

垄沟耕作条件下滴灌冬小麦田间土壤水分的动态变化*

吴 巍¹ 陈雨海^{1†} 李全起¹ 周勋波¹ 孙妮娜¹ 徐德力² 杨荣光²

(1 山东农业大学农学院, 山东泰安 271018)

(2 山东省泰安市农业气象试验站, 山东泰安 271000)

摘 要 试验在池栽条件下研究了滴灌与垄沟耕作条件下冬小麦田间土壤水分的动态变化。结果表明: 滴灌对 0~60 cm 土壤水分含量影响比较明显, 由于受土壤蒸发和作物根系吸收水分的影响, 0~30 cm 土壤水分含量在整个生育时期内变化最为剧烈, 其次是 30~60 cm 层次的土壤, 90~120 cm 层次的土壤整个生育时期水分含量最为稳定。灌溉后土壤水分 0~120 cm 土层中呈现“Z”型分布, 且与垄作相比, 灌溉对沟播处理各层次的影响更大。另外, 通过对不同生育时期各个层次土壤水分含量的分析可以看出, 冬小麦的灌浆期是其活跃的耗水期, 其次是抽穗期。不灌溉处理的耗水深度主要集中在土壤下层, 灌溉处理的耗水程度变化较复杂。与畦播处理相比较(见讨论部分), 灌溉后沟播处理土壤水分上升最明显, 垄作处理次之, 畦播最小。灌溉一周后畦播土壤水分下降最快, 垄作次之, 沟播最小。而就灌溉后土壤水分运动而言, 垄作与沟播处理快于畦播处理。

关键词 滴灌; 冬小麦; 沟播与垄作; 土壤水分

中图分类号 S152.7 文献标识码 A

土壤水分是冬小麦生长过程中的一个重要生态因子, 对其生长发育及最终产量有重要影响^[1]。水资源亏缺是华北平原农业高效持续发展的限制性因素^[2], 土壤干旱是限制农作物发挥其产量潜力的限制性因素^[3], 因此, 如何提高该地区灌溉水的利用效率成为当前农业节水的研究热点。种植方式与节水灌溉相结合成为近年来新的研究方向, 如张源沛等^[4]对地膜覆盖对冬小麦节水效应的研究, 吕殿青等^[5]对垄沟耕作条件下的土壤水分分布试验研究等。垄沟耕作作为一种水土保持复合耕作法, 改变地形, 拦蓄部分径流, 相对增加土壤蓄水, 提高水分利用率, 减少土壤流失^[6-9]。垄作与沟播具有增加土壤贮水量的效果^[10, 11]。

滴灌属于局部灌溉, 棵间蒸发和深层渗漏损失少, 能把水分较为集中地输送到作物的根部, 因此水分利用效率较高^[12]。我国目前有关滴灌的研究主要集中在经济价值较高的作物上, 但是随着水资源的日益紧缺, 滴灌技术将越来越多的应用于大田作物。冬小麦是我国北方重要的粮食作物, 其生育时期内土壤水分亏缺, 但是对于滴灌条件下定量灌溉

对作物生长发育影响的研究还比较少, 影响了其节水效益的发挥。

研究土壤水分的目的是为农田灌溉提供理论依据, 通过对土壤水分的研究了解土壤水分在农田不同层次的分布及作物吸收利用的情况, 从而达到切实提高水分利用效率的目的, 找出适合本地区冬小麦的灌溉制度。试验以冬小麦为供试作物, 在垄作和沟播条件下, 通过滴灌对其进行定量、定期的局部灌溉, 并对农田土壤水分动态变化进行研究, 以期为指导农田灌溉提供理论依据。

1 材料与方法

试验于 2004~2005 年在山东农业大学试验农场采用池栽方式进行, 共设 48 个水分池, 每个池子的面积为 7.84 m², 深 1.5 m, 下不封底, 四周用水泥层隔离, 池内埋有中子管用于分层测定土壤含水率(用 CNC503DR 型中子仪测定, 测定值为体积含水率)。小麦生育期内共施 N 肥 300 kg hm⁻², 底肥和拔节期追肥各占 1/2, P₂O₅ 300 kg hm⁻², K₂O

* 聊城市国家计委大型优质小麦生产基地项目基金资助

† 通讯作者, E-mail: mariahww@126.com

作者简介: 吴 巍(1980~), 男, 硕士研究生, 主要从事种植制度、农业生态和节水农业研究。E-mail: scentlily@sda.u.edu.cn

收稿日期: 2005-07-26; 收到修改稿日期: 2005-09-12

75 kg hm⁻², 均作为底肥一次性施入, 其他田间管理措施同高产田。试验田的土壤容重和田间最大持水量(体积含水率)分别为 1 150 kg m⁻³和 36.82%。试验期间降雨如表 1 所示。

试验采用裂区设计, 主因素为沟播和垄作两种种植方式, 副因素为不灌水, 灌拔节水, 灌拔节、抽穗

水, 灌拔节、抽穗和灌浆水 4 种水分处理, 每个处理均设置 3 个重复, 试验处理设置如表 2 所示。本试验供试品种为山东农业大学培育的优质强筋小麦品种山农 8049, 播种期 2004 年 10 月 6 日, 收获期为 2005 年 6 月 3 日, 种植密度为每公顷 210 万基本苗。

表 1 2004 年 10 月~ 2005 年 5 月降雨情况

Table 1 Rainfall between Oct, 2004 and May, 2005

日期 Date	10月 Oct.	11月 Nov.	12月 Dec.	1月 Jan.	2月 Feb.	3月 Mar.	4月 Apr.	5月 May
降雨量 Rainfall(mm)	6.5	24.9	4.0	0	14.5	0.0	51.8	94.4

表 2 试验处理设置

Table 2 The design of experiment treatments

处理 ^①	L0	L1	L2	L3	G0	G1	G2	G3
拔节水 ^② /mm	0	60	60	60	0	60	60	60
抽穗水 ^③ /mm	0	0	60	60	0	0	60	60
灌浆水 ^④ /mm	0	0	0	60	0	0	0	60
总灌水量 ^⑤ /mm	0	60	120	180	0	0	0	180
种植方式 ^⑥	垄作 ^⑦	垄作 ^⑦	垄作 ^⑦	垄作 ^⑦	沟播 ^⑧	沟播 ^⑧	沟播 ^⑧	沟播 ^⑧

①Treatment; ②Booting water; ③Tasseling water; ④Grain-filling water; ⑤Total irrigation; ⑥Planting patterns; ⑦Ridge planting; ⑧Furrow planting

其中垄作和沟播均采用“20+40”模式, 即沟播(沟宽 20 cm, 垄底宽 40 cm, 垄顶宽 20 cm), 垄作(垄顶宽 20 cm, 垄底宽 40 cm), 垄作和沟播中子管分别埋于垄上和沟中。垄作和沟播处理灌水方式均采用沟内滴灌, 灌水量为 60 mm, 采用水表严格控制灌水量。

冬小麦生育期间, 每 7 d 用 CNC503DR 型中子水分仪测定一次土壤水分, 测深为 1.8 m, 每 10 cm 一个层次, 降雨及灌溉前后各加测一次。

2 结果与分析

2.1 沟播与垄作条件下不同层次土壤水分的动态变化

2.1.1 冬小麦田 0~ 30 cm 土壤水分动态变化

图 1 是沟播与垄作两种种植方式下 0~ 30 cm 土壤水分的动态变化, 由图中可以看出灌溉可以明显提高此层次的土壤含水率, 以灌拔节水前后土壤水分含量的变化为例, 与不灌溉处理相比, 灌溉后垄作和沟播处理土壤含水率分别提高了 7.38% 和 7.56%, 且两种种植方式中不灌溉处理整个生育时期土壤含

水率均低于灌溉处理, 但到了生育后期不灌溉和灌水一水处理土壤水分含量差异不明显。

从图中还可以看出, 0~ 30 cm 土壤水分变化比较剧烈。而且各个处理的土壤水分含量变化整体呈现下降的趋势, 虽然灌溉和降雨能提高土壤水分含量, 但灌溉或降雨后 1 周左右土壤含水率则迅速开始下降, 以灌拔节水为例, 灌溉 1 周后垄作与沟播处理土壤水分含量分别下降了 4.87% 和 3.44%。综观此层次两种种植方式土壤水分的变化, 沟播处理的水分含量要高于垄作处理。

2.1.2 冬小麦田 30~ 60 cm 土壤水分动态变化

图 2 是垄作与沟播两种条件下 30~ 60 cm 土壤水分的动态变化图, 由图中可以看出, 两种种植方式条件下水分的变化趋势基本相同, 灌溉对此层次土壤水分含量的影响要小于 0~ 30 cm 层次, 仍以灌拔节水为例, 较不灌溉处理灌溉后垄作和沟播的土壤含水率分别提高了 3.61% 和 4.53%, 明显低于其对 0~ 30 cm 的影响, 而且此层次灌溉后土壤水分的下降要相对缓慢, 灌拔节水后 1 周垄作与沟播处理土壤水分分别下降了 0.72% 和 1.08%。生育后期两种种植方式各处理间的差异相对于 0~ 30 cm 层次要

更加明显。

由图中还可以看出该层次的土壤水分含量变化较 0~30 cm 层次要平缓, 图中出现的各个峰值是灌溉后出现的结果, 与沟播处理相比, 垄作的土壤含水

率要高于沟播处理, 且与沟播不灌溉处理土壤水分含量一直下降相比, 垄作不灌溉处理整个生育时期仍有较大的变化, 这是此层次两种种植方式土壤水分含量动态变化的最大不同之处。

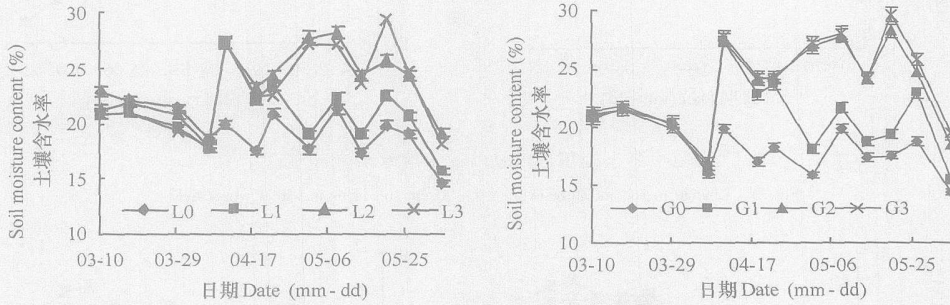


图 1 冬小麦田 0~30 cm 土壤水分动态变化

Fig. 1 Change in soil moisture in the 0~30 cm soil layer in winter wheat field

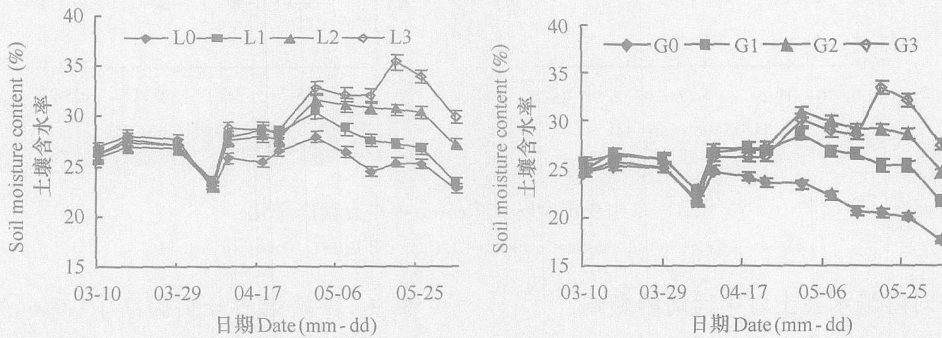


图 2 冬小麦田 30~60 cm 土壤水分动态变化

Fig. 2 Change in soil moisture in the 30~60 cm soil layer in winter wheat field

2.1.3 冬小麦田 60~90 cm 土壤水分动态变化

图 3 是沟播和垄作 60~90 cm 土壤水分含量的动态变化。由图可以看出此层次的土壤含水率的变化主要受灌溉的影响, 但是灌溉对此层次土壤含水率的影响与以上两个层次相比明显要小, 仍以灌溉节水为例, 与不灌溉处理相比, 灌溉节水后垄作和沟播两种种植方式的土壤含水率分别提高了 2.06% 和 1.88%, 显著低于 0~30 cm 和 30~60 cm 两个层次, 这与滴灌深层渗漏损失少的特点有关。

综观垄作和沟播两种种植方式此层次土壤水分变化的特点可以看出, 前期土壤水分变化趋势基本相同, 灌溉能够提高土壤含水率, 且灌溉后土壤水分的下降更加缓慢, 只是在灌浆阶段土壤水分的下降速度开始加快, 这与灌浆阶段耗水量大,

作物更多的利用深层水有关, 且各个处理在收获时土壤含水率的差异非常明显。与 30~60 cm 层次相似, 沟播不灌溉处理的土壤含水率在整个生育时期内基本呈现下降趋势, 而垄作不灌溉处理的变化则相对较大。

2.1.4 冬小麦田 90~120 cm 土壤水分动态变化

图 4 是垄作与沟播两种种植方式条件下土壤水分在 90~120 cm 的动态变化, 此层次受降雨和灌溉的影响更小, 水分含量变化最为稳定, 除沟播不灌溉处理外其他处理的水分变化基本处于稳定状态, 与 60~90 cm 层次土壤相似, 此层次土壤水分只在灌浆阶段有较明显的变化。灌溉后对土壤水分的影响不明显, 且到了收获时期各个处理土壤含水率之间的差异也较小。

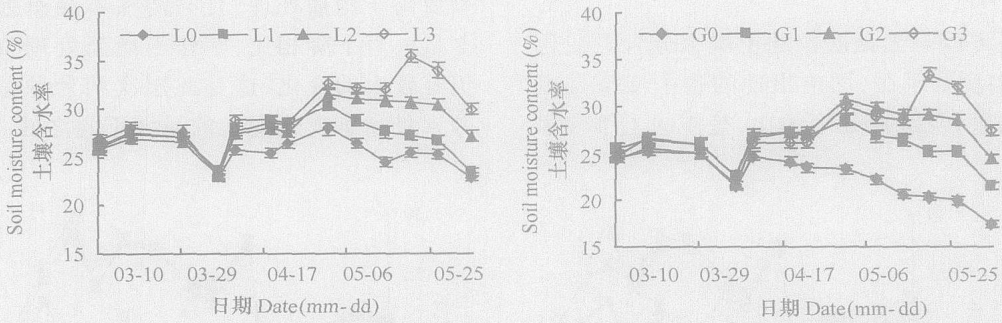


图3 冬小麦田 60~90 cm 土壤水分动态变化

Fig. 3 Change in soil moisture in the 60~90 cm soil layer in winter wheat field

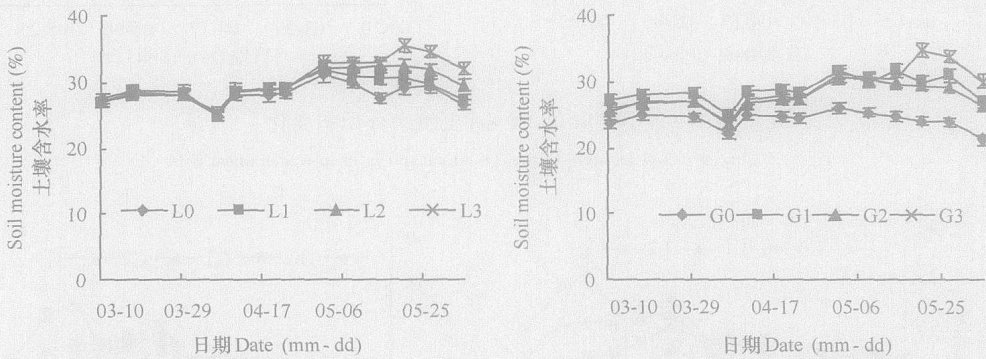


图4 冬小麦田 90~120 cm 土壤水分动态变化

Fig. 4 Change in soil moisture in the 90~120 cm soil layer in winter wheat field

2.2 沟播垄作对灌溉水在土壤中运动的影响

图5为垄作与沟播条件下拔节水在土壤中的运动情况,以上各个处理均在2005年4月6日灌溉拔节水,图5为灌溉前、灌溉后4 d、12 d和16 d拔节水在不同土层厚度中的分布及其运动的情况。由图中可以看出,两种种植方式下土壤水分在不同时间均呈现“Z”型分布,灌溉后第4 d沟播和垄作两种种植方式下土壤水分含量的最大值均在30 cm左右,水分含量分别达到了30.14%和

29.59%,较灌溉前分别提高了10.64%和9.04%,灌溉后第12天土壤水分继续下移,土壤水分含量的最大值出现在50 cm左右。随着土壤水分的向下运动和表层土壤的蒸发,两种种植方式条件下均表现了浅层土壤水分(0~30 cm)的剧烈变动,相对沟播而言,垄作处理0~60 cm层次的土壤水分变幅较大,变幅范围为2.32%~24.94%,而沟播处理只有1.21%~22.87%。灌溉后第16 d土壤水分基本趋于稳定。

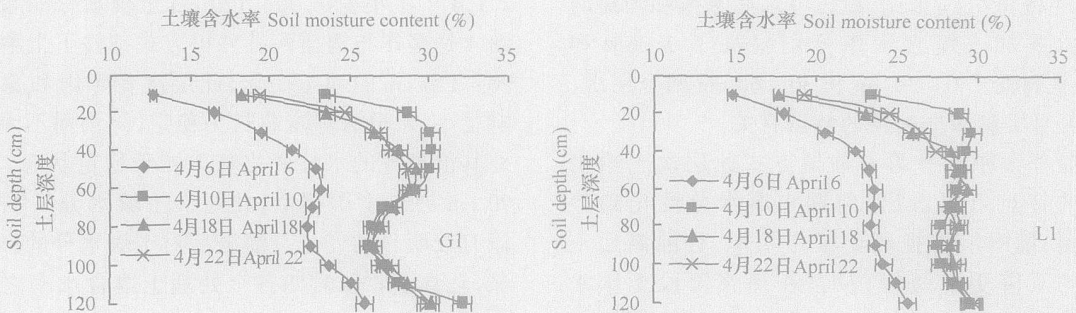


图5 沟播与垄作对水分在土壤中运动的影响

Fig. 5 Effect of furrow-planting and ridge planting on water movement in the soil

2.3 灌溉及种植方式对冬小麦不同生育时期土壤水分纵深分布的影响

图6是两种不同的种植方式下播种期(10月4日)、拔节期(4月6日)、抽穗期(4月27日)、灌浆期(5月14日)和收获期(6月4日)不同层次深度土壤水分的动态变化。通过比较不同时期不同层次土壤水分的纵深变化,以了解灌溉以及种植方式对冬小麦水分供给层深度的影响。本文选取了G0、G3和L0、L3四个具有代表性的处理来加以说明。

从图中可以看出,四个处理自播种到拔节期间由于没有灌溉且期间降水较少,土壤中深层次的水分变动较浅层次更为明显,G0和L0分别在80 cm和70 cm左右变动最为剧烈,土壤含水率较播种时分别降低了13.52%和11.38%。由图中还可以看出此段时间沟播处理各层次土壤水分含量下降程度要高于垄作处理,就0~120 cm层次土壤含水率的

平均变化来看,垄作处理各层次土壤水分平均下降了10.02%,而沟播处理则下降了12.27%。自4月6日灌溉拔节水后可以看出,灌溉对这两种种植方式土壤水分的纵深分布产生了显著的影响。4月6日至4月27日,G0、G3、L0、L3四个处理土壤水分含量均提高,这与此时期冬小麦耗水强度小以及降雨有关,G0、L0、G3、L3四个处理土壤含水率分别提高了1.52%、2.12%、5.51%和4.60%。自4月27日到5月14日小麦抽穗阶段,对于灌溉处理而言,土壤水分含量是升高的,而不灌溉处理土壤水分含量是下降的。自5月14日至6月3日的灌浆阶段是小麦的活跃耗水期,对于灌溉处理,耗水土层主要集中在0~60 cm,而不灌溉处理主要集中在30~90 cm土层,且从图中可以看出,灌溉与不灌溉处理的土壤水分含量都是下降的。灌浆期间,不同种植方式之间比较,垄作处理的耗水量要明显的高于沟播处理。

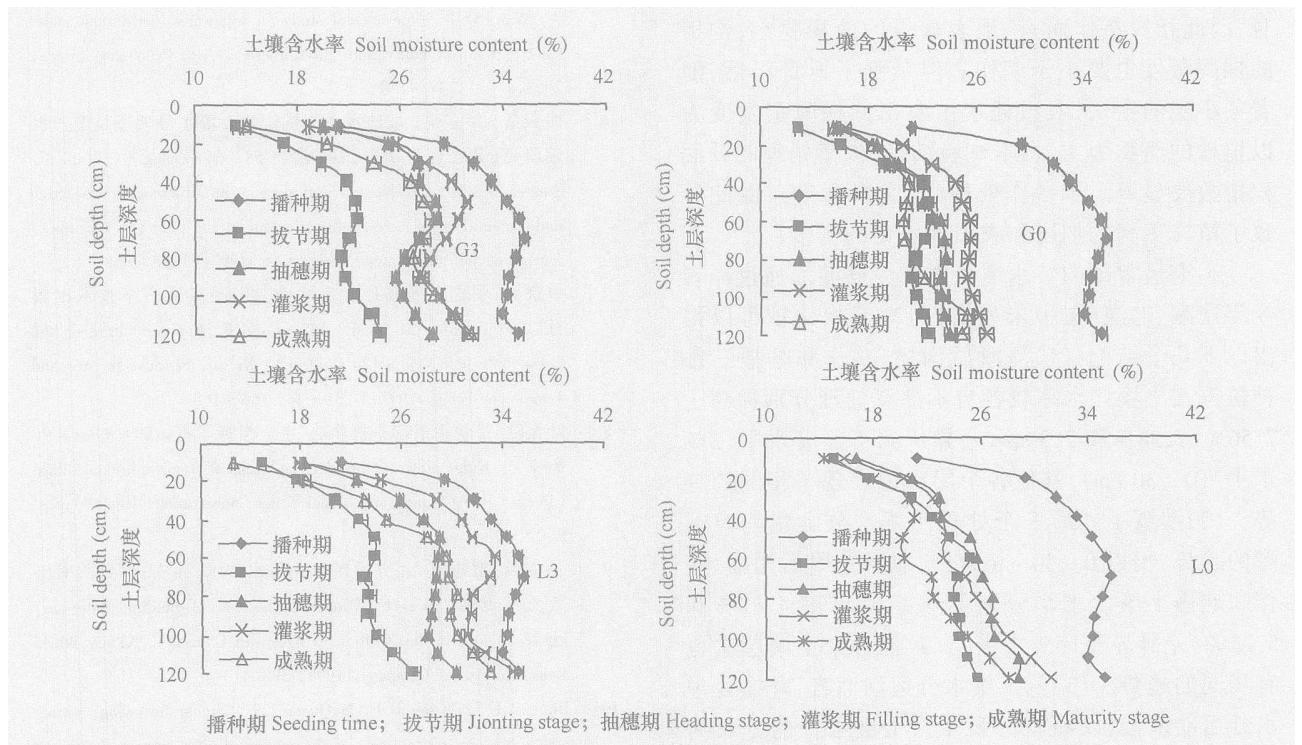


图6 不同生育时期沟播与垄作条件下土壤水分的纵深分布动态

Fig. 6 Change in soil moisture distribution in different soil depth under the furrow-planting and ridge-planting conditions

3 讨论

本试验研究了垄作和沟播条件下滴灌对土壤0~120 cm层次土壤水分的影响,试验结果表明灌溉对0~60 cm层次土壤水分的影响要大于70~

120 cm土壤层次。两种种植方式下均是0~60 cm层次土壤水分含量变化较为剧烈,其原因有二:一是此层次土壤受灌溉和降雨的影响比较大,二是此层次土壤蒸发相对于深层次土壤蒸发强度大,而且此层次小麦根系密度大,小麦自身耗水多,造成土壤水分下降快。

本试验在研究土壤水分动态变化的基础上研究了灌溉水在土壤中的运动情况,由试验结果可以看出土壤水分在不同层次的土层中呈现“Z”型分布,灌溉水在土壤中有一个逐渐下渗的过程,而且两种种植方式相比,垄作浅层次土壤水分变化剧烈,这可能与垄作条件下地表裸露比较多,土壤蒸发强度大有关。

另外本试验还研究了沟播和垄作两种种植方式下冬小麦对不同层次土壤水分的利用情况以及各个生育期不同层次土壤含水率的变化。试验结果表明不灌溉处理的冬小麦能更多的利用深层次的土壤水分,这可能与土壤水分亏缺条件下冬小麦的根冠比增大,根系更多的向土壤深处下扎有关^[8]。而且从各个生育期不同层次土壤水分的消耗来看,返青之前沟播处理的冬小麦耗水量要低于垄作处理,而返青之后则是沟播处理的耗水量大。其原因是返青之前冬小麦植株比较小,地表大量裸露,农田耗水以棵间蒸发为主,沟播小麦能够“荫蔽”垄的两侧和沟本身,因此相对垄作而言,地表裸露的面积要小,沟播的棵间蒸发也要小于垄作。但是到了返青以后,随着冬小麦的生长,农田耗水由农田的棵间蒸发变为以植株的蒸腾为主,据本试验结果,沟播处理的叶面积指数要显著高于垄作处理(本文未列出),由此导致了植株蒸腾的加剧和农田耗水量的增多。

小麦最常规的节水灌溉方式为畦灌。通过作者今年滴灌、畦灌(文中未列出)与沟灌相比较可以得出以下几个结论:(1)灌溉后沟播、垄作和畦播三种种植方式土壤含水率较各自不灌溉处理分别提高了7.56%、7.38%和7.30%,差异达到了显著水平(5%水平)(0~30 cm),其他各个层次也表现了相同的趋势。(2)灌溉1周后三个处理土壤水分含量均有下降的趋势,仍以0~30 cm为例,灌溉一周后沟播、垄作和畦播土壤含水率分别下降了3.44%、4.87%和5.25%,差异显著(5%水平)。其他各个土壤层次也有相同的趋势。(3)就土壤水分运动而言,畦播处理水分运动最慢,以灌溉后第4天土壤水分的分布为例,畦播处理土壤含水率最大值在20 cm处,而垄作和沟播处理均出现在了30 cm左右。

参 考 文 献

[1] 张忠学,温金祥,吴文良,等.华北平原冬小麦不同培肥措施的节水增产效应研究.灌溉排水,2000,19(1):9~11.

Zhang Z X, Wen J X, Wu W L, *et al.* Effects of yield-improving and water saving of different soil fertilization systems in winter wheat in North China Plain (In Chinese). *Guangai Paishui*, 2000, 19(1): 9~11

- [2] 高鸢,胡春胜,陈素英.喷灌条件下不同灌水处理冬小麦的叶水势特征.土壤,2005,37(4):410~414. Gao L, Hu C S, Chen S Y. Characteristics of leaf water potential of winter wheat with different water treatments under sprinkling irrigation (In Chinese). *Soils*, 2005, 37(4): 410~414
- [3] Hu J C, Cao W X, Zhang J B, *et al.* Quantifying response of winter wheat physiological processes to soil water stress for use in growth simulation modeling. *Pedosphere*, 2004, 14(4): 509~518
- [4] 张源沛,张益明,周会成.半干旱地区春小麦不同种植方式土壤水分变化规律研究初探.土壤,2003,35(2):168~170. Zhang Y P, Zhang Y M, Zhou H C. Preliminary study of soil water variation under spring wheat cultivation with and without plastic mulching in semiarid regions of Ningxia (In Chinese). *Soils*, 2003, 35(2): 168~170
- [5] 吕殿青,邵明安,王全九.垄沟耕作条件下的土壤水分分布试验研究.土壤学报,2003,40(1):147~150. Lu D Q, Shao M A, Wang Q J. Experimental study on soil water distribution under ridger and furrow cultivation (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2003, 40(1): 147~150
- [6] 张兴昌,卢宗凡.坡地水平沟耕作的土壤水分动态及增产机理研究.水土保持学报,1993(9):58~66. Zhang X C, Lu Z F. Studies on soil water dynamic and mechanism of increasing production under conditions of furrow cultivation in sloping field (In Chinese). *Journal of Soil and Water Conservation*, 1993(9): 58~66
- [7] 卢宗凡.中国黄土高原生态农业.西安:陕西科学技术出版社,1997.3,31~34,166~168. Lu Z F. *Eco-agriculture on the Loess Plateau in China* (In Chinese). Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 1997. 3, 31~34, 166~168
- [8] 叶振欧.带状平播起垄耕作法.水土保持学报,1993(9):8~9. Ye Z O. Ridge cultivation under conditions of strip traditional tillage (In Chinese). *Journal of Soil and Water Conservation*, 1993(9): 8~9
- [9] 王龙昌,贾志宽.北方旱区农业节水技术.西安:世界图书出版公司,1998.39~41. Wang L C, Jia Z K. *Agriculture water-saving technology in the North Arid Area* (In Chinese). Xi'an: World Books Publishing Company, 1998. 39~41
- [10] Branson F A, Miller R F, McQueen I S. Contour furrowing, pitting and ripping on range lands of the western United States. *J. Range Manage*, 1966, 19: 182~190
- [11] Brown A L, Everson C A. Longevity of ripped furrows in southern Arizona desert grassland. *J. Range Manage*, 1952, 5: 415~419
- [12] Yohannes F, Tadesse T. Effects of drip and furrow irrigation and plant spacing on yield of tomato at Dire Dawa, Ethiopia. *Agricultural Water Management*, 1998, 35(3): 201~207

DYNAMIC CHANGES IN SOIL MOISTURE IN WINTER WHEAT FIELD UNDER CONDITIONS OF DRIP IRRIGATION, FURROW AND RIDGE PLANTING

Wu Wei¹ Chen Yuhai[†] Li Quanqi¹ Zhou Xunbo¹ Sun Nina¹ Xu Deli² Yang Rongguang²

(1 *Agronomy College of Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018, China*)

(2 *Meteorological Experiment Station, Tai'an, Shandong 271000, China*)

Abstract An experiment was carried out to study changes in soil moisture in winter wheat field under the conditions of drip irrigation, furrow and ridge planting. Results show that drip irrigation had obvious effect on soil moisture content in the soil layer between 0 and 60 cm in depth. Because of soil evaporation and water absorption by plant roots, soil moisture content in the 0~30 cm soil layer changed the most drastically during the growing season, less in the 30~60 cm soil layer, and the least in the 90~120 cm soil layer. After irrigation, soil moisture in the 0~120 cm soil layer was distributed in a "Z" pattern. Drip irrigation showed greater effect on furrow planting than on ridge planting. Analysis of soil moisture content in every soil layer, demonstrated that the plant at the milking stage was the most water-consuming stage, and the tasselling stage came the next. Treatments without irrigation consumed the water in deeper soil layers. Soil moisture content in the ridge planting treatment was higher than in the furrow planting treatment. Compared with the flatten culture treatments, the furrow treatments increased the most in soil moisture content after irrigation, the ridge planting treatments came the next. One week after irrigation, soil moisture content dropped the most sharply in the flatten culture treatments, the next in the ridge planting treatments, and the least in the furrow planting treatments. As for soil water movement after irrigation, it was faster in the ridge planting and furrow planting treatments than in the flatten culture treatments.

Key words Drip irrigation; Winter wheat; Furrow planting and ridge planting; Soil water