

高水温障害（水稻）に関する一考察（予報）

植 木 健 至

On the Rice Plant Injury due to High Water Temperature (Preliminary Report)

Kenji UEKI
(Crop science laboratory)

緒 言

水稻の生育・収量と灌漑水温との関係は、用いた品種、ならびに気象・土壌・耕種条件によつて異なることが容易に想像される。近年、九州地方では、2, 3 の人々¹⁾⁶⁾⁷⁾によつて高水温障害の存在が指摘され、その生理的解明も試みられているが、²⁾³⁾ 全般的に見ればいまだ概念的な把握の段階を出ておらず、今後より一層広汎な研究が望まれている。著者は過去に、暖地においては水稻生育に対する好適水温が、従来いわれている 30°C 附近よりも低温であることを指摘した⁷⁾のであるが、高水温障害の発現についても、それが高気温下において助長されるのではないかという見地から、ガラス室（高気温の状態）内と屋外の両所で、水温の高低と水稻生育との関係を調査したところ、上述のことに対する 2, 3 の知見を得たので報告する。

なお本実験は 1957 年に行つたものである。

実 験 方 法

7 月 6 日に 2 千分の 1 ヘクタールのワグネルポットに農林 18 号の苗を移植し（1 株 2 本、3 株植）、これを大別してガラス室内と屋外で生育させた。ガラス室内ではこれを 3 区に分け、抵抗器（巻線型・20w K 1 Ω ）を入れた大型試験管を水中（水深 4 ~ 5 cm. 以下同じ）におくことによつて加温した加温区（GH）、無処理区（GM）、水中にガラス管を通し、管中に水道水を流すことによつて水温引き下げを行つた低水温区（GL）とした。屋外では前述の加温操作を行つた加温区（OH）、及び無処理区（OM）の 2 区とした。7 月 20 日より処理を開始し、ガラス室は 9 月 15 日迄、屋外は台風襲来のためにポットをガラス室内に移したために 9 月 5 日で処理を打切つた。各区の生育状況ならびに収穫物の調査を行うとともに、分けつ期から出穂期にかけて 4 回、2 ポット 6 株つつ採取し、稲体乾重、窒素含有量、根の呼吸量等を常法により測定した。

実 験 結 果

処理期間中の気温、ならびに半旬別水温は Fig. 1 に示した。9 月第 2 旬は台風 10 号の襲来のために気、水温が著しく下がつたが、屋外のポットは前述の様にガラス室に移したため 9 月第 1 旬迄である。各区の（1 日平均気、水温 \pm 振幅）の処理期間中の平均値を示すと次の通りである。ガラス室内；気温 30.8 \pm 7.0°C、水温 GH 区 32.5 \pm 4.1°C、GM 区 28.3 \pm 4.4°C、GL 区 26.3 \pm 4.2°C、屋外；気温 26.9 \pm 4.0°C、OH 区 29.6 \pm 4.0°C、OM 区 26.3 \pm 3.5°C。すなわち水温はガラス室内と屋外ともに大体 2~4°C の区間差がつき、GM 区は OH 区に、GL 区は OM 区に類

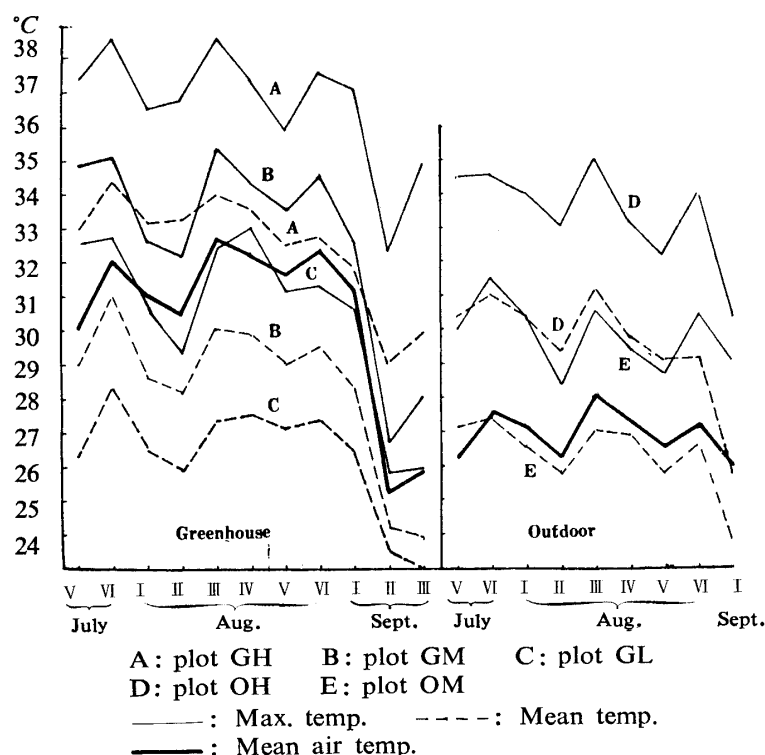


Fig. 1. Water temperature (mean value of 5 days)

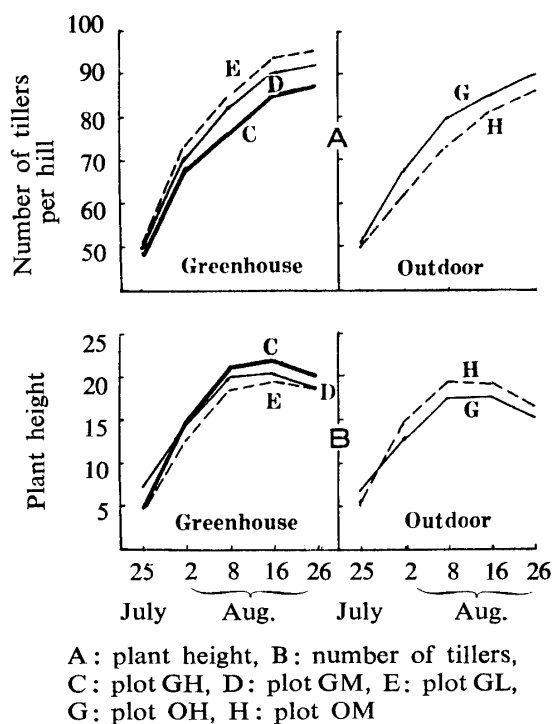


Fig. 2. Changes of plant height and number of tillers.

似する結果となつた。土壌温度は夏期晴天の日の正午では、地下 5 cm で 2~3°C の区間差が見られ、地下 10 cm ではその差も小さく 1°C 内外であつた。

ガラス室内の生育状況は、8 月中の草丈は (Fig. 2. A) 明らかに $GH < GM < GL$ であり、分けつ (Fig. 2. B) は 8 月下旬には差がなくなるが、8 月上旬即ち分けつ期には草丈と逆の傾向、とくに GL 区が小であつた。屋外においてはガラス室におけると反対の様相が見られ、草丈 (Fig. 2. A) は $OH > OM$ であり、分けつ (Fig. 2. B) は $OH < OM$ の傾向をしめした。

稲体とくに葉 (葉身 + 葉鞘) 及び根の風乾重は Table 1 に、葉身窒素濃度 (葉鞘は葉身と同様の傾向を示したので省略) は Table 2 に示した。葉の風乾重は、ガラス室では $GH < GM \approx GL$ 、屋外では $OM < OH$ の傾向を示したがその差は小さく、生育後期には殆んど同じになつた。葉身の窒素濃度はガラス室内では処理期間中 $GH > GM > GL$ の傾向が見られたが、屋外では明瞭な区間差を見出し得なかつた。根の風乾重はガラス室内では 8 月中旬 GH 区が GM, GL 両区よりもやや少かつた他は、特に著しい差異がなかつた。著者はかつて根腐れの程度に応じて呼吸量が減退することを見ているので、⁸⁾ 本実験においても各区の根腐れ程度を類推する一方法として、主稈に着生している根を採取して、その呼吸量 (30°C) をワールブルグ検圧計で測定し

Table 1. Changes in the weight of leaf and root.
(Air dried basis per hill)

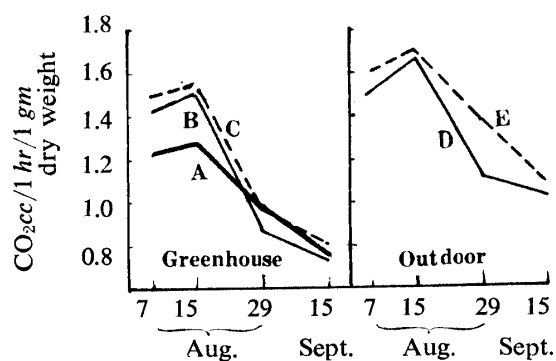
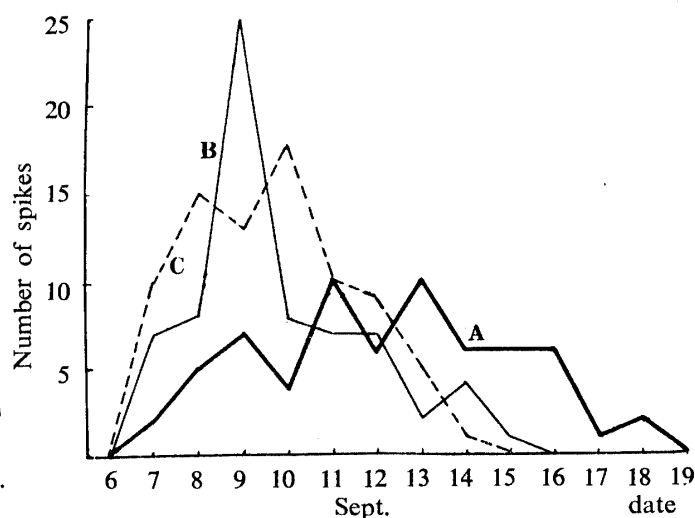
organ	Leaf					root				
Place	Greenhouse			Outdoor		Greenhouse			Outdoor	
Date\plot	GH	GM	GL	OH	ON	GH	GM	GL	OH	OM
Aug. 7	6.2	6.4	6.4	6.0	5.9	1.2	1.4	1.5	1.2	1.4
Aug. 15	12.6	14.2	14.2	13.4	12.0	2.3	3.3	3.2	2.9	2.1
Aug. 29	27.5	28.3	26.8	26.2	25.1	4.4	4.4	4.0	3.9	4.3

Table 2. Changes in nitrogen content in leaf blade
(dry matter%).

Place	Greenhouse			Outdoor	
Plot	GH	GM	GL	OH	OM
Date	GH	GM	GL	OH	OM
Aug. 7	4.34	4.35	4.22	4.36	4.35
Aug. 15	3.17	2.96	2.88	3.17	3.04
Aug. 29	2.85	2.69	2.52	2.64	2.64
Sept. 15	2.63	2.50	2.19	2.36	2.28

た。Fig. 3 から明らかなように、ガラス室では幼穂形成期頃に $GH < GM \approx GL$ 、また屋外では幼穂發育中期頃に $OH < OM$ の傾向が認められた。即ちこれらの時期に、高水温による根腐れの進行の差異がの著しいことが推定される。

出穂期はガラス室内（Fig. 4）では GM, GL 両区が 9 月 9～10 日に、屋外では OH, OM 両区は 9 月 11～12 日にピークを示し、出穂期間も 1 週間内外であつたが、GH 区のみは 1 株内で出穂開始の時期は同時であるが終了迄の期間が 2 倍近くの長期間にわたり、かつ 1 穂の抽出開始から抽出完了迄の日数も概して長く、3～4 日に及ぶ穂も多く見られた。

A: plot GH, B: plot GM, C: plot GL,
D: plot OH, E: plot OMFig. 3. Changes in the respiration
rate of roots.

A: plot GH, B: plot GM, C: plot GL

Fig. 4. Heading date of each spikes of 6 hills
(in greenhouse).

Table 3. Composition of characters influencing the yield.

Place	Plot	Length of main stem(cm)	Length of spike in main stem(cm)	Number of spikes per hill(gm)	Weight of spike per hill (gm)	Number of grains per spike in main stem	Weight of 1000 grains(gm)	Ripening percentage in main stem
Green house	GH	84.2	22.3	13.4	30.9	107.3	29.3	98.1
	GM	91.6	24.3	12.6	41.8	138.8	28.7	97.3
	GL	90.0	25.1	14.0	40.1	135.9	28.3	97.5
outdoor	OH	81.6	22.3	12.4	32.9	110.8	28.1	95.6
	OM	82.3	22.3	12.2	33.2	112.7	28.4	96.5

各区の収量構成要素を Table 3 に示した。即ち 1 株穂重は、屋外では区間に有意差を認めなかったが、ガラス室内では GH 区が GM, GL 両区に比べ 1% 水準で有意的に少かった。GH 区の低収量は穂数、精穀千粒重、稈実歩合等の差によるものではなく、稈長、穂長、1 穂粒数（何れも主稈についての調査）の減少によるものであることが認められた。なお GH 区の 1 穂粒数の減少については、退化 2 次枝梗数には差異がなく生成 2 次枝梗数の減少によるものである。

考 察

ガラス室では、高水温区ほど草丈が低く、分けつがやゝ多くなる傾向を示したのに対し、屋外では逆に低水温区の方にそれが見られた。このことは、水温の高低にもとづく水稻の生育様相の差異を考える場合に、気温の高低を無視し得ないことを示すものである。馬場氏³⁾は高水温障害の原因を根の機能減退に伴つて、体内無機成分の量的平衡 或は水分平衡が破れることにもとめているように本実験においても、高水温による根腐れ増大、とくに高気温下ではその発現が早い時期、つまり幼穂形成期頃になることが認められ、吸水の減少と高気温による過度の蒸散によつて、稲体水分平衡の不均衡を生じ、これが幼穂發育に対する障害となつて表われたことも有力な原因と考えられよう。著者はかつて関東地方で農林 18 号を 20°C 附近の低水温で生育させたところ、その生育遅延の程度が、暖地よりも大であつたことから、低水温障害は低気温下で発現しやすいものと考えているが（未発表）、これを逆にいえば同一水温でも高気温の場合に高水温障害がおりやすいことが考えられる。今後更にこの点は明確にするつもりであるが、夏期、水田における高水温は西南暖地だけに限つたことではないにも拘らず、とくに暖地で高水温障害が強調される所以は、高温、強日射という地上部の環境条件が、その発現を助長しているのではないかと考えている。

本実験において、ガラス室内で草丈に顕著な区間差が見られ、分けつにはそれ程大きく表われなかつたことについては、著者は過去の試験⁷⁾⁹⁾において、ポット栽培と圃場栽培ではかなりそれらの発現様相を異にし、前者で低水温処理（平均 25~6°C）したところ、茎数に差がなく草丈が高くなり、圃場で見られる逆の現象を示したこと等から考えて、一つにはポット栽培という条件がつよく影響しているのではないかとと思われる。

ガラス室内で、GH 区が GM 区及び GL 区に比べて低収量を示したが、これは精穀千粒重、稈実歩合によらず一穂粒数の減少によることは前述の通りである。幼穂形成時における GH 区の乾重は、他区のそれに比べてわづか小であるに過ぎず、しかも窒素濃度は逆に高く、従来の知見⁴⁾か

らすれば相当の穂を期待出来るわけであるが、結果は著しく出穂が乱れ、穂長も短く、中には枝梗節間が極度に短い奇型的とも思われるような穂も多く見られた。また GH 区の 2 次枝梗数は著しく減少したが、退化 2 次枝梗数は差異が認められなかつたことから考えて、高水温は幼穂発育初期に悪影響をあたえることが推定される。前述のようにこの時期には根腐れ進行に伴う養水分の吸収減退が充分予想される場所であるが、同時に渋谷氏⁵⁾が葉鞘内幼穂の部分の温度は、外気或は水温によつて変化することを報告しているように、若し高水温によつて幼穂近傍の温度上昇があるとすれば、これが幼穂分化に直接悪影響を与える可能性も否定出来ない。また GH 区の稔実歩合、千粒重が減少しなかつたことは、1 穂粒数の減少による補償作用の結果と思われるが、それらの決定時期には既に穂が水面上の位置にあり、高水温による影響を弱めたことも一因と推定される。

GM 区と GL 区、また OH 区と OM 区との間で、生育過程に若干の相違をみとめながらも、収量及び収量構成要素に有意差を見出し得なかつたのは、4 区共通温に近い温度範囲にあつたことと、とくに屋外においては 1957 年度は 7～8 月低温寡照の日が多かつたこと等が影響したものと考えられる。

本報文を結ぶにあたり、御助言を戴いた池田助教授に感謝の意を表する。

要 約

水温の高低と水稻の生育との関係をガラス室（高気温下）と屋外で調査した。処理期間（ガラス室：7 月 20 日～9 月 15 日、屋外 7 月 20 日～9 月 5 日）の気・水温は次の通りである。ガラス室；気温 $30.8 \pm 7.0^{\circ}\text{C}$ 、加水温区 $32.5 \pm 4.1^{\circ}\text{C}$ 、無処理区 $28.3 \pm 4.4^{\circ}\text{C}$ 、低水温区 $26.3 \pm 4.2^{\circ}\text{C}$ 、屋外；気温 $26.9 \pm 4.0^{\circ}\text{C}$ 、加水温区 $29.6 \pm 4.0^{\circ}\text{C}$ 、無処理区 $26.3 \pm 3.5^{\circ}\text{C}$ であつた。

（1）ガラス室内では低水温区程、草丈は高く分けつはやゝ少い傾向を示したが、屋外では逆に加水温区の方にその傾向が見られた。また高水温による根腐れ増大もガラス室の方に早めに表われることから考えて、水温の高低にもとづく水稻生育様相の差異が、気温の高低によつて変化することがわかる。

（2）ガラス室加水温区は、幼穂形成時において、稲体は高度の窒素含量をもつているにも拘らず、生成された 1 穂穎花数は他の 2 区に比べて著しく減少し、出穂も不揃いになり、結果として収量も減少した。このことから高水温障害はとくに幼穂の発育に悪影響を与えること、そしてそれが高気温によつて助長されると考えた。

文 献

- 1) 朝隈純隆：九州農業研究，10，(1951)。
- 2) 馬場 越・高橋保夫・岩田岩保：日作紀，21，(3～4) (1952)。
- 3) 馬場 越・高橋保夫・岩田岩保：農業気象，10，(1～2) (1954)。
- 4) 玖村敦彦：日作紀，24，(3) (1956)。
- 5) 渋谷紀起：日作紀，21 (3) (1953)。
- 6) 佐藤正一：農業気象，6 (2) (1951)。
- 7) 植木健至・寺山保彦：鹿大農報告，3，(1954)。
- 8) 植木健至：鹿大農報告，4，(1955)。
- 9) 植木健至：日作紀，27 (4) (1959)。

Résumé

The experiment was carried out with the variety Norin 18 to compare the growth habit under the higher water temperature in the different air temperature, namely, in the greenhouse and in the outdoor. In the greenhouse in which air temperature was $30.8 \pm 7.0^{\circ}\text{C}$, three plots were prepared on the basis of their water temperature, viz, plot GH; $32.5 \pm 4.1^{\circ}\text{C}$; plot GM, $28.3 \pm 4.4^{\circ}\text{C}$; plot GL, $26.3 \pm 4.2^{\circ}\text{C}$. In the outdoor in which air temperature was $26.9 \pm 4.0^{\circ}\text{C}$, two plots were prepared, viz, plot OH, $26.9 \pm 3.9^{\circ}\text{C}$; plot OM, $26.3 \pm 3.5^{\circ}\text{C}$ (Fig. 1). The results obtained were as follows:

1) In the greenhouse, the plant height was increased and the number of tillers per hill was decreased under the lower water temperature, but in the outdoor this phenomenon was observed under the higher water temperature (Fig. 2). It is suggested that the effects of water temperature on the growth of rice plant are variable in the different air temperature, and higher air temperature promotes the injury due to higher water temperature.

2) In plot GH of the greenhouse, it was found that (1) the amount of nitrogen in the leaf blade was slightly increased at spike differentiating period (Table 2), but (2) heading date was delayed (Fig. 4), and (3) both the number of grains per spike and the yield were significantly reduced (Table 4) in comparison with plot GM and plot GL. The results indicate that higher water temperature affected badly on the younger spike development.