

赤外線放射温度計による枠試験水稲田の表面温度測定例

誌名	農業氣象
ISSN	00218588
著者名	奥山,富子
発行元	養賢堂
巻/号	30巻4号
掲載ページ	p. 191-194
発行年月	1975年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



赤外線放射温度計による稈試験水稻田 の表面温度測定例

奥山 富子
(農業技術研究所気象科)

Measurements of Active Surface Temperature of Rice Plant Grown
in a Small Model of the Paddy Field Using an Infrared Thermometer

Tomiko OKUYAMA

(Division of Meteorology, National Institute of Agricultural Sciences,
Nishigahara, Tokyo)

1. まえがき

作物の生育はそれらを取りまく気象環境、なかでも気温の影響を強く受けながら、蒸散や光合成・物質生産を行ない生長することが知られている。

水稻群落の場合、群落の上層と水面にそれぞれ能動面が形成され、熱・水蒸気・炭酸ガスなどの交換が大気層・植被層・水層の間で行なわれる。ここでの主要な能動面はもちろん群落上層にあり、具体的には群落上層の葉面が群落光合成・蒸散作用に大きな影響を与えている。

圃場状態下での水稻葉温の長期連続測定は実際上かなりの困難を伴う。そこで赤外線放射温度計を用いて群落表面の温度測定を行ない、これと露場気温・葉温測定値などとの関連づけをはかることを試みた。測定資料数は十分でないが一応の結果を得たので報告する。

2. 実験方法

材料 供試水稻品種はマンリョウで、面積 150 cm × 300 cm の稈試験田に 1973 年 5 月 28 日 1 株 2 本植えとし 100 株栽植した。施肥量は成分量で N・P・K 各 16.5 kg / 10 a 基肥として施用し、肥培管理は適切に行なった。主として解析の対象とした 8 月下旬における水稻の葉面積指数は、約 4.5 で平均草高約 100 cm であった。

測定法 群落の平均的な表面温度を知るために、パース社製 IT-3 型赤外線放射温度計(視野角 3°, 使用波長域 8~14 μ, 以下表面温度計とよぶ)を使用した。測定方法としては計器を群落の平均草高より約 15 cm 上部から俯角 40° になるよう三脚に固定設置し、出力を記録計に自記させる方法をとった。表面温度計を使用して測定する場合問題となるのは、対象物体の射出率(ε)の大

昭和 49 年 12 月 26 日 受理

きさに伴う補正量の違いである(Lorenz, 1966)。ここでの測定の場合、対象とする水稻群落が繁茂しているので射出率はかなり大きい(ε ≈ 0.98, 新編農業気象ハンドブック)とみなし、約 1°C 以下と推定される温度のプラス補正は行なわなかった。

葉温測定には熱電対温度計(0.5 mm φ)を用い、葉身の裏側に 2 点、表側に 2 点クリップを用いて圧着させ、これらの平均値をもって葉温とした。露場気温・湿度の測定には白金抵抗温度計を、水田水温・地温の測定にはサーミスター温度計を用いた。日射量は管型日射計を水稻群落の平均草高の位置に設置して測定し、風速は理工研式小型ロビンソン風速計を群落内の地上 130 cm の高さに設置測定した。これらの測定のうち風速以外の要素についてはすべて自記記録させた。

測定時期 1973 年 8 月 22・23 日の両日行なったが、22 日は終日快晴で日射量 421 ly/day で比較的乾燥していたのに対し、23 日は曇天日で風弱く日射量は 300 ly/day であった。

3. 結果ならびに考察

一般に能動面の温度はそこでの熱の授受の結果として成立するが、葉温の場合には外部気象条件ばかりでなく、植物の内的な要因も影響を与える。ここでは短期間測定であるため、外部要因との関連についてのみ検討することにした。

(1) 日変化

8 月 22 日測定の表面温度とそれに関連する気象要素の日変化を Fig. 1 に示している。表面温度 T_s は気温 T_a 、日射量 R_s の変化に伴い顕著な日変化を示すが、水田水温の日変化はゆるやかで、その日較差は 3.6°C 程度であった。また日中の圃場風速は平均 0.7 m/s と比較的弱い値を示

している。

気温と表面温度との差 ($T_a - T_s$) は $1.5 \sim 4^\circ\text{C}$ の範囲にあるが、あまりはっきりした日変化は認められない。この温度差は今までに報告されている値 (例えば武智, 1973) にくらべると若干小さい。Tanner (1963) の牧草葉温の測定例では温度差 ($T_a - T_s$) は $-1.5 \sim -5.0^\circ\text{C}$ すなわち葉温の方が $1.5 \sim 5.0^\circ\text{C}$ 気温より高くなっている。水稻の場合との違いの主要な原因は恐らく植物体内の水分条件の差異にあると考えられる。

晴天日の昼間の表面温度は気温より約 3°C 低く、葉温よりも約 1°C 低くなっている。夜間には實際上差異は認められなくなり、昼夜平均の温度差 ($T_l - T_s$) は 0.5°C となっている。曇天日の日変化の傾向は晴天日の場合と同様で、温度差 ($T_a - T_s$) は平均約 2.5°C と変わらず、葉温との温度差はわずかに小さくなるのが認められた。

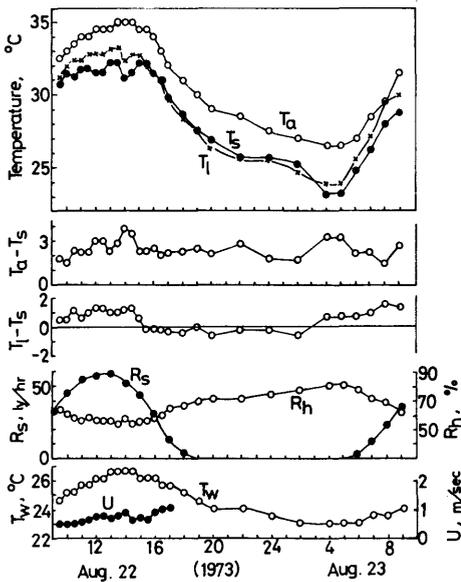


Fig. 1. Diurnal change of canopy surface temperature of a rice field (T_s) measured by an infrared thermometer, mean leaf temperature (T_l) and relevant meteorological elements.

T_a - air temperature in the neighboring meteorological enclosure, R_s - solar radiation, R_h - relative humidity, T_w - water temperature within the rice canopy, U - wind speed at the height of 1.3 m.

表面温度が外部気温より低いのは、植被上層において蒸散作用が活発に行われていることによるものであるが、ここで得た温度差 ($T_a - T_s$) には対象圃場面積の狭さに起因するオアシス効果の影響が含まれているので、十分広い圃場条件下の温度差 ($T_a - T_s$) は本実験の場合よりもやや小さくなると考えられる。

(2) 表面温度と葉温

先に述べたようにここでの葉温は4点のみの平均値であるので、これを群落上層の平均葉温にみなすことに若干の不安はあるが、一応これを葉温を代表する値としてとり扱うことにする。

Fig. 2 (左)には昼夜を含めた測定値の比較が示されている。当然のことながら両者はかなり高い相関関係 ($r = 0.934$) を示しており、これらの関係はつぎのような直線近似式で示すことができる。

$$T_s = 0.90 T_l + 2.48 \quad (^\circ\text{C}) \quad (1)$$

ここで T_s , 群落表面温度, T_l , 葉温。

この式は昼夜を含めて考えると、 $23 \sim 34^\circ\text{C}$ の温度範囲内では群落表面温度と葉温とが実際上一致し、表面温度が葉温を代表する量であることを示している。

Fig. 2 (右)には昼間のみの測定値をとりあげたものであり、この場合にも表面温度と葉温が実際上一致することを示すつぎの式で両者の関係を表わすことができる。

$$T_s = 0.88 T_l + 3.40 \quad (^\circ\text{C})$$

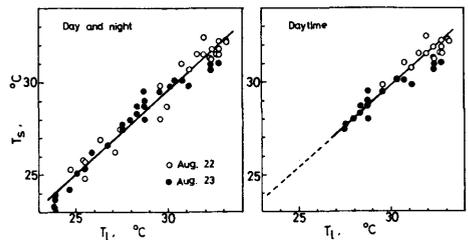


Fig. 2. Relation between canopy surface temperature (T_s) and mean leaf temperature (T_l) measured at four points on single leaves using Cu-Co thermocouples.

(3) 表面温度と気象要因との関係

露場気温: 群落の表面温度はそれを取りまく上部気層の気温レベルを基礎として形成されるので、まず表面温度と露場気温の関係について述べることにする。Fig. 3 (左)には昼夜を含む測定値の比較が示されている。図によれば点のバラッキ程度はFig. 2の葉温の場合とほぼ同程度であり、かなり高い相関関係が認められる ($r = 0.903$)。気温 $25 \sim 35^\circ\text{C}$ の範囲内では、群落の表面温度 (T_s) は露場気温 (T_a) より平均 2.5°C 低いことを示しており、両者の関係はつぎのように表わすことができる。

$$T_s = 1.01 T_a - 2.74 \quad (^\circ\text{C}) \quad (2)$$

これらの関係を昼間のみにしてみると、Fig. 3 (右) に示されているようになり、関係式はつぎのように表わされる。

$$T_s = 1.02 T_a - 3.20 \quad (^\circ\text{C})$$

水田水温: 水稻群落の場合風によって稲体の振動があ

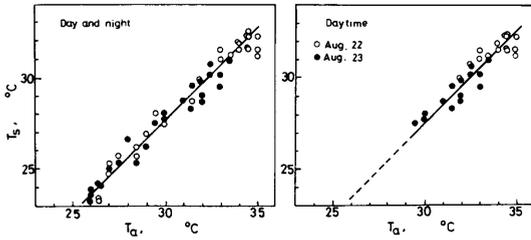


Fig. 3. Dependence of T_s on air temperature (T_a) in the neighboring meteorological enclosure.

るので、葉面積指数がかなり大きい場合でも葉群間の間隙が生じ、植被下の水温が表面温度測定値に影響を与えることが予想される。そこで水温(T_w)の測定値と表面温度のそれぞれの絶対値の対応をみってみると Fig. 4 のようになる。

植被下水温の変化幅は小さく、23~27°Cの範囲で変化しているのに対し、表面温度は23~33°Cの間にあり、両者の間にかかなりの相関が認められる($r=0.787$)。この時期では水温よりも平均約4°C群落表面温度が高く、水温1°Cの変化は3°Cあまりの表面温度変化をもたらすように形式的には表わされる。しかし十分に繁茂した水稲群落の場合には、水田水温の群落表面温度に及ぼす影響は実際上それほど大きくはなく、むしろ逆に気温や表面温度の上昇が水温の上昇をもたらしていると考えた方が妥当であろう。

放射温度計による表面温度測定において、放射温度計の受感部が多少なりとも水面を見る場合、表面温度と水面温度の差が大きくなるにしたがって大きな誤差をもたらす。今回の実験においても、Fig. 2あるいはFig. 4で明らかのように、表面温度が水面温度より高くなるに

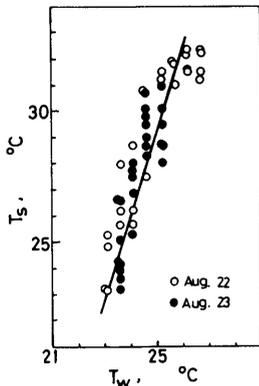


Fig. 4. Relation between T_s and water temperature (T_w) within a rice canopy.

たがって、見かけ上表面温度が低くなっているのはこの誤差によるものと思われる。

この問題は放射計受感部に対する植被の形態係数と水面の形態係数を用いて解析することができるが、これらの関係については今後さらに検討を進めていく予定である。

風速と日射量：葉温は葉面での熱交換の結果として成立し、それには気温のほかに日射量・風速・湿度などが関係する。前に述べたように今回測定した表面温度は、群落上層の平均葉温にきわめて近い量である。そこで葉温の場合に通常行われる整理法に準じて、表面温度-気温の差をとり、これと風速、日射量との関係についてとりまとめたものがFig. 5に示されている。

Fig. 5の結果は、個葉について得られている結果(例えば武智, 1973)とはかなり異なり、温度差($T_a - T_s$)の風速の増大に伴う減少や、日射量の増大に伴う温度差の増大という現象はみられない。これは表面温度が群落上層の葉群の平均的な葉温に近いものであり、これに関係する面としては、直達光の照射している日向葉ばかりでなく日蔭葉部分も含まれること。また個葉の場合と異なり、一平面上に能動面があるのではなく、ある深さをもつ層内にそれが分布していることなどによるものと考えられる。このように群落状態の場合の平均葉温の形成は、それほど単純でないことを示しているように思われる。

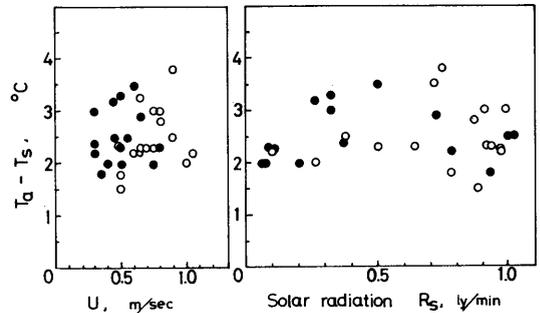


Fig. 5. Dependence of temperature difference ($T_a - T_s$) on wind speed (U) (left), and on solar radiation (R_s) (right). Symbols are the same as those in Fig. 4.

4. 要 約

水稲群落の蒸散・光合成・物質生産に密接な関連をもつ群落表面温度(表層葉群の平均温度)の実態、ならびに外部要因との関連を明らかにすることを目的にし、赤外線放射温度計を用いた実験的研究を行なった。得られた結果はつぎのように要約される。

(1) 群落表面温度は気温より2~3°C低いが、十分な広

さをもつ水田地帯においてはこの差はさらに小さくなるものと考えられる。

(2) 表面温度は葉温測定値に非常に近く、その差は1℃以下の測定誤差の範囲内にある(Fig. 2)。

(3) 表面温度 T_s は気温 T_a との相関が高く、本実験条件下での両者の関係はつぎのようにあらわされる。

$$T_s = 1.01T_a - 2.74$$

(4) 群落条件下の温度差($T_a - T_s$)に及ぼす日射・風速の影響は、個葉の場合のように明確にあらわすことはできない(Fig. 5)。

終りに本研究を進めるに当り暖かい御指導、御援助をいただいた農業技術研究所気象科微細気象研究室、気象

科ならびに調査科試験設計研究室の皆様に対し、厚く御礼申し上げます。

引 用 文 献

- 1) Lorenz, D., 1966: The effect of the long-wave reflectivity of natural surfaces on surface temperature measurements using radiometers, J. appl. Met., 5, 421~430.
- 2) 新編農業気象ハンドブック, 1974. 養賢堂 p.854.
- 3) 武智 修, 1973: みかん園の微細気象と葉の熱収支に関する研究, 愛媛大学農学部紀要, 17, 1~134.
- 4) Tanner, C. B., 1963: Plant temperatures, Agron. Journ., 55, 210~211.