

用冠气温差指导冬小麦灌溉的指标研究*

张喜英 裴冬 陈素英

(中国科学院石家庄农业现代化研究所 石家庄 050021)

摘要 对6个不同灌水处理的冬小麦测定其冠气温差,计算水分胁迫指数,并建立水分胁迫指数与冬小麦产量之间的关系结果表明,冠气温差与土壤含水量有良好的相关关系,冠气温差由正值变为负值相对应的1m土层土壤含水量为田间持水量的60%左右,可作为灌水的下限指标。对充分供水的冬小麦,中午时段随大气饱和水汽压差的增加,冠气温差的负值越大,具有良好的线性关系。据此建立了充分供水条件下冠气温差与饱和水汽压差的关系方程,作为基线方程,计算不同灌水处理的冬小麦旺盛生长期水分胁迫指数(CWSI)。水分胁迫指数与最终作物经济产量的关系是一非线性关系,随水分胁迫指数的减少而产量增加,但当水分胁迫指数减少到一定程度时产量达到最大,这时水分胁迫指数若再减少,产量反而降低。结果显示平均水分胁迫指数在0.1~0.2左右,是冬小麦最优产量所允许的水分供应状态。

关键词 冠气温差 水分胁迫指数 冬小麦

Use of crop water stress index as indicators for scheduling irrigation in winter wheat. ZHANG Xi-Ying, PEI Dong, CHEN Su-Ying (Shijiazhuang Institute of Agricultural Modernization, Chinese Academy of Sciences, Shijiazhuang 050021), *CJEA*, 2002, 10(2): 102~105

Abstract Canopy-ambient air temperature differences ($T_c - T_a$) for six irrigation treatments of winter wheat were monitored during booting to grain filling period at Luancheng Station from 2000 to 2001 season. The results showed that the midday $T_c - T_a$ was closely related to soil moisture condition. Soil moisture at 60% of field capacity for the 1m soil profile of winter wheat corresponded with the changing of $T_c - T_a$ from positive to negative. For a non-water-stressed treatment, $T_c - T_a$ was negatively related to the atmospheric vapor pressure difference (VPD). A baseline equation of $T_c - T_a$ with VPD was established to calculate the $T_c - T_a$ under non-water-stressed condition for the purpose of calculation of crop water stress index (CWSI). The relation of average CWSI with grain yield was non-linear. With the decrease in CWSI, grain yield increased. When CWSI was at about 0.1~0.2, the grain yield of winter wheat reached the optimum. Thus, the average CWSI at 0.1~0.2 might be taken as the indicator for irrigation scheduling of winter wheat.

Key words Canopy-ambient air temperature difference, Crop water stress index (CWSI), Winter wheat

根据作物自身对水分的需求特点,建立作物供水制度可达到节水、增产和提高水分利用效率的目的,作物水分状态的准确测定是建立这种有效灌溉制度的基础,因此准确确定作物的水分状态尤为重要。近年来一些专家学者从不同方面研究作物缺水状况的评价方法,从而制定相应的灌水指标^[1]。国内外对能够反应作物水分状况的因素进行了较多的研究,其中多用叶水势和冠层温度作参数计算作物水分胁迫指数^[5,8],并进一步用于自动控制灌溉系统中^[2]。作物冠层温度是由土壤-植物-大气连续体内的热量和水汽通量所决定,当供水状况不能满足植物蒸腾需水要求时,蒸腾速率降低,植物体温度升高。20世纪以来已尝试很多方法测定植物体温度,早先的研究工作忽略了大气环境的影响,并只局限于测定单片叶子的温度。随着红外测温技术的发展,可以测量植物群体温度,并能考虑到周围环境温度的影响,使用植物体本身的温度反应其水分状况成为可能。特别是随着便携式红外测温仪的出现,可快速简便测定植物体和土壤温度。Idso S. B.等在1981年提出一个经验关系式用以计算“非水分亏缺基线”^[4],这个基线代表作物在潜在蒸腾速率时下限温度;与此相对应,需要计算一个当作物处于完全水分胁迫即蒸腾为零时上限温度,据此计算水分胁迫指数(CWSI)。为此,研究了建立冬小麦产量与用冠气温差计算的水分胁迫指数关系,并提出用于指导冬小麦灌溉的指标。

* 中国科学院知识创新项目“华北平原精准种植技术体系集成与示范”(KZCX2-404-3)资助

收稿日期:2001-08-15 改回日期:2001-10-31

1 试验材料与与方法

试验于2000~2001年冬小麦生长期在中国科学院栾城农业生态系统试验站水分试验场进行,供试冬小麦品种为当地大田普遍采用的“4185”,从不灌水到灌5水,冬小麦分6个灌水处理,每个处理4次重复,每小区面积40m²,小区之间设有2m保护行以减少相互影响。不同灌水处理灌水时间如表1所示,灌水用地下管道加塑料软管输送到田间,水表计量,每次灌水量60mm。其他农田管理措施如施肥、播种、耕作均一致。每小区安装中子仪管至2m深,用IH-II型中子仪定期测定不同层次土壤含水量。2000~2001年冬小麦生长期降水量为85.8mm,且降水主要集中在前期,后期降水稀少,特别是5月份出现少见的高温天气影响了冬小麦灌浆,致使所有处理千粒重比常年偏低。小麦成熟时人工收割与脱粒,风干后测定籽粒产量,并进行考种分析。冠层温度用Tasco THI 300型红外测温仪测定,测定时仪器与作物冠层成45°角,在小区4个方位观测。为消除不同小区测定时间差异,进行循环观测,每小区每次观测共取得8个数据(8个数据平均值为1次观测值)。在冬小麦旺盛生长季节(4月下旬至5月中旬)选择晴朗天气进行连续观测,每天测定时间从8:00~18:00,每2h测定1次。同时用试验地点气象观测场自动气象观测仪器记录温、湿、风、辐射数据。作物水分胁迫指数(CWSI)的计算根据Idso S. B.等提出的关系式计算^[4]:

$$CWSI = \frac{(T_c - T_a) - D2}{D1 - D2} \quad (1)$$

式中, T_c 为冠层温度, T_a 为空气温度,一些研究显示^[2,7]可用百叶箱中气温代替冠层上部的气温来计算冠气温差,因为前者测量比后者简便,本研究用百叶箱中温度代替冠层上部的气温。 $D1$ 为冬小麦最大冠气温差,也是 $T_c - T_a$ 的上限值,根据文献资料^[3],一般认为该上限值为2℃。 $D2$ 为 $T_c - T_a$ 的下限值,即充分供水作物冠层温度与气温的差值,可用基线方程来计算^[4]。本文采用实测充分供水处理(灌5水处理)午间14:00的冠气温差与当时饱和水汽压差的关系,建立基线方程,计算 $D2$ 。

表1 冬小麦不同灌水处理灌水次数与时间

Tab.1 The timing and numbers of irrigation for the different treatments of winter wheat

处 理 Treatments	灌水时期 Timing of irrigation				
	越冬前 Before over-wintering	返 青 Recovering	拔节~孕穗 Jointing to Booting	扬 花 Flowering	灌 浆 Milk filling
不灌水(T0)					
灌1水(T1)			√		
灌2水(T2)	√		√		
灌3水(T3)	√		√		√
灌4水(T4)	√		√	√	√
灌5水(T5)	√	√	√	√	√

2 结果与分析

2.1 冬小麦冠气温差变化规律

冬小麦冠层温度的日变化见图1,随着气温的升高,冠层温度不断增加,中午12:00~14:00时达到最大,然后逐渐降低,有明显的日变化过程。并随大气温度的升高而冠层温度不断升高,后期冠层温度大于前期。冠气温差具有明显的日变化规律(见图2),日出以后作物蒸腾速率较小,在阳光照射下作物冠层温度升高,而相比之下百叶箱中空气温度升高较慢,充分灌水和

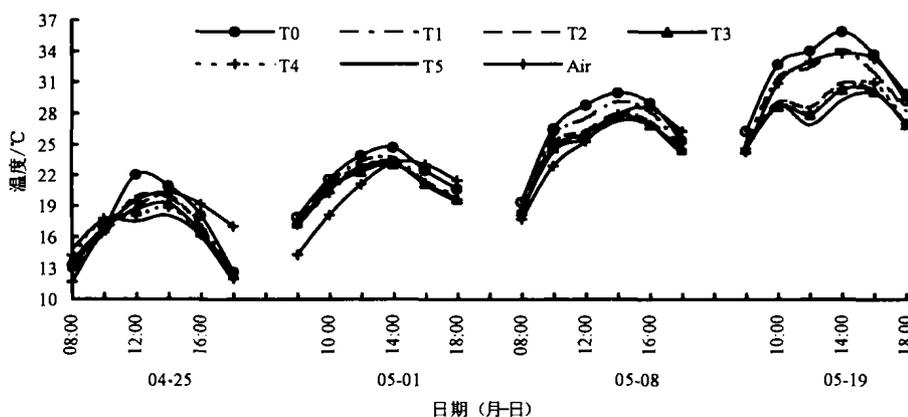


图1 不同灌水处理冬小麦冠气温度日变化及随生育期的变化过程

Fig.1 The diurnal change of canopy temperature for different irrigation treatments at different periods

和不灌水处理的冬小麦冠层温度均大于百叶箱中气温,冠气温差呈现正值,不同灌水处理之间差异不明显。而随辐射强度和饱

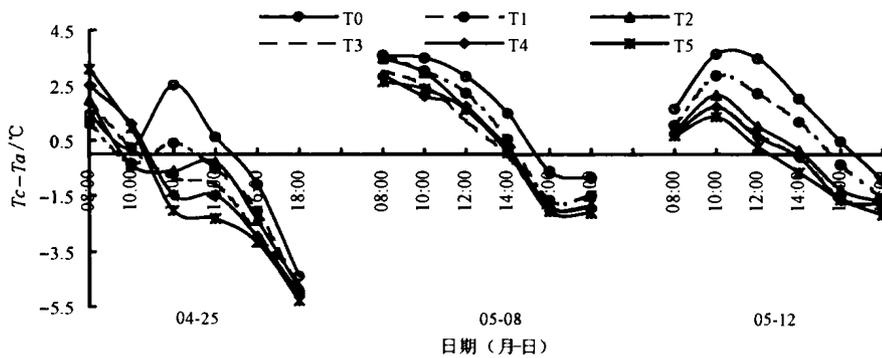


图2 不同灌水处理冬小麦冠气温差日变化过程

Fig. 2 The diurnal change of the difference between canopy temperature and ambient air temperature

12:00~14:00 时段冠气温差反应作物的供水状况最具代表性^[6]。

2.2 冠气温差与土壤含水量的关系

图 3a 和图 3b 是冬小麦旺盛生长期不同灌水处理 14:00 冠气温差及 1m 土层土壤体积分含水量的变化, 随冬小麦耗水量的增加, 不灌水处理冬小麦土壤供水条件越来越差, 由占田间持水量的 55% 降到 42%, 它的冠气温差正值越来越大, 与灌 5 水处理的冠气温差差异也越来越明显。灌 5 水处理的冬小麦其 1m 土层土壤含水量均维持在占田间持水量的 68%~70% 以上, 冠气温差维持在 0℃ 以下的负值。其他处理冠气温差和土壤含水量介于两者之间, 土壤含水量低则冠气温差越偏向于正值, 表明冠气温差可反映作物的供水状况。一些研究认为冠气温差为 0℃ 是作物缺水的界限值^[6,7]。图 3 显示灌 1 水和 不灌水处理冠气温差均为正值, 处于缺水状态; 而灌 2 水处理的冬小麦冠气温差在接近 0℃ 的负值, 用灌 2 水处理的 1m 土层平均体积分含水量 0.21 作为冬小麦灌水的土壤下限指标, 该值相当于占田间持水量的 60%。

2.3 基准冠气温差计算, 作物水分胁迫指数与产量的关系

用式(1)计算 CWSI 时, 需知道充分供水条件下冠气温差, 以此作为基准冠气温差。冠气温差的大小除受土壤供水条件的影响外, 大气蒸散力对冠气温差的大小有明显影响, 因此基准冠气温差随大气蒸腾条件的变化而变化。很多研究表明最能反映大气蒸散力的因素是饱和水汽压差 (VPD)^[3,5,7], 因此用饱和水汽压差计算充分供水条件下冠气温差。灌 5 水处理的冬小麦 14:00 的冠气温差与此饱和水汽压差的关系存在良好线性关系 (见图 4), 因此式(1)中的 D2 可用下式计算:

$$D2 = 1.4234 - 0.001837 VPD \quad (2)$$

式中, D2 为充分供水下的冠气温差 (℃), VPD 为饱和水汽压差 (Pa)。式(2)为基线方程。

用旺盛生长期冬小麦冠气温差计算的水分胁迫指数阶段平均值与最终籽粒产量的关系 (见图 5) 是一种非线性的关系, 开始随水分胁迫指数的降低, 冬小麦产量增加, 水分胁迫指数降到一定程度时冬小麦产量达到最大; 水分胁迫指数再降低, 产量反而降低, 这也说明冬小麦并非供水越多越好, 与其他研究结果一

和水汽压差的增大, 蒸腾强度增高, 叶片因为失水作用, 与百叶箱中气温的增加速度相比, 温度增幅降低, 冠气温差变为负值, 这一负值的大小与蒸腾强度密切相关 (见图 2)。在中午时段不同处理的冠气温差差异显著, 如 4 月 25 日不灌水和灌 1 水处理的冬小麦冠气温差为正, 而其他处理为负。而后随着蒸腾强度的降低, 不同处理间冠气温差的差异逐渐减小, 因此以中午

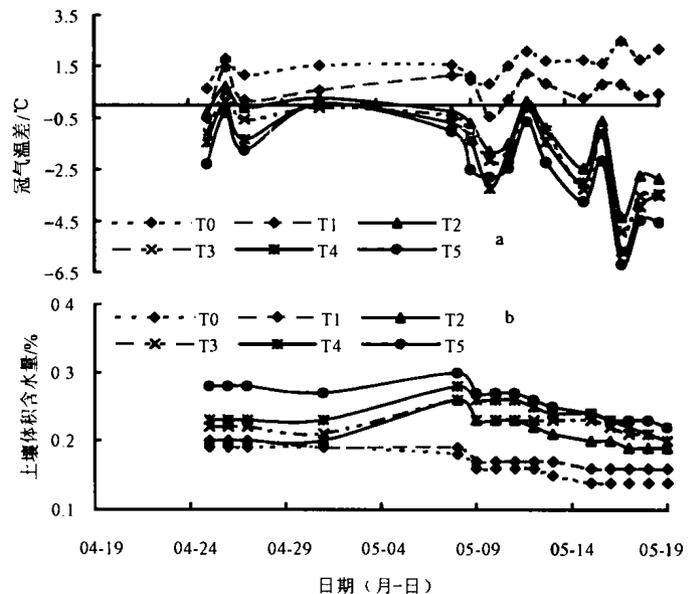


图3 不同灌水处理冬小麦旺盛生长期中午时段冠气温差变化(a)与 1m 土层土壤含水量的变化(b)

Fig. 3 (a) The changes of canopy-air temperature difference for different irrigation treatments. (b) The corresponding soil moisture for 1m profile for different irrigation treatments

致^[9]。由图 5 可知,当水分胁迫指数平均在 0.1~0.2 范围时冬小麦产量最优,因此平均水分胁迫指数在 0.1~0.2 范围为冬小麦优化供水的标准。

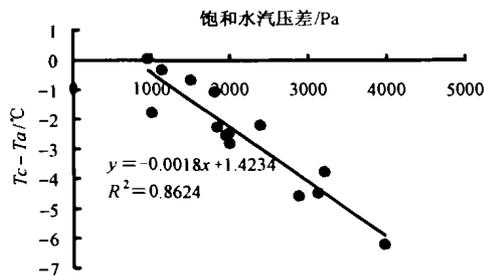


图 4 充分供水条件下冠气温差与饱和水汽压差的关系*

Fig. 4 Non-water-stressed baseline for winter wheat determined by linear regression technique

* 用灌 5 水处理代表充分供水处理。

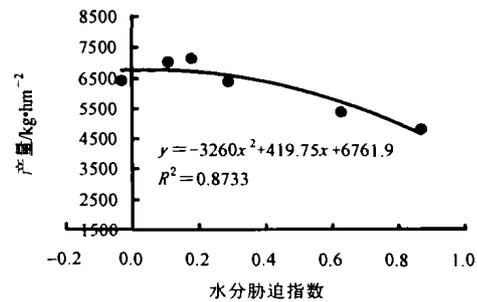


图 5 冬小麦抽穗灌浆期间平均水分胁迫指数与籽粒产量的关系*

Fig. 5 The relation of average CWSI with grain yield of winter wheat

* 图中 y 为产量, x 为水分胁迫指数。

3 小结与讨论

冠气温差和水分胁迫指数可反应作物的水分供应状态,因而可作为指导农田水分管理的指标。水分胁迫指数所需的参数涉及到冠温、大气温度和大气饱和水汽压差的测定,其中大气温度可用百叶箱中气温代替,而饱和水汽压差也可从百叶箱中干湿球读数中得到,冠层温度较难测定,需要红外测温仪。随着遥感技术的发展和运用,使大面积和及时监测农田冠层温度的变化成为可能,这有利于该项技术在农田实际管理中的应用。本文计算基准冠气温差时,仅考虑饱和水汽压差的影响,而忽略了其他大气因素如辐射、风速的影响,有些研究也认为温度对无水分胁迫时的冠气温差基准产生影响,为消除这些因素,可考虑建立包括净辐射和空气动力学阻力因素的水分胁迫指数,但由于这些包含理论基础的方法涉及因素多,不便于实际应用,而本研究采用的经验方法涉及因素只包括测定冠温、气温与饱和水汽压差,简便易行,今后需进一步加强确定基准冠气温差值的可靠性研究。本研究结果是以冬小麦旺盛生长期观测值来决定用于冬小麦优化灌溉的水分胁迫指数值,其代表性有所降低。冬小麦生长期各阶段气候条件差异显著,用整个生育期和不同发育阶段的观测值指示灌溉指标将更准确和可靠。

参 考 文 献

- 1 康绍忠,熊运章. 作物缺水状况的判别方法与灌水指标的研究. 水利学报, 1991 (1): 34~40
- 2 Abraham N., Hema P. S., Saritha E. K. Irrigation automation based on soil electrical conductivity and leaf temperature. *Agricultural Water Management*, 2000, 45: 145~157
- 3 Alderfasi A. A., Nielsen D. C. Use of crop water stress index for monitoring water status and scheduling irrigation in wheat. *Agricultural Water Management*, 2001, 47: 69~75
- 4 Idso S. B., Jackson R. D., Pinter P. J., Reginato R. J., Hatfield J. L. Non-water-stressed baselines: A key to measuring and interpreting plant water stress. *Agric. Forest Meteorol.*, 1981, 27: 59~65
- 5 Jackson R. D., Kustas W. P., Choudhury B. J. A reexamination of the crop water stress index. *Irrigation Science*, 1988, 9: 309~317
- 6 Olufayo A., Baldy B., Ruelle P. Sorghum yield, water use and canopy temperatures under different levels of irrigation. *Agricultural Water Management*, 1996, 30: 77~90
- 7 Sepaskhah A. R., Kashfipour S. M. Relationships between leaf water potential, CWSI, yield and fruit quality of sweet lime under drip irrigation. *Agricultural Water Management*, 1994, 25: 13~22
- 8 Stricevic R., Caki E. Relationship between available soil water and indicators of plant water statuses of sweet sorghum to be applied in irrigation scheduling. *Irrigation Science*, 1997, 18: 17~21
- 9 Wanjura D. F., Hatfield J. L., Upchurch D. R. Crop water stress index relationship with crop productivity. *Irrigation Science*, 1990, 11: 93~99