影響は類似していることから、これらの関係を見る(Fig.1)と、両形質の間には極めて高い正の相関(0.941\*\*)が認められた。

草丈に対する水温の影響をみると乾物重の場合と異なり、定水温区では25/25区>31/31区(>37/37区)であり高水温ほど草丈は劣った。一方、変水温区では昼夜いずれの高水温(37℃)によっても草丈は抑制されたが、その程度は夜間の高水温においてより著しかった。

茎数は25℃と31℃を組み合わせた処理区の間には差は認められなかったが、これらに比較して昼間の

高水温(37℃)区で茎数は若干増加した。これに対し夜間の高水温区では一定の傾向を示さなかった。

根数に対する水温の影響は草丈と全く逆の傾向を示した。即ち、定水温区では根数は水温が高いほど多く、変水温区では昼夜いずれの高水温(37℃)によっても根数は促進されたが、その程度は夜間の高水温においてより著しかった。

### (2) 出葉間隔

各葉位の葉は概ね一定の日間隔をおいて順次出現

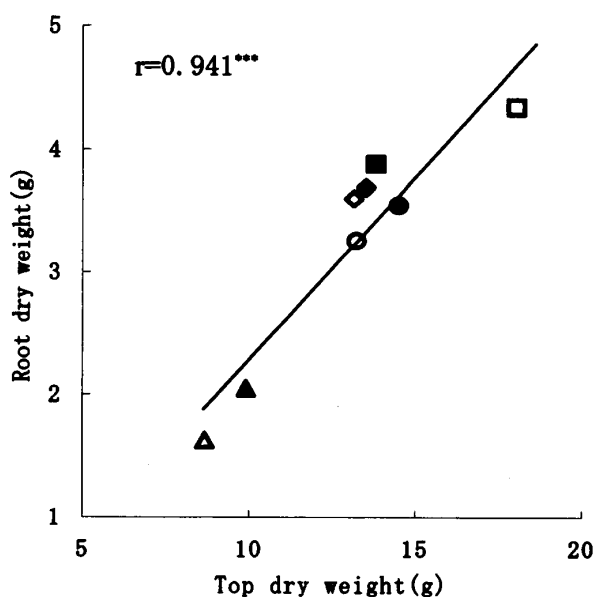


Fig. 1. Relationship between top and root dry weights.

Day/Night water temperature symbols in the figure: 25/25 (●), 25/31 (■), 25/37 (▲), 31/25 (○), 31/31 (□), 31/37 (△), 37/25 (◆), 37/31 (◇).

\*\*\*: Significant at the 0.1% level.

Table 1. Effect on several characteristics in rice plant grown under different water temperatures

	Water temperature (day/night)							
	25/25	25/31	25/37	31/25	31/31	31/37	37/25	37/31
Top dry weight (g)	14.5	13.8	9.9	13.2	18.0	8.7	13.5	13.2
Root dry weight (g)	3.6	3.9	2.1	3.3	4.3	1.6	3.7	3.6
Plant length (cm)	100.0	99.0	78.0	98.0	92.0	76.0	89.0	85.0
Number of stems	11.6	12.0	12.0	11.8	12.2	9.0	13.6	13.2
Number of crown roots	589.0	660.0	773.0	625.0	713.0	772.0	746.0	756.0
Leaf emergence interval (day)* <sup>1</sup>	5.9	4.8	4.6	5.5	4.3	4.2	5.0	4.2
Leaf blade length (cm)* <sup>2</sup>	60.2	55.7	41.9	58.3	51.1	36.6	51.9	46.0
Leaf sheath length (cm)* <sup>2</sup>	30.0	28.2	24.0	28.3	25.6	23.1	27.1	24.5
Leaf blade width (mm)* <sup>2</sup>	12.9	11.7	8.9	11.8	11.0	7.4	10.9	10.0
Diameter of upper roots (mm)* <sup>2</sup>	0.8	0.6	0.5	0.6	0.5	0.4	0.6	0.6
Diameter of lower roots (mm)* <sup>2</sup>	1.0	0.9	0.7	0.9	0.8	0.6	0.8	0.7

\* Test plants were sampled on August 13th.

\*<sup>1</sup> Mean interval from 7th to 16th leaves.

\*<sup>2</sup> Mean value from 11th to 13th leaves.

\*<sup>3</sup> Test plants in this plot were withered before measuring.

し、この出葉間隔の大小は葉齢進行の遅速の程度を示す。第7葉から第16葉までの平均出葉間隔について水温の影響をみると、定水温区では間隔は水温が高いほど小さく、変水温区では必ずしも明瞭でなかったが、昼夜いずれかが高水温（37℃）の場合に間隔が小さくなる傾向が認められた。換言すると高水温になるほど葉齢の進行は促進された。一方、葉齢に対する水温の累積効果をみるために、積算水温を  $\{ \text{昼水温} (^\circ\text{C}) \times 9 (\text{hr}) + \text{夜水温} (^\circ\text{C}) \times 15 (\text{hr}) \} \div 24 (\text{hr}) \times \text{処理開始後日数} (\text{日})$  の式によって求め、葉齢の進行との関係を見た (Fig.2)。その結果、各葉位の葉齢に達するまでの積算水温は各処理区ともほぼ同じ値となった。

### (3) 葉及び冠根の形態

葉については葉身長、葉身幅、葉鞘長の3形質について、また冠根については下位根および上位根の直径について水温の影響をみた。いずれの形質に対する影響も極めて類似していた。即ち定水温区ではこれら3形質は水温が高いほど抑制され、変水温区では昼夜いずれの高水温（37℃）によっても抑制されたが、その程度は夜間の高水温においてより著し

かった。

### 3. 昼夜平均水温と諸形質の関係 (Fig.3)

昼夜平均水温を  $\{ \text{昼水温} (^\circ\text{C}) \times 9 (\text{hr}) + \text{夜水温} (^\circ\text{C}) \times 15 (\text{hr}) \} \div 24 (\text{hr})$  の式によって求め、これと上記で取り上げた諸形質の相関関係をみたところ、およそ3群の分かれた。第1群は茎葉と冠根の乾物重および茎数で、昼夜平均水温との相関は低かった (Fig.3-A, B, E)。第2群は草丈、出葉間隔、葉身長、葉身幅、葉鞘長および冠根直径であり、これらはいずれも昼夜平均水温との間に極めて高い負の相関が認められた (Fig.3-D, G, H, I, J, K, L)。第3群は冠根数で昼夜平均水温との間に高い正の相関が認められた (Fig.3-F)。

## 考 察

25℃から37℃までの範囲で3段階の水温を組み合わせることによって昼夜水温を変化させ、水稻の乾物重に対する影響を見たところ、茎葉および根のいずれにおいても昼夜水温31℃でもっとも旺盛となるが、夜水温37℃では乾物重は著しく劣り、昼夜水温が37℃では処理開始後数日で生育を停止した。また、昼水温が37℃であっても夜水温が25℃あるいは31℃であれば高水温の影響はほとんど打ち消されることから、とくに夜間の高水温による悪影響が著しいことが明かである。昼夜水温の設定が異なるが、田中ら<sup>6)</sup>は昼夜平均水温が31℃を越えると夜間の高水温の悪影響が顕著であると指摘しており、本実験の結果も同様の傾向を示した。以上のように茎葉と根の乾物重に対する水温の影響は類似しており、これら2形質の間には極めて高い正の相関が認められた。通常、茎葉部の大部分は直接的には大気中に展開しており、水温の影響を直接受けるのは根と茎葉の基部に限られている。本実験においては気温は各処理区とも同一であることから、水温は水中に接する器官のみならず、個体全体の生育量に大きな影響を与えていると考えられる。

次にこれら茎葉および根の生長についてそれぞれ各形質ごとに検討する。草丈は25℃から31℃の範囲で最も促進され、昼間および夜間の高水温（37℃）で抑制されたが、特に夜間の高水温による抑制が著しかった。25℃より低い温度では草丈は抑制されることが指摘されている<sup>3, 6)</sup>ことから、草丈に対する適温は25℃から31℃の範囲にあるものと考えられる。茎数は昼間の高水温はむしろ促進的に働いたが、夜

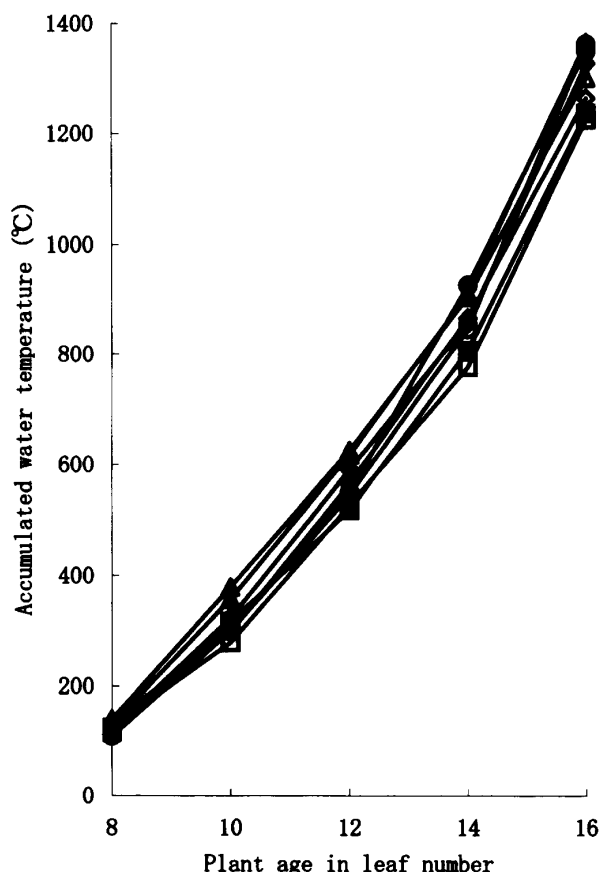


Fig.2. Relationship between the plant age in leaf number and the accumulated water temperature.

間の高水温の影響は必ずしも明瞭でなかった。従来基数については昼夜平均水温が高く、また昼夜水温較差が大きいほど多くなることが指摘されている

が<sup>3, 6, 8)</sup>、本実験結果はこれと必ずしも一致しなかった。西山<sup>5)</sup>は多くの文献を検討し、供試品種、水温の処理時期、分けつの判定法など実験方法の違いに

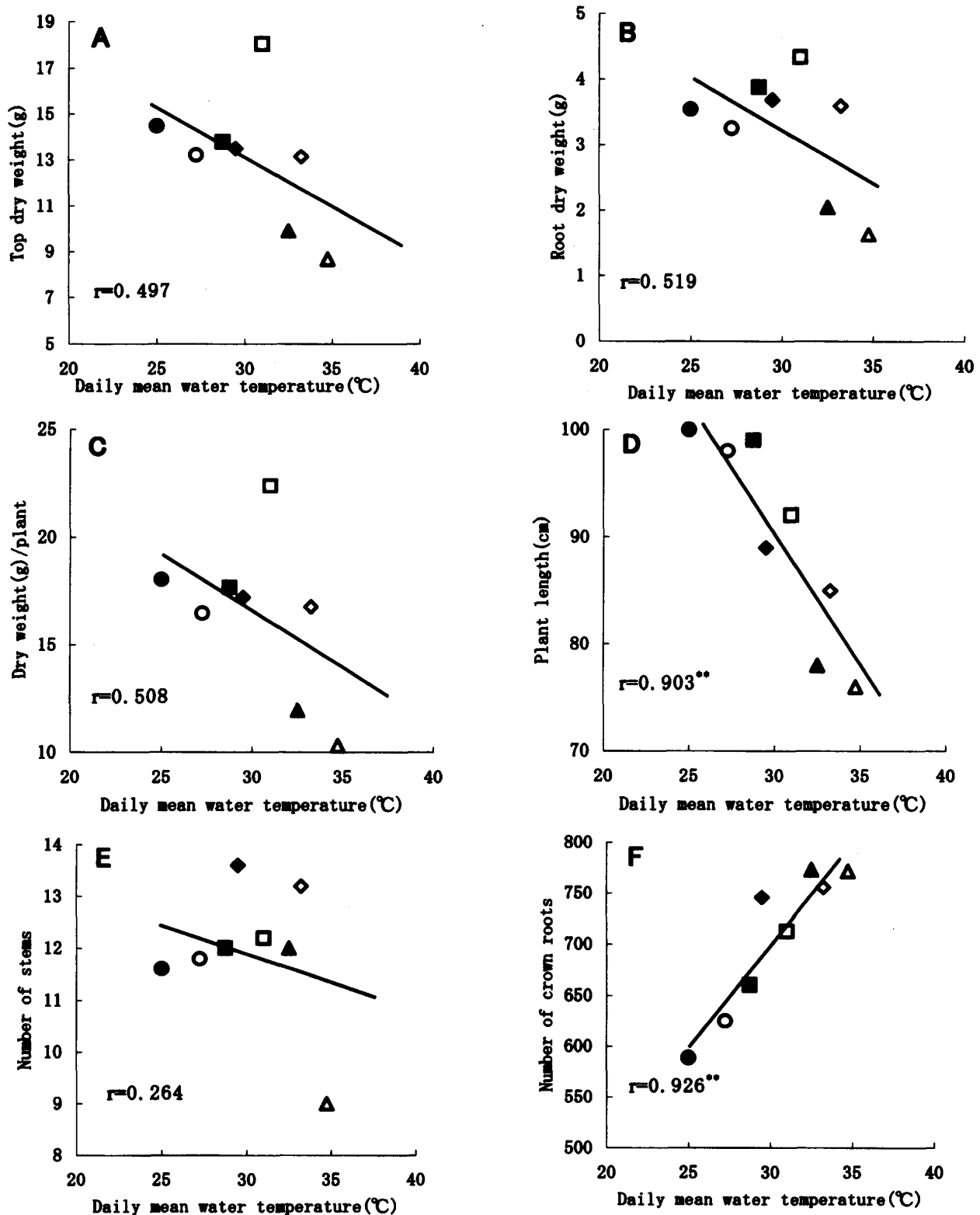


Fig.3. Several characteristics in rice plant in relation to daily mean water temperature (A~F).

\*\*\*, \*\*, \*: Significant at the 5 %, 1 % and 0.1% levels, respectively.

よって結果に差があることを認めており、茎数についてはさらに詳細な検討が必要である。

葉と根の諸形態もまた水温の違いによる影響が認

められ、本実験の水温範囲ではいずれも一定の傾向を示した。すなわち、葉身長、葉身幅、葉鞘長および冠根直径は、水温が高くなるほど、また、異なる

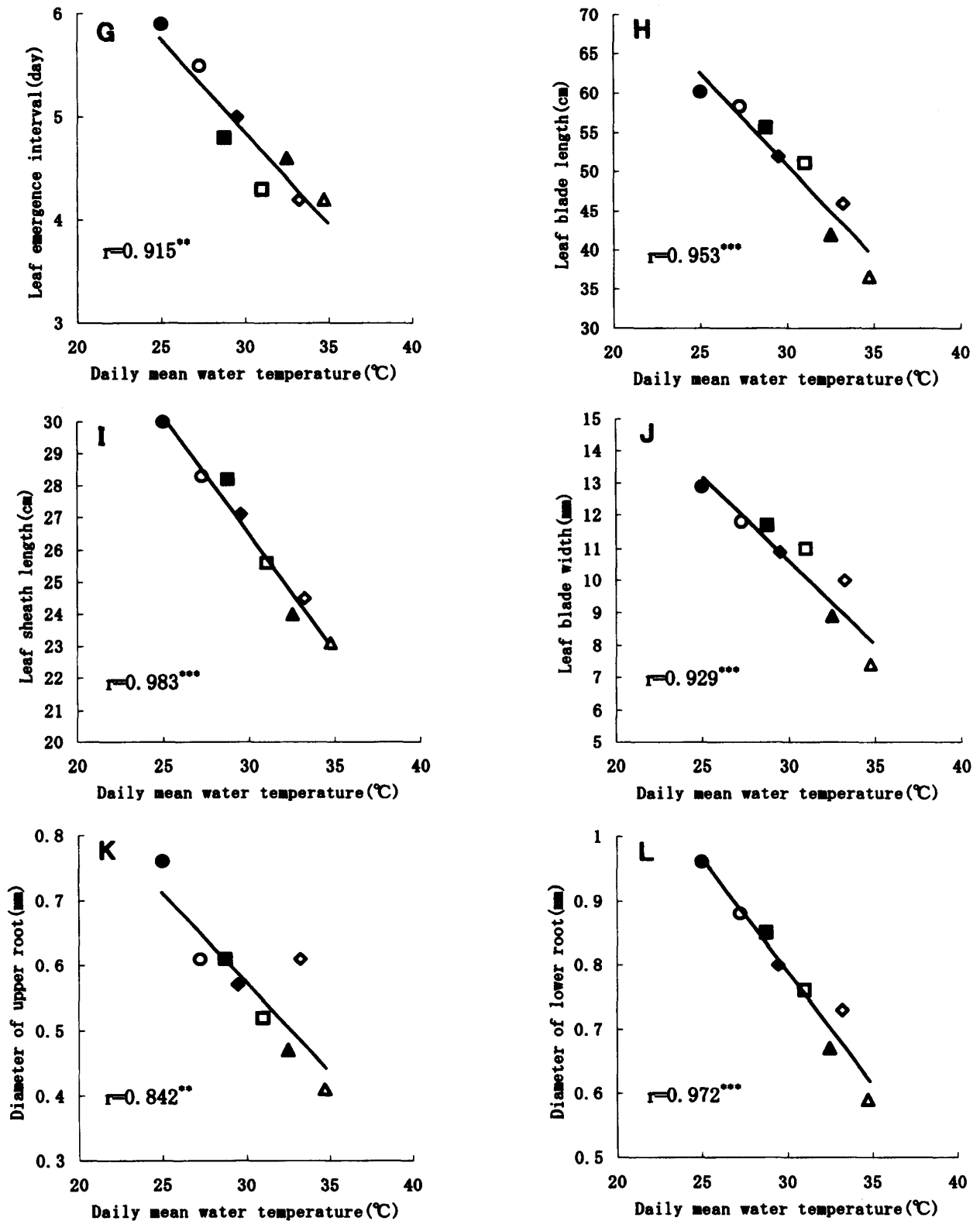


Fig.3. Several characteristics in rice plant in relation to daily mean water temperature (G~L).  
(continued from the previous figure)

2 水温の昼夜組合せでは夜水温が高いほど減少程度は著しく、これに対して、出葉速度および冠根数は水温が高くなるほど、また、異なる2水温の昼夜組合せでは夜水温が高くなるほど増加する傾向を示した。これらの結果から高水温は葉齢の進行を早めることによって個々の葉のサイズを小型化し、草丈の抑制につながったものと考えられる。

水稻の各器官の諸形態に対する水温の影響についてはすでに、出葉速度<sup>1, 3, 6)</sup>、冠根数<sup>4)</sup>などで調べられており、処理した水温の範囲は必ずしも同じではないが、ほぼ同様の結果を得ている。本実験ではさらに、葉身長、葉身幅、葉鞘長および冠根直径などの諸形態もまた出葉速度や冠根数と同様、水温の高低と密接な関係を持つことを示したものである。とくに興味深いことはこれらの諸形態が昼夜平均水温と極めて高い相関関係を有することであり、このことは、昼夜の如何にかかわらず水温そのものの影響が大きいことを示唆している。ただし、昼水温と夜水温の影響については、昼夜平均水温が同一の条件で比較する必要がある、今後検討の余地があろう。また葉や冠根の形態についてはその分化発育過程にさかのぼって水温の影響を検討することが今後に残された課題である。

## 要 約

25℃、31℃および37℃に制御された大型水槽をガラス室内に設置し、これにポットに生育中の水稻を入れ、水温の違いが水稻の生育および各器官の諸形態に及ぼす影響について検討した。昼(8:30~17:30)夜(17:30~8:30)の変水温処理を7月1日(葉令6.5)より8月13日まで行った後材料を採取し測定に供した。

1. 茎葉及び根の生育量は水温31℃で最も高かった。夜水温37℃では生育は著しく劣り、昼夜水温が37℃では全く生育を停止した。また、昼水温が37℃であっ

ても夜水温が25℃あるいは31℃であれば高水温の影響はほとんど打ち消された。

2. 茎数に対して昼間の高水温が最も促進的であったのに対し、夜間の高水温は一定の傾向を示さなかった。草丈は25℃から31℃の範囲で最も促進され、昼夜いずれの高水温(37℃)でも抑制されたが、特に夜間の高水温による抑制が著しかった。また草丈と昼夜平均水温との間に高い負の相関が認められた。

3. 冠根数、出葉間隔、葉の大きさ及び冠根直径は昼間あるいは夜間の水温の違いによる影響よりもむしろ昼夜平均水温と極めて高い相関関係が認められ、水温そのものの影響が大きかった。

## 文 献

- 1) 長谷川浩：水稻の出葉速度と土壤温度。農及園，34，1795-1798 (1959)
- 2) 星野孝文・松島省三・富田豊雄・菊池年夫：水稻収量の成立原理とその応用に関する作物学的研究 第88報 苗代期の気温・水温の各種の組み合わせ処理が同一葉令の水稻苗の諸形質に及ぼす影響。日作紀，38, 273-277 (1969)
- 3) 松島省三・田中孝幸・星野孝文：水稻収量の成立原理とその応用に関する作物学的研究 第71報 生育各期の気温・水温の各種の組み合わせが水稻の生育およびその他諸形質に及ぼす影響。日作紀，33, 135-140 (1964)
- 4) 長井保・松下栄二：異なる土壤温度における水稻根の生理生態。1. その生態について。日作紀，31, 385-388 (1963)
- 5) 西山岩男：イネの冷害生理学。87-94，北海道大学図書刊行会，札幌 (1985)
- 6) 田中孝幸・松島省三・富田豊雄：水稻収量の成立原理とその応用に関する作物学的研究 第84報 昼夜水温の変化が水稻苗の生育反応に及ぼす影響。日作紀，37, 187-194 (1968)
- 7) 角田公正・松島省三：水稻収量の成立原理とその応用に関する作物学的研究 LX II 水深を異にした場合の水温の高低が水稻の生育・収量ならびに収量構成要素に及ぼす影響。日作紀，31, 19-21 (1963)
- 8) 植木健至：南九州とくにシラス地帯における水稻生育に及ぼす灌がい水温の影響。鹿大農学術報告，No.21, 1-41 (1971)

### Summary

This study was undertaken for evaluating the effects of the different water-temperatures both on the vegetative growth and on some morphological characteristics of rice plant. The plants were grown in the plastic pots, which were subjected to the respective combination of the day (8:30~17:30) and the night (17:30~8:30) water-temperatures in the three sorts of water baths regulated at 25°C, 31°C, and 37°C, respectively. These treatments were conducted during the period from July 1st to August 13th, and the plants were gathered to be examined.

The top- and root-growths were most prominent at the constant temperature of 31°C, which were suppressed remarkably at 37°C during the night, and the growths under the constant high water-temperature (37°C) were made to be ceased completely in a few days. The negative influence of high water-temperature was almost denied almost in the case when the day water-temperature was kept at 25°C or 31°C, respectively. The plant-length was promoted mostly within the range from 31°C to 25°C, whereas it was restrained by the high water-temperature (37°C) at day or night, especially at night. Moreover, a rather negative correlationship was noted between the plant-length and the mean water-temperature through day and night. As for the number of roots, the leaf emergence interval, the size of leaf and the diameter of crown root, These were correlated closely with the mean water-temperature through day and night rather than with the difference between the day or night water-temperature.