不同畦灌方式对冬小麦土壤水分和水分利用效率的影响

洪 瑜,王 芳,刘汝亮,李友宏,陈 晨,赵天成
(宁夏农林科学院农业资源与环境研究所, 宁夏 银川 750002)

摘 要: 通过田间畦灌试验,研究了冬小麦主要生育阶段的需水规律,分析了不同畦灌方式对冬小麦土壤水分及水分利用效率的影响,评价不同畦灌处理下的灌水质量及节水效益。结果表明,冬小麦灌浆期对水分需求量最大;与漫灌(CK)处理相比,冬小麦畦灌小区 30 m×3 m 的灌水均匀度与灌溉效率最高,达到 93.33%和 84.46%,耗水量减少了 5.96%,产量增加了 25.30%,水分利用效率提高了 33.24%,增收 1561.61 元·hm^{-2}。结合当地实际生产情况,推广适宜的畦灌模式是入畦单宽流量 5 L·m^{-1}·s^{-1},畦宽 3 m 左右,畦长 30 m 左右为宜。

关键词: 畦灌;冬小麦;土壤水分;水分利用效率;产量;效益

中图分类号: S275.3; S512.1+1 **文献标志码**: A **文章编号**: 1000-7601(2014)03-0070-06

Effect of different border irrigation mode to the soil water and water using efficiency of winter wheat

HONG Yu, WANG Fang*, LIU Ru-liang, LI You-hong, CHEN Chen, ZHAO Tian-cheng
(*Institute of Agricultural Resources and Enwironment, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Yinchuan, Ningxia* 750002, *China*)

Abstract: Field experiment of border irrigation was conducted, have researched the water requirement of winter wheat during the major growing periods, and analyzed the effect of different border irrigation methods to the soil water and water use efficiency of winter wheat, evaluated the irrigation quality and the benefits under different treatment of border irrigation. The results indicated that: The maximal water requirement was at the filling stage of winter wheat. In contrast with the flood irrigation treatment (as CK), the irrigation uniformity and irrigation efficiency of winter wheat by the border irrigation with the plot of 30 m×3 m was the highest, reached 93.33% and 84.46%, respectively. The water consumtion was decreased 5.96%, the yield was increased 25.03%, water use efficiency was increased 33.24%, and the added profit was 1561.61 yuan·hm^{-2}. Therefore, according to the local production situation of the winter wheat boundary irrigation area, the appropriate border irrigation method was recommended that the inflow rate per unit width and border width and length are 5 L·m^{-1}·s^{-1}, 3 m and 30 m。

Keywords: border irrigation; winter wheat; soil water; water use efficiency; yield; benefit

宁夏地处西北干旱内陆,降水稀少,水资源严重短缺,干旱已经成为制约宁夏农业生产的关键因素之一。2011 年宁夏全区降水总量 146.915 亿 m^3,其中引黄灌区 11.559 亿 m^3,较常年值减少 2%。全区水资源总量 8.752 亿 m^3,较常年值减少 26%;其中引黄灌区 2.095 亿 m^3,较常年值减少 19%。由于近年黄河流域的天然径流量大幅度减少,宁夏年度分配水量处于下降趋势。黄河流域水资源总量 739.4 亿 m^3,黄河干流宁夏段实测进出境水量差为 36.173 亿 m^3,灌区引排水量差 31.230 亿 m^3,比上年减少 0.180亿 m^3。

在水资源日益紧缺的今天,农业节水增效研究具有十分重要的意义。秸秆配方的土壤扩蓄增容能使土壤有效地保蓄水分[1],冬小麦沟播模式(沟底宽 20 cm,沟顶宽 40 cm)可改善叶片水分状况,提高水分利用效率,增加作物产量[2],垄植沟灌配合 3 水沟灌为节水增效的试验最佳分配方案[3],垄覆地膜沟覆秸秆、垄覆液膜沟覆秸秆是半湿润区小麦旱作的高效栽培模式[4]。以往对于冬小麦的节水研究主要是沟灌、覆盖或者增加土壤水分改良剂等[5-19],而

收稿日期:2013-10-25
基金项目:国家环境保护部公益性行业科研专项项目"宁夏黄灌区农业面源污染阻控技术研究与示范"(201109029)
作者简介:洪 瑜(1980—),女,湖南攸县人,硕士,助理研究员,主要从事农业环境研究。E-mail: ouxuer333@163.com。

关于畦灌研究较少,入畦流量和施肥量对作物有效根系层土壤水氮贮存效率和均匀度影响较为明显[19]。畦灌是用土埂将耕地分隔成长条形的畦田,水流在畦田上形成薄水层,借重力作用沿畦长方向流动并浸润土壤的灌溉方法。本文分析冬小麦畦灌方式对土壤水分剖面分布与储水量的影响,研究冬小麦主要生育阶段的需水规律;分析不同畦灌方式下的冬小麦产量、水分利用效率,探讨畦灌方式节水的可行性,评价不同畦灌处理下的灌水质量及节水增收效果,从而为指导当地农业生产,提高水资源利用率,发展节水农业提供理论依据。

1　研究区概况

研究区位于灵武市灵武农场三队,东经 106°21′13″,北纬 37°99′16″,该区属温带大陆性半干旱气候,海拔为 1 110 m,年均降水量 192.9 mm,年蒸发量 1 762.9 mm,平均温度 8.9℃。全年日照 4 434.7 h,无霜期 163 d,年平均积温为 3 866.3℃。该地区主要的粮食种植方式是水旱轮作,主要作物是水稻、春小麦,试验地 2010 年 5 月至 9 月种植水稻。供试土壤为灌淤土,基础肥力中等偏上,地下水埋深 2 ~ 2.5 m。基本理化性质如表 1 所示,按照 20 cm 为等距测定 0 ~ 120 cm 土壤各层容重依次为 1.46、1.59、1.63、1.51、1.46、1.41 g·m^{-3}。

灵武农场农田地块面积大,以引黄自流灌溉为主,农田沟渠路规范,统一管理模式,机械化程度高,因此,水平畦灌技术在当地具有良好的示范推广基础与发展前景。

表 1　土壤基本理化性质

Table 1　Basic properties of tested soil

土壤层次 Soil layer /cm	质地 Texture	有机质 Organic matter /(g·kg^{-1})	全氮 Total N /(g·kg^{-1})	速效氮 Available N /(mg·kg^{-1})	速效磷 Available P /(mg·kg^{-1})	速效钾 Available K /(mg·kg^{-1})
0 ~ 20	中壤土 Medium loam	14.3	1.01	74.1	25.2	173.5

2　材料与方法

2.1　试验方法

采用田间小区试验的方法进行,设 5 个处理,各处理重复 3 次,随机排列。各处理分别是:漫灌(CK),畦灌小区 50 m×2 m,畦灌小区 50 m×3 m,畦灌小区 30 m×3 m,畦灌小区 30 m×5 m。选择有代表性的畦,土壤渗吸速度均匀,畦田经过机具的精细平整,坡度均匀,畦埂坚实。各畦沿长度方向每 5 m 设立标竿,序号分别为 1,…,9(见表 2)。作为定位观测点,据当地经验入畦单宽流量控制为 5 L·m^{-1}·s^{-1}。

供试作物为冬小麦,品种为宁冬 11 号。2010 年 9 月 26 日播种,播种量为 300 kg·hm^{-2},2011 年 6 月 30 日收获。小麦生育期间共灌水 3 次,分别为 4 月 20 日、5 月 5 日、5 月 26 日,每次灌水量为 900 m^3·hm^{-2}。采用当地最佳推荐施肥量和常规措施管理。氮肥用尿素(N 46%),磷肥用重过磷酸钙(P_2O_5 46%),钾肥用氯化钾(K_2O 60%),N 用量为 300 kg·hm^{-2},基肥:分蘖肥:孕穗肥 = 5:2.5:2.5,磷钾肥作为基肥一次施入,P_2O_5 用量为 105 kg·hm^{-2},K_2O 用量为 90 kg·hm^{-2}。作物生育期间,用量水堰进行灌溉,记录灌水量。分别在播种前、灌水前后、收获后取 0 ~ 1 m 土样,采用烘干称重法测定土壤含水量。冬小麦生育期内(9 月—次年 6 月)降水量等气象数据使用气象局资料。收获时测定各畦灌小区产量。

2.2　计算方法

土壤质量含水量的计算

$$\omega = (w_0 - w_s)/w_s \times 100\% \quad (1)$$

式中,ω 为土壤质量含水量(%);w_0 为原土质量(g);w_s 为烘干土质量(g)。

土壤储水量的计算:

$$W_i = \rho_i \times h \times \omega_i \quad (2)$$

$$W_t = \sum W_i \quad (3)$$

式中,W_i 为每层土壤储水量(mm);W_t 为土壤水分总储存量(mm);ρ_i 为每层土壤干容重(g·cm^{-3});h 为土层厚度(mm);ω_i 为每层土壤质量含水量(%)。

灌水均匀度与灌溉效率的计算:

$$E_d = 1 - \frac{\sum_{i=0}^{N} |Z_i - \bar{Z}|}{N\bar{Z}} \quad (4)$$

$$E_a = W_1/W_a \quad (5)$$

式中,E_d 为灌水均匀度;Z_i、$\bar{Z}$ 分别为沿畦各点的入渗量及其平均值;N 为观测点的数量;E_a 为灌溉效率;W_1 为畦灌净灌溉水深(mm),即灌水前后根层水量之差,根层水量等于沿畦各点不同深度土壤含水量的均值与根层深度的乘积;W_a 为平均入畦水深

(mm),即畦灌的灌水量。

利用土壤水分平衡方程计算生育期耗水量:

$$ET = P + I + (W_e - W_b) \quad (6)$$

式中,P 为作物生育期有效降水量(mm);I 为总灌水量(mm);W_e 和 W_b 分别为播前和收获时的土壤储水量(mm)。

水分利用效率的计算:

$$WUE(\mathrm{kg \cdot hm^{-2} \cdot mm^{-1}}) = Y/ET \quad (7)$$

式中,Y 为单位面积的籽粒产量($\mathrm{kg \cdot hm^{-2}}$);$ET$ 为作物生育期耗水量。

2.3 数据处理

应用 SPSS13.0 软件进行数据的统计分析,并用 LSD法进行处理间产量的差异显著性检验($P < 0.05$),应用 Microsoft Excel 软件进行曲线绘制。

3 结果与分析

3.1 畦灌方式对冬小麦不同生育期土壤水分剖面分布的影响

冬小麦生长期内 0 ~ 100 cm 土层土壤剖面水分变化如图 1 所示。冬小麦根系主要分布在 0 ~ 30 cm 土层,而 0 ~ 60 cm 土层是冬小麦的主要用水层,该层土壤含水量直接影响冬小麦的生长发育。0 ~ 40 cm 土层畦灌与漫灌 CK 无明显差异,40 ~ 100 cm 土层漫灌 CK 明显低于畦灌,说明畦灌灌溉方式更有效地富集水分。

不同畦灌处理土壤含水量从高到低大体趋势表现为:畦田小区 30 m × 3 m > 畦田小区 50 m × 2 m > 畦田小区 50 m × 3 m > 畦田小区 30 m × 5 m > 漫灌(CK);不同生育期土壤含水量从高到低大体趋势表现为:灌浆期 > 孕穗期 > 拔节期。

究其原因,虽然灌浆期的降雨量较大,但其土壤剖面各层次水分含量显著低于其它生育期,说明该时期小麦对水分的需求量较其它时期高。相同灌水量下,漫灌方式使得一部分农田灌溉水过于充分,导致地表径流或者深层渗漏,而另一部分农田灌溉水较少,使其水分更多地分布于土壤表层。畦灌灌溉水在水平农田地块上分布均匀,在冬小麦主要用水层富集,冬小麦主要用水层土壤含水量的差异必然会导致冬小麦的根部发育产生不同的生长趋向,而这又将转而影响冬小麦的生长发育以及产量。因此,从这一角度来看,畦灌对提高水分利用效率是有利的。

3.2 畦灌方式对冬小麦不同生育期土壤储水量的影响

比较冬小麦不同生育期 0 ~ 100 cm 土壤贮水量变化动态(图 2)可以看出,冬小麦不同生育期内不同灌溉方式土壤贮水量总的变化趋势基本一致:灌浆期 > 孕穗期 > 拔节期,这与各生育期内降雨量和作物不同时期的耗水有关。

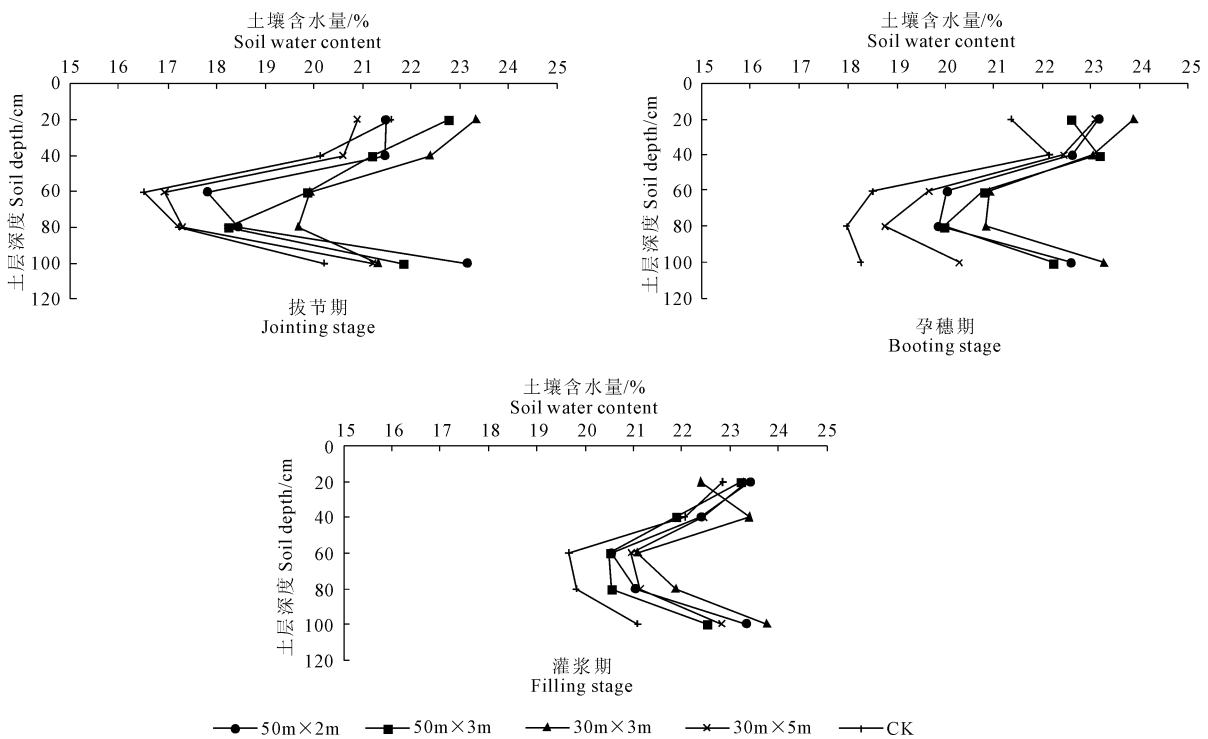

图 1 不同生育期 0 ~ 100 cm 土壤剖面水分变化

Fig.1 Changes of soil water content of 0 ~ 100 cm soil layer in different growth stages

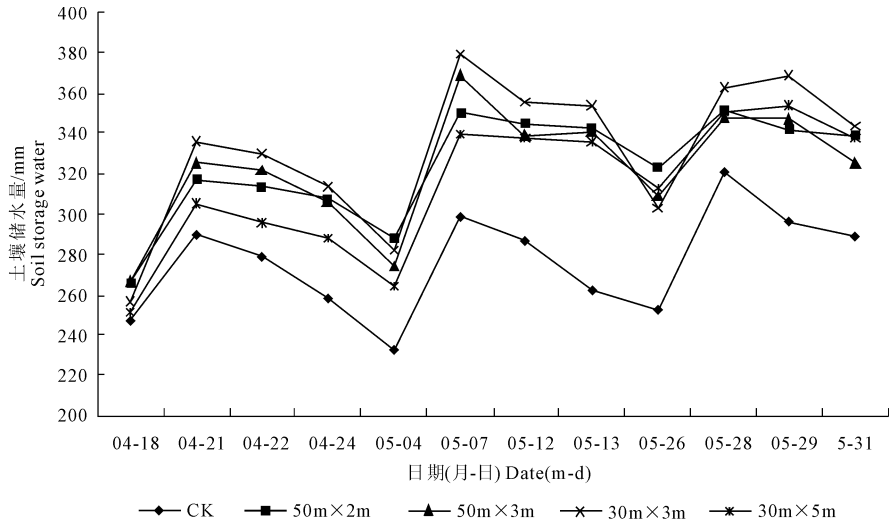

图 2　不同生育期 0 ~ 100 cm 土壤储水量变化动态

Fig.2　Changes of soil water storage of 0 ~ 100 cm soil layer in different growth stages

漫灌 CK 处理的土壤贮水量明显小于畦灌处理。不同生育期土壤贮水量下降速率有明显差异,在冬小麦拔节期、孕穗期及灌浆期,漫灌 CK 处理的土壤贮水量的每日下降速率分别为 10.40、12.36、10.85 mm,均大于畦灌处理,分别为畦灌处理的1.31 ~ 8.63 倍。可见漫灌相对更容易发生渗漏,畦灌处理更有益于土壤贮存水分,同时能将土壤贮水量长期保持在较高水平。

3.3　不同畦灌处理下的灌水质量

灌水均匀度(E_d)和灌溉效率(E_a)是评价灌水质量的主要指标。灌水均匀度反映了灌溉水量在田间入渗分布的均匀程度,灌水均匀度越高,田块各点作物吸收等量水分的可能性越大,作物生长条件越均匀。灌溉效率是衡量灌溉水量进入计划灌水层状况的,对一次灌水来讲,只有进入计划灌水层(主要根系分布层)的水量才能被作物吸收利用,畦灌根层土壤灌水前后的水分差值为其实际入渗量,又称净灌溉水量。按式(4)、式(5)分别计算灌水均匀度(E_d)和灌溉效率(E_a),对 4 种畦长的灌溉质量进行评价。

表 2　不同畦灌处理下的灌水均匀度与灌水效率

Table 2　The irrigation uniformity and efficiency on different boundary irrigation modes

灌水指标 Irrigation index	标杆号 Bench marking No.	畦灌处理 Treatment			
		50 m×2 m	50 m×3 m	30 m×3 m	30 m×5 m
净灌水量 Net Irrigation amount /mm	1	84.94(24.80)	60.13(22.13)	75.8(16.85)	61.56(26.96)
	2	77.18(29.16)	90.21(24.11)	75.44(23.09)	72.16(24.32)
	3	58.11(35.14)	52.89(33.32)	71.72(30.50)	67.79(30.00)
	4	52.14(28.33)	50.33(33.98)	65.75(36.47)	52.41(43.90)
	5	70.63(22.19)	66.34(40.33)	73.62(32.77)	81.14(29.02)
	6	90.35(20.49)	92.21(23.62)	85.48(32.99)	88.63(29.47)
	7	85.67(21.55)	62.32(64.11)	84.31(28.36)	77.23(29.44)
	8	85.38(22.67)	90.46(27.91)		
	9	65.52(31.31)	58.55(33.63)		
	均值 Mean	74.44(26.18)	69.27(33.68)	76.02(28.72)	71.56(30.44)
W_1/mm		74.44	69.27	76.02	71.56
W_a/mm		90	90	90	90
灌水历时 Irrigation time/min		76.56(16.41)	88.45(23.98)	63.24(8.76)	92.16(20.55)
E_a/%		82.71	76.97	84.46	79.51
E_d/%		84.67	79.13	93.33	86.86

注:括号中数字为标准差。　Note: The number in parentheses is the standard deviation.

从表 2 可知,不同畦灌灌水均匀度(E_d)从高到低依次为:畦灌小区 30 m×3 m > 畦灌小区 30 m×5 m > 畦灌小区 50 m×2 m > 畦灌小区 50 m×3 m;灌溉效率(E_a)从高到低依次为:畦灌小区 30 m×3 m > 畦灌小区 50 m×2 m > 畦灌小区 30 m×5 m > 畦灌小区 50 m×3 m。畦灌小区 30 m×3 m 的灌水均匀度与灌溉效率最高,达到 93.33%与 84.46%。究其原因主要是畦田较长的小区灌水入渗不够均匀,畦尾部分田地没有获得充分入渗。

3.4 不同畦灌方式对冬小麦产量与水分利用效率的影响

水分利用效率是由耗水量和小麦产量共同决定的。通过增加产量可提高水分利用效率,通过减少水分的无效损耗能达到同样的目的。

表 3 不同畦灌方式下冬小麦产量及水分生产效率

Table 3 Yield and water use efficiency of winter wheat under different boundary irrigation modes

畦灌处理 Treatment	生育期降水 Precipitation /mm	灌水量 Irrigation /mm	土壤供水量 Soil water supply /mm	耗水量 Water consumption mm	作物产量 Grain yield /(kg·hm^{-2})	水分利用效率 Water use efficiency /(kg·hm^{-2}·mm^{-1})
CK	118.30	270.00	86.76	475.06	4652.67a	9.79a
50 m×2 m	118.30	270.00	40.91	429.21	5540.00b	12.91b
50 m×3 m	118.30	270.00	86.19	474.49	5157.78b	10.87c
30 m×3 m	118.30	270.00	58.43	446.73	5829.63c	13.05b
30 m×5 m	118.30	270.00	72.86	461.16	5297.78b	11.49c

注:* 不同字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。

Note: Different small letters meant significant difference among treatments at 0.05 levels.

按(6)式、(7)式分别计算冬小麦耗水量(ET)和水分利用效率(WUE)。由表 3 可知,不同畦灌处理下冬小麦耗水量从高到低依次为:漫灌(CK) > 畦灌小区 50 m×3 m > 畦灌小区 30 m×5 m > 畦灌小区 30 m×3 m > 畦灌小区 50 m×2 m;不同畦灌处理下冬小麦产量与水分利用效率表现一致,从高到低依次为:畦灌小区 30 m×3 m > 畦灌小区 50 m×2 m > 畦灌小区 30 m×5 m > 畦灌小区 50 m×3 m > 漫灌(CK)。

漫灌(CK)处理的产量与水分利用效率均显著低于其它畦灌处理($P<0.05$),畦灌小区 30 m×3 m 处理的产量与水分利用效率均显著高于其它畦灌处理($P<0.05$),说明田间畦灌能够减少水分的无效损耗,提高水分利用效率,其中畦田规格 30 m×3 m 较为合适。与漫灌(CK)相比较,畦灌小区 50 m×3 m 的耗水量减少了 0.12%,产量增加了 10.86%,水分利用效率提高了 10.99%;畦灌小区 30 m×3 m 的耗水量减少了 5.96%,产量增加了 25.30%,水分利用效率提高了 33.24%。

3.5 冬小麦生产成本和经济效益

由表 4 可知,不同畦灌处理下冬小麦纯收益从高到低依次为:畦灌小区 30 m×3 m > 畦灌小区 50 m×2 m > 畦灌小区 30 m×5 m > 畦灌小区 50 m×3 m > 漫灌(CK)。与漫灌(CK)相比较,畦灌小区 30 m×3 m 增收 1 561.61 元·hm^{-2};畦灌小区 50 m×3 m 增收 150.73 元·hm^{-2}。各畦灌处理间耕作投入差异较小,可认为耕作投入相同;与漫灌相比,虽然畦灌处理需要更多的人工投入,却具有一定的节水增效作用。

表 4 不同畦灌处理冬小麦生产成本和经济效益/(元·hm^{-2})

Table 4 Cost and return of winter wheat production under different boundary irrigation modes/(yuan·hm^{-2})

畦灌处理 Treatment	耕作投入 Farming inputs	肥料投入 Fertilizer inputs	总投入 Total inputs	产量收入 Harvest revenue	纯收益 Net income	增收 Increase income
CK	1270.00	2440.00	3710.00	9770.61	6060.61	—
50 m×2 m	2180.00	2440.00	4620.00	11634.00	7014.00	953.39
50 m×3 m	2180.00	2440.00	4620.00	10831.34	6211.34	150.73
30 m×3 m	2180.00	2440.00	4620.00	12242.22	7622.22	1561.61
30 m×5 m	2180.00	2440.00	4620.00	11125.34	6505.34	444.73

注:表中耕作投入包括播种、翻地、起垄、覆膜和覆秸秆的人工及机械投入,也包括农药、种子、地膜、液膜及秸秆等材料投入。2011 年肥料价格:尿素 1.9 元·kg^{-1},重过磷酸钙 3.1 元·kg^{-1},氯化钾 5.2 元·kg^{-1},小麦的市场价格 2.10 元·kg^{-1}。

Note: The tillage cost in table 4 include manual and mechanical inputs of sowing, plowing, ridge forming, mulching film and straw, as well as the material inputs ofpesticides, seeds, plastic film, liquid film and straw etc. Fertilizer prices in 2011: urea is 1.90 yuan·kg^{-1}, triple superphosphate is 3.1 yuan·kg^{-1}, potassium chloride is 1.90 yuan·kg^{-1}. The market prices of wheat is 2.10 yuan·kg^{-1} in 2011.

4　讨　论

冬小麦灌浆期对水分的需求量较其它时期高,畦灌方式能有效地保持水分,将土壤贮水量长期保持在较高水平,提高水分利用效率。与漫灌(CK)相比较,畦灌小区 30 m×3 m 的灌水均匀度与灌溉效率最高,达到 93.33%与 84.46%,耗水量减少了 5.96%,产量增加了 25.30%,水分利用效率提高了 33.24%,增收 1561.61 元·hm^{-2}。畦灌能够使水流快速流动到整个畦面,形成相同深度的水层,然后缓慢入渗,从而达到田面各处灌水均匀的效果,可避免因灌水不匀而形成的深层渗漏和地面径流,从而使土壤更加有效地存贮水分。特别适合地势平坦、面积较大、机械化程度较高的地区,是我国很多灌区当前仍需继续推广采用的灌水方法,需要结合各地实际生产情况,合理利用能够取得良好的经济效益。在选择冬小麦种植的畦灌小区时,推荐入畦单宽流量在 5 L·m^{-1}·s^{-1}左右,畦宽 3 m 左右,畦长 30 m 左右为宜。

参 考 文 献:

[1] 周立峰,冯　浩,杜　健.土壤扩蓄增容肥对冬小麦产量及水分利用效率的影响[J].干旱地区农业研究,2011,29(4):81-87.

[2] 齐　林,陈雨海,周勋波,等.冬小麦种植模式对水分利用效率的影响[J].生态学报,2011,31(7):1888-1895.

[3] 高传昌,汪顺生,傅渝亮,等.冬小麦沟灌土壤水分动态和生长发育的试验研究[J].南水北调与水利科技,2011,9(2):77-79.

[4] 李　儒,崔荣美,贾志宽,等.不同沟垄覆盖方式对冬小麦土壤水分及水分利用效率的影响[J].中国农业科学,2011,44(16):3312-3322.

[5] 王韶华,刘群昌,苏轶醒.隔畦灌溉初步试验研究[J].节水灌溉,2007,(3):14-17.

[6] 杨永辉,吴普特,武继承,等.保水剂对冬小麦不同生育阶段土壤水分及利用的影响[J].农业工程学报,2010,26(12):19-26.

[7] 刘晓伟,何宝林,康恩祥,等.播种方式对旱区冬小麦产量及土壤水分、土壤温度的影响[J].作物杂志,2011,(5):77-81.

[8] 杨丽霞,王德旺,王仰仁,等.冬小麦垄膜沟灌高效节水灌溉试验研究[J].山西水利科技,2001,(S1):41-45.

[9] 张朝晖,樊惠芳,靳世昌,等.冬小麦膜缝畦灌综合技术参数的确定[J].水土保持学报,2002,16(6):154-156.

[10] 梁艳萍,许　迪,李益农,等.冬小麦不同畦灌施肥模式水氮分布田间试验[J].农业工程学报,2009,25(3):22-27.

[11] 李　青,高志强,孙　敏,等.夏闲期施肥与覆盖处理对旱地冬小麦产量和土壤水分利用的影响[J].麦类作物学报,2011,31(3):519-523.

[12] 于利鹏,黄冠华,刘海军,等.喷灌灌水量对冬小麦生长、耗水与水分利用效率的影响[J].应用生态学报,2010,21(8):2031-2037.

[13] 宫　飞,陈　阜,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.

[14] 宁东峰,李志杰,孙文彦,等.节水灌溉对黄淮海地区冬小麦水分消耗与光合特性的影响[J].植物营养与肥料学报,2010,16(4):852-858.

[15] 刘　婷,贾志宽,张　睿,等.秸秆覆盖对旱地土壤水分及冬小麦水分利用效率的影响[J].西北农林科技大学学报,2010,38(7):68-76.

[16] 邓振镛,张　强,王　强,等.黄土高原旱作区土壤贮水力和农田耗水量对冬小麦水分利用率的影响[J].生态学报,2010,30(14):3672-3678.

[17] 党建友,王姣爱,张　晶,等.干旱年份播期对旱地冬小麦产量及水分利用效率的影响[J].干旱地区农业研究,2011,29(1):172-176.

[18] 黄彩霞,柴守玺,赵德明,等.不同水分处理对冬小麦产量和水分利用效率的影响[J].草业学报,2010,19(5):196-203.

[19] 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.

(上接第 55 页)

[7] 姜奇彦,胡　正,张　辉,等.大豆种植资源耐盐性鉴定与研究[J].植物遗传资源学报,2012,13(5):726-732.

[8] 丁耀录.甘南州青稞高产稳产新品种(系)筛选试验[J].中国种业,2012,(1):50-52.

[9] 苟安春,李　良.青稞产品的开发大有可为[J].大麦科学,2004,(4):40-44.

[10] 袁金娥.中国近源野生大麦和栽培青稞的耐盐性鉴定及其与SSR 标记的关联分析[D].成都:四川农业大学,2012:1-39.

[11] 张朝阳,许桂芳.利用隶属函数法对 4 种地被植物的耐热性综合评价[J].草业科学,2009,26(2):57-60.

[12] 郭本兆.青海经济植物志[M].西宁:青海人民出版社,1987:701.

[13] 李　涛,王金水,李　露,等.青稞的特性及其应用现状[J].农产品加工·学刊,2009,(9):92-94.

[14] Zhao Jing, Sun Hongyan, Dai Huaxin, et al. Difference in response to drought stress among Tibet wild barley genotypes[J]. Euphytica, 2010,72(1):395-403.

[15] 乔 佩,卢存福,李红梅,等.盐胁迫对诱变小麦种子萌发及幼苗生理特性的影响[J].中国生态农业学报,2013,21(6):720-727.

[16] 杨　科,张保军,胡银岗,等.混合盐碱胁迫对燕麦种子萌发及幼苗生理生化特性的影响[J].干旱地区农业研究,2009,27(3):188-192.

[17] 马雅琴,翁跃进.引进春小麦种质耐盐性的鉴定评价[J].作物学报,2005,31(1):58-64.

[18] 申玉香,乔海龙,陈　和,等.几个大麦品种(系)的耐盐性评价[J].核农学报,2009,23(5):752-757.

[19] 李尉霞,齐军仓,石国亮.NaCl 胁迫对不同大麦品种种子发芽的影响[J].大麦与谷类科学,2007,(3):22-25.

[20] 郎淑平,陆瑞菊.不同大麦品种发芽期的耐盐性比较研究[J].上海农业学报,2008,24(40):83-87.

[21] 龚　明,刘友良,丁念诚,等.大麦不同生育期的耐盐性差异[J].西北植物学报,1994,14(1):1-7.

[22] 王宝山.逆境植物生物学[M].北京:高等教育出版社:2010:57-64.