

文章编号: 1672-3317(2011)04-0080-04

水稻需水关键期冠气温差变化规律试验研究<sup>\*</sup>张旭东<sup>1</sup>, 陈伟<sup>1</sup>, 迟道才<sup>1</sup>, 蔡亮<sup>2</sup>

(1. 沈阳农业大学 水利学院, 沈阳 110866; 2. 辽宁省水利水电科学研究院, 沈阳 110003)

**摘要:** 为了研究基于冠层温度的水分监测技术在水稻上的适用性, 在辽宁省灌溉试验站蒸渗器中设置不同的水分处理进行试验, 运用数理统计的方法分析了沈阳地区水稻需水关键期冠气温差( $T_c - T_a$ )的变化规律及其与土壤水分吸力、空气饱和水汽压差( $VPD$ )之间的相互关系, 并分析了灌水对水稻冠气温差的影响。结果表明, 水稻的冠气温差一般为负值, 因天气和水分状况而变化; 当土壤水吸力小于 5 kPa 时, 土壤水分对冠气温差没有影响, 而当土壤水吸力大于 5 kPa 时, 随着土水势的降低, 冠气温差变大且有变为正值的趋势, 二者呈显著的线性关系; 当空气的相对湿度小于 70% 时, 冠气温差的日变化和生育阶段变化均与  $VPD$  之间呈明显的线性关系。

**关键词:** 冠气温差; 灌溉; 土壤水吸力

中图分类号: S274.1 文献标志码: A

## 1 材料与方法

试验于 2009 年在辽宁省灌溉试验中心站(东经  $123^{\circ}31'$ , 北纬  $42^{\circ}09'$ , 海拔高度 47 m)进行, 试验区属温带大陆性季风气候。2009 年 5—9 月积温  $3\ 128.6\ ^{\circ}\text{C}$ , 日平均最高温度  $26.5\ ^{\circ}\text{C}$ , 日平均最低温度  $14.8\ ^{\circ}\text{C}$ , 日照时数  $1\ 287.8\ \text{h}$ , 日照时数百分率 60.11%, 降雨量 414.6 mm。试验田的土壤为多年生水稻土, 土质为粘壤土, 干密度为  $1.5\ \text{g}/\text{cm}^3$ 。土壤孔隙率为 46.43%, 土壤肥力偏下, 速效钾  $81.04\ \text{mg}/\text{kg}$ , 速效磷  $18.27\ \text{mg}/\text{kg}$ , 土壤碱解氮  $75.02\ \text{mg}/\text{kg}$ , 全氮  $1.07\ \text{g}/\text{kg}$ , 有机质 1.19%, 土壤 pH 值为 7.5。

试验在测坑内进行, 设 5 个处理。对照为充分供水灌溉, 需水关键期不控水, B 处理和 C 处理分别在拔节—孕穗期和抽穗—开花期以土壤水分吸力作为控制指标, 进行上限为 3 cm 水层下限为不同程度的控水处理(表 1); 返青期、分蘖前期和乳熟期上限为 3 cm 水层, 下限为饱和含水率; 分蘖后期进行中度晒田, 黄熟期自然落干。每个测坑的净面积为  $2\ \text{m} \times 2.5\ \text{m}$ , 深 1.8 m, 底部设有反滤层, 每天人工放水, 模拟天然的田间渗漏, 各处理随机排列。

表 1 水稻土壤水分吸力下限控制范围

处理	(拔节—孕穗期)/kPa	(抽穗—开花期)/kPa
B1	20~25	0~5
B2	15~20	0~5
C1	0~5	20~25
C2	0~5	15~20
CK	0~5	0~5

冠层温度采用 RAYTEK 公司生产的 ST60 红外测温仪观测, 按照农田小气候观测的对称法进行观测, 测定时视场角取  $5^{\circ}$ , 手持测温仪置于 1.5 m 高度左右, 以  $30^{\circ}$  角瞄准小区内中间的冠层, 其测点为群体生长一致、有代表性的部位, 直接在显示屏上读取数据。每个小区的测定重复 5 次, 取其平均值作该次测定的冠层温度值, 每次观测在 15 min 之内完成。土壤水分吸力由水银负压计测定, 水银负压计埋设在地面以下 20 cm 处; 含水率的换算采用由压力膜仪测得土壤水分特征曲线求得; 空气的温度、湿度和饱和水汽压由安装在测坑区附近的 CR1000 自动气象站提供每小时的数据, 气象站配有 HMP45C 温湿度传感器, LI200X 总辐射传感器和 034B 风速风向传感器。

供试水稻品种为辽粳 9 号, 种植密度与当地水稻种植密度一致。6 月 1 日插秧, 6 月 18 日开始分蘖, 拔

\* 收稿日期: 2010-12-10

基金项目: 辽宁省教育厅重点实验室项目(2009S091); 辽宁省科技厅自然科学基金(20082122)

作者简介: 张旭东(1979), 男, 河南巩义人。讲师, 博士研究生, 主要研究方向为节水灌溉理论与技术。

通讯作者: 迟道才(1964), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事灌溉排水与节水灌溉机理研究。

节—孕穗期为7月5日至8月8日共35 d,抽穗—开花期为8月9日至8月21日共13 d,8月22日进入乳熟期,9月2日进入黄熟期,10月5日收获。冠层温度和土壤水分吸力在需水关键期内每日于08:00和14:00观测,对于日变化则随机选取天数,每1 h进行1次观测。

## 2 结果与分析

### 2.1 水稻冠气温差日变化规律

需水关键期水稻冠气温差呈现明显的日变化,其变化范围一般在5℃之内。水稻的冠气温差一般为负值,即冠层温度小于空气温度,有极少的几率为正值。

水稻冠气温差变化规律因天气情况不同而异。晴天条件下,早晨阳光辐射较小,气温较低,水稻的生命活动较弱,水稻冠层的温度更低,冠气温差一般为负值;此后随着太阳辐射的增强,气温上升,作物的光合作用、呼吸作用和蒸腾作用加强,冠层温度的上升幅度大于气温,冠气温差呈增大趋势;在09:00—12:00达到最大值后,随辐射的减弱、温度的降低,作物的生命活动减弱,冠气温差也逐步回落(图1(a))。而阴天或多云则没有明显的规律(图1(b))。

无论天气晴朗或多云,冠气温差随水分情况不同呈现相同的变化规律。如7月31日处理B1、B2和CK的土壤水分吸力值分别为24.8、12.8和4.7 kPa,它们的冠气温差显示则为B1处理在一天内始终大于CK,而B2则几乎处于中间;8月8日的冠气温差日变化(图1(b))也反映出类似的规律,处理B1、B2和CK的土壤水分吸力值分别为22.0、12.5和2.4 kPa,它们的冠气温差值也是依次降低的;然而7月31日和8月8日的日照率却相差悬殊,前者为0.37,后者为0.85。这表明无论是晴天还是多云的天气状况下,由于控水的原因使土壤水分吸力值的增加,水稻均可通过自身调节蒸腾,导致感热通量增加,冠气温差增高。

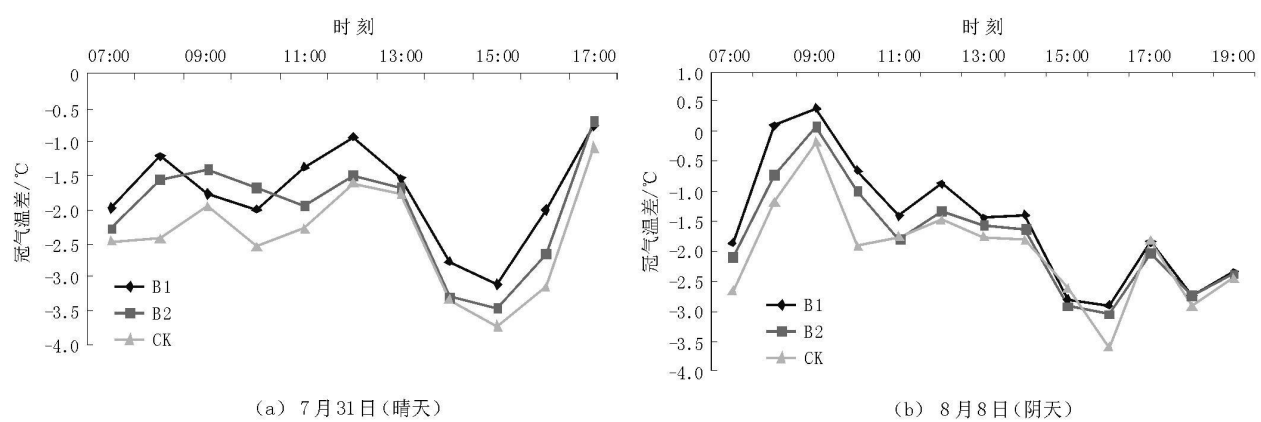


图1 水稻冠气温差日变化

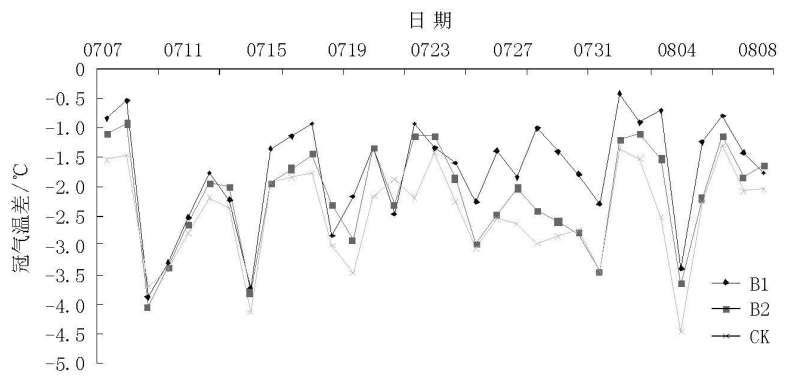


图2 拔节—孕穗期水稻冠气温差变化

### 2.2 生育阶段内冠气温差变化规律

以14:00所测冠气温差值为例,对水稻拔节—孕穗期和抽穗—开花期内的冠气温差进行分析。发现水稻的冠气温差在生育阶段内有很大的波动,这些波动与灌溉是相互关联的,比如抽穗—开花期内的2个谷值主要是由8月10日和8月16日的2次灌水引起的。从生育阶段来看,一般情况下,水分亏缺较严重的处理B1、C1的冠气温差几乎在整个生育阶段都大于处理B2、C2和对照CK。由图2、图3可知,水分亏缺可使冠

气温差随着生育期的推进而增加,并且水分亏缺程度越大,冠气温差增加的趋势也越明显。然而,对于灌水充足的对照 CK 来说,冠气温差没有随生育阶段推进而增加的趋势。这种现象表明,经过前期的缺水锻炼,水稻自身有了一定的调节与适应能力,能够在水分亏缺的条件下正常生长。

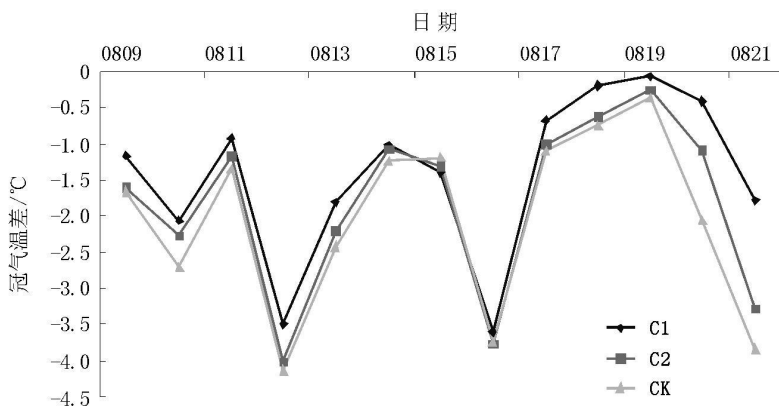


图3 抽穗—开花期水稻冠气温差变化

## 2.3 水稻冠气温差与环境因素的关系

### 2.3.1 土壤水分吸力与冠气温差的关系

分析灌溉后第2天 14:00 的冠气温差和 20 cm 处的土壤水吸力之间的关系,结果显示,在需水关键期,各控水处理处理的冠气温差随土壤水分吸力的升高而增大,这与彭世彰等<sup>[1]</sup>认为水稻冠(叶)气温差随水分亏缺程度增加而升高是一致的。通过回归分析发现,它们之间呈线性关系:

$$T_c - T_a = a + b \cdot \psi \quad (1)$$

式中:  $T_c$  为冠层温度(°C);  $T_a$  为空气温度(°C);  $a$ 、 $b$  为经验系数;  $\psi$  为土壤 20 cm 处的土壤水分吸力(kPa)。回归结果见表 2。

表2 冠气温差和土壤水分吸力回归方程系数

处理	$a$	$b$	样本数	相关系数	$R_{0.001}$
B1	- 5.343 1	0.150 6	23	0.775 3	0.641 4
B2	- 8.949 7	0.626 8	23	0.787 1	0.641 4
C1	- 2.719 3	0.102 1	29	0.850 7	0.580 0
C2	- 2.697 7	0.105 0	31	0.783 1	0.562 6

由表 2 可知,无论是在拔节—孕穗期还是在抽穗—开花期,冠气温差和 20 cm 处的土壤水分吸力之间的回归方程均通过了 0.001 水平下的检验。因此,可以运用式(1)根据冠气温差估算土壤的水分吸力,判断水分亏缺的程度。在拔节—孕穗期,处理 B1 和 B2 因为土壤水势控制的不同,回归方程的系数相差很大;而在抽穗—开花期, C1 和 C2 回归方程的系数则相差不大,这可能说明水稻在拔节—孕穗期具有一定的可塑性,也可能与水稻的该生育阶段较长,对水分条件具有更好的适应性有关。

### 2.3.2 空气饱和差和冠气温差的关系

Idso 等<sup>[4]</sup>于 1981 年指出作物在充分灌水(或潜在蒸发)条件下冠气温差与空气饱和水汽压差呈线性关系,这是作物水分胁迫指数  $CWSI$  应用的基础。该经验关系可用式(2)表达如下:

$$T_c - T_a = A + B \cdot VPD \quad (2)$$

式中:  $A$ 、 $B$  为经验系数;  $VPD$  为空气饱和水汽压差(kPa)。研究发现水稻在充分供水条件下需水关键期内和日变化数据也有类似的规律。

表 3 给出了它们的线性关系的分析结果。可以看出在充分供水条件下,无论是在生育阶段内还是在日内,水稻的冠气温差与  $VPD$  之间的线性关系非常良好,均能通过 0.01 水平的显著性检验。拔节—孕穗期和抽穗—开花期的线性关系系数差异不大。而 7 月 31 日和 8 月 7 日的线性关系系数相差较大,并且前者的相关性明显不如后者好。主要是因为这 2 天的空气相对湿度差异比较明显,7 月 31 日白天的相对湿度变化范围为 68%~81%,而 8 月 7 日的变化范围为 37%~70%。这表明在空气湿度不是很大时,冠气温差和  $VPD$  的线性关系比较好。

表3 冠气温差和空气饱和水汽压差回归方程系数

时段	A	B	样本数	相关系数	$R_{0.01}$
生育阶段内数据(拔节—孕穗期)	- 0.119 3	- 1.195 4	23	0.852 9	0.526 8
生育阶段内数据(抽穗—开花期)	1.618 5	- 1.513 0	11	0.973 7	0.734 8
日内数据(7月31日)	- 0.226 2	- 1.815 6	8	0.844 9	0.834 3
日内数据(8月7日)	4.111 4	- 2.998 0	10	0.954 0	0.764 6

### 3 结 论

水稻的冠气温差一般为负值,存在明显的日变化规律。在关键需水期内水稻的冠气温差的日变化和生育阶段内的变化会因水分的亏缺而增加。当土壤水分吸力小于 5 kPa 时,水分状况对水稻的冠气温差没有影响,而当土壤水分吸力大于 5 kPa 时,随着土水势的增大,冠气温差变大并且有变为正值的趋势,二者之间呈较好的线性关系;当空气的相对湿度小于 70% 时,冠气温差的日变化数据和生育阶段内的数据均和空气饱和水汽压差之间呈显著的线性关系。根据水稻需水关键期冠气温差和土壤水分吸力之间的线性关系,由遥感获得冠层温度和气温可估算水田 20 cm 的土壤水分状况。

由于只有 1 年的试验结果,并且水分处理中设置的水稻受旱程度较轻,因此运用 *CWSI* 监测水稻水分胁迫并不理想,但得出了充分供水条件下冠气温差同 *VPD* 之间的关系,这是作物水分胁迫指数 *CWSI* 的下限方程,据此可以设置缺水程度更高的水稻胁迫试验,进一步研究 *CWSI* 在水稻的水分亏缺状况监测中的应用。

#### 参考文献:

- [1] 彭世彰,徐俊增,丁加丽,等. 节水灌溉条件下水稻叶气温差变化规律与水分亏缺诊断试验研究[J]. 水利学报, 2006, 12, 37(12): 1 503-1 508.
- [2] 张文忠,韩亚东,杜宏锦,等. 水稻开花期冠层温度与土壤水分及产量结构的关系[J]. 中国水稻科学, 2007, 21(1): 99-102.
- [3] 刘学著,张连根,周守华. 基于冠层温度的冬小麦水分胁迫指数的实验研究[J]. 应用气象学报, 1995, 6(4): 449-453.
- [4] Idso S B. Normalizing the stress degree day for environment variability[J]. Agricultural Meteorology, 1981, 24: 45-55.

## Canopy-air Temperature Difference of Rice in Key Water Requirement Periods

ZHANG Xudong<sup>1</sup>, CHEN Wei<sup>1</sup>, CHI Daocai<sup>1</sup>, CAI Liang<sup>2</sup>

(1. College of Water Resource, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China;

2. Water Conservancy and Hydropower Science

Research Institute of Liaoning Province, Shenyang 110003, China)

**Abstract:** In order to investigate the applicability of moisture monitoring based on canopy temperature in rice, some experiments of different water treatments were carried in Liaoning Province. The rule of variation of canopy-air temperature difference of rice in key water requirement periods in Shenyang region and the relationships among canopy temperature difference, soil water pressure and air vapor pressure difference (*VPD*) were analyzed. The results showed that currently being negative canopy-air temperature difference of rice changed with weather and water conditions. The conditions of soil water has no influence on canopy-air temperature difference when soil water suction was lower than 5 kPa, while the canopy-air temperature difference became greater and showed a trend of positive with the falling of soil water potential. The linear relationship between canopy-air temperature difference and *VPD* was patency either in key water requirement periods or in a day when the air relative humidity was lower than 70%.

**Key words:** canopy-air temperature difference; irrigation; soil water potential