

# 水稻幼植物の生育におよぼす高水温の効果について

—とくに気温・日射量の変化との関連において

今 木 正<sup>\*</sup>

Tadashi IMAKI

## Effects of High Water Temperature on the Growth of Young Rice Plants in Relation to Air Temperature and Light Intensity Change

### 緒 言

33°C 程度の比較的高い土壌温度（水温を含む）は、水稻の乾物生産にとってむしろ好適な温度条件であるということを実証してきた<sup>1)</sup>。しかし、生育にとって好適な土壌温度または水温は、気温や他の環境条件によって変動するという報告もある。すなわち、植木<sup>2)</sup>は水温を制御し栽培時期を移動させて水稻苗を生育させ、その生育程度を気温と関連させて観察した。そして水温に対する稲の反応は、気温によって変化することをみだし、栽培時期によって異なった好適水温が存在するとした。とくに高気温条件下においては、24°C 程度の低水温が好適水温となると主張している。

本実験では、従来筆者<sup>1)</sup>が好適土壌温度として示してきた33°Cを高水温条件とし、植木<sup>2)</sup>が盛夏に掛流し効果のあるとした温度24°Cに近い23°Cを、低水温条件とした。そして、良好な栄養環境条件下で、一定の生育段階に達した水稻幼植物を用い、一定期間33°Cと23°Cの2段階の水温条件で生育させ、高水温が水稻乾物生産に及ぼす効果を再確認し、その効果が他の環境条件によってどのように変化するものかを検討した。

### 材 料 と 方 法

グロースキャビネット（KG型コイトロン、昼27°C、夜22°C、12時間日長、照度12,000lux）内で、水耕栽培した水稻コシヒカリの3葉期苗を実験に供試した。a/5000ポットに6個体分散させて定植し、ガラス室に設けた2ケの水槽中に6ポットずつ配置し、水耕栽培した。水槽は33°Cと23°C恒温に制御した。なお地上部生長点を含む茎基部は、温度制御された水耕液に浸る

ようにした。実験は1970年に、水稻が圃場に栽培されている5—10月の間に季節変化する種々な気温・日射条件下で、7回行なった（表1）。1回の実験は約20日間とし、この期間における乾物生産の主な指標を次の式によって算出した。

$$\Delta W/t = E \cdot F^{3)}$$

$$E = \Delta W/\Delta F \cdot \Delta I_n F/t$$

$$\Rightarrow \Delta W/\Delta F \cdot 1/F^{4)}$$

$$\Delta W/t = \Delta B/t + \Delta R/t + \Delta S/t$$

$$\Delta B/\Delta W + \Delta R/\Delta W + \Delta S/\Delta W = \Delta W/\Delta W = 1$$

$\Delta W/t$  は乾物生産速度、 $E$  は葉面積あたり純同化率、 $W \cdot F \cdot B \cdot R \cdot S$  はそれぞれ個体乾物重、葉面積、葉身重、根重、葉鞘及び茎基重、 $t$  は日数、 $\Delta W \cdot \Delta F \cdot \Delta B \cdot \Delta R \cdot \Delta S$  はそれぞれの要素の  $t$  日間の増分量、 $F$  は  $t$  日間の平均葉面積を示す。 $\Delta B/\Delta W \cdot \Delta R/\Delta W \cdot \Delta S/\Delta W$  は  $t$  日間に生産された乾物の葉身、根あるいは葉鞘及び茎基部への分配率である。

### 結 果 と 考 察

#### 1) 乾物生産速度 ( $\Delta W/t$ )

表1に示すように、本実験でえられた範囲においては、どのように気温・日射が組み合わさった条件下でも、高水温区（33°C水温区）の乾物生産速度は低水温区（23°C水温区）より大きかった。この値の季節的変化を図1に示した。図1に示してある気温および日射量の季節的変化と対応してみると、5月頃の気温が低いときは、日射量が多くても乾物生産速度は小さく、6—9月の気温が高い時期には、日射量の多少が乾物生産を規定している。その結果気温が高ければ高いほど、日射が多ければ多いほど乾物生産速度は大となった。そして高気温・高日射条件下で、高水温は乾物生産をよりいっそ

\* 作物学研究室

表1 区の構成および各区の日平均日射量・日平均気温・乾物生産速度  
(個体  $\Delta W/t$ , 葉身重  $\Delta B/t$ , 根重  $\Delta R/t$ )

項目 区	実験期間 (月/日) (月/日)	日平均 日射量	日平均 気温	$\Delta W/t$		$\Delta B/t$		$\Delta R/t$	
				33°C	23°C	33°C	23°C	33°C	23°C
1	5/16— 6/ 5	439	23.7	.217	.098	.091	.037	.052	.028
2	6/ 8— 6/29	309	23.9	.379	.203	.150	.076	.082	.046
3	6/29— 7/20	321	27.6	.292	.136	.117	.052	.056	.029
4	7/20— 8/10	443	31.9	.485	.258	.175	.091	.111	.071
5	8/11— 9/ 1	353	30.6	.391	.257	.150	.096	.114	.076
6	9/ 3— 9/25	271	28.5	.343	.166	.139	.065	.073	.036
7	9/26—10/17	245	23.1	.107	.044	.050	.016	.016	.010

日平均日射量: cal./cm<sup>2</sup>/day 日平均気温: °C  
 $\Delta W/t$ ,  $\Delta B/t$ ,  $\Delta R/t$ : gr/day/10 plants

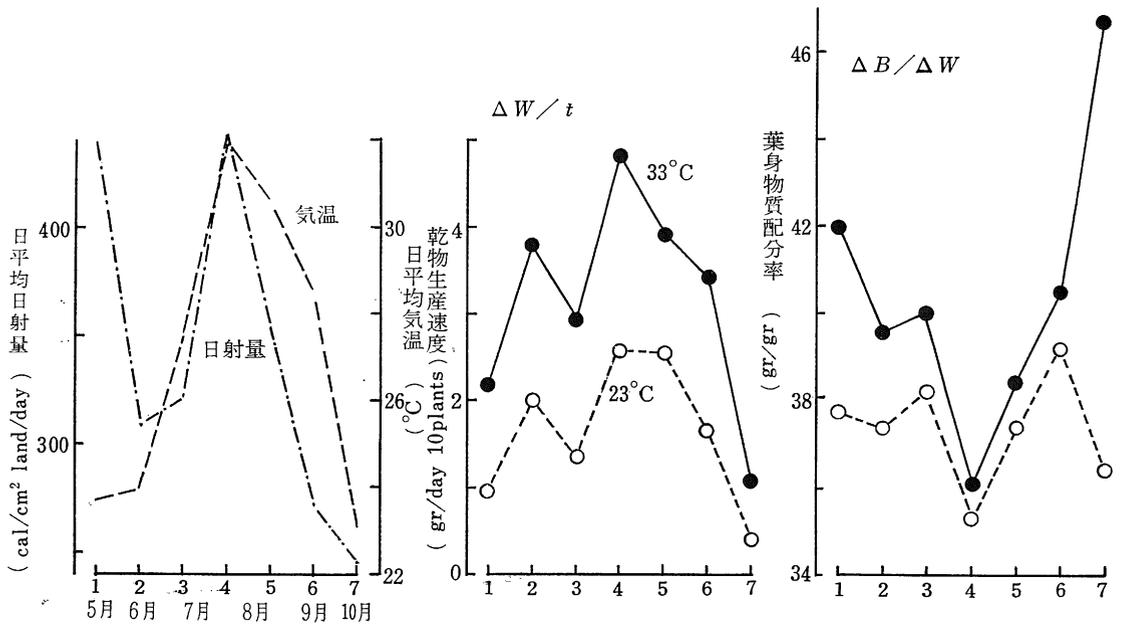


図1 日平均日射量・日平均気温・乾物生産速度 ( $\Delta W/t$ )・葉身配分率 ( $\Delta B/\Delta W$ )  
の季節変化に伴う推移 (33°C, 23°C: 水温)

う促進しているといえた。

2) 物質配分 ( $\Delta B/\Delta W$ ,  $\Delta R/\Delta W$ )

乾物生産速度は個体全重でみた場合ばかりでなく、葉身重、根重の器官別にもみた場合にも、高水温区で大となった (表1)。しかし高水温区と低水温区で、器官別にもみた乾物生産速度の差は、葉身重で大きく根重では相対的に小さかった。そこで、表2に葉身及び根への物質配分率を示した。高水温区では、低水温区に比較し葉身へ

の物質配分率が高く、低水温区は、高水温区に比較して根への物質配分率が高くなっていることがわかる。水温によって生じた物質配分率の差が、季節的变化に対してどのように変化するかをみると (図1)、気温が低い日射量の少ないときには水温による差が大きく、光合成に有利な高日射条件下ではその差が小さくなっているようであった。

以上のことがらから、水温とくに地上部生長点を含む

表2 各区の葉身物質配分率 ( $\Delta B/\Delta W$ )・比葉面積 ( $F/B$ )・純同化率 ( $E$ )

項目 水温 区	$\Delta B/\Delta W$		$F/B$		$\Delta F/t$		$E$	
	33°C	23°C	33°C	23°C	33°C	23°C	33°C	23°C
1	.420	.378	340	324	32.2	11.8	.166	.139
2	.396	.374	357	347	47.9	27.0	.072	.048
3	.400	.382	370	321	43.6	17.8	.139	.127
4	.361	.353	327	319	57.9	29.7	.155	.135
5	.384	.374	372	332	56.4	32.1	.151	.142
6	.405	.392	367	331	51.4	23.7	.137	.121
7	.467	.364	416	352	21.4	6.6	.072	.067

$\Delta B/\Delta W$ : gr leaf blade/gr total plant  
 $F/B$ : cm<sup>2</sup> leaf area/gr leaf blade  
 $F/t$ : cm<sup>2</sup>/day/10 plants  
 $E$ : gr/day/100cm<sup>2</sup> leaf area

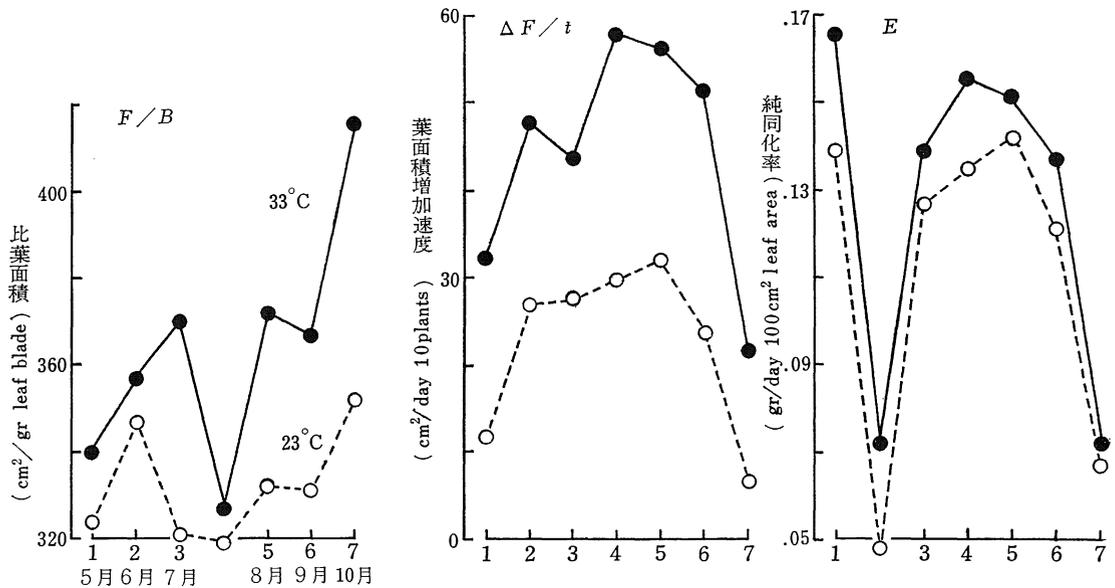


図2 比葉面積 ( $F/B$ )・葉面積増加速度 ( $\Delta F/t$ )・純同化率 ( $E$ ) の季節変化に伴う推移 (33°C, 23°C:水温)

茎基部及び根部の温度が、個体の乾物生産パターンを決定するという重要な効果をもっており、しかもその効果は、本実験でえられた気温・日射量の種々な組み合わせ条件下でも乱されないことが認められた。これは、従来指摘されていた  $T/R$  比が水温あるいは土壌温度によって異なるという表現と一致する<sup>5,6)</sup>。しかし水温によって物質配分率が決定されるという現象は、稲の生育型や肥培管理の地域性とも関連して注目すべきであろう。

3) 比葉面積 ( $F/B$ )

葉身への物質配分率は高水温によって高まったが、葉身へ配分された乾物は葉面積として展開し、乾物生産に関与することになる。そこで、配分された乾物が葉面積としてどのような形で展開したかを、各区の実験終了時の個体についてみてみた。その指標として比葉面積<sup>7)</sup>を用いた。この指標は単位葉身重あたり葉面積 (葉面積/葉身重,  $F/B$ ) として表現され、表2に示したような結果となる。比葉面積はつねに高水温区で大きく、高水温下で生育する水稻は、配分された物質でより大きな葉面

積を展開していることになり、高水温は葉面積を拡大する方向に働いているといえた。また、日射量の少ない7区で水温による差は大きく、気温が高く日射の強い4区ではその差は小さくなったが、いずれの気温・日射量の組み合わせ条件下でも、水温の差は乱れなかった(図2)。

#### 4) 葉面積増加速度 ( $\Delta F/t$ )

比葉面積の結果から、高水温は葉面積の拡大に働いているといえたが、現実には葉面積が増えていたかどうかを葉面積増加速度から検討してみた。表2に示すように、高水温区で高い値を示し、季節にしたがって変化する気温・日射の各組み合わせ条件下でも、つねに高水温区の値が大きかった(図2)。ここで、葉身への物質配分率や比葉面積が相対的に小さい高気温・高日射条件下で、葉面積増加速度の水温による差が大であったことが注目される。

#### 5) 純同化率 ( $E$ )

高水温は単に葉面積を拡大し、乾物生産速度に関与しているのではなく、純同化率にも関与して、高水温に生育する水稻の純同化率は高かった(表2)。季節的变化に対しては図2に示すように、日射量の影響を強くうけるようであるが、高気温・高日射条件下では水温による差は大きくなっている。このことが、高気温・高日射条件下での葉面積増加速度の水温による差を生ぜしめたのかもしれない。

以上の結果から、高水温(高土壌温度)下での特性として従来認められてきた、乾物生産速度を大にするという事実は、本実験でえられた範囲内においては、どのような気温・日射条件下でも例外なく認められることが確認された。植木<sup>2)</sup>が季節によって適水温が動くとしたのは、一つには彼の行なった実験が土耕であったことが原因と考えられる。そのため高気温・高日射条件下では旺盛な生育が行なわれ、培地の養分が欠乏したのではなからうか。そこで本実験では、水耕栽培という培地の養分欠乏がほとんどおこらないと考えられる条件下で行なった。

種々な気温・日射の組み合わせ条件下で高水温の効果をみた結果、地上部の生長点を含む茎基部の温度及び根部の温度は、物質配分率に対して大きな影響もっている。そして高水温下に生育すると地上部とくに葉身への物質配分率が相対的に大になること、葉身に配分された物質に対し葉面積を大にする方向に高水温は効果もっていることが認められた。その結果高水温下に生育すると、葉面積の絶対値が増大することになる。このように葉面積が増大することは、拡大再生産型代謝を行なって

いる分けつ期の水稻にとっては有利な条件となる。その上高水温は葉面積の増大に関与するだけでなく、純同化率も増大させていて、光合成機能にも関連している。光合成能力と土壌温度(水温を含む)の関係については、すでに報告したが<sup>8)</sup>本実験でも確認されたことになる。

乾物生産速度に関与する上記の諸要因に対する気温・日射量の季節的变化の影響についてみると、低気温・低日射条件下では、葉身への物質配分率に大きく高水温は働き、高気温・高日射条件下では純同化率に大きく高水温が働いて、乾物生産速度を大にしていた。

本実験では、水温という言葉で地上部生長点が含まれる水温および根の分布する地温の双方を含む広い意味でとりあつかった。従来用いてきた土壌温度という言葉も、水稻の場合水温をも含んだ温度としてとりあつてきている<sup>1,6,8)</sup>。したがって、水温・地温を厳密に区別して論ずる場合は別として、水温および地表面近くの地温を水地温と呼ぶことにする。この考えに立てば、これまで筆者のえてきた結果も本実験の結果も、本論文で示したように統一して考察することができる。水地温はとくに水稻の栽培環境要因の一つとして適用できるのであって、山田<sup>9)</sup>の定義した土壌温度は、より広範囲の作物に対して示されたものであるから矛盾しない。

## 摘 要

水稻の生育に対する好適水温は、他の環境条件とくに気温によって変動するという考え方を再検討し、高水温が乾物生産に及ぼす効果を知るため本実験を行なった。

1. 筆者の示してきた好適土壌温度33°Cを高水温とし、植木が高気温条件下で好適水温になるとした23°Cを低水温として設定した。そして季節変化によって生じる気温・日射量の種々な組み合わせ条件下で、水温と水稻幼植物の乾物生産の関係を検討した結果、いずれの気温・日射量の組み合わせ条件下でも、高水温区の乾物生産は大であった。低水温区との差は気温が高く日射が強いときほど大きくなった。
2. 地上部の生長点が含まれる水温は、物質配分率を規定し、稲の生育型をきめていることが認められた。すなわち、高水温は葉身への物質配分率を高め、比葉面積を大にし、葉面積の絶対値を高めて乾物生産に関与する面と、純同化率を高めて乾物生産に関与している面とがあることが確認された。

## 引 用 文 献

1. 今木 正・中野淳一・長谷川浩：近畿作育会報 12：65-67, 1967.
2. 植木健至：鹿児島大農学術報告 21：1-41,

- 1971.
3. WATSON, D. J. : *Advances in Agronomy* **IV** : 101-145, 1952.
  4. 吉良竜夫：植物生態学〔2〕2巻上 古今書院 東京 1963, p. 201-321.
  5. 長井 保・松下栄二：日作紀 **31** : 385-388, 1963.
  6. 今木 正：島根大農研報 **1** : 8-11, 1967.
  7. 森谷睦夫：日作紀 **39** : 259-268, 1970.
  8. 今木 正：島根大農研報 **1** : 12-15, 1967.
  9. 山田一郎・森脇 勉・長谷川浩：土壤の物理性 **9** : 14-22, 1963.

### Summary

This experiment was carried out to confirm the relationship between the dry matter production of rice plants and water temperature, under various air temperature and light intensity conditions.

The following results were obtained :

1. The rate of dry matter production was increased as the air temperature and light intensity increased, and high water temperature, 33°C, was more favorable temperature for dry matter production under any air temperature and light intensity condition in this experiment.
2. Water temperature was ascertained to have effectiveness on dry matter distribution. The rice plants grown under high water temperature had higher leaf blade distribution rate, higher specific leaf area ( $F/B$ ), and larger leaf area.
3. Dry matter distribution was also affected by light intensity, but those gradients between 33°C and 23°C water temperature were kept under various light intensities.