

河西畦田春小麦不同生育期灌水对土壤水氮空间分布的影响

索岩松, 张富仓, 薛冯定, 吴立峰, 袁宇霞

(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 杨凌 712100)

摘 要: 试验采用规格为 30 m×3 m 条田, 分别沿畦长中心位置布设了 5 个测点(每个测点距畦首依次为 3、9、15、21、27 m)用于定点测定不同生育期春小麦 0~100 cm 土层深度内灌前 2 d 和灌后 2 d 土壤含水量和硝态氮的含量, 评价了土壤水氮空间分布的变异性、土壤水氮贮存效率和土壤水氮沿畦长空间分布均匀性。结果表明: 不同生育期内不同处理间灌前 2 d 和灌后 2 d 土壤水分空间分布均为中等变异性, 灌后 2 d 的变差系数小于灌前 2 d 的变差系数; 土壤硝态氮空间分布状况除拔节期灌前 2 d 灌水量 90 mm 和灌水量 60 mm 为强变异性外其余均为中等变异性; 不同生育期灌水对不同处理间的土壤水贮存效率无显著影响, 成熟期春小麦不灌水处理的土壤水贮存率明显低于灌水处理; 不同生育期灌水对不同处理间土壤硝态氮贮存率有显著影响, 其中成熟期不灌水处理能使土壤硝态氮的贮存率增加, 灌水减少了根系层内土壤硝态氮的贮存率; 不同生育期灌水对不同处理间土壤水分和土壤硝态氮含量沿畦长的空间分布均匀性均无显著影响, 其中成熟期不灌水处理对土壤水分沿畦长的空间分布均匀性的影响显著小于成熟期灌水处理, 而对土壤硝态氮的空间分布均匀性无显著影响。

关键词: 不同生育期灌水; 春小麦; 贮存效率; 空间分布; 均匀性; 土壤水氮

中图分类号: S152.7; S158 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2012)04-0001-08

随着社会人口的增加和经济的发展, 用水矛盾日益突出, 大规模开发利用水资源从而引发了一系列生态环境问题, 严重影响着社会的可持续发展。尤其是农业用水量占水资源利用总量的 70%~90%^[1], 因此农业灌溉用水和供水矛盾尤为突出。由于在世界范围内, 地面灌溉方法仍然是最重要和应用最广泛的灌水方法, 其中在我国就占 95% (畦、沟灌占了大部分)^[2-3]。随着农业化肥的大量投入, 这不仅造成水资源的大量浪费和土壤氮素的大量淋失, 而且也导致该地区土壤物理性质变差及农田的面源污染^[4-6], 从而引发了一系列的环境污染问题。近几年来, 已经有许多学者^[6-7]对不同生育期灌水和不同施氮情况下对春小麦的生长发育及其产量和水分利用进行了大量的研究, 并取得了一定的成果。但是, 大多数是研究不同水氮水平下春小麦的生理指标和土壤硝态氮的累积量和淋失情况。同时也有一些学者^[8-9]在喷灌情况下来研究灌水均匀度对小麦产量的影响, 而不同生育期灌水对农田畦灌作物耕作层的土壤水氮分布的研究并没太多的相关报道, 尤其是在干旱和半干旱的河西走廊地区, 更是不多。

本文以河西走廊地区的主要粮食作物之一春小麦为研究对象, 进行了不同生育期灌水对农田春小麦土壤水氮空间分布及其贮存效率和均匀性的试验研究, 从而为更加明确地了解该地区不同生育期灌水对春小麦有效根系层内土壤中的水氮空间分布及其贮存效率和均匀性的影响以及为合理利用水分和养分资源, 减少环境的污染和农田的优化管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2011 年 4 月初~7 月末在甘肃省武威市石羊河流域农业与生态节水试验站 (37°57'20"N, 102°50'50"E) 进行。试验站位于甘肃省武威市凉州区, 地处腾格里沙漠边缘, 海拔 1 581 m, 为大陆性温带干旱气候, 地处黄羊河、杂木河、清源灌区交汇带, 多年平均降雨量仅为 164.4 mm, 年均蒸发量 2 000 mm。试验地耕作层土壤质地为灰钙质轻砂壤土, 耕层土壤干容重为 1.32 g/cm³, 田间持水量为 21.3% (重量含水率), 地下水埋深 30 m 以上。作物灌溉水源为地下水。

收稿日期: 2011-12-29

基金项目: 国家自然科学基金(50879073)

作者简介: 索岩松(1986—), 山西长子人, 硕士研究生, 研究方向为节水灌溉理论与技术。E-mail: axndyansong@163.com。

通讯作者: 张富仓(1962—), 陕西武功人, 教授, 博士生导师, 主要从事节水灌溉理论与技术的研究。E-mail: zhangfucang@tom.com。

2011 年的春小麦生长期降雨量为 77 mm, 主要集中在 5 月下旬和 7 月上旬, 略低于该地区近 50 年的平均水平 (79.4 mm)。

1.2 试验设计

供试作物为春小麦, 品种为永良 4 号, 于 4 月 1 日播种, 7 月 29 日收获。整个试验在大田中进行, 田间管理措施均相同。试验设 4 个处理, 2 个重复。随机区组排列, 小区之间设保护区。试验采用条田

布置, 每个条田规格为 30 m × 3 m, 平均地面坡度 1/1000。施用化肥为该地区广泛施用的尿素和过磷酸钙。所有处理均施过磷酸钙 450 kg/hm² (含 P₂O₅ 16%), 施氮量 150 kg/hm²。过磷酸钙在播种前全部撒施, 氮肥分两次施入 (播种前施入 90 kg/hm², 其余在拔节期灌水前施入), 各个试验处理的具体情况见表 1。小区灌水方式为畦灌, 入畦流量相同, 灌水量由水表控制。

表 1 春小麦灌水的试验方案

Table 1 Irrigation experiment scheme for spring wheat

试验处理 Experiment treatments	灌水定额 Water quota (mm)				灌溉定额 Irrigation quota (mm)
	拔节期 Jointing stage	抽穗期 Tassel stage	灌浆期 Milky stage	成熟期 Mature stage	
I 0	90	90	90	60	330
I 1	90	90	90	0	270
I 2	60	90	90	60	300
I 3	60	90	90	0	240

1.3 土壤含水量与硝态氮含量的测定方法

在每个试验畦田内, 分别沿畦长中心位置依次布设 5 个测点, 每个点距畦首依次为 3、9、15、21、27 m。用于定点监测土壤氮素和水分剖面的动态变化状况。在各个生育期中, 分别于灌前及灌后 2 d 取样, 用来测定所有条畦各测点处的土壤含水量和硝态氮含量。用土钻取样法采集土样, 每 20 cm 取一个样, 取至 100 cm。一部分土样用烘干法测定含水率, 另一部分新鲜土样立即放入冰箱冷藏待测土壤硝态氮的含量。土壤硝态氮采用 2 mol/L KCl (土液比 1:5) 浸提, 用紫外分光光度计测定。

1.4 土壤水氮空间分布状况及贮存效率和均匀性的评价方法

不同生育期灌水农田春小麦土壤水氮的空间分布状况及其差异性用统计和方差分析来进行定量描述, 其中土壤水氮的空间分布变差系数 CV 反应其离散分布状况和空间变异程度, 若 $CV \leq 0.1$ 为弱变异性, $0.1 < CV < 1$ 为中等变异性, $CV \geq 1$ 为强变异性^[10]。而同一生育期内灌水处理下的相关变量数值间的差异比较则采用新复极差显著性检验方法^[11]。

用贮存效率 E_w (%) 和 E_N (%) 两指标来评价贮存存在作物根系层内的土壤水氮状况。借助指标 DU_{wLQ} (%) 和 DU_{NLQ} (%) 来定量评价灌前 2 d 和灌后 2 d 作物有效根系层内土壤含水量和土壤硝态氮含量沿畦长空间分布的均匀性^[12]。

$$E_N = \frac{\bar{X}_{RN}}{\bar{X}_N} \times 100 \quad \text{和} \quad E_w = \frac{\bar{X}_{RW}}{\bar{X}_w} \times 100. \quad (1)$$

$$DU_{NLQ} = \frac{\bar{X}_{NLQ}}{\bar{X}_N} \times 100 \quad \text{和} \quad DU_{wLQ} = \frac{\bar{X}_{wLQ}}{\bar{X}_w} \times 100 \quad (2)$$

式中, $\bar{X}_{RN}$ 和 $\bar{X}_{RW}$ 分别为整个畦长作物有效根系层的土壤累积平均硝态氮的含量 (mg/kg) 以及土壤重量含水量 (%), 由于小麦有效根系层在生育前期会随着作物的生长而增加^[13], 因此在拔节期取小麦有效根系层为 0 ~ 60 cm, 抽穗期、灌浆期和成熟期有效根系层都取为 0 ~ 80 cm; $\bar{X}_N$ 和 $\bar{X}_w$ 分别为整个畦长 0 ~ 100 cm 土层的土壤累积平均硝态氮的含量 (mg/kg) 和重量含水量 (%); $\bar{X}_{NLQ}$ 为整个畦长具有最低值的 1/4 畦段作物有效根系层的土壤累积平均硝态氮的含量 (mg/kg); $\bar{X}_{wLQ}$ 为整个畦长具有最低值的 1/4 畦段作物有效根系层的土壤平均含水量 (%)。

1.5 数据处理

采用 DPS 软件处理分析试验数据并进行方差分析, 多重比较采用 Duncan 法 ($P \leq 0.05$ 显著水平)。

2 结果与分析

2.1 春小麦沿畦长方向土壤水氮空间分布状况

2.1.1 土壤含水量 图 1 和图 2 分别为河西畦田春小麦拔节期和成熟期灌前 2 d 和灌后 2 d, 0 ~ 100 cm 土层的土壤平均重量含水量沿畦长的空间分布状况, 表 2 为相应田内各点土壤平均重量含水量沿畦长的空间变差系数。

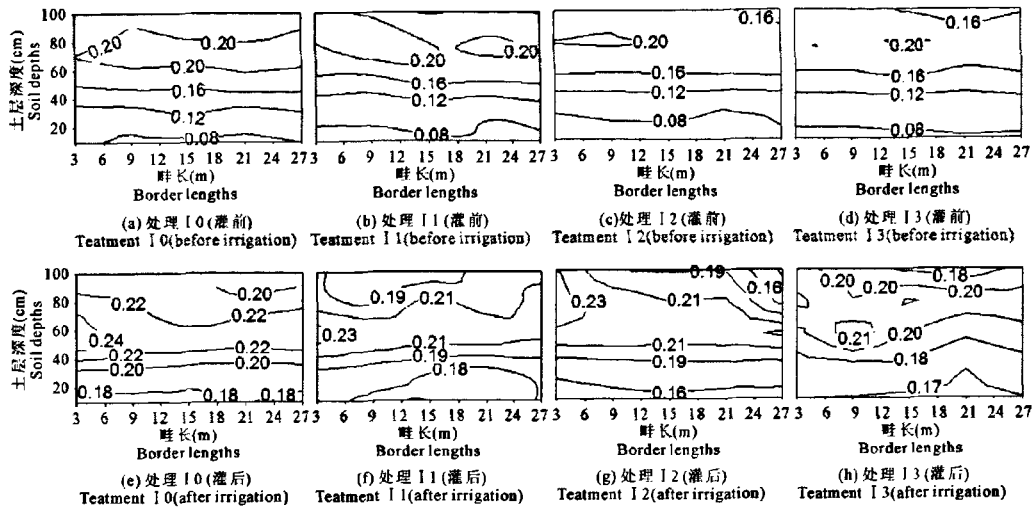


图1 拔节期春小麦灌水前后2 d土壤含水量(g/g)的空间分布状况

Fig.1 The spatial distribution of soil water content (g/g) 2 d before and after irrigation in jointing stage of spring wheat

拔节期灌水前2 d(图1(a)~(d))和灌水后2 d(图1(e)~(h))不同处理春小麦的土壤含水量在0~100 cm内均呈先增加后减少的趋势,其中在0~80 cm处呈增加趋势而在80~100 cm处呈减少趋势。与灌前2 d相比,灌后2 d不同处理春小麦土壤含水量在0~100 cm土层深度内均有所增加,其中在作物有效根层0~60 cm土层内增幅尤为显著,60~100 cm土层内增幅则相对较小。同时也知灌水量90 mm和60 mm两个不同灌水处理,均能使水流推进到畦尾,其中土层深度60~100 cm内,土壤含水量分布较复杂,这可能与土壤质地等密切相关。不同灌水处理下0~100 cm土层内土壤含水量各不相同,尤其是在60 cm土层以内,处理I2和处理I3的值分别小于处理I0和处理I1。由表2可知,拔节期不同处理灌前和灌后春小麦0~100 cm内土壤含水量空间分布的变差系数CV值分别在0.34~0.37、0.10~0.16之间,分布状况均为中等变异性。灌后2 d的CV值明显小于灌前2 d的CV值,其中处理I0、处理I1、处理I2和处理I3灌后2 d的CV值分别低于灌前2 d的CV值约69%、72%、57%和59%,说明灌水有助于改善土壤含水量的空间分布状况。灌后2 d处理I2和处理I3的CV值显著高于处理I0和处理I1的CV值,其中处理I2和处理I3的CV值分别高于处理I0和处理I1的CV值约45%和60%,27%和40%。这说明春小麦拔节期不同灌水量处理显著影响着土壤含水量空间分布状况。

成熟期灌前2 d和灌后2 d,不同灌水处理下0

~100 cm土层内土壤平均含水量沿畦长空间分布状况与拔节期灌水前后相类似,与灌前2 d(图2(a)和图2(c))相比,灌后2 d成熟期春小麦处理I0(图2(e))和处理I2(图2(g))的土壤含水量在土层深度(0~80 cm)中增幅较大,而土层深度(80~100 cm)中增幅较小,成熟期春小麦不灌水处理I1(图2(f))和处理I3(图2(h))的含水量在土层深度(0~40 cm)的值较小,而在土层深度(40~100 cm)中的土壤含水量与灌前2 d(图2(b)和图2(d))的土壤含水量相差不大,成熟期灌水处理(图2(e)和图2(g))春小麦的土壤含水量在土层深度0~80 cm内明显高于不灌水处理(图2(f)和图2(h))的土壤含水量。由图1和图2也可以看出拔节期春小麦的土壤含水量空间分布均匀性状况要好于成熟期春小麦的空间分布均匀性状况,这可能与作物根系的生长发育有关。由表2可知,成熟期春小麦灌前2 d和灌后2 d的CV值分别在0.29~0.34、0.17~0.35范围之间,分布状况均为中等变异性。灌后2 d处理I0和处理I2的CV值显著低于不灌水处理I1和处理I3的CV值,其中灌后2 d处理I0和处理I2的CV值分别低于不灌水处理I1和处理I3的CV值约50%和50%,41%和43%。这说明灌水有助于改善土壤含水量的空间分布状况。

2.1.2 土壤硝态氮 图3和图4分别为河西畦田春小麦拔节期和成熟期灌前2 d和灌后2 d,0~100 cm土层的土壤平均硝态氮含量沿畦长的空间分布状况,表2为相应田内各点土壤平均硝态氮含量沿畦长的空间变差系数。

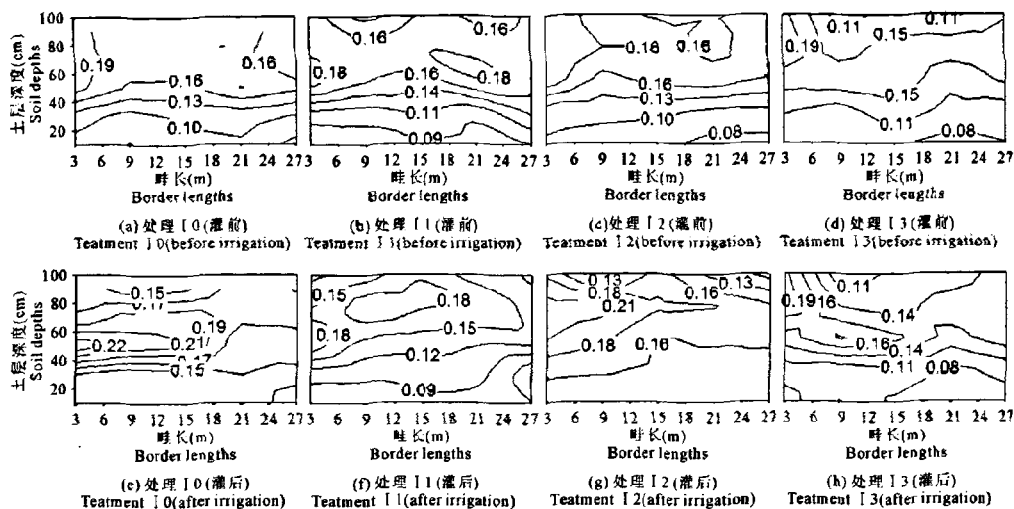


Fig. 2 The spatial distribution of soil water content (g/g) 2 d before and after irrigation in mature stage of spring wheat

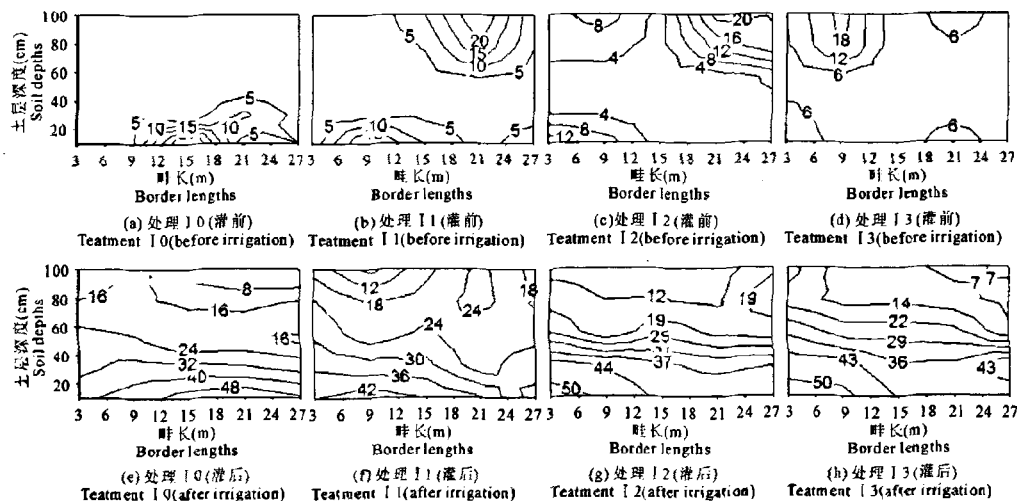


Fig. 3 The spatial distribution of soil nitrate content (mg/kg) 2 d before and after irrigation in jointing stage of spring wheat

分布不均匀,这可能与播前尿素的撒施均匀度和土壤的本底状况有密切联系。由表 2 可知,拔节期灌前 2 d 不同处理下的春小麦土壤硝态氮含量的变差系数 CV 值在 0.97~1.16 之间,处理 I 0 和处理 I 1 空间分布状况为强变异性而处理 I 2 和处理 I 3 空间分布状况为中等变异性,处理 I 0 与处理 I 1、I 2、I 3 之间差异显著,其中处理 I 0 的 CV 值高于处理 I 1,处理 I 2 和处理 I 3 的 CV 值约 55%、75% 和 73%,这可能是由于播前肥料撒施的不均匀性和土壤本底状况不同所造成的。灌后 2 d 不同处理的

土壤硝态氮含量的变差系数 CV 值在 0.39~0.60 之间,空间分布状况均为中等变异性。处理 I 2 和处理 I 3 的变差系数 CV 值显著大于处理 I 1 的 CV 值,其中处理 I 2 和处理 I 3 的 CV 值分别大于处理 I 1 的 CV 值约 46% 和 54%,处理 I 3 的变差系数 CV 值显著大于处理 I 0 的 CV 值,其中处理 I 3 的

CV 值大于处理 I 0 的 CV 值约 9%,处理 I 2 的 CV 值大于处理 I 0 的 CV 值,但不显著,这说明土壤硝态氮的空间分布状况与灌水量有密切的关系,以及与播前肥料的撒施均匀度、土壤的本底状况和作物的长势有关。

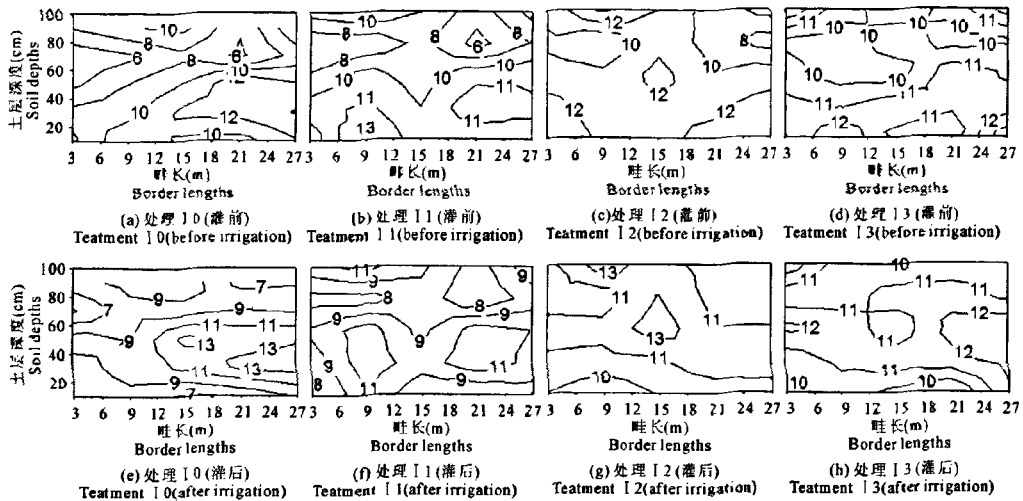


图4 成熟期春小麦灌水前后2 d土壤平均硝态氮含量(mg/kg)空间分布状况

Fig.4 The spatial distribution of soil nitrate content (mg/kg) 2 d before and after irrigation in mature stage of spring wheat

成熟期灌前2 d和灌后2 d(图4(a)~(h))在同一根系层内不同处理间春小麦的土壤硝态氮含量各不相同,且空间分布状况要好于拔节期的空间分布状况。与成熟期春小麦灌前2 d(图4(a)~(d))相比,灌后2 d(图4(e)~(h))不同处理间的春小麦有效根系层内的土壤硝态氮含量均下移。由表2可知,成熟期灌前2 d及灌后2 d春小麦有效根系层土壤硝态氮含量的空间分布变差系数 CV 值在 0.15~0.22、0.11~0.23 范围之间,分布状况为中等变异性。灌后2 d春小麦不同处理的土壤硝态氮含量间差异显著,处理 I 3 春小麦土壤硝态氮含量空间分布状况明显好于其它处理,其中处理 I 1、处理 I 2 和处理 I 3 的 CV 值分别小于处理 I 0 的 CV 值约 17%、35% 和 52%,处理 I 2 和处理 I 3 的 CV 值分别小于处理 I 1 的 CV 值约 21% 和 42%,处理 I 3 的 CV 值小于处理 I 2 的 CV 值约 27%。这说明春小麦在成熟期灌后2 d后的土壤硝态氮的空间分布变异性与灌水处理有密切关系。

2.2 灌水后2 d土壤水氮贮存效率与空间分布均匀度

2.2.1 灌水后2 d土壤水分和硝态氮贮存效率

由表3可知:不同生育期灌后2 d的土壤水分贮存

效率 E_w 值分别在 58%~59%、78%~79%、79%~82%、77%~83% 范围之间,不同处理间除成熟期外其余差异性均不显著,春小麦成熟期处理 I 0 和处理 I 2 灌后2 d的 E_w 值分别高出灌水处理 I 1 和处理 I 3 的 E_w 值约 5% 和 4%,8% 和 6%。不同处理下拔节期灌后2 d的 E_w 值小于抽穗期灌后2 d、灌浆期灌后2 d、成熟期灌后2 d的 E_w 值,主要是因为春小麦根系尚未发育完全,拔节期春小麦的有效根系层深度与抽穗期、灌浆期和成熟期有效根系层深度不同所造成的。随着作物的生长发育,作物根系也逐渐发育完全,对土壤水分的滞留作用增加从而使春小麦 E_w 值在灌浆期达到最大,其中不同处理春小麦的土壤水分贮存效率在拔节期、抽穗期和灌浆期间无显著性差异。成熟期由于作物根系逐渐衰老同时对土壤水分的滞留作用也逐渐减小从而造成 E_w 值变小,尤其是灌水处理和不灌水处理间土壤水分的贮存效率差异显著;不同生育期灌后2 d土壤硝态氮的贮存效率 E_n 值分别在 73%~83%、76%~84%、75%~85%、70%~81% 范围之间,拔节期灌后2 d的 E_n 值处理 I 1 显著小于处理 I 2 和处理 I 3,处理 I 0 显著小于处理 I 3,处理 I 0 小于处理 I 2,但不显著。其中,拔节期灌后2 d处理 I 1

的 E_N 值分别低于处理 I 2 和处理 I 3 的 E_N 值约 9% 和 12%, 处理 I 0 的 E_N 值分别低于处理 I 2 和处理 I 3 的 E_N 值约 4% 和 7%。这说明灌水量显著影响土壤硝态氮的贮存效率, 同时土壤硝态氮的贮存效率与播前撒施的均匀度和土壤的本底状况密切相关。抽穗期和灌浆期灌后 2 d 土壤硝态氮的贮存效率处理 I 0 和 I 1 显著低于处理 I 2 和 I 3, 其中抽穗期灌后 2 d 处理 I 0 和 I 1 的 E_N 值分别低于处理 I 2 和 I 3 的 E_N 值约 6% 和 7%, 8% 和 10%, 灌浆期灌后 2 d 处理 I 0 和处理 I 1 的 E_N 值分别低于处理 I 2 和处理 I 3 的 E_N 值约 8% 和 11%, 10% 和

12%。这可能与拔节期不同灌水处理有密切关系, 成熟期灌后 2 d 土壤硝态氮的贮存效率为处理 I 3 > 处理 I 2 > 处理 I 1 > 处理 I 0, 其中不同处理间差异显著, 且灌后 2 d 处理 I 0 的 E_N 值分别小于处理 I 1、处理 I 2 和处理 I 3 的 E_N 值约 4%、9% 和 14%, 处理 I 1 的 E_N 值分别小于处理 I 2 和处理 I 3 的 E_N 值约 5% 和 10%, 处理 I 2 的 E_N 值分别小于处理 I 3 的 E_N 值约 5%。这主要与在拔节期不同灌水处理有密切的联系, 同时也与播前肥料的撒施均匀度和土壤的本底状况有关。

表 2 不同处理情况下土壤水氮空间分布变差系数及其差异性检验

Table 2 Coefficient of variation and difference examination of soil water and nitrate under different treatments

灌水时期 Time of irrigation	处理 Treatments	土壤含水量 Soil water content		土壤硝态氮 Soil nitrate($\text{NO}_3 - \text{N}$) content	
		灌前 2 d	灌后 2 d	灌前 2 d	灌后 2 d
		2 d before irrigation	2 d after irrigation	2 d before irrigation	2 d after irrigation
拔节期 Jointing stage	I 0	0.35a	0.11b	1.70a	0.55b
	I 1	0.36a	0.10b	1.10b	0.39c
	I 2	0.37a	0.16a	0.97b	0.57ab
	I 3	0.34a	0.14a	0.98b	0.60a
抽穗期 Tassel stage	I 0	0.36a	0.18a	0.27b	0.19b
	I 1	0.37a	0.15a	0.24b	0.18b
	I 2	0.40a	0.15a	0.35a	0.30a
	I 3	0.39a	0.15a	0.33a	0.28a
灌浆期 Milky stage	I 0	0.35ab	0.11a	0.35ab	0.20a
	I 1	0.33b	0.10a	0.32b	0.20a
	I 2	0.38a	0.10a	0.35ab	0.23a
	I 3	0.35ab	0.10a	0.36a	0.21a
成熟期 Mature stage	I 0	0.34a	0.17b	0.22a	0.23a
	I 1	0.29b	0.34a	0.20ab	0.19b
	I 2	0.31ab	0.20b	0.17bc	0.15c
	I 3	0.34a	0.35a	0.15c	0.11d

注:表中数据为 2 个重复的平均值,同一生育期、同一土层内,具有相同字母的变量数值间在 $P=0.05$ 水平上无显著性差异。表 3 同。

Note: The numbers in the table are means of two repeats; In the same stage and in the same soil depth, the variable values having the same alphabet mean no significant difference in Duncan ($P=0.05$). They are the same in Table 3.

2.2.2 灌水后 2 d 土壤水分和硝态氮的空间分布均匀性 由表 3 可知:不同生育期灌后 2 d 土壤水分的空间分布 DU_{WLQ} 值分别在 95% ~ 98%、96% ~ 98%、96% ~ 98%、89% ~ 97% 范围之间,不同处理间土壤水分空间分布均匀性除成熟期有差异外,其余生育期不同处理间无明显差异,其中,成熟期灌后 2 d 处理 I 0 和处理 I 2 的 DU_{WLQ} 值分别高出不灌水处理 I 1 和处理 I 3 的 DU_{WLQ} 值约 7% 和 9%, 4% 和 7%。这说明灌水量对土壤水分沿畦长的空间分布

均匀性无差异性影响,成熟期不灌水处理降低了土壤水分空间分布均匀性。不同生育期灌后 2 d 土壤硝态氮的空间分布 DU_{WLQ} 值分别在 90% ~ 94%、92% ~ 96%、94% ~ 96%、90% ~ 97% 范围之间,不同处理间土壤硝态氮的空间分布均匀性除成熟期处理 I 0 与其他 3 个处理有差异外,其余生育期不同处理间无明显差异,这可能与灌水量、播前肥料的撒施均匀性、土壤的本底状况和作物的生长状况有密切关系。

表 3 灌水后 2 d 不同处理土壤水氮贮存效率与空间分布均匀度
Table 3 Soil water and nitrate storage efficiency and spatial distribution uniformity 2 d after irrigation under different treatments

灌水时期 Time of irrigation	处理 Treatments	土壤含水量 Soil water content		土壤硝态氮 Soil nitrate (NO ₃ - N) content	
		E _w (%)	DU _{w/q} (%)	E _N (%)	DU _{N/q} (%)
拔节期 Jointing stage	I 0	58a	98a	77b	94a
	I 1	59a	98a	73c	92a
	I 2	59a	95a	80ab	93a
	I 3	58a	97a	83a	90a
抽穗期 Tassel stage	I 0	78a	98a	78b	95a
	I 1	79a	97a	76b	94a
	I 2	79a	96a	83a	96a
	I 3	79a	96a	84a	92a
灌浆期 Milky stage	I 0	79a	98a	76b	95a
	I 1	81a	97a	75b	94a
	I 2	81a	96a	83a	96a
	I 3	82a	97a	85a	95a
成熟期 Mature stage	I 0	81a	97a	70d	90b
	I 1	77b	91b	73c	96a
	I 2	83a	95a	77b	97a
	I 3	78b	89b	81a	97a

3 结论与讨论

不同生育期灌水对河西农田春小麦的土壤水氮空间分布以及灌水均匀性的试验研究表明,在拔节期、抽穗期、灌浆期和成熟期,不同处理间春小麦灌前 2 d 和灌后 2 d 土壤水分空间分布沿畦长的空间分布状况相类似且均为中等变异性,灌后 2 d 的 CV 值小于灌前 2 d 的 CV 值。而且灌后 2 d 畦田内土壤含水量在 0~80 cm 增幅较大,80~100 cm 土层内增幅相对较小,其中成熟期不灌水处理在土层深度 0~80 cm 的土壤含水量明显低于灌水处理。土壤硝态氮空间分布状况在拔节期灌前 2 d 处理 I 0 和处理 I 1 为强变异性外,其余处理为中等变异性,这主要与播前肥料撒施的均匀性和土壤本底状况有关。不同处理间土壤硝态氮空间分布在抽穗期、灌浆期和成熟期均为中等变异性。而白美键等^[12]在北京大兴试验研究基地进行了冬小麦表施尿素畦灌下土壤水氮分布试验的研究,其结果表明,灌前 2 d 和灌后 2 d 土壤水分空间分布状况均为弱变异性,土壤硝态氮的分布状况均为中等变异性。灌后 2 d 土壤水分分布在 0~100 cm 土层。梁艳萍等^[14]进行的畦灌施肥模式对土壤水氮时空分布的影响的研究表明扬花水灌前 2 d 和灌后 2 d 土壤水分分布状况均为弱变异性,灌后 2 d 作物有效根系层(0~60 cm)的土壤水分增幅明显,而 60~80 cm 土层的水分变

幅相对较小。该试验也表明成熟期灌后 2 d 土壤硝态氮含量的不同与拔节期灌水处理不同有很大的关系,这与前人的研究结果部分一致^[15-17],由于本试验只研究了成熟期灌后 2 d 土壤硝态氮的含量,因此有必要进一步研究春小麦收获时土壤硝态氮的含量。同时该试验也表明同一生育期灌水量不同仅对该生育期春小麦土壤水分空间分布的变异性有显著影响,而同一生育期灌水量不同不仅对该生育期春小麦土壤硝态氮空间分布变异性有影响,而且还对春小麦以后的生育期都产生不同程度的影响。该试验也表明影响土壤水分和土壤硝态氮的空间分布因素较多,土壤水氮的空间分布与土壤本底状况、肥料撒施均匀性、作物的生长发育等诸多因素有关,因此有必要开展进一步的研究。

试验表明不同生育期灌水对不同处理间的土壤水贮存率无显著影响,成熟期不灌水处理的土壤水贮存率明显低于灌水处理。不同生育期灌水对不同处理间土壤硝态氮贮存率有显著影响,成熟期不灌水能增加土壤硝态氮的贮存率,而灌水减少了土壤硝态氮的贮存率。不同生育期灌水对不同处理间土壤水分和土壤硝态氮含量沿畦长的空间分布均匀性无显著影响,但成熟期不灌水处理对土壤水分沿畦长的空间分布均匀性影响显著小于灌水处理对土壤水分沿畦长的空间分布均匀性,而对土壤硝态氮的空间分布均匀性无显著影响。

参考文献:

- [1] 杜群. 西北地区水资源可持续管理与防治土地退化的区域政策——以石羊河流域为例[J]. 资源科学, 2004, 26(6): 78-82.
- [2] 李益农. 我国地面灌溉技术评价及其发展趋势[C]//中国水利学会首届青年科技论坛论文集. 北京: 中国水利水电出版社, 2004: 201-207.
- [3] 李益农, 许迪, 李福祥. 影响水平畦田灌溉质量的灌水技术要素分析[J]. 灌溉排水, 2001, 20(4): 10-14.
- [4] 中国自然资源研究会. 中国干旱半干旱地区自然资源研究[M]. 北京: 科学出版社, 1988.
- [5] 刘小刚, 张富仓, 田育丰, 等. 限量灌溉对石羊河流域春小麦根区水氮迁移和利用的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(6): 57-62.
- [6] 吴立峰, 张富仓, 张鹏, 等. 灌水和施氮对甘肃河西绿洲春小麦生长及产量的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2011, 39(7): 55-63.
- [7] 寇爱萍, 张富仓, 冯磊磊, 等. 不同生育期灌水和施氮对河西地区春小麦生长和产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(3): 1-6.
- [8] 李久生, 饶敏杰, 张建君. 土壤及喷灌水量不均匀性对干旱区春小麦产量影响的试验研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(3): 15-21.
- [9] 李久生, 饶敏杰. 喷灌施肥均匀性对冬小麦产量影响的田间试验评估[J]. 农业工程学报, 2000, 16(6): 38-42.
- [10] Hillel D. Application of Soil Physics[M]. New York: Academic Press, 1980.
- [11] 南京农学院. 田间试验和统计方法[M]. 北京: 农业出版社, 1979.
- [12] 白美健, 许迪, 李益农. 冬小麦表施尿素畦灌下土壤水氮分布试验研究[J]. 水利学报, 2010, 41(10): 1254-1260.
- [13] 许迪, 蔡林根, 王少丽, 等. 农业持续发展的农田水管理研究[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2000.
- [14] 梁艳萍, 许迪, 李益农, 等. 畦灌施肥模式对土壤水氮时空分布的影响[J]. 水利学报, 2008, 39(11): 1221-1228.
- [15] 姜东燕, 于振文, 许振柱. 灌溉量和施氮量对冬小麦产量和土壤硝态氮含量的影响[J]. 应用生态学报, 2011, 22(2): 364-368.
- [16] Saffigna P C, Keeney D R. Nitrogen and chloride uptake by irrigated Russet Burbank potatoes[J]. Agron, 1977, 69: 258-264.
- [17] 金欣欣, 张喜英, 陈素英, 等. 不同灌溉次数和灌溉量对冬小麦氮素吸收转移的影响[J]. 华北农学报, 2009, 24(4): 112-118.

Effect of irrigation at different growth stages on soil water and nitrogen spatial distribution in Hexi spring wheat border field

SUO Yan-song, ZHANG Fu-cang, XUE Feng-ding, WU Li-feng, YUAN Yu-xia

(Key Laboratory of Agricultural Soil and Water Engineering in Arid and Semiarid Areas, Ministry of Education, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The experimental study on spatial distribution and uniformity of soil water and nitrogen was conducted in Hexi spring wheat border field from April to July 2011. Border irrigation, 30 m × 3 m, was designed and five points along border length center used for fixed observation were arranged in parts respectively 3 m, 9 m, 15 m, 21 m and 27 m from the head of border. The contents of soil water and nitrate 2 d before and after irrigation were investigated in 0 ~ 100 cm soil depths. Meanwhile the spatial variabilities, the storage efficiency in the crop root zone and the uniformity along basin length for soil water and nitrate were evaluated. The results show that, spatial variabilities of the soil water content 2 d before and after irrigation in all treatments at different growing stages are medium. The value of coefficient of variation 2 d before irrigation are higher than that 2 d after irrigation. The spatial variabilities of the soil nitrate (NO₃ - N) content 2 d before and after irrigation are also medium except those in the treatments of irrigation water consumption of 90 mm and 60 mm at jointing stage are strong. The soil water storage efficiency are not significantly different at various growing stages. There is significant difference between no irrigation and irrigation at mature stage. While the soil nitrate content storage efficiency is significantly different and increases under no irrigation and adverse under irrigation at mature stage. For the uniformity of soil water and nitrate along basin length, the results show no significant difference among all irrigation treatments at different stages. The uniformity of soil water in no irrigation treatment is significantly lower than that in irrigation treatment at mature stage, while the uniformity of soil nitrate has no significant difference in the two treatments at the same stage.

Keywords: irrigation at different growing stages; spring wheat; storage efficiency; spatial distribution; uniformity; soil water and nitrogen