

# 土壤扩蓄增容肥对冬小麦棵间蒸发和水分利用效率的影响

王翠翠<sup>1</sup>, 冯浩<sup>1,2</sup>, 杜健<sup>3</sup>

(1. 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 3. 西北农林科技大学 农学院, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 利用农田水量平衡公式计算了冬小麦耗水量, 用微型蒸渗仪测定了农田土壤棵间蒸发状况, 在此基础上通过对比试验研究了土壤扩蓄增容肥条件下不同水分处理冬小麦生长期田间棵间蒸发与水分利用效率。结果表明, 施加土壤扩蓄增容肥后冬小麦生育期平均耗水量较对照平均减少了 491.67 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, 可明显降低冬小麦棵间蒸发, 同时可降低播种到拔节期阶段棵间蒸发占阶段耗水量的比例; 灌水量 2 250 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> 处理(T<sub>2</sub>) 水分利用效率达 2.62 kg/m<sup>3</sup>; 灌水量 1 950 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> 的处理(T<sub>3</sub>) 可增产 32.68%。

**关键词:** 土壤扩蓄增容肥; 冬小麦; 棵间蒸发; 水分利用效率

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)02-0129-04

中图分类号: S156.2, S161.4

## Effects of Soil Amendment Fertilizer on Soil Evaporation and Water Use Efficiency of Winter Wheat

WANG Cuicui<sup>1</sup>, FENG Hao<sup>1,2</sup>, DU Jian<sup>3</sup>

(1. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A & F University,

Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, CAS & MWR, Yangling,

Shaanxi 712100, China; 3. College of Agronomy, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** Through contrast experiments, soil evaporation and water use efficiency of winter wheat after applying soil amendment fertilizer were studied using the method of farmland water balance and micro-lysimeter. Results indicated that after applying soil amendment fertilizer, the mean water consumption of winter wheat during the growth period decreased by 491.67 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> averagely, compared with the contrast. Soil evaporation of winter wheat and the ratio of soil evaporation to water consumption during the stage from seeding to jointing also decreased. The water use efficiency was 2.62 kg/m<sup>3</sup> under the treatment of 2 250 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> irrigation water and the yield increased by 32.68% under the treatment of 1 950 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> irrigation water.

**Keywords:** soil amendment fertilizer; winter wheat; soil evaporation; water use efficiency

蒸散是农田水分循环的一个重要部分, 对作物生长发育和产量形成具有重要影响<sup>[1]</sup>。国内学者对小麦的农田蒸散特征、蒸散与作物产量的关系方面积累了大量的研究成果<sup>[2-4]</sup>。农田蒸散包括植株蒸腾和土壤棵间蒸发, 其中土壤棵间蒸发为无效水分消耗, 明确土壤蒸发在农田蒸散量中的比例及变化特征, 对确定合理的灌溉制度, 减少无效水分散失, 提高水分利用效率具有重要意义<sup>[5]</sup>。土壤结构改良剂是用来促进土壤形成团粒, 改良土壤结构, 提高肥力和固定表土, 保护耕层, 防止水土冲刷流失的矿物质制剂, 腐殖质制剂和人工合成聚合物制剂<sup>[6]</sup>。随着土壤改良剂研究技术在我

国的不断发展, 应用土壤改良剂达到节水增产目的的实验研究越来越多。尤其近些年来, 高效低用量土壤改良剂的出现, 使用方法的不断改进和成本的逐渐降低, 使土壤改良剂在大田的普遍使用成为可能。本研究采用的土壤扩蓄增容肥是以作物秸秆等为主要原料研制的新型土壤结构改良剂, 本制剂已申请国家发明专利, 具有自主知识产权。本试验为张燕, 许晓平<sup>[7-8]</sup>等人大田玉米作物试验的后续研究, 目的在于揭示该新型土壤改良剂对冬小麦耗水、棵间蒸发、产量以及作物水分生产效率的影响, 以期为深入了解土壤扩蓄增容肥的作用和效果, 为其大面积应用提供技术依据。

收稿日期: 2009-03-03

修回日期: 2009-10-27

资助项目: 科技部“863”计划项目“降水资源转化利用技术”(2006AA100204); 新世纪优秀人才支持计划资助(01140602)

作者简介: 王翠翠(1981—), 女(汉族), 河北省邢台市人, 硕士研究生, 主要从事水土资源高效利用方面研究。E-mail: nanweiliuxing@126.com。

通信作者: 冯浩(1970—), 男(汉族), 陕西省延安市人, 博士, 研究员, 主要从事水土资源高效利用方面的研究。E-mail: nerwsi@vip.sina.com。

# 1 材料和方法

## 1.1 试验区概况及试验材料

本试验于 2007 年 10 月至 2008 年 6 月在陕西省杨凌示范区西北农林科技大学节水示范园干旱棚内进行。杨凌示范区位于陕西省关中西部,东经  $107^{\circ}59' - 108^{\circ}09'$ ,北纬  $34^{\circ}14' - 34^{\circ}24'$ ,东西长约 16 km,南北宽 6.5 km,全区面积 94.18 km<sup>2</sup>。属于暖温带湿润季风区,年均温度 12.9℃,极端最高温度 42℃,最低气温 -19.4℃,全年无霜期 221 d。年均降水量 637.6 mm,多集中在 7—10 这 4 个月,地下水埋深 2~65 m,年均蒸发量 884 mm。供试材料为西北农林科技大学国家节水灌溉杨凌工程技术研究中心自主研发的秸秆配方土壤扩蓄增容肥,主要成分及含量为玉米秸秆 20%,小麦秸秆 20%,油渣 15%,二铵 20%,磷酸二氢钾 10%,尿素 15%;供试小麦品种为西农 889。

## 1.2 研究方法

1.2.1 试验设计 本试验采用对比试验法,共设两次重复,4 个不同灌水处理(表 1),不施土壤扩蓄增容肥常规施肥处理作为对照(因为在干旱棚内试验,降水等外界条件控制良好,且受试验场地限制,故仅设计两个重复)。试验共 16 个小区,每个小区面积为 2 m × 3 m,对处理进行随机排列。

对照为常规施肥,施肥量为纯氮 180 kg/hm<sup>2</sup>,磷 150 kg/hm<sup>2</sup>,钾 90 kg/hm<sup>2</sup>,播前一次性施肥。土壤扩蓄增容肥施用量 1 125 kg/hm<sup>2</sup>。根据其成分可计算出含纯氮 181.3 kg/hm<sup>2</sup>,磷 60 kg/hm<sup>2</sup>,钾 40 kg/hm<sup>2</sup>,和对照的常规施肥处理相比,含纯氮基本接近,含纯磷、纯钾均低于对照。供试土壤为瘠土,容重 1.31 g/cm<sup>3</sup>,田间持水量 25%。小区土层厚度 200 cm,小区之间采用水泥板隔开,底部为砂土层。小麦播种前土壤含水量占到田间持水量的 65%,收获后土壤含水量是田间持水量的 43%。

表 1 试验不同处理的灌水时间及灌溉量 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>

处理	灌溉量	播前	拔节	开花
T <sub>1</sub>	2 550	750	900	900
T <sub>2</sub>	2 250	750	750	750
T <sub>3</sub>	1 950	750	600	600
T <sub>4</sub>	1 650	750	450	450
CK <sub>1</sub>	2 550	750	900	900
CK <sub>2</sub>	2 250	750	750	750
CK <sub>3</sub>	1 950	750	600	600
CK <sub>4</sub>	1 650	750	450	450

注:对照 CK 为常规施肥条件下不同灌水时间及灌溉量处理。

1.2.2 测定项目及方法 (1) 土壤水分。在小麦播种前和收获后对小麦不同土层(每隔 10 cm,测深为 80 cm)的土壤含水量利用烘干法进行测定;在冬小麦生育期,每周一次用 Diviner 2000 管测法测定土壤含水量;表层 0—20 cm 土壤含水量用土钻烘干法进行校正。(2) 棵间蒸发。在每个小区布设一个 PVC 管制微型蒸渗仪,微型蒸渗仪高 20 cm,内径为 10 cm。在冬小麦的生育期内,每周一次用电子天平测微型蒸渗仪的重量变化。(3) 产量。小麦成熟后单打单收,测定产量。

## 2 结果分析

### 2.1 冬小麦阶段耗水量变化特征

试验区地下水位埋深在 5 m 以下,试验测坑土层深 2 m,故地下水补给可忽略不计,由于试验灌溉水量较少且试验所用基坑经过一定防渗处理,经测定渗漏量很少,所以水分的深层渗漏可以不予考虑。在遮雨棚内试验故降雨量可忽略不计。因此农田耗水量可利用下面的农田水量平衡方程得出:

$$ET = I + \Delta W$$

式中:ET——作物耗水量(mm);I——灌溉量(mm); $\Delta W$ ——土壤含水量的变化量(mm)。

表 2 为利用上式算得各处理不同生育阶段的冬小麦耗水量结果。从试验结果可以看出。随着灌水量的增加,作物耗水量也在逐渐增加。施加土壤扩蓄增容肥的各个灌水处理耗水量均比对照处理要少。施加土壤扩蓄增容肥后,小麦生育期平均耗水量为 1 971.12 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>,较对照平均值 2 462.81 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> 减少了 491.69 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>,其中 T<sub>2</sub> 减少量最多,为 543.57 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>,依次为 T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub>, T<sub>1</sub>。说明该土壤扩蓄增容肥可起到减少作物无效耗水,提高水分利用效率的作用。

冬小麦生育期耗水一般在播种到拔节前约占到总耗水 25%~30%,拔节到抽穗约占到 30%左右,抽穗到收获占到了 40%左右。从表 2 可以看到土壤扩蓄增容肥对小麦不同生育阶段耗水量有较大影响。

在播种到返青期,经土壤扩蓄增容肥处理的小麦阶段耗水比例均比对照要低,由于该阶段耗水以棵间蒸发为主,所以减少该阶段耗水量可将土壤内水分留到后期供小麦拔节期利用,对小麦生长有实际意义;在返青到拔节期,随着植株营养体增大,蒸腾量比例明显增大,耗水量也增加;随着小麦生长发育,在拔节至抽穗开花阶段,经土壤扩蓄增容肥处理的冬小麦阶段耗水比例平均为 28%左右,和对照几乎持平,平均

仅高出约 2%; 在抽穗到收获期经土壤扩蓄增容肥处理的小麦阶段耗水比例平均为 18% 左右, 低于对照近 24%, 该阶段棵间蒸发占耗水比例增加, 减少该阶

段的耗水量也有很大意义。由以上分析可知, 该土壤扩蓄增容肥可有效改善阶段耗水量比例, 更合理地利用了有限的土壤水分。

表 2 冬小麦阶段耗水量变化

处理	项目	播种—返青	返青—拔节	拔节—抽穗	抽穗—收获	全生育期耗水量	耗水量差异
T <sub>1</sub>	阶段耗水量/(m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	315.02	829.98	759.86	397.03	2 301.89	439.78
	占生育期比例/%	13.69	36.06	33.01	17.25		
T <sub>2</sub>	阶段耗水量/(m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	310.09	754.47	527.07	395.38	1 987.01	543.57
	占生育期比例/%	15.61	37.97	26.53	19.90		
T <sub>3</sub>	阶段耗水量/(m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	300.97	712.54	530.97	374.23	1 918.71	492.67
	占生育期比例/%	15.69	37.14	27.67	19.50		
T <sub>4</sub>	阶段耗水量/(m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	313.39	695.97	453.28	254.24	1 716.88	490.73
	占生育期比例/%	18.25	40.54	26.40	14.81		
CK <sub>1</sub>	阶段耗水量/(m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	482.78	602.22	813.41	843.26	2 741.67	
	占生育期比例/%	17.87	22.29	30.11	31.21		
CK <sub>2</sub>	阶段耗水量/(m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	458.28	392.68	707.36	972.25	2 530.57	
	占生育期比例/%	18.47	15.83	28.52	39.19		
CK <sub>3</sub>	阶段耗水量/(m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	427.25	377.64	503.15	1103.34	2 411.38	
	占生育期比例/%	18.48	16.34	21.77	47.74		
CK <sub>4</sub>	阶段耗水量/(m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	399.04	271.86	521.82	974.89	2 167.61	
	占生育期比例/%	18.41	12.54	24.07	44.98		

## 2.2 冬小麦不同生育阶段棵间蒸发的变化

冬小麦耗水量是由蒸腾量和棵间蒸发量组成。表 3 是施加土壤扩蓄增容肥条件下冬小麦不同生育阶段棵间蒸发与全生育期耗水量关系。由表 3 可知, 棵间蒸发占全生育期耗水量的比例随着灌水量增加而减少。从整个生育期看, 施土壤扩蓄增容肥的处理棵间蒸发所占比例均低于对照, 平均低于对照 6.14%, 其中 T<sub>2</sub> 比 CK<sub>2</sub> 减少了 9.46%, 其它 3 个依次为 T<sub>4</sub> (6.46%), T<sub>1</sub> (4.79%), T<sub>3</sub> (3.85%)。说明该材料有明显地减少棵间蒸发及蓄水保墒作用。

对照处理在单个生育阶段棵间蒸发量占总耗水量比例随着冬小麦生长呈先增后减趋势; 施加土壤扩蓄增容肥的处理在播种—返青期棵间蒸发量所占阶段耗水量比例均比对照有所减少, 平均减少了 10.33%; 返青—拔节期平均减少 24.61%, 但是在抽穗和成熟期减少不太明显, 个别处理所占比例甚至有所增加。说明该土壤扩蓄增容肥可以改善冬小麦苗期阶段棵间蒸发占阶段耗水量比例, 对生育后期效果虽不是特别理想, 但仍有改善。

## 2.3 冬小麦产量及水分利用效率

由表 4 可以看出, 施加土壤扩蓄增容肥的 4 个处理产量和水分利用效率均高于对照处理。T<sub>3</sub> 增产最

高, 增产幅度达到 32.68%, 依次为 T<sub>2</sub>, T<sub>4</sub>, T<sub>1</sub>; T<sub>2</sub> 水分利用效率最大为 2.62 kg/m<sup>3</sup>, 依次为 T<sub>1</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub>; 与各自的对照相比, T<sub>2</sub> 水分利用效率增加 0.90 kg/m<sup>3</sup>, 水分利用效率最高, 依次为 T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub>, T<sub>1</sub>。T<sub>2</sub> 和对照 CK<sub>2</sub> 的水分利用效率均高于 T<sub>1</sub> 和 CK<sub>1</sub>, 说明无论是否施用土壤扩蓄增容肥, 并不是灌水量越大水分利用效率就一定越高, 只有适宜的灌水量才能达到水分利用效率的最大化。

## 3 结论

(1) 本试验所用土壤扩蓄增容肥可以减少冬小麦生育期耗水量, 并改善生育期内阶段耗水量占总耗水量的比例。制剂对冬小麦不同生育阶段耗水量影响不同, 主要表现为降低了播种到返青期的耗水比例, 增加了返青到拔节期耗水量, 降低了抽穗后小麦的耗水量。

(2) 本试验所用土壤扩蓄增容肥可以减少棵间蒸发占总耗水量的比例, 对阶段棵间蒸发占阶段耗水量比例有不同影响。施加土壤扩蓄增容肥有效降低了播种到拔节期间棵间蒸发占阶段总耗水比例, 具有较好的蓄水保墒抑蒸效果, 但是对生育后期棵间蒸发占该阶段耗水量比例影响不太明显。

表 3 冬小麦不同生育期棵间蒸发量及占耗水量比例

处理	项目	播种—返青	返青—拔节	拔节—抽穗	抽穗—收获	全生育期
T <sub>1</sub>	棵间蒸发/(m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	201.73	296.27	157.04	108.59	763.63
	阶段耗水量/(m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	315.02	829.98	759.86	397.03	2 301.89
	棵间蒸发占耗水量/%	64.04	35.70	20.67	27.35	33.17
T <sub>2</sub>	棵间蒸发/(m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	187.34	279.17	175.79	88.8	642.30
	阶段耗水量/(m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	310.09	754.47	527.07	395.38	1 987.01
	棵间蒸发占耗水量/%	60.41	37.00	33.35	22.46	32.32
T <sub>3</sub>	棵间蒸发/(m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	210.26	330.55	161.69	90	702.50
	阶段耗水量/(m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	300.97	712.54	530.97	374.23	1 918.71
	棵间蒸发占耗水量/%	69.86	46.39	30.45	24.05	36.61
T <sub>4</sub>	棵间蒸发/(m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	219.43	279.80	107.84	78.34	755.41
	阶段耗水量/(m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	273.39	695.97	453.28	254.24	1 676.88
	棵间蒸发占耗水量/%	80.26	40.20	23.79	30.81	40.87
CK <sub>1</sub>	棵间蒸发/(m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	320.76	263.95	222.14	233.99	1 040.84
	阶段耗水量/(m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	482.78	602.22	813.41	843.26	2 741.67
	棵间蒸发占耗水量/%	66.44	43.83	27.31	27.75	37.96
CK <sub>2</sub>	棵间蒸发/(m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	339.70	271.69	226.04	219.74	1 057.17
	阶段耗水量/(m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	458.28	392.68	707.36	972.25	2 530.57
	棵间蒸发占耗水量/%	74.12	69.19	31.96	22.60	41.78
CK <sub>3</sub>	棵间蒸发/(m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	368.28	270.87	139.6	236.99	1 075.74
	阶段耗水量/(m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	427.25	377.64	503.15	1 103.34	2 411.38
	棵间蒸发占耗水量/%	86.20	71.73	27.75	21.48	40.46
CK <sub>4</sub>	棵间蒸发/(m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	355.58	201.14	206.19	262.94	1 025.85
	阶段耗水量/(m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	399.04	271.86	521.82	974.89	2 167.61
	棵间蒸发占耗水量/%	89.11	73.99	39.51	26.97	47.33

表 4 冬小麦水分利用效率

处理	灌水量/ (m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	耗水量/ (m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	产量/ (kg·hm <sup>-2</sup> )	增产率/%	水分利用效率/ (kg·m <sup>-3</sup> )	ΔWUE
T <sub>1</sub>	2 550	2 301.89	4 997.14	5.88	2.17	0.45
T <sub>2</sub>	2 250	1 987.01	5 199.90	19.79	2.62	0.90
T <sub>3</sub>	1 950	1 918.71	3 769.86	32.68	1.96	0.79
T <sub>4</sub>	1 650	1 716.88	3 009.49	16.77	1.75	0.56
CK <sub>1</sub>	2 550	2 741.67	4 719.67		1.72	
CK <sub>2</sub>	2 250	2 530.57	4 340.82		1.72	
CK <sub>3</sub>	1 950	2 411.38	2 841.41		1.18	
CK <sub>4</sub>	1 650	2 167.61	2 577.27		1.19	

(3) 本试验所用土壤扩蓄增容肥可以增加作物产量和提高水分利用效率。施加材料的 4 个处理产量和水分利用效率均高于对照。灌水量 2 250 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> 处理 (T<sub>2</sub>) 的水分利用效率最高; 灌水量 1 950 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup> 处理 (T<sub>3</sub>) 增产效果最好。

## [ 参 考 文 献 ]

- [1] 甘卓亭, 刘文兆. 黄土塬区麦田蒸散特征[J]. 应用生态学报, 2006, 17(8): 1435-1438.
- [2] 孙宏勇, 刘昌明, 张喜英, 等. 华北平原冬小麦田间蒸散与棵间蒸发的变化规律研究[J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(3): 62-64.
- [3] 张永久, 马中明, 邓斌, 等. 有限灌溉条件下春小麦的蒸

散特征及其与产量的关系[J]. 麦类作物学报, 2006, 26(4): 98-102.

- [4] 刘昌明, 张喜英. 大型蒸渗仪与小型棵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.
- [5] 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.
- [6] 吴增芳. 土壤结构改良剂[M]. 北京: 科学出版社, 1976: 23-76.
- [7] 张燕. 土壤结构改良剂在节水农业中的研究与应用[J]. 中国农学通报, 2007, 23(9): 595-598.
- [8] 许晓平, 冯浩, 赵西宁, 等. 土壤改良剂与氮肥配施对玉米生长及其养分含量的影响[J]. 西北农业学报, 2008, 17(3): 139-142.