

喷灌条件下冬小麦灌浆期叶水势 日变化及其影响因子研究

姚素梅^{1,2}, 康跃虎¹, 刘海军¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所陆地水循环及地表过程重点实验室, 北京 100101; 2. 河南科技学院生命科技学院, 河南 新乡 453003)

摘 要: 研究了冬小麦灌浆期叶水势在喷灌和地面灌溉(对照)条件下的日变化规律, 并探讨了其与农田生态因子(冠层空气温度、冠层空气相对湿度)和生理因子(气孔导度、蒸腾速率、细胞间隙 CO_2 浓度和光合速率)之间的关系。结果表明: 与对照相比, 喷灌条件下叶水势日变化曲线的变化趋势没有改变, 但两种灌溉方式下叶水势的大小存在显著差异, 喷灌条件下冬小麦叶水势明显高于地面灌溉, 在一天中 8:00~18:00 期间的不同时刻, 两种灌溉方式下叶水势的差异大小表现为: 在灌浆前期, 喷灌和地面灌溉条件下叶水势的差异以在 8:00 时最大; 在灌浆中期, 差异以 12:00~16:00 期间最大; 在灌浆后期, 两种灌溉方式下一天中各时刻的差异微小, 相对稳定。喷灌条件下冬小麦叶水势日变化的影响因子与地面灌溉条件下相比没有改变: 灌浆前期, 叶水势日变化均主要受生态因子冠层空气相对湿度、冠层空气温度的影响; 灌浆中期, 主要受生态因子冠层空气相对湿度、冠层空气温度和生理因子蒸腾速率的影响; 灌浆后期, 主要受生理因子光合速率的影响。但喷灌条件下各影响因子对叶水势的影响程度较地面灌溉条件下降低, 表明喷灌条件下叶水势对影响因子变化的敏感性降低。

关键词: 喷灌; 地面灌溉; 冬小麦; 叶水势; 生态因子; 生理因子

中图分类号: S512.1*1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)04-0001-06

水势是作物水分状态的基本度量指标, 其变化取决于土壤—植物—大气连续体系 (SPAC) 的许多要求和植物体内各区域反应之间的错综复杂的相互作用。不同作物的水势由于个体差异及外界环境的不同而不同, 在同一个植株体内, 根、茎、叶等各个部位的水势也不同, 在植株各部位的水势中, 叶水势代表作物水分运动的能量水平, 是作物水分状况的直接表现和最佳度量^[1]。植株水分状况的动态变化直接或间接影响营养吸收、光合生产及物质运转和代谢, 从而最终决定产量形成^[2]。叶水势高低与产量关系密切, 且因环境因素而变化, 因此作物的水势不仅是作物生理状态的一个重要参考因子, 而且其变化规律是对外界环境条件变化的综合反映, 它直接体现作物在生长季节各种生理活动受环境条件的制约程度。喷灌作为一种现代的节水灌溉技术, 是调节农田小气候的重要手段之一, 喷灌水滴在空中飞行时, 由于和大气的摩擦以及表面温度的升高, 会在空中蒸发; 水滴进入冠层后, 部分被冠层截留, 产生冠层截留水分蒸发。喷灌水滴蒸发和冠层截留水分蒸发使一部分灌溉水以水汽的形式进入到冠层内外的大气中去, 改变冠层附近的温湿度条件, 在干热低湿条件下, 可以降低空气温度、增加空气湿度, 改善

作物的生长环境^[3,4]。喷灌以类似于降雨的方式湿润土壤, 补充作物所需要的水分, 喷灌条件下土壤水分空间分布特征与传统的地面灌溉相比具有明显差异^[5,6]。喷灌条件下农田小气候的改变和土壤水分的时空变异调节了作物的生长环境, 必将影响作物的水分生理, 进而影响作物的生长过程。本研究以冬小麦为对象, 通过设置喷灌和地面灌溉的对比试验, 分析喷灌对叶片水分生理活动的基础——叶水势的影响, 认识喷灌条件下作物水分生理的变化规律及其与影响因子的关系, 进而揭示喷灌条件下影响作物生长发育过程的水分生理机制。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验在中国科学院地理科学与资源研究所农田水循环与现代节水灌溉试验基地进行。该试验基地位于北京市通州区永乐店镇(北纬 $37^{\circ}36'$, 东经 $114^{\circ}41'$, 海拔 20 m), 该地区属暖温带大陆性半湿润季风气候, 年平均日照时数 2 459 h, 年平均气温 11.3°C , 多年平均降水量 620 mm。土壤为砂壤质潮土。

于 2003~2004 年冬小麦生长季采用大区试验, 设置喷灌处理和地面灌溉(对照)处理。喷灌试验区

收稿日期: 2008-05-08

基金项目: 国家自然科学基金(50679077); 中国科学院知识创新工程重要方向性项目(KSCX2-YW-N-003); 中国科学院百人计划

作者简介: 姚素梅(1974—), 女, 河南柘城人, 在站博士后, 副教授, 主要从事农业水资源高效利用研究。

通讯作者: 康跃虎, 研究员, 博士生导师, 主要从事农田水循环与现代节水灌溉技术研究。

的面积为 $240\text{ m} \times 208\text{ m}$, 采用管道式喷灌, 每条支管上安装 12 个摇臂式喷头, 喷嘴流量为 $3\text{ m}^3/\text{h}$, 射程为 18 m , 喷头选择 $18\text{ m} \times 18\text{ m}$ 的正方形布置。对照地面灌试验区的面积为 $215\text{ m} \times 139\text{ m}$, 采用低压管道输水小畦灌, 畦宽 5 m , 长约 70 m 。喷灌试验田灌溉时间和灌溉水量主要根据土壤的水势(用负压计测定)决定, 当表层 $0 \sim 40\text{ cm}$ 内的土壤水势降低到 -45 kPa 时进行灌溉。地面灌的灌溉时间根据田间的土壤含水量和冬小麦的长势决定, 灌溉水量通过泵房内的水表读数得到。除灌水处理外, 喷灌和地面畦灌试验区的施肥等其它田间管理措施保持一致。供试冬小麦品种为中优 9507, 于 2003 年 10 月 25 日播种, 2004 年 6 月 15 日收获。试验处理期间(2004 年 4 月 8 日 ~ 2004 年 6 月 15 日)累积降雨量为 89.7 mm 。喷灌和地面灌溉的灌水时间和灌水量见表 1, 喷灌试验田灌水 3 次, 总灌溉水量为 150.5 mm ; 地面灌溉试验田灌水 2 次, 总灌溉水量为 161.0 mm 。

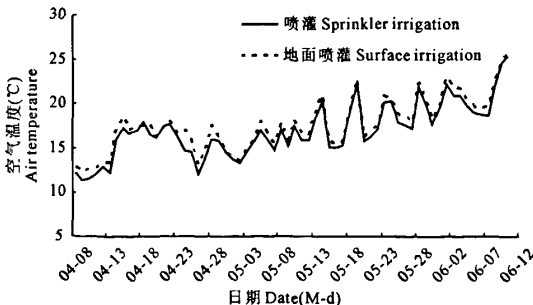
表 1 喷灌和地面灌溉条件下冬小麦的灌水时间和灌溉水量

Table 1 The irrigation date and amount under sprinkler and surface irrigation conditions

灌溉方式 Irrigation method	灌溉时间 Irrigation date(Y - M - d)	灌溉水量 Irrigation amount(mm)
喷灌 Sprinkler irrigation	2004 - 04 - 08	49.0
	2004 - 04 - 24	50.0
	2004 - 05 - 22	51.5
地面灌溉(CK) Surface irrigation	2004 - 04 - 08	89.7
	2004 - 05 - 22	71.3

1.2 观测方法

1.2.1 叶水势 选择晴朗天气, 观测冬小麦旗叶的叶水势在灌浆期(分为灌浆前期、中期、后期)的日变化。采用折光仪法测定^[7], 于观测日的 8:00 ~ 18:00 进行, 每隔 2 h 测定 1 次。



1.2.2 冠层温湿度和土壤基质势 冠层温度和冠层相对湿度通过安装在喷灌和地面灌溉农田中央的农田小气候观测系统自动采集, 采集频率为每 1 h 一次。土壤基质势通过埋设于喷灌和地面灌溉农田中的负压计读数换算得到, 负压计于每天早晨 8:00 读数测定。

1.2.3 光合速率等影响叶水势的生理因子 在进行水势观测的同时, 采用 Licor - 6400 光合作仪, 于 8:00 ~ 18:00 进行, 分别测定净光合速率 $[P_n, \mu\text{mol CO}_2/(\text{m}^2 \cdot \text{s})]$ 、蒸腾速率 $[Tr, \text{mmol H}_2\text{O}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})]$ 、胞间 CO_2 浓度 $[Ci, \mu\text{mol CO}_2/\text{mol Air}]$ 、气孔导度 $[Gs, \text{mol H}_2\text{O}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})]$ 等。各处理均随机选取具代表性植株的 10 片旗叶, 每个样叶记录数据 3 次。

1.3 统计分析方法

数据处理采用 SAS 统计软件包, 回归分析采用 REG 过程中的 stepwise 方法, 相关分析采用 CORR 过程^[8]。

2 结果与分析

2.1 喷灌对冬小麦生长环境的影响

2.1.1 喷灌对冠层温度和相对湿度的影响 图 1 描述了试验处理期间喷灌和地面灌溉条件下冬小麦冠层日平均温度(从早晨 8:00 ~ 次日 8:00)和冠层日平均相对湿度(从早晨 8:00 ~ 次日 8:00)的变化过程。从图中可以看出, 喷灌条件下冬小麦冠层日平均温度低于地面灌溉条件下, 试验处理期间, 喷灌条件下冠层日平均温度最大降低 2.27°C , 平均降低 0.54°C ; 喷灌条件下冠层日平均相对湿度高于地面灌溉条件下, 试验处理期间, 喷灌条件下冠层日平均相对湿度最大升高 5.14% , 平均升高 1.35% 。同时喷灌对冠层日平均温度和平均相对湿度的这种影响不仅仅表现在喷灌过程中, 而且在整个喷灌生育时期长时间持续存在。

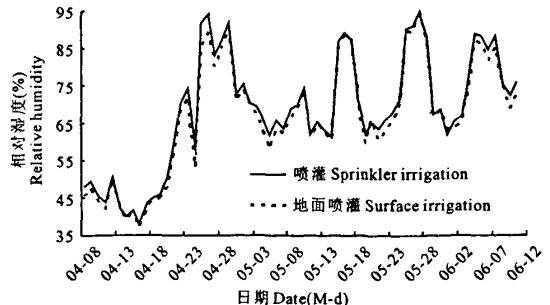


图 1 喷灌和地面灌溉条件下冬小麦冠层日平均空气温度和相对湿度的变化

Fig.1 Changes of average air temperature and relative humidity near plant canopy during middle grain-filling stage under sprinkler and surface irrigation conditions

2.1.2 喷灌对土壤基质势的影响 图2描述了试验处理期间喷灌和地面灌溉条件下0~40 cm冬小麦主要根系分布层土壤基质势的变化过程。从图中可以看出,返青至拔节期,喷灌条件下0~40 cm土壤基质势低于地面灌溉条件下,平均低-3.51 kPa,这是由于在这个阶段,喷灌和地面灌溉农田虽然均进行了一次灌水,但由于地面灌溉灌水量大,而且该阶段植株营养体小耗水量较小的缘故;拔节至灌浆初期,喷灌条件下0~40 cm土壤基质势明显高于地面灌溉条件下,平均高-8.71 kPa,这是由于在这个阶段,喷灌农田进行了灌水,而地面灌溉没有灌水的缘故;在灌浆中后期,喷灌和地面灌溉0~40 cm土壤基质势没有显著差异,喷灌和地面灌溉农田虽然在这个阶段均进行了一次灌水,但由于灌浆中后期植株耗水量较大,且多余的水分会在重力作用下向下运动造成深层渗漏,所以虽然地面灌溉的灌溉定额较大,但并没有将土壤基质势保持在相对很高的水平。因此,从总体上看,喷灌由于灌水量较小,灌水周期短,协调了水分在冬小麦不同生育时期的分布;而地面灌溉灌水量较大,灌水周期较长,冬小麦生育后期的部分阶段会受到水分的胁迫,使这些阶段的土壤水分不能满足冬小麦生长的需求。

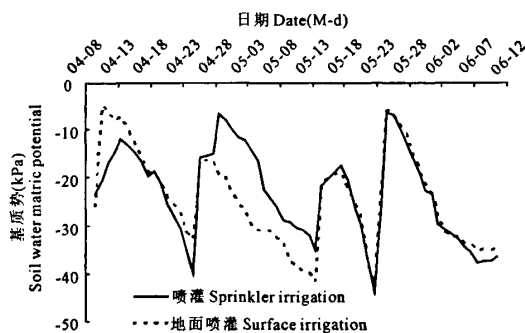


图2 喷灌和地面灌溉条件下冬小麦田
0~40 cm土壤基质势的变化

Fig.2 Soil water matric potential within 0~40 cm depth
under sprinkler and surface irrigation conditions

2.2 喷灌条件下冬小麦灌浆期叶水势的日变化

考虑不同生育阶段的影响,将冬小麦灌浆期分为灌浆前期、灌浆中期和灌浆后期3个阶段,每个阶段选取具有代表性的2个典型晴日进行日变化规律分析。

图3为灌浆期内典型晴日的冬小麦叶水势日变化曲线。图3表明在灌浆期的3个阶段喷灌和地面灌溉条件下叶水势日变化曲线的变化趋势相似:在灌浆前期,两种灌溉方式下叶水势日变化均表现为

早晨和傍晚高、午间低的近“V”型曲线,早晨8:00左右叶水势最高,上午随着气温的升高,空气相对湿度逐渐下降,叶水势下降,至14:00左右降到最低值。此后随着气温降低,大气蒸发势减小,叶水势逐渐回升;在灌浆中期,叶水势日变化均表现为早晨和傍晚高、午间变化非常平缓的近“U”型曲线,早晨8:00左右叶水势最高,上午随着气温的升高,叶水势下降,12:00~16:00期间变化比较平缓,14:00~16:00左右降到最低值。16:00以后气温降低,空气相对湿度回升,水势也慢慢升高;在灌浆后期,叶水势日变化均表现为早晨至午前下降迅速、午后变化一直平缓的偏“L”型曲线,早晨8:00左右叶水势最高,此后叶水势迅速下降,至12:00左右降到最低值,此后叶水势变幅很小。处理间的比较表明:在灌浆的前、中、后期,喷灌条件下冬小麦叶水势均明显高于地面灌溉,但在一天中8:00~18:00期间的不同时刻,两种灌溉方式下叶水势的差异大小表现为:在灌浆前期,喷灌和地面灌溉条件下叶水势在一天中各时刻的差异以在8:00时最大,在测定日5月7日和5月12日,分别相差0.18 MPa和0.15 MPa,这可能是由于在这个阶段,喷灌和地面灌溉农田土壤的基质势差异非常显著,而早晨的叶片水势可更好地反映土壤的供水能力,所以二者叶水势在8:00时差异最大;在灌浆中期,喷灌和地面灌溉条件下叶水势在一天中各时刻的差异以中午12:00~16:00期间最大,这可能是由于在这个阶段,0~40 cm土壤基质势在喷灌和地面灌溉田间虽然没有明显差异,但由于灌浆中期处于第三个喷灌周期的初始阶段(5月22日进行了喷灌处理),喷灌和地面灌溉条件下的气象因子差异显著,在高温低湿的午间,喷灌通过气象因素对叶水势调控作用最强,所以二者叶水势在中午12:00~16:00时差异最大;在灌浆后期,喷灌和地面灌溉条件下叶水势在一天中各时刻的差异变化微小,相对稳定,这可能是由于在这个阶段,0~40 cm土壤基质势和农田气象因子条件在喷灌和地面灌溉之间的差异都已非常微小,而随着生育进程的推进,叶肉细胞的活性下降,叶片逐渐失水,衰老物质含量快速升高,外界环境因素对叶水势的影响逐渐减弱,作物自身的生理机能逐渐对叶水势的影响起主导作用,所以二者叶水势在一天中各时刻的差异相对稳定。

2.3 喷灌条件下影响冬小麦叶水势日变化的因素分析

叶水势是一个非常复杂的水分生理指标,受土壤供水能力、农田生态因子和作物内部生理因子的

综合影响^[9]。但土壤供水能力具有在短时期内变化不太明显的特征,一天中的日变化非常微小,可看作是稳定的。因此本文只分析了冬小麦叶水势日变

化与农田生态因子(冠层空气温度,冠层空气相对湿度)和作物生理因子(气孔导度、蒸腾速率、细胞间隙 CO_2 浓度和光合速率)之间的关系。

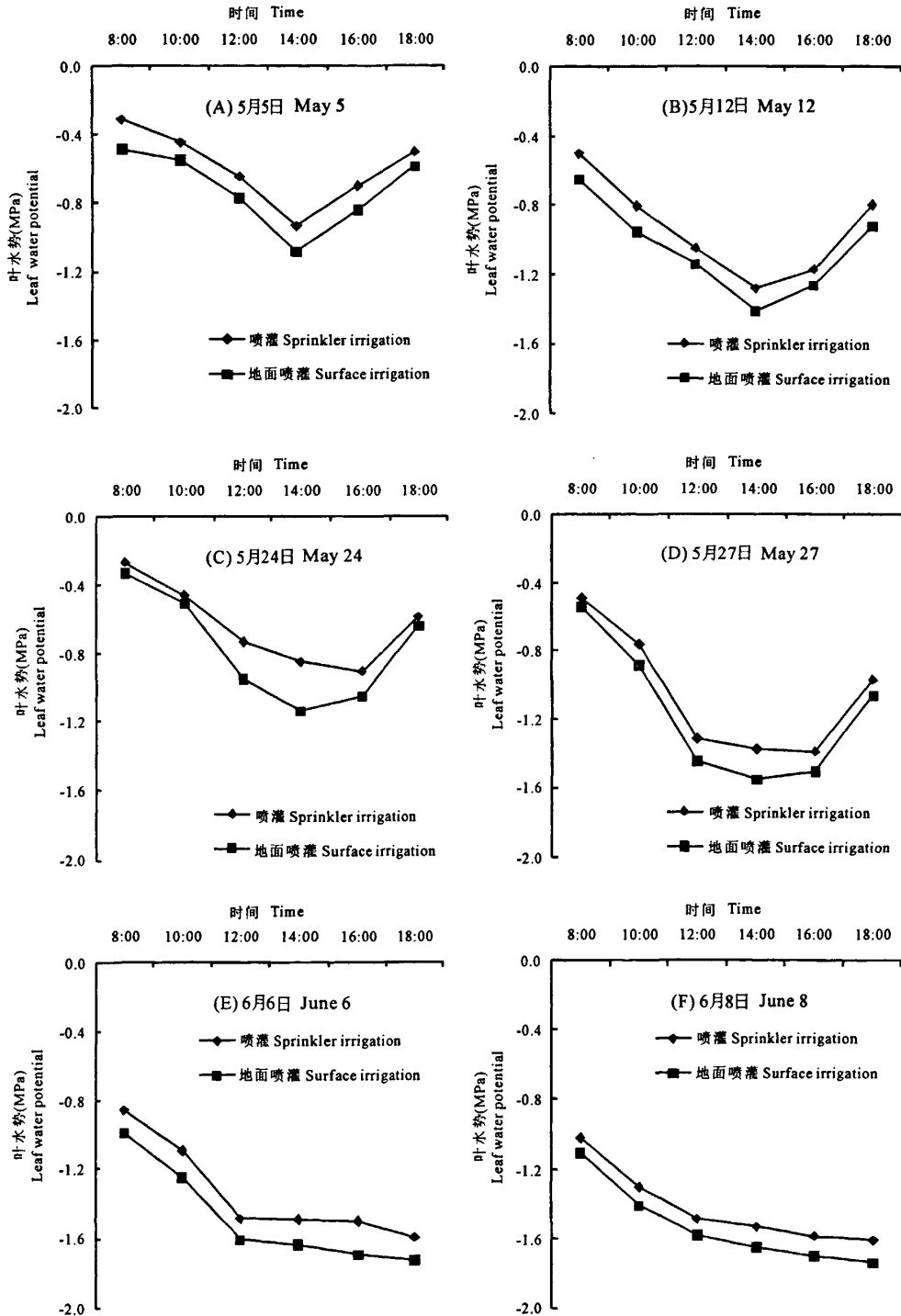


图 3 喷灌和地面灌溉条件下冬小麦灌浆前期(图 A、B)、中期(图 C、D)、后期(图 E、F)叶水势日变化

Fig.3 Diurnal changes of leaf water potential during early, middle and later grain filling stage under sprinkler and surface irrigation conditions

在各因子相互作用、相互影响的条件下,利用简单相关分析因子之间的关系,一个因子的作用往往会被另外因子的作用所掩盖或放大,导致假相关或不相关。为了更准确地分析多个因子对叶水势影响的综合关系,利用生长季所测定的冬小麦叶水势日变化及其影响因子日变化的数据,以 Y 表示叶水势,对冠层空气温度 $T(X_1)$ 、冠层空气相对湿度 $RH(X_2)$ 、气孔导度 $G_s(X_3)$ 、蒸腾速率 $Tr(X_4)$ 、细胞间隙 CO_2 浓度 $Ci(X_5)$ 和光合速率 $Pn(X_6)$ 进行多元线性逐步回归分析,通过逐步引入一剔除法(Stepwise)对变量进行引入和剔除,用变量 F 显著性概率作为

评判标准检验,评判进入值的标准值为 0.05,评判剔除值的标准值为 0.10,得到叶水势日变化与生态因子和生理因子日变化之间的逐步回归方程。此外,叶水势日变化与对应的生态因子和生理因子日变化的相关程度,可以用偏相关系数表示,偏相关系数表示在排除了其它变量影响后,即其它因子假定处在正常的暂时不变动的情况下,某一因子与叶水势之间的相关程度。因此可以按偏相关系数的大小对影响因子进行排序,用以表示各因子对叶水势的影响程度。逐步回归和偏相关分析的结果见表 2。

表 2 叶水势与其影响因子的多元逐步回归和偏相关分析

Table 2 Multiple linear regression and partial correlation coefficients between leaf water potential and its influence factors

生育时期 Growth stage	灌溉方式 Irrigation methods	多元回归方程 Multiple linear regression equation	复相关系数 Multiple correlation coefficients	偏相关系数 Partial correlation coefficients
灌浆前期 Early grain filling stage	喷灌 Sprinkler irrigation	$Y = -0.7140 - 0.0458x_1 + 2.1193x_2$	0.9829	$R_1 = -0.8530, R_2 = 0.9195$
	地面灌溉 Surface irrigation	$Y = -0.7312 - 0.0489x_1 + 2.3087x_2$	0.9926	$R_1 = -0.8834, R_2 = 0.9376$
灌浆中期 Middle grain filling stage	喷灌 Sprinkler irrigation	$Y = -0.7003 - 0.0388x_1 + 1.7659x_2 - 0.0104x_4$	0.9940	$R_1 = 0.8651, R_2 = -0.8973, R_4 = -0.7137$
	地面灌溉 Surface irrigation	$Y = -0.7109 - 0.0432x_1 + 2.1413x_2 - 0.0120x_4$	0.9835	$R_1 = 0.8842, R_2 = -0.9109, R_4 = -0.7461$
灌浆后期 Late grain filling stage	喷灌 Sprinkler irrigation	$Y = -1.4810 + 0.0237x_6$	0.9781	$R_6 = 0.9125$
	地面灌溉 Surface irrigation	$Y = -1.7509 + 0.0387x_6$	0.9834	$R_6 = 0.9456$

从表 2 可以看出,不同灌浆时期和不同灌溉方式下,叶水势与其 6 个影响因子之间的复相关系数都比较高,在 0.9781 ~ 0.9940 之间,说明叶水势有 97.81% ~ 99.40% 可由 T 、 RH 、 G_s 、 Tr 、 Ci 和 Pn 这 6 个参数的变异决定。在灌浆前期,从逐步回归方程可以看出,喷灌和地面灌溉条件下的叶水势日变化均主要受生态因子冠层空气温度、冠层空气相对湿度的影响;由偏相关系数可知,冠层空气相对湿度对叶水势的影响最大,冠层空气温度次之;从处理间各因子所对应的回归系数的大小可知,与地面灌溉条件相比,喷灌条件下叶水势受 T 和 RH 的影响程度相对减小,这可能是由于喷灌条件下农田小气候改善后,农田生态因子对叶水势的限制作用减弱的结果。同理,按照上述比较方法,在灌浆中期,喷灌和地面灌溉条件下的叶水势日变化均主要受生态因子冠层空气温度、冠层空气相对湿度和生理因子蒸腾速率的影响,其对叶水势的影响顺序为:冠层空气相对湿度 > 冠层空气温度 > 蒸腾速率,喷灌条件下叶水势受 RH 、 T 、 Tr 的影响程度较地面灌溉条件下减小。在灌浆后期,喷灌和地面灌溉条件下的叶水势

均主要受生理因子光合速率的影响,喷灌条件下叶水势受 Pn 的影响程度较地面灌溉条件下减小。综上所述,在灌浆期,喷灌和地面灌溉条件下影响叶水势的因素没有改变,但与地面灌溉条件下相比,喷灌条件下各影响因子对叶水势的影响程度降低,表明喷灌条件下叶水势对影响因子变化的敏感性降低,这可能是喷灌条件下农田小气候改善和作物自身生理机能提高的缘故。

3 结 论

1) 喷灌对冬小麦生长环境的调节表现为:农田气象生态因子方面,与地面灌溉条件下相比,喷灌可明显降低冠层附近的温度,增加冠层附近的相对湿度;土壤供水能力方面,与地面灌溉条件下相比,喷灌灌水量小,灌水周期短,协调了水分在不同生育时期的分布。

2) 灌浆期喷灌和地面灌溉条件下叶水势日变化的趋势基本一致:在灌浆前期,两种灌溉方式下叶水势日变化均表现为早晨和傍晚高、午间低的近“V”型曲线;在灌浆中期,叶水势日变化均表现为早

晨和傍晚高、午间变化非常平缓的近“U”型曲线;在灌浆后期,叶水势日变化均表现为早晨至午前下降迅速、午后变化一直平缓的偏“L”型曲线。但两种灌溉方式下叶水势的大小有显著差异:灌浆期喷灌条件下冬小麦叶水势均明显高于地面灌溉,在一天中 8:00~18:00 期间的不同时刻,两种灌溉方式下叶水势的差异程度不同。在灌浆前期,喷灌和地面灌溉条件下叶水势在一天中各时刻的差异以在 8:00 时最大;在灌浆中期,差异以中午 12:00~16:00 期间最大;在灌浆后期,在一天中各时刻的差异微小,相对稳定。

3) 与对照地面灌溉条件下相比,灌浆期喷灌条件下冬小麦叶水势日变化的影响因素没有改变:灌浆前期,叶水势日变化均主要受生态因子冠层温度、冠层相对湿度的影响;灌浆中期,叶水势日变化均主要受生态因子冠层温度、冠层湿度和生理因子蒸腾速率的影响;灌浆后期,叶水势日变化均主要受生理因子光合速率的影响。但与地面灌溉条件下相比,喷灌条件下各影响因子对叶水势的影响程度降低,表明喷

灌条件下叶水势对影响因子变化的敏感性降低。

参考文献:

- [1] 张喜英. 叶水势反映冬小麦和夏玉米水分亏缺程度的试验[J]. 植物生理学通讯, 1997, 33(4): 249—253.
- [2] 张建国, 李吉跃, 沈国防. 树木耐旱特性及其机理研究[M]. 北京: 中国林业出版社, 2000.
- [3] 刘海军, 康跃虎, 刘士平. 喷灌对冬小麦生长环境的调节及其对水分利用效率影响的研究[J]. 农业工程学报, 2003, 19(6): 46—51.
- [4] 杜尧东, 王 建, 刘作新, 等. 春小麦田喷灌的水量分布及小气候效应[J]. 应用生态学报, 2001, 12(3): 398—400.
- [5] 孙泽强, 康跃虎, 刘海军. 喷灌冬小麦农田土壤水分分布特征及水量平衡[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(1): 100—107.
- [6] 官 飞, 陈 卓, 杨晓光, 等. 喷灌对冬小麦水分利用的影响[J]. 中国农业大学学报, 2001, 6(5): 30—34.
- [7] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [8] 惠大丰, 姜长鉴. 统计分析系统 SAS 软件实用教程[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1996.
- [9] 胡守忠, 乔冬梅, 史海滨. 盐渍化地区油料向日葵叶水势动态模型的建立[J]. 节水灌溉, 2006, (5): 22—25.

Diurnal change and influencing factors of winter wheat's leaf water potential during grain filling stage under sprinkler irrigation condition

YAO Su-mei^{1,2}, KANG Yao-hu¹, LIU Hai-jun¹

(1. Key Laboratory of Water Cycle and Related Land Surface Processes, Institute of Geographical Sciences and Natural Resources, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

2. School of Life Science and Technology, He'nan Institute of Science and Technology, Xinxiang, He'nan 453003, China)

Abstract: Using Zhongyou 9507 as experiment material, the diurnal change of leaf water potential of winter wheat during grain filling stage under sprinkler irrigation and surface irrigation conditions was studied, and the relationships between leaf water potential and ecological factors (including canopy air temperature, relative humidity), physiological factors (including stomatic conductance, the transpiration rate, intercellular CO₂ concentration, and the photosynthesis rate) were analyzed. The results were as follows: Compared with that under surface irrigation condition, the variability pattern of diurnal curve of leaf water potential under sprinkler irrigation condition was not significantly changed. However, the values of leaf water potential were remarkably higher under sprinkler irrigation than those under surface irrigation condition. In the early and middle grain filling stage, the highest difference of leaf water potential during 8:00~18:00 between sprinkler irrigation and surface irrigation conditions appeared on 8:00 and 12:00~16:00, respectively, while in the late grain filling stage, the differences during 8:00~18:00 were not significant. Compared with those under surface irrigation condition, the major influencing factors of winter wheat's leaf water potential under sprinkler irrigation condition were not changed. Stepwise analysis showed that canopy air temperature, relative humidity were the primary influencing factors for the leaf water potential during early grain filling stage, and canopy air temperature, relative humidity, the transpiration rate were the primary influencing factors during middle grain filling stage, while the photosynthesis rate were the primary influencing factor during late grain filling stage. The primary influencing factors' impacting degree for the leaf water potential declined under sprinkler irrigation compared with surface irrigation, which indicated that the sensitivity of the leaf water potential to the variation of the primary influencing factors decreased.

Key words: sprinkler irrigation; surface irrigation; leaf water potential; ecological factor; physiological factor