

喷灌条件下冬小麦田棵间蒸发的试验研究

高 鹭^{1,2}, 胡春胜³, 陈素英³, 张利飞⁴

(1 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2 中国科学院研究生院, 北京 100039;
3 中国科学院遗传与发育生物学研究所, 石家庄 050021; 4 中国农科院研究生院, 北京 100081)

摘 要: 利用微型蒸渗仪研究了喷灌条件下冬小麦生长期间的土壤棵间蒸发过程, 分析了 3 个不同灌溉量下的棵间蒸发占蒸散的比例及其随叶面积指数和表层土壤含水量的变化关系, 灌溉后土壤蒸发的变化过程。通过对试验过程和实测数据的分析, 总结了在喷灌条件下土壤棵间蒸发的规律, 为制定喷灌的灌溉制度提供理论依据。

关键词: 喷灌; 冬小麦; 棵间蒸发

中图分类号: S275.5; S512.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2005)12-0183-03

高 鹭, 胡春胜, 陈素英, 等. 喷灌条件下冬小麦田棵间蒸发的试验研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(12): 183-185

Gao Lu, Hu Chunsheng, Chen Suying, et al. Experimental study on soil evaporation in winter wheat field under sprinkling irrigation condition[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(12): 183-185. (in Chinese with English abstract)

0 引言

冬小麦是中国北方主要粮食作物, 其蒸散量与过程是农田水分管理的依据之一。在明确了棵间蒸发和植物蒸腾的比例关系后, 才能准确的估算农田土壤水分动态, 制定合理的灌溉制度, 尽可能地减少无效的土壤水分散失, 提高水分利用效率^[1-2]。喷灌不同于普通的灌溉方式, 它具有每次的灌溉量少, 而灌溉次数较多的特点, 因此喷灌区土壤湿润深度小, 且形成一定的农田小气候, 这些都会影响到其棵间蒸发、植物蒸腾。研究喷灌条件下的棵间蒸发对制订喷灌的灌溉制度有一定的指导意义。农田蒸散量一般通过使用蒸渗仪、测定土壤含水率等方法, 根据田间水量平衡来估算^[3-5]。本文用微型蒸渗仪(Micro-Lysimeters)测定农田的棵间蒸发量, 用测定土壤含水率的方法估算农田蒸散量, 从实测的土面蒸发变化过程得到了小麦返青后各生育阶段土面蒸发与总蒸散量的比例关系, 分析了相对土面蒸发强度与土壤含水量的关系以及土面蒸发强度与作物叶面积指数的关系、灌溉后土壤蒸发的变化过程。

1 材料和方法

本文的试验于 2002 年 3 月~2002 年 6 月在中国科学院菜城农业生态系统试验站喷灌区进行。该站位于太行山山前平原高产农区, 区域内地势平坦开阔, 土层深厚, 有机质含量较高, 主要作物是冬小麦和夏玉米。试验供试作物为冬小麦, 于 10 月 7 日播种, 次年 6 月 13 日收获, 其田间管理与当地大田水平一致, 生育期间的降水量为 134.8 mm, 越冬前灌水 59.3 mm。试验地面积为 200 m × 15.8 m, 设 A、B、C 三个处理, 在冬小麦返青后开始分处理灌溉: A 处理灌水 4 次, 每次灌 50 mm; B 处理灌水 4 次, 每次灌 40 mm; C 处理灌水 5 次, 每次灌水 30 mm。A 处理灌水时期为返青期、拔节稍晚、孕穗—抽穗、灌浆期; B 处理灌水时期为返青期、拔节稍晚、孕穗—抽穗、灌浆期; C 处理灌水时期为返青期、拔节期、孕穗期、抽穗—开花、灌浆期。每个处理设 3 个重复, 共 9 个小区, 小区面积为 12 m × 12 m。各处理施肥量为同一水平, 底肥施磷酸二氢铵 375 kg/hm², 返青追肥量为尿素 285

kg/hm²。观测项目如下:

- 1) 每隔 10 d 测定一次叶面积、株高和密度。
- 2) 土壤含水量的测定: 每隔 10 d 用土钻取土烘干方法测定土壤含水率, 每个小区测定一点, 然后取 3 个小区的平均值作为各处理的测定值, 测定层次分别为 0~10、10~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm。
- 3) 土壤棵间蒸发的测定: 每个处理布设 3 个规格相同的微型蒸渗仪, 取其测定的平均值作为各处理的测定值。
- 4) 试验期间冬小麦生长季节气候条件是正常年型, 其观测结果可代表一般年份供水条件下的冬小麦田蒸散规律。

2 结果与分析

2.1 棵间土壤蒸发与蒸散的比例关系

用测定土壤含水率的方法估算农田蒸散量, 从实测的土面蒸发变化过程得到了小麦返青后各生育阶段土面蒸发与总蒸散量的比例关系, 计算方法如下:

$$ET_i = P_i + I_i - \Delta W_{si}$$

式中 ET_i ——第 i 阶段内的蒸散量; P_i ——第 i 阶段内的降雨量; I_i ——第 i 阶段内的灌溉量; ΔW_{si} ——第 i 阶段内土壤储水量的变化。

表 1 给出了冬小麦返青后各生育期降水和灌溉量($P + I$)、蒸发量(E)、蒸散量(ET) 及蒸发占蒸散的比例(E/ET)。蒸腾量 T 为($T = ET - E$)。

从表 1 可以看出, 测定的土壤蒸发与作物蒸散的比例变化趋势是合理的, 其随生育时期表层土壤含水量的变化而变化, 返青后 E 占 ET 的比例逐渐下降, 到灌浆期又有所上升。这是由于返青前作物小, 大部分为裸土, 加之气温低, 作物还处于休眠状态, 所以 E 占 ET 的比例较大; 返青期后, 作物开始迅速生长, 蒸腾所需水量逐渐增大, 随地面覆盖度的增大, E 占 ET 的比例逐渐减小; 灌浆期, 叶片逐渐衰老、变黄、变干, 地面覆盖度逐渐减少, 加之这段时期降雨较多, 所以 E 占 ET 的比例又有所上升。农田蒸散发与气象因素、土壤的供水状况以及作物种类和长势有关, 从表中可看出各处理在返青到成熟期间的 E/ET 均为 12%, 这说明在本试验的 3 个灌溉水平下, 灌溉量对 E/ET 没有产生影响, 即一定范围内的灌水量差异不会对 E/ET 有显著影响。总体看各生育期的 E/ET 值, 并将其与普通灌溉 E/ET 的值(返青—拔节期为 25.82%, 拔节—抽穗期为 18.74%, 抽穗—灌浆期为 16.03%, 灌浆—成熟期为 21.19%) 相比^[6], 可看出在喷灌条件下 E/ET 要小于普通灌溉的 E/ET 。

收稿日期: 2004-04-09 修订日期: 2005-11-17

基金项目: 国家“863”计划(2002AA2Z4231)资助

作者简介: 高 鹭(1977-), 女, 博士生, 研究方向为土地资源开发利用。北京 中国科学院地理科学与资源研究所, 100101。Email: gao1@igsnrr.ac.cn

表 1 冬小麦返青后各生育期棵间蒸发占蒸散量的比例关系
Table 1 Ratios of soil evaporation to evapotranspiration at each growing stage of winter wheat after turning green

生育期	返青-拔节	拔节-抽穗	抽穗-灌浆	灌浆-成熟	返青-成熟	
时段/d	20	25	19	26	90	
日期/月-日	03-12~04-02	04-03~04-28	04-29~05-18	05-19~06-14	03-12~06-14	
处理 A	$P + I/mm$	3	74.1	100.4	76.4	253.9
	$E/mm \cdot d^{-1}$	0.75	0.39	0.24	0.47	0.46
	E/mm	15.07	9.74	4.56	12.21	41.58
	$ET/mm \cdot d^{-1}$	3.06	4.83	2.72	4.33	3.85
	ET/mm	61.16	120.82	51.65	112.64	346.27
	$E/ET/\%$	25	8	9	11	12
处理 B	$P + I/mm$	3	64.1	90.4	66.4	223.9
	$E/mm \cdot d^{-1}$	0.63	0.39	0.39	0.43	0.46
	E/mm	12.52	9.75	7.51	11.21	40.99
	$ET/mm \cdot d^{-1}$	2.64	4.53	3.29	4.38	3.80
	ET/mm	52.84	113.17	62.42	113.84	342.27
	$E/ET/\%$	24	9	12	9	12
处理 C	$P + I/mm$	3	84.1	80.4	56.4	223.9
	$E/mm \cdot d^{-1}$	0.56	0.26	0.32	0.49	0.40
	E/mm	11.12	6.56	6.03	12.71	36.42
	$ET/mm \cdot d^{-1}$	1.82	4.35	2.79	4.26	3.44
	ET/mm	36.42	108.83	53.14	110.76	309.15
	$E/ET/\%$	31	6	11	12	12

将 3 个灌水处理进行比较, 它们棵间蒸发占蒸散量的比例在生育期内的变化趋势没有太大的区别, 总体趋势是一致的。从返青到成熟这段时间内的总的棵间蒸发量和总蒸散量来看, 虽然差异很微小, 但他们的趋势均随着灌溉量的增加而增加, 灌水 150 mm 的 C 处理 E 为 36.42 mm, ET 为 309.15 mm; 灌水 160 mm 的 B 处理 E 为 40.99 mm, ET 为 342.27 mm; 灌水 200 mm 的 A 处理 E 为 41.58 mm, ET 为 346.27 mm。这说明灌水是影响作物蒸散发消耗的要素之一^[7], 随着灌水量的增加, 冬小麦棵间蒸发、作物蒸腾以及蒸散发均呈增加趋势, 而作物水分有效消耗以及土壤水利用率呈减小的趋势, 见表 2。

表 2 冬小麦不同灌水处理的土壤水利用率

Table 2 Soil water use efficiency of winter wheat under different irrigation treatments

灌水处理	土壤水补给量/mm	降水/mm	灌溉水/mm	作物耗水量/mm	土壤水利用率/%
处理 A	43.7	134.8	259.3	437.8	9.9
处理 B	73.1	134.8	219.3	427.1	17.1
处理 C	65.6	134.8	209.3	409.7	16.0

随着灌水量的增加, 土壤水利用率呈减小的趋势, 从表 2 中可看出, 处理 A 的土壤水利用率明显低于处理 B 和处理 C 的土壤水利用率; 处理 B 由于和处理 C 在整个生育期灌水量只有 10 mm 的差异, 所以土壤水利用率非常接近, 差异很小。

2.2 棵间蒸发占蒸散量的比例与叶面积的关系

冠层覆盖度是控制蒸发的一个基本因素, 棵间蒸发占蒸散的比例随生育时期叶面积指数 ($LA I$) 的变化而变化^[8]。在冬小麦返青期, 由于叶面积指数小, 作物蒸腾与棵间蒸发比较接近; 之后, 随着叶面积指数的增长, 小麦的蒸腾量逐渐增大, 而棵间蒸发逐渐减少。小麦整个生育期土面蒸发强度 E/ET 与实测的作物叶面积指数的关系是, 当 $1 < LA I < 3$ 时, E/ET 随 $LA I$ 的增加而下降, 呈指数函数形式, 当 $LA I > 3$ 时, E/ET 基本保持恒

定。从表 3 可看出, 拔节后的几个生育期的 E/ET 基本在一个恒定值。

表 3 叶面积系数和棵间蒸发与蒸散量的比例关系

Table 3 Relationships between the ratios of soil evaporation to evapotranspiration and leaf area index

处理 A	返青-拔节 (03-12~04-02)	拔节-抽穗 (04-03~04-28)	抽穗-灌浆 (04-29~05-18)	灌浆-成熟 (05-19~06-14)
叶面积系数	3.91	6.31	4.87	2.67
$E/ET/\%$	25	8	9	11

各处理的叶面积指数在整个生育期呈现一定的差异, 灌水量大的处理在灌浆前其叶面积系数大于灌水量小的处理, 作物的总蒸腾量也大。但进入灌浆期处理间叶面积系数差异减小, 此时 B 处理的叶面积系数和作物的蒸腾量为最大, 如图 1 和表 4。

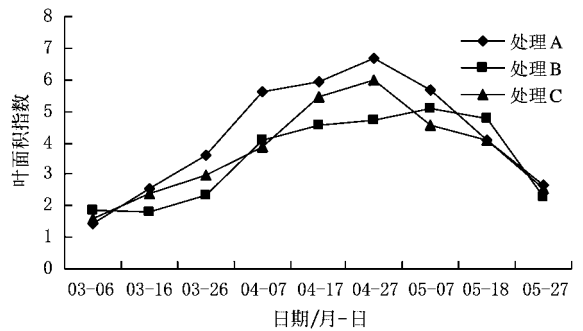


图 1 不同灌水处理叶面积指数变化

Fig 1 Changes of leaf area index under different irrigation treatments

表 4 冬小麦不同时期的蒸腾量

Table 4 Transpiration capacity in different growing periods of winter wheat mm

处理	返青-拔节 (03-12~04-02)	拔节-抽穗 (04-03~04-28)	抽穗-灌浆 (04-29~05-18)	灌浆-成熟 (05-19~06-14)
处理 A	46.09	111.08	47.09	100.43
处理 B	40.32	103.42	54.91	102.63
处理 C	25.3	102.27	47.11	98.05

2.3 麦田灌溉后棵间蒸发的变化过程

除了大气蒸发能力的影响, 作物蒸腾受作物生长状况的影响较大, 而棵间蒸发的波动主要来自于土壤表层含水量的影响。例如当灌水或降水后, 土壤水分条件能充分满足 ET 和 E 要求, 随着表层土壤水分的散失而棵间蒸发速率迅速下降, 从而 E/ET 也随着表层土壤水分的减少而降低。在不影响作物蒸腾的条件下保持土壤表层干燥是减少棵间蒸发的一种主要措施^[9-11]。

3 个处理在 2002 年 3 月 9 日进行不同灌溉量的处理后 (A 处理灌溉 50 mm, B 处理灌溉 40 mm, C 处理灌溉 30 mm), 至 2002 年 4 月 12 日期间均没有灌溉, 期间 2002 年 4 月 5 日有 19.6 mm 的降雨。2002 年 3 月 15 日~2002 年 4 月 12 日期间麦田的土壤蒸发随时间的变化过程如图 2。在每次灌水过后棵间蒸发明显升高, 几天之后随着地表变干, 棵间蒸发迅速下降并逐渐趋近于零。由于各处理灌溉量的不同而造成土体中水分的不同, 致使各处理的棵间蒸发出现差异。从图 2 可看出, 灌水量大的处理 A 在前期的蒸发强度要大于 B、C 处理, 随着时间的推移处理间蒸发强度的差异逐渐减小, 但蒸发强度在整个时间段内的变化趋势是一致的, 均在 4 月 5 号降雨后出现较大波动, 有明显的升高, 然后又呈下降趋势, 这与土壤含水量的变化趋势是相同

的。因此, 可得出不同灌水处理蒸发强度的差异一般只出现在灌水和降雨后的几天之内, 其它时段内的差异很小或几乎没有。

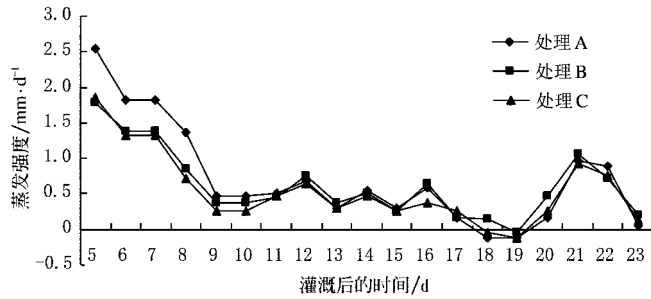


图 2 灌溉后各处理土壤蒸发的变化过程

Fig 2 Changes of daily soil evaporation of different treatments after irrigating

降水或灌溉后的田间蒸发过程: 灌溉后第 5 d 平均日蒸发量为 2.0 mm/d, 第 6 d 蒸发速率剧烈下降到 1.5 mm/d, 持续 3~4 d 蒸发大于 1.0 mm/d, 尔后缓慢降低, 维持在小于 1.0 mm/d 的水平。具体变化过程的差异说明蒸发不仅决定于土壤湿度状况, 也受控于天气状况^[12]。这些结果也说明了冬小麦生长季田间蒸发情况。只有雨后或灌水后 1~2 d 接近或等于可能蒸发, 其它时间的日蒸发多在 1.5 mm/d 以下, 其中小于 1.0 mm/d 的情况又占多数。蒸发量负值的出现是由于夜间空气湿度大, 在作物的叶面或土壤表面形成凝结水所造成。无论灌水或降雨的量多与少, 其后总有几天蒸发量较大, 为了达到节水的目的, 从减少蒸发耗水角度看灌溉实施中不应提倡小水勤灌, 而要适当加大灌水量减少灌水次数, 缩短土壤表层湿润的时期, 来减少蒸发损失, 提高农田水分的利用率。

3 结 论

加大灌溉量会增加农田蒸散量, 在本试验 150、160、200 mm 3 个灌溉水平下, 田间蒸发占总蒸散量比例基本相同, 没有太大差异, 说明一定范围内的灌水量差异不会对 E/ET 有显著影响。随着灌水量的增加, 冬小麦田间蒸发、作物蒸腾以及蒸散发均呈增加趋势, 而土壤水利用率呈减小的趋势。

叶面积指数和表层土壤含水量是影响田间蒸发的两个主要因素, 田间蒸发量随生育时期叶面积指数和表层土壤含水量的变化而变化。田间蒸发在每次灌水或降雨后明显升高, 几天之后随着地表变干, 迅速下降并逐渐趋近于零, 因此可适当加大灌水量或减少灌水次数, 缩短土壤表面湿润的时期来减少蒸发损失。喷灌条件下 E/ET 与普通灌溉的 E/ET 相比要小, 主要表现在小麦返青后的几个生育期。

致谢: 本试验在中国科学院廊坊农业生态系统试验站进行, 得到了试验站各位老师和工作人员的热心帮助, 在此表示诚挚的感谢。

【参 考 文 献】

- [1] 刘昌明, 张喜英, 由懋正, 等. 大型蒸渗仪与小型田间蒸发器结合测定冬小麦蒸散的研究[J]. 水利学报, 1998, (10): 36-39.
- [2] 孙宏勇, 张喜英, 张永强, 等. 用 Micro-Lysimeters 和大型蒸渗仪测定夏玉米蒸散的研究[J]. 干旱地区农业研究, 2002, 20(4): 72-76.
- [3] 王会肖, 刘昌明, 等. 小麦田间蒸发 MICRO-LYSIMETER 测定分析. 见: 刘昌明, 于沪宁主编. 土壤—作物—大气系统水分运动实验研究[M]. 北京: 气象出版社, 1997.
- [4] 谢贤群. 测定农田蒸发的试验研究. 见: 谢贤群等主编. 农田蒸发—测定与计算[M]. 北京: 气象出版社, 1991: 90-97.
- [5] 谢森传. 农田水分循环中的蒸发蒸腾计算[J]. 清华大学学报, 1998, (1): 107-110.
- [6] 樊引琴, 蔡焕杰, 王 健, 等. 冬小麦田间蒸发的试验研究[J]. 灌溉排水, 2000, 19, (4): 1-4.
- [7] 毛晓敏, 尚松浩, 雷志栋, 等. 利用 SPAC 模型对冬小麦蒸散发的研究[J]. 水利学报, 2001, (8): 7-11.
- [8] 刘 钰, R. M. Fernando, L. S. Pereira. 微型蒸发器田间实测麦田与裸地土面蒸发强度的试验研究[J]. 水利学报, 1999, (6): 36-41.
- [9] 门 旗, 李 毅, 冯广平, 等. 地膜覆盖对土壤田间蒸发影响的研究[J]. 灌溉排水学报, 2003, 22(2): 17-20.
- [10] 裴 东, 张喜英, 李 坤, 等. 华北平原作物田间蒸发占蒸散比例及减少田间蒸发的措施[J]. 中国农业气象, 2000, 21(4): 33-37.
- [11] 张海林, 秦耀东, 朱文珊, 等. 覆盖免耕土壤田间蒸发的研究[J]. 土壤通报, 2003, 34(4): 259-261.
- [12] 萧复兴, 晋凡生, 张彦芹, 等. 旱地玉米农田田间蒸发研究[J]. 激光生物学, 1996, 5(4): 938-941.

Experimental study on soil evaporation in winter wheat field under sprinkling irrigation condition

Gao Lu^{1,2}, Hu Chunsheng³, Chen Suying³, Zhang Lifei⁴

(1. Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;

3. Institute of Genetics and Developmental Biology, Chinese Academy of Sciences, Shijiazhuang 050021, China;

4. Graduate School of the Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract The micro lysimeters were employed to determine the process of soil evaporation of winter wheat at its growth stages under sprinkling irrigation condition. Ratios of soil evaporation to evapotranspiration at each growing stage of winter wheat were investigated in the wheat field with different water treatments. The effects of soil moisture and leaf index on the ratio of soil evaporation to evapotranspiration, and the changes of soil evaporation after irrigation were also analyzed. With the analysis of the experiment process and the observation data, the characteristics of soil evaporation were pointed out accordingly; the results also show some merits in making the sprinkle irrigation nom.

Key words sprinkle irrigation; winter wheat; soil evaporation