

紫花苜蓿冠气温差与蒸腾速率变化规律的试验研究^{*}

强小嫚^{1,2}, 蔡焕杰¹, 周新国², 张旭东³

(1. 西北农林科技大学 旱区农业水土工程教育部重点实验室, 陕西 杨陵 712100; 2. 中国农业科学院 农田灌溉研究所, 河南 新乡 453003; 3. 沈阳农业大学 水利学院, 沈阳 110161)

摘 要: 本文主要研究不同水分处理条件下紫花苜蓿冠气温差和蒸腾速率的变化规律。结果表明, 全生育期内, 冠气温差和蒸腾速率变化规律基本一致, 各典型日两者日变化趋势基本呈现“M”型。当灌水下限较高时, 冠气温差基本呈负值且日变化和蒸腾速率较一致; 当灌水下限较低时, 冠气温差基本呈正值, 蒸腾速率较小且日变化幅度较平缓。冠气温差较小时, 随冠气温差增大蒸腾速率呈上升趋势, 而当冠气温差大于 0 以后, 随冠气温差增大蒸腾速率不再增加, 甚至出现一定的下降趋势。

关键词: 紫花苜蓿; 冠气温差; 蒸腾速率

中图分类号: S161.4; S542.4

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)03-0212-04

Experimental Study on Variation of Canopy-air Temperature Difference and Transpiration Rate of Alfalfa

QIANG Xiao-man^{1,2}, CAI Huan-jie¹, ZHOU Xin-guo², ZHANG Xu-dong³

(1. Key Laboratory for Agricultural Soil and Water Engineering in Arid Area of Ministry of Education, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Farmland Irrigation Research Institute, CAAS, Xinxiang, He'nan 453003, China; 3. College of Water Resource, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China)

Abstract: This paper mainly studied the variation of canopy-air temperature difference and transpiration rate of alfalfa under different water conditions. The results showed that the change law is basically identical of canopy-air temperature difference and transpiration rate in the whole growth period, and there are 'M' model in the typical day for the shape of the diurnal variation curve. The canopy-air temperature difference is negative and that diurnal variation curve is basically identical with transpiration rate's under full irrigation, while the canopy-air temperature difference is positive, the transpiration rate is lower and the variation is smoother with larger deficit. Transpiration rate increases with the increase of canopy-air temperature difference when it is smaller and the transpiration rate decreases when canopy-air temperature difference is greater than 0.

Key words: alfalfa; canopy-air temperature difference; transpiration rate

作物冠层是作物进行光合作用和蒸腾作用的重要场所, 蒸腾作用是作物维持水分代谢和营养物质传输、吸收与维持体温的重要途径, 同时也是作物消耗水分的主要方式。作物所吸收的水分绝大部分通过叶面蒸腾, 从而降低作物冠层的温度。若出现水分亏缺, 水分供应不足, 叶面蒸腾强度降低, 冠层温度上升^[1-2]。蒸发蒸腾耗能是地表 - 大气热量交换的主要分量^[3], 是农田可供能量耗散的一个主要途

径, 是引起冠层表面温度空间变化的一个主要原因^[4-5]。同时, 冠层温度还受环境因素的影响^[6], 在一天中随着大气温度、太阳辐射等因素的变化而变化。故一般用冠气温差(冠层温度与气温的差值)来反映农田水分状况。本文主要在不同水分处理条件下对紫花苜蓿的冠气温差及蒸腾速率进行分析研究, 为从理论上深入理解和探讨作物蒸发蒸腾过程中水汽传输和能量转换的机制奠定基础。

^{*} 收稿日期: 2008-10-26

基金项目: 教育部高校青年教师奖

作者简介: 强小嫚(1983-), 女, 陕西西安人, 硕士, 主要从事节水灌溉理论与新技术研究。E-mail: qiangxiaoman@126.com

通信作者: 蔡焕杰(1962-), 男, 河北藁城人, 教授, 主要从事农业节水和水资源高效利用方面的研究。E-mail: caihj@nwsuaf.edu.cn

1 试验材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2007 年 4 月 1 日 - 2007 年 8 月 30 日在西北农林科技大学灌溉试验站进行,供试作物为紫花苜蓿,品种为阿尔金刚(Algonquin),种植于 2005 年 7 月 4 日。试验分筒测区和田测区两部分,以土壤含水量为主要因素,在该因素内设置 3 个处理,每组 3 个重复(灌水下限分别控制在 70 % 田 ~ 80 % 田,60 % 田 ~ 70 % 田,50 % 田 ~ 60 % 田)。与筒测区相对应,田测区共分为 3 个处理,每个处理 3 个小区,每小区 9 m² (1.5 m × 6 m)。

1.2 测定项目与方法

(1) 土壤含水量:每隔 7 ~ 10 d 用中子仪监测各点土壤含水量的动态变化,筒测区测深为 20 - 70 cm,田测区测深为 20 - 120 cm,均在垂直方向每隔 10 cm 观测一次,取其平均值代表各区域的土壤含水量 (cm³ / cm³)。

(2) 冠层温度:每隔 5 ~ 7 d 用红外测温仪测定,重复 3 次。日变化过程每 10 d 左右测一次,观测时段为 8:00 - 18:00,每 2 h 观测 1 次。为了消除太阳方位角及作物种植方向对观测值的影响,每个测点在 4 个不同方向与地面成 45° 进行观测。

(3) 蒸腾速率:用便携式光合仪测定。每隔 5 ~ 7 d 测一次,重复 3 次。日变化过程每 10 d 左右测一次,观测时段为 8:00 - 18:00,每 2 h 观测 1 次。

(4) 大气温度、空气相对湿度、2 m 高处风速、太阳辐射强度和降水量等由试验地自动气象站观测。

2 结果与分析

2.1 不同水分处理下冠气温差与蒸腾速率的关系

利用冠气温差来确定作物的水分状况已成为重要手段之一,由于作物冠层温度受气象因素的强烈影响,因此确定测定冠层温度的适宜时间尤为重要,一般认为最佳测定时间应在中午 14:00 时,因为这一时段不同水分处理冠气温差的差异比较显著^[7]。现以中午 14:00 的冠气温差为例,来分析全生育期内不同水分处理情况下冠气温差与蒸腾速率之间的关系。灌水下限分别为 70 % 田 ~ 80 % 田,60 % 田 ~ 70 % 田,50 % 田 ~ 60 % 田。

由图 1 (A, B, C) 三幅图可知,整个生育期内,不同水分处理下,冠气温差 ($T_c - T_a$) 和蒸腾速率 (Tr) 有密切的关系。三个水分处理条件下均是生育前期和后期 $T_c - T_a$ 相对较小, Tr 也相对较小;生于中期 $T_c - T_a$ 较大, Tr 较大。由于生育前期和

后期太阳辐射强度较弱,大气温度较低,作物冠层所接受的温度也较低, $T_c - T_a$ 也相对较小,受环境因素和作物生理因素的影响,这两个生育阶段 Tr 也相对较小;生于中期气温较高,太阳辐射增强, $T_c - T_a$ 也随着增大,作物生长旺盛, Tr 较大。这表明,在紫花苜蓿荫蔽程度很高的程度下,中午 14:00 时作物蒸发蒸腾主要以蒸腾失水为主,冠层温度高低受作物蒸腾的强烈影响。

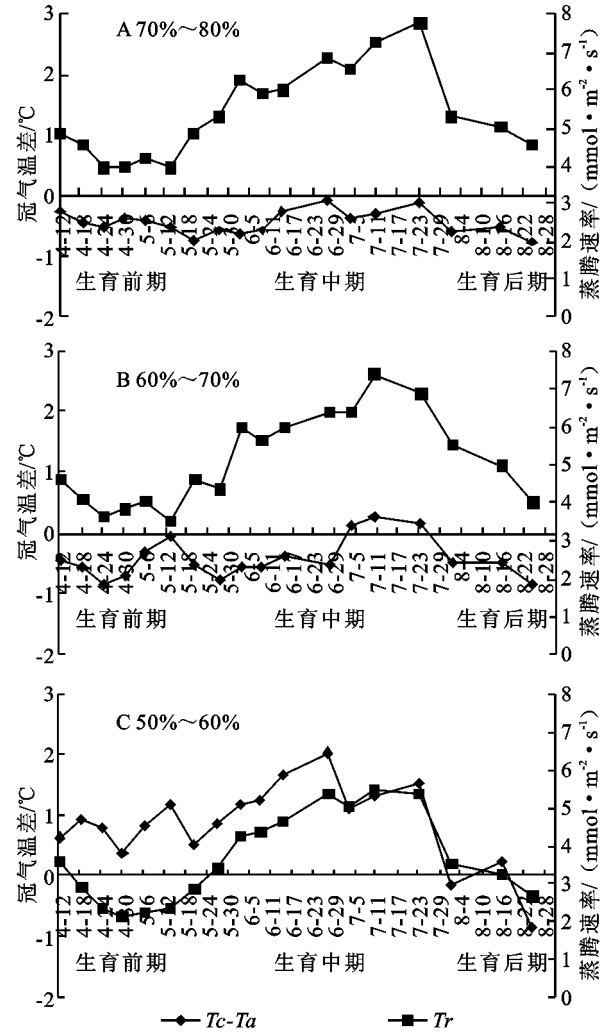


图 1 全生育期内不同水分处理下冠气温差和蒸腾速率关系
当灌水下限为 70 % 田 ~ 80 % 田, 60 % 田 ~ 70 % 田 时, $T_c - T_a$ 和 Tr 在整个生育期内的变化规律基本为生育中期 $T_c - T_a$ 较大, Tr 也较大;生育前期和后期 $T_c - T_a$ 较小, Tr 较小, $T_c - T_a$ 值基本都为负值。说明适当的水分亏缺,对紫花苜蓿的整个生理过程影响不大,紫花苜蓿生长旺盛,蒸发量主要还是以蒸腾失水为主。由图 A 和图 B 可知当灌水下限为 60 % 田 ~ 70 % 田 时比灌水下限为 70 % 田 ~ 80 % 田 灌水时的冠气温差偏大,说明适当的灌水下限控水可以使作物通过调节自身气孔开度,实现减小蒸腾的目的,冠气温差呈上升趋势。当灌水

下限为 50 % 田 ~ 60 % 田 时,长期的低水分下限灌水对作物的整个生理过程造成了一定的影响,植株生长受到缺水的胁迫,蒸发蒸腾量减小且变幅较小,叶温上升并且超过空气温度,冠气温差随之上升,即冠气温差表现为正值。而且此时地面蒸发增大,作物蒸发蒸腾是一个复杂的过程, $T_c - T_a$ 和 T_r 的关系不如高水分下限明显。

2.2 冠气温差与蒸腾速率的日变化规律

考虑不同生育阶段及不同水分处理的影响,选择生育期内的典型日 5 月 13 日(生育初期),6 月 27 日(生育中期),8 月 15 日(生育末期)分别在控水下限为 70 % 田 ~ 80 % 田,60 % 田 ~ 70 % 田,50 % 田 ~ 60 % 田 的处理下进行冠气温差($T_c - T_a$)和蒸腾速率(T_r)的日变化规律分析。

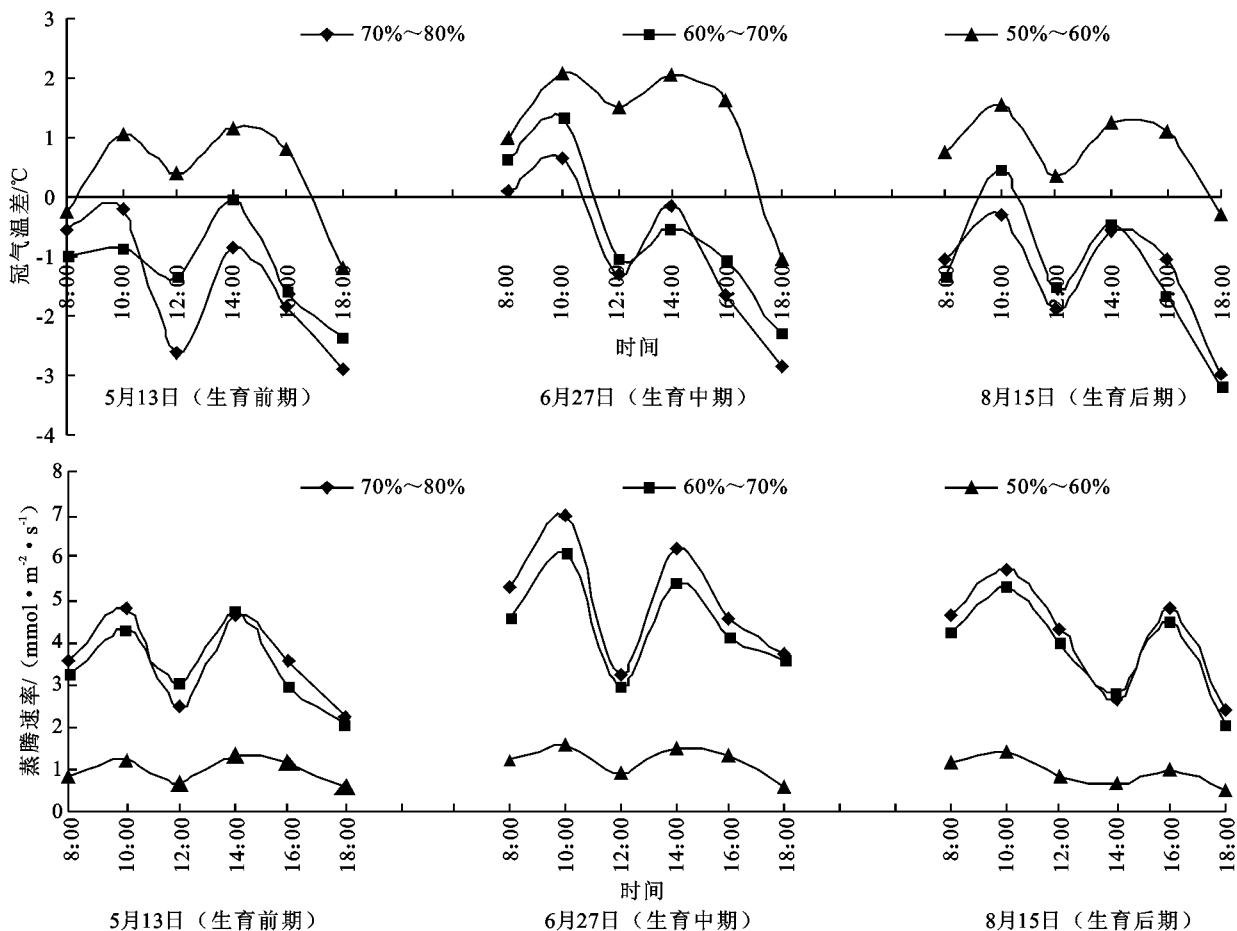


图 2 不同水分处理条件下冠气温温差、蒸腾速率日变化图

如图 2 所示,三个生育期的典型日不同水分处理条件下冠气温差($T_c - T_a$)和蒸腾速率(T_r)有明显的日变化规律,基本都呈“M”型。

三个生育期的典型日内,冠气温差($T_c - T_a$)日变化趋势基本一致,早上日出以后,各水分处理下冠气温差逐渐增大,到 10:00 左右达到峰值,不同水分处理下差异不明显;随后 $T_c - T_a$ 开始下降,12:00 左右太阳辐射很强,大气温度升高较快, $T_c - T_a$ 逐渐降低;之后又开始上升,到 14:00 左右达到较高峰值,各处理下冠气温差差异显著,当灌水下限控制在 70 % 田 ~ 80 % 田,60 % 田 ~ 70 % 田 时, $T_c - T_a$ 基本都为负值,灌水下限控制在 50 % 田 ~ 60 % 田 时, $T_c - T_a$ 相对较大且基本为正值。而后随辐射的降低,冠层温度和气温同时降低,冠层温度的降低幅度大于气温的降低,冠气温差呈下降趋势,不同处理间

冠气温差的差异逐渐减少。冠气温差的日变化规律和蒸腾强度有很密切的关系,如图所示,蒸腾速率(T_r)日变化和冠气温差($T_c - T_a$)日变化趋势基本一致。其中,当灌水下限控制在 70 % 田 ~ 80 % 田,60 % 田 ~ 70 % 田 时, $T_c - T_a$ 和 T_r 日变化趋势一致;当灌水下限控制在 50 % 田 ~ 60 % 田 时, $T_c - T_a$ 相对其它两个水分处理灌水时较大,而 T_r 较小且变化比较平缓。

日出以后,作物的蒸腾速率较小,随着气温的升高,蒸腾速率增大,冠层温度升高,且在阳光照射下作物冠层温度升高较百叶箱中空气温度升高快,所以 8:00 - 10:00 期间, $T_c - T_a$ 逐渐增大,各处理下差异不明显;中午 14:00 左右太阳辐射最大,空气最为干燥,冠层温度 T_c 达到一天中的最高值, $T_c - T_a$ 再一次达到一个峰值,作物本身为了保持一定的平

衡状态,此时,作物蒸腾强度也相对增大,蒸腾作用耗热,使叶片冷却。当灌水下限控制在 50 % 田 ~ 60 % 田 时, $T_c - T_a$ 多为正值且相对较大,变幅相对较小, T_r 却相对较小,变幅较小。说明当水分供给不足时,气孔开度较小,降低蒸腾作用,蒸腾消耗热量减少,显热通量增加,引起冠层温度升高,这样保证了植物体内正常需水量。随着控水下限的减少,蒸腾速率减小,冠层温度升高,冠气温差由负值变为正值。由此可见,冠层温度上升也成为作物缺水

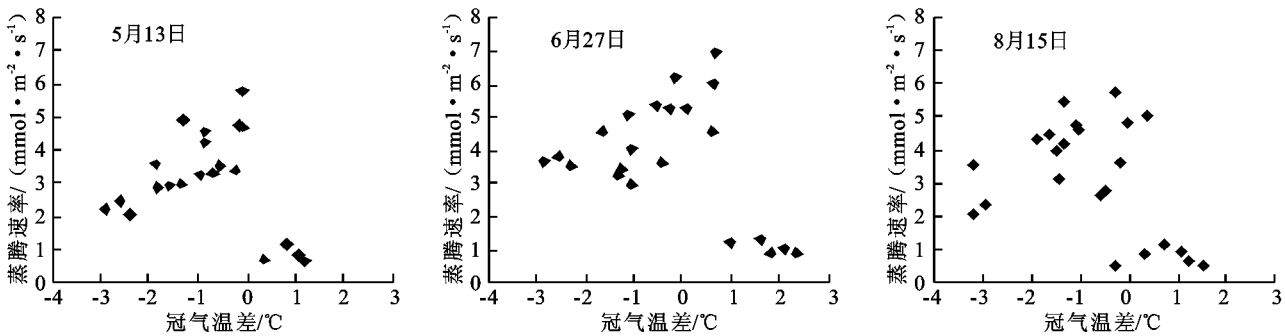


图 3 $T_c - T_a$ 和 T_r 的关系

图 3 表明,随冠气温差 $T_c - T_a$ 的增加,蒸腾速率 T_r 表现出先增加后减小的变化规律。 $T_c - T_a$ 较小时,随 $T_c - T_a$ 增大 T_r 呈上升趋势,而当 $T_c - T_a > 0$ 以后,随 $T_c - T_a$ 增大 T_r 不再增加,甚至出现一定的下降趋势。原因在于 $T_c - T_a$ 较小的阶段,植株水分充足,此时随冠层温度的升高, $T_c - T_a$ 增加,蒸腾能力增强, T_r 呈上升趋势, $T_c - T_a > 0$ 以后,植株水分亏缺,气孔导度下降到一定的范围,气孔阻力增大,蒸腾减小,出现了 T_r 下降的趋势,以保证作物正常生长。

3 结 论

- (1) 不同水分处理条件下,全生育期内,冠气温差和蒸腾速率变化规律基本一致;各典型日冠气温差和蒸腾速率的日变化趋势也较一致,基本呈现“M”型。
- (2) 灌水下限较高时,冠气温差基本呈负值且日变化和蒸腾速率较一致;当灌水下限较低时,冠气温差基本呈正值,此时蒸腾速率较小且日变化幅度较平缓。
- (3) 冠气温差较小时,随冠气温差增大蒸腾速率呈上升趋势,而当冠气温差大于 0 以后,随冠气温差增大蒸腾速率不再增加,甚至出现一定的下降趋势。

一个信号,冠气温差也成为判别作物水分状况的重要手段之一。

2.3 冠气温差和蒸腾速率的关系

冠层温度反映了作物冠层的能量平衡状况,而作物的蒸腾是作物可供能量耗散的一个主要途径。由以上分析可知,冠气温差和蒸腾速率的日变化趋势基本一致,它们都与天气状况有关,均受大气温度、太阳辐射强度、空气饱和差等因素影响。现对各个生育期典型日内两者的关系进行分析,如图 3 所示。

本研究是在陕西杨凌半湿润易旱地区的试验条件下进行的,由于试验结果的地区性以及试验期限较短,造成试验基础的薄弱以及局限性。本试验的结果仅为一个初步的探讨,研究工作还应在更多不同的气候区对连续几年的参考作物进行补充试验研究,以求得到更精确的试验结果。

参考文献:

- [1] 程旺大,姚海根,赵国平,等.冠层温度在作物水分状况探测中的应用[J].中国农学通报,2000,16(5):42-44.
- [2] 高鹭,陈素英,胡春胜.喷灌条件下冬小麦冠层温度的试验研究[J].干旱地区农业研究,2005,23(2):1-5.
- [3] 莫兴国,刘苏峡,林忠辉.华北平原玉米田能量平衡、水分利用效率和表面阻力分析[J].应用生态学报,2002,13(5):551-554.
- [4] Jackson R D, Idso S B, Reginato R J, et al. Crop temperature reveals stress[J]. Crop Soil, 1977, 29:10-13.
- [5] 康绍忠,刘晓明,熊运章.土壤-植物-大气连续体水分传输理论及其应用[M].北京:水利电力出版社,1994.
- [6] 蔡焕杰,张振华,柴红敏.冠层温度定量诊断覆膜作物水分状况试验研究[J].灌溉排水,2001,20(1):1-4.
- [7] 彭世彰,丁加丽,徐俊增,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,2006,37(12):1503-1508.