

春季储水灌溉条件下啤酒大麦节水增产机理研究

丁 林, 金彦兆, 王以兵

(甘肃省水利科学研究院, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 测定了不同春季储水灌溉定额下啤酒大麦出苗率、生长发育动态、土壤水分变化、耗水规律及水分利用效率, 并结合气象资料比较不同灌水处理的优越性, 分析不同春季储水灌溉定额对土壤水分、降水利用及作物产量的影响。结果表明, 将冬季储水灌改为春季储水灌从技术层面上切实可行; 在适宜灌水定额条件下, 采用春季储水灌溉技术较冬季储水灌溉技术可减少储水灌溉水量 75 mm, 减少土壤蒸发 37.4%, 水分利用效率提高 26.2%。在实际大麦种植生产中应以春季储水灌溉定额 75 mm, 生育期灌水 5 次, 灌水定额 75 mm 为宜, 这样不仅可节约有限水资源, 还可提高地温及水分利用效率, 达到节水、增效的目的。

关键词: 啤酒大麦; 储水灌溉; 土壤水分动态; 耗水规律; 产量效应

中图分类号: S275.3; S512.3+1 文献标志码: A 文章编号: 1000-7601(2014)01-0078-06

The mechanism of water-saving and yield increasing for beer barley under the condition of water storage irrigation in spring

DING Lin, JIN Yan-zhao, WANG Yi-bing

(Gansu Research Institute for Water Conservancy, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The germination rate, growing and developing dynamics, soil moisture change, water consumption rule and water use efficiency of beer barley under the different quota of water storage irrigation in spring were measured by the TDR soil moisture measuring instrument combined with the micro-lysimeters, and conventional determining method for crop indexes, also combined the climate information to compare the advantage of different irrigation treatments. Meteorological materials and other auxiliary data were also used to analyze the effects of different irrigation treatment and analyzed the impacts of different water storage irrigation quota in spring to the soil water, utilization of rainfall and crop yield. The research results have showed that it was really feasible from the technical level to change the water storage irrigation in Winter into the water storage irrigation in spring under the conditions of suitable irrigation quota, using the water storage irrigation technology in spring compared with the winter irrigation, the irrigation water volume can be reduced 75 mm, the soil evaporation reduced 37.4% and the water use efficiency increased 26.2%. It was advisable to 75 mm for spring irrigation quota, five irrigation times for whole growing period with the irrigation quota of 75 mm for the actual production of barley planting. This technology not only can be saving the limited water resources, improving the ground temperature and water use efficiency, to achieve the purpose of saving water and increasing benefit.

Keywords: beer barley; water storage irrigation; soil moisture dynamic; water consumption rule; yield effect

储水灌溉在我国北方干旱半干旱地区被普遍应用^[1-4], 主要目的是把冬季河流(水库)多余的水量通过灌溉的方式储存在土壤中, 以保证次年春播所要求的土壤含水量并供作物在生育期第一次苗水灌溉前利用^[5-7]。根据甘肃河西内陆主要灌区多年的调查了解, 储水灌溉的定额普遍较高, 一般为 2 250

~ 2 700 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ ^[8-9], 有时甚至达到或超过 3 000 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 。冬季休闲期虽然气候因素降低了土壤蒸发能力, 但冬季储水灌溉后其累积蒸发量仍然较大^[10-15]。本研究针对河西内陆区传统冬季储水灌溉模式中存在的灌溉水深层渗漏、休闲期土面无效蒸发较大等问题, 以春季储水灌溉代替冬季储水灌

收稿日期: 2013-05-06

基金项目: 水利部公益性行业科研专项(201101045、201301082); 国家“十二五”科技支撑计划课题(2011BAD29B04); 甘肃省工程技术中心建设计划(1009FTGA016)

作者简介: 丁林(1978—), 男, 甘肃武威人, 硕士, 工程师, 主要从事节水灌溉方面的研究。E-mail: dl20709@yahoo.com.cn。

溉,对春灌后啤酒大麦生长状况及耗水规律开展研究,研究结果对河西内陆河流域有限水资源高效利用及水资源合理调配具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验区位于甘肃省水利科学研究院民勤试验站,地理坐标东经 130°05',北纬 38°37',属典型的大陆性荒漠气候,气候干燥,降水稀少,蒸发量大,风沙多,自然灾害频繁。多年平均气温 7.8℃,极端最高气温 39.5℃,极端最低气温 -27.3℃,平均湿度 45%,多年平均降水 110 mm,多年平均蒸发量 2 644 mm,年日照时数 3 028 h,≥0℃积温 3 550℃,≥10℃积温 3 145℃,光热资源丰富,无霜期 150 d,最大冻土深 115 cm。试验区土质 0~60 cm 为粘壤土,60 cm 以下逐渐由粘壤土变为沙壤土,土壤平均容重为

1.54 g·cm⁻³。试验田土壤养分、盐分含量为有机质 5.27 g·kg⁻¹、全氮 0.45 g·kg⁻¹、全磷 1.15 g·kg⁻¹、全钾 16.67 g·kg⁻¹、全盐 1.872 g·kg⁻¹、pH 值 7.96。

1.2 试验设计

根据春季储水定额不同,试验共设 5 个处理,每个处理设 3 个重复,以冬季储水灌溉为对照(CK),啤酒大麦品种为甘啤 3 号,播种时按行距 10 cm 播种,播种量 225 kg·hm⁻²,畦田坡度 1/1000,小区面积 46.8 m²(3.6 m×13 m)。试验地休闲期深耕、免冬灌,播前耙耱、平整,按试验设计春灌,春灌时间为 2012 年 3 月 10 日,对照处理冬灌时间为 2011 年 11 月 20 日。啤酒大麦于 2012 年 3 月 31 日播种,7 月 20 日收获。各处理播前施肥及生育期追肥按当地施肥标准执行,生育期灌水 5 次,灌水时间分别为 5 月上旬、5 月下旬、6 月中旬、6 月下旬、7 月上旬,试验小区灌水参数设计见表 1。

表 1 啤酒大麦灌水参数设置

Table 1 Irrigation parameter settings of beer barley

处理 Treatments	储水灌时间 Water storage irrigation time (Y-M-d)	储水灌灌水定额 Water storage irrigation quota /(m ³ ·hm ⁻²)	小区面积 Plot area /m ²	生育期灌水定额 Irrigation quota in growing period /(m ³ ·hm ⁻²)	单区灌水量 储水/生育期 Single area irrigation water/m ³	灌水次数 Irrigation frequency
T1	2012-03-10	750	46.8	750	3.51/3.51	6
T2	2012-03-10	975	46.8	750	4.56/3.51	6
T3	2012-03-10	1200	46.8	750	5.62/3.51	6
T4	2012-03-10	1500	46.8	750	7.02/3.51	6
CK	2011-11-20	1500	46.8	750	7.02/3.51	6

1.3 试验方法

用 TDR 土壤水分速测仪结合烘干称重法测定并计算土壤含水量,深度为 0~100 cm 的土层中每 20 cm 取一个土样,作物整个生育期内每隔 10 d 取一次土样,降雨及灌水前后进行加测;用蒸渗桶(直径为 20 cm,桶高为 30 cm,底部封闭的微型蒸渗桶)直接测定土面蒸发时,取原状土装到测桶内,每天下午 19:00 进行称重,根据两次称重差值换算出土壤蒸发量,在发生有效降水及灌水后立即进行换土处理,所换土层为该小区原状土;在播前、抽穗期、收获后分 0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm 用环刀法测定土壤干容重,播前测定田间持水量;生育期每隔 10 d 取固定 20 株测定一次株高,每隔 15 d 取 20 株测定叶面积及干物质;成熟期在每个小区中随机选取两点,每点取样 30 株进行考种,按各小区单打单收,分别计算各小区籽粒产量;采用管道输水灌溉,灌水量由水表量测,记录每次灌水时间、灌水量,并在生育期内通过 TRM-ZS3 型全自动气象站观测记载温

度、降水、蒸发、风速等气象因素;试验于 2011 年 11 月 20 日开始,2012 年 7 月 25 日结束。

试验数据用 Excel 进行原始数据处理和制图,由 DPS 软件做相关的统计分析。

2 结果与分析

2.1 啤酒大麦不同储水灌溉处理的出苗率分析

啤酒大麦出苗率主要受到土壤墒情及播种期土壤积温的影响。对免储水灌溉的处理进行春灌,可以有效地提高并保持表层土壤的含水量,保证啤酒大麦的出苗率。各处理出苗率见表 2。

试验结果表明,各处理出苗率高低依次为 T1 > CK > T2 > T3 > T4,其中秋耕低定额春灌及秋耕冬灌处理出苗率较高,而秋耕大定额春灌处理出苗率较低,究其原因,主要是春季大定额春灌导致土壤含水量过大,降低了土壤有效积温,不利于大麦发芽。大定额春灌处理出苗率较小定额处理相差近 3.0 个百分点,表明将冬灌改为春灌,并采用适当的灌水定额

不影响大麦出苗率。

表 2 不同储水灌溉处理啤酒大麦的出苗率

Table 2 Germination rate of beer barley under different treatments

项目 Items	T1	T2	T3	T4	CK
基本苗数/(10^4 株 \cdot 667m $^{-2}$) Basic seedling number	18.9760	18.3684	18.1684	17.8684	18.8876
出苗率 Rate of germination/%	99.87	96.68	95.62	94.04	99.41

2.2 不同储水灌溉处理啤酒大麦生长发育动态分析

从各处理株高可以看出,曲线变化都是前期缓慢增长,拔节后快速增长,开花后期基本稳定(图 1)。在大麦前期生长过程中,由于大定额春灌处理出苗推后,出苗率较低,其株高一直低于对照及低定额春灌处理。生长速率在整个生育期呈现小-大-小的变化规律,在苗期由于气温和有效积温都较低,生长缓慢,各处理的生长速率在 $0.24 \sim 0.30 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$ 之间,其中 T4 最小, T1 最大;拔节期-开花期是生长最快的时段,各处理生长速率平均达到 $2.16 \sim 2.52 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$,由于处理 T4 在苗期生长速率较小,经灌溉后,此阶段生长速率明显增大;大麦生育后期由于转向生殖生长,株高生长速率很小,在 $0.07 \sim 0.09 \text{ cm} \cdot \text{d}^{-1}$ 之间。

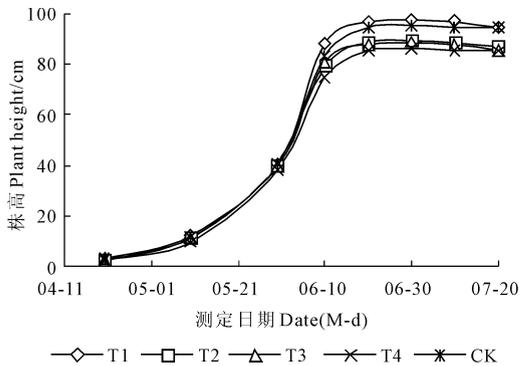


图 1 啤酒大麦株高全生育期变化

Fig. 1 Plant height change of beer barley

大麦叶面积指数随生育期的推进,呈现先增加、后稳定、最后又减小的趋势,在拔节-抽穗期增长速度最快,平均日增长 $0.18 \sim 0.19$,苗期-拔节期增长速度次之,平均日增长 $0.08 \sim 0.09$,灌浆-成熟期叶面积指数出现明显的下降趋势(图 2)。由于大定额春灌处理基本苗数减少,其叶面积指数明显低于对照及低定额春灌处理。

在出苗至拔节,由于气温较低,大麦生长缓慢,干物质积累缓慢,从拔节到收获期,干物质迅速积累(图 3)。大定额春灌处理生育期单株干物质日增长量较对照及其他处理无差异,但由于单位面积苗数降低,导致整个生育期总干物质积累量下降。拔节

期和开花期是叶干重变化过程的重要分水岭,拔节期前叶干重很小,进入拔节期后叶干重迅速增加,到开花期后叶干重基本不再增加;茎秆在开花期以前所有处理茎秆的干物质积累量占总生物量比重均为最大,在抽穗后持续减少,向营养器官转运,各处理在开花-灌浆期茎秆比重下降较慢,在灌浆-乳熟期茎秆比重迅速下降,主要是由于在此阶段大麦干物质向籽粒转运。

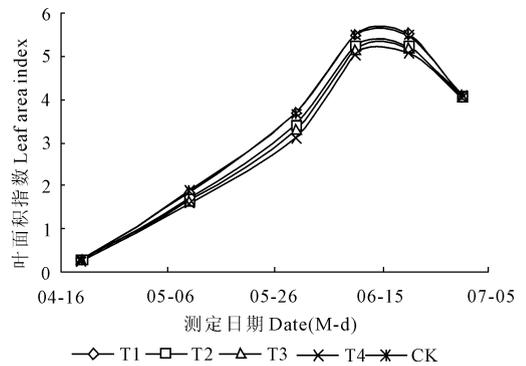


图 2 啤酒大麦叶面积指数全生育期变化

Fig. 2 Leaf area index change in whole growing period of beer barley

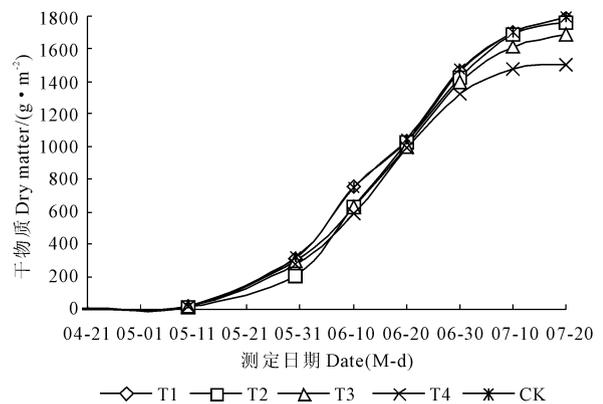


图 3 啤酒大麦干物质积累全生育期变化

Fig. 3 Dry matter accumulation change of beer barley

2.3 不同储水灌溉啤酒大麦土壤水分动态变化

根据试验结果分析各处理土壤水分变化过程(图 4),春灌前 CK 含水量明显高于其他处理,春灌后各春灌处理含水量迅速增加,春灌定额不同,增加幅度也不同,其中 T1 最低,增加 28.35%, T4 最高,增加 38.40%。播种后,由于各处理灌水量相同,含

水量也逐渐趋于一致,就整个生育期含水量来看,在大麦需水高峰期,含水量下降较为迅速,耗水量增

大,到生育后期随着降水量增多,大麦需水量减少,含水量下降速度也逐渐减慢。

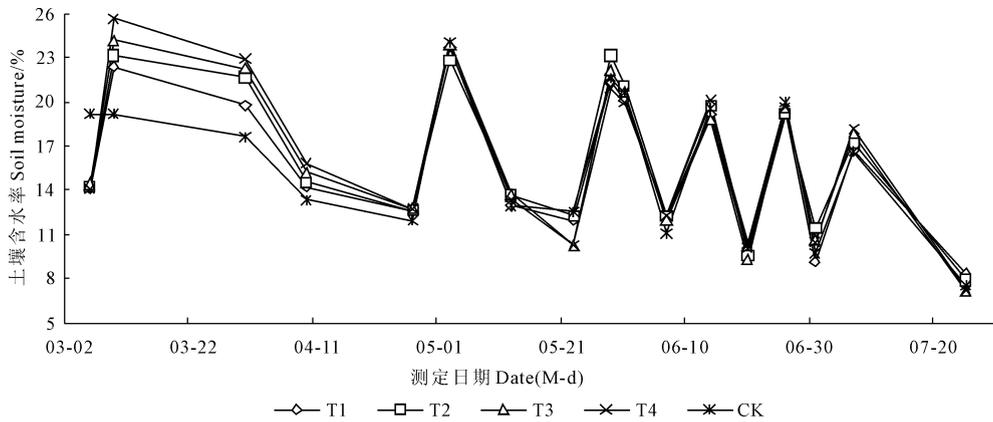


图 4 啤酒大麦全生育期土壤水分变化

Fig.4 Soil moisture change of beer barley in whole growing period

2.4 不同储水灌溉处理啤酒大麦的耗水规律

通过田间土壤含水量测定,利用水量平衡方程,计算各个阶段和全生育期大麦的耗水量可得(表 3),各处理在种植周期以常规灌溉处理 CK 耗水量最大,为 611.03 mm,耗水量最小的是 T1,其耗水量为 509.55 mm,较 CK 减少 101.48 mm。在各个生育期,随着春灌定额的不同,各处理耗水量也不同,其

中开花灌浆期是大麦的耗水高峰期,耗水量最大,主要以植株的蒸腾耗水为主,日耗水量均在 5.60 mm 以上,整个生育阶段各处理耗水规律趋于一致;大麦进入生长后期后,随着生长发育功能和各器官的衰退,对水分的需求逐渐降低,田间耗水量也随之减少。

表 3 啤酒大麦全生育期耗水量、耗水模数和耗水强度

Table 3 Consumption water volume, modulus and consumption indensity of beer barley in whole growing stages

处理 Treatments	春季储灌 - 播种 Spring irrigation to seedling			播种 - 苗期 Planted to seedling			苗期 - 拔节 Seedling to jointing			全生育期 Full growth stage
	耗水量 Water consumption /mm	耗水模数 Phases modulus /%	耗水强度 Daily water consumption /(mm·d ⁻¹)	耗水量 Water consumption /mm	耗水模数 Phases modulus /%	耗水强度 Daily water consumption /(mm·d ⁻¹)	耗水量 Water consumption /mm	耗水模数 Phases modulus /%	耗水强度 Daily water consumption /(mm·d ⁻¹)	
T1	19.56	3.84	0.93	80.80	15.86	2.69	71.86	14.10	4.79	509.55
T2	22.96	4.25	1.09	100.21	18.55	3.34	60.77	11.25	4.05	540.21
T3	31.30	5.41	1.49	116.22	20.08	3.87	61.54	10.63	4.10	578.88
T4	44.97	7.47	2.14	128.23	21.29	4.27	68.78	11.42	4.59	602.26
CK	109.64	17.94	0.84	88.66	14.51	2.96	62.00	10.15	4.13	611.03

2.5 不同储水灌溉处理啤酒大麦的棵间蒸发规律

啤酒大麦地棵间蒸发主要为棵间土面蒸发。由分析结果可知,在生长前期低定额春灌处理及对照处理棵间蒸发明显低于其他处理,主要是由于这两个处理出苗较好,地面覆盖度高,减少了棵间蒸发;在生育中期大定额春灌处理棵间蒸发高于其他处理,主要是由于大定额春灌推迟了出苗时间,生育期

略微推后。各处理中全生育期棵间蒸发最小的是 T1,较 CK 棵间蒸发减少 94.62 mm;就整个种植周期来看,CK 处理大部分棵间蒸发发生在休闲期,大定额春灌处理棵间蒸发发生在春灌 - 苗期,由上可得适宜春灌定额不仅可满足大麦生长需水,还可一定程度上减少灌溉定额,减少棵间蒸发,提高水分利用效率。

表 4 啤酒大麦棵间蒸发规律

Table 4 Soil evaporation in each growing stage of beer barley

处理 Treatments	各生育期棵间蒸发/mm The soil evaporation in each growth stage						棵间蒸发占全生育期耗水量比例 Percentage of soil evaporation / %
	春季储灌 - 播种 Spring storage irrigation to seedling	播种 - 苗期 Planted to seedling	苗期 - 拔节 Seedling to jointing	拔节 - 抽穗 Jointing to heading	抽穗 - 灌浆 Heading to filling	灌浆 - 成熟 Filling to maturing	
T1	19.56	32.32	21.56	23.62	22.68	38.84	31.12
T2	22.96	40.08	18.23	25.43	24.71	39.30	31.60
T3	31.30	46.49	18.46	33.63	19.41	41.47	32.95
T4	44.97	51.29	20.63	31.67	17.01	44.57	34.89
CK	109.64	35.46	18.60	21.50	22.86	45.12	41.44

2.6 不同储水灌溉处理啤酒大麦的产量效应

春季储水灌溉大麦各处理产量效应及水分利用效率见表 5、表 6。试验数据计算可得,在构成大麦产量的主要因素中穗粒重、千粒重是构成产量的主要因素,处理 T1 较对照增产,其产量为 6 864.0

kg·hm⁻²,增产率为 4.50%,而其他春灌处理较对照减产,减产率最大的为 T4(-7.67%)。T1 的节水率最高,节水率为 16.61%。T4 处理的水分利用效率(1.01 kg·m⁻³)是最低的;水分利用效率最高的处理是 T1,其水分利用效率为 1.35 kg·m⁻³。

表 5 啤酒大麦产量构成因素

Table 5 Yield component factors of beer barley

处理 Treatments	株高 Height /cm	穗长 Spike length /cm	小穗数 Spikelet number / (个·穗 ⁻¹)	穗粒数 No. of grains per spike	穗粒重 Grain weight per spike /g	千粒重 The weight of 1000 seeds /g	产量 Yield / (kg·hm ⁻²)
T1	94.2	9.7	26.5	25.0	1.03	38.9	6864.0
T2	86.7	9.0	24.2	24.2	0.95	36.6	6469.5
T3	85.3	9.0	27.0	24.3	0.97	36.8	6276.0
T4	84.9	8.4	25.7	23.7	0.96	37.7	6064.5
CK	94.1	10.0	24.0	26.0	1.16	38.0	6568.5

表 6 啤酒大麦产量及水分利用效率

Table 6 The yield and water use efficiency of beer barley

处理 Treatment	灌水量 (包括储水灌) Irrigation water /mm	耗水量 (包括休闲期耗水) Water consumption /mm	产量 Yield / (kg·hm ⁻²)	增产率 Increase rate of production / %	节水率 Water-saving efficient / %	水分利用效率 Water use efficiency / (kg·m ⁻³)
T1	450.0	509.6	6864.0	4.50	16.61	1.35
T2	472.5	540.2	6469.5	-1.51	11.59	1.20
T3	495.0	578.9	6276.0	-4.45	5.26	1.08
T4	525.0	602.3	6064.5	-7.67	1.43	1.01
CK	525.0	611.0	6568.5	0.00	0.00	1.07

2.7 不同储水灌溉处理啤酒大麦的经济效益分析

通过本试验并根据该灌区现状结合当地市场调查,对大麦的生产成本进行了估算,其投入产出分析见表7。从统计结果看出,由于灌水定额不同,各处理投入略有差别,产出(包括籽粒产出和秸秆产出)

为13 993.15~15 689.40元·hm⁻²,净产值6 758.45~8 535.4元·hm⁻²,投入产出比为1:1.93~1:2.19。T1不但投入较少,加上其节水增产效果明显,其净产值高于对照8.84%。

表7 春季储水灌溉大麦投入、产出分析

Table 7 Analysis of input and output for beer barley under storage irrigation in Spring

处理 Treatments	投入 Input/(元·hm ⁻²)		产出 Output/(元·hm ⁻²)			净产值 Net benefits /(元·hm ⁻²)	投产比 Input/output
	种子、化肥、劳力机械费 Seed, fertilizer, labor etc.	籽粒产出 Yield of grain	秸秆产出 Yield of straw	总计 Total			
T1	7154	14414.40	1275	15689.40	8535.40	1:2.19	
T2	7175	13585.95	1271	14856.95	7681.95	1:2.07	
T3	7195	13179.60	1263	14442.60	7247.60	1:2.01	
T4	7235	12735.45	1258	13993.45	6758.45	1:1.93	
CK	7235	13793.85	1283	15076.85	7841.85	1:2.08	

3 结论与讨论

采用秋季深耕、冬季大定额储水灌溉是石羊河流域农田休闲期传统的耕作及灌溉方式,该流域内夏作物休闲期长达7个半月,秋作物休闲期也达6个月之久,由于该区气候干燥,降水很少,大风天气较频繁,土面蒸散发是该区农田水分主要消耗途径之一^[5]。由上可得传统灌溉方式在农田休闲期蒸发、渗漏较大,水量浪费严重,需要开展节水型冬(春)季储水灌溉技术,以适应高效节水型农业与流域可持续发展的要求。由研究结果可知,在适宜灌水定额条件下,采用春季储水灌溉技术较冬季储水灌溉技术可减少储水灌溉水量75 mm,减少土壤蒸发37.4%,水分利用效率提高26.2%。因此在实际大麦种植生产中可采取春季储水灌溉技术,春季储水灌溉定额以75 mm,生育期共灌水5次,灌水定额75 mm为宜,这样不仅可节约有限水资源,还可提高地温及水分利用效率,达到节水、增效的目的。但春季灌溉未经过冬季上冻与春季消融这一过程,不利于疏松土壤,灌溉定额过大时不仅增加了土面无效蒸发量,还因为土壤表层含水量过大而不利于提高地温及作物出苗率,因而研究不同地域、不同土壤条件下适宜的春季储水灌溉定额将是解决这一问题的关键。同时,春季储水灌溉技术需要长期、连续试验资料,本研究结果还需要进一步研究补充。在推广过程中应考虑流域春季可供水量,部分推广春季储水灌溉技术。

参考文献:

- [1] 柴存英,王仰仁,王晓东.冬小麦储水灌溉节水增产效果分析[J].山西水利科技,1999,(1):93-95.
- [2] 刘冠,张新民,董平国.河西干旱区冬季免储水灌溉结合坐水种技术对春小麦出苗率和产量的影响[J].安徽农业科学,2009,37(20):9426-9429.
- [3] 张新民,马忠民,胡想全,等.节水型冬季储水灌溉技术及其应用前景[J].中国农村水利水电,2007,(3):48-49,54.
- [4] 谢忠奎,王亚军,祁旭升,等.河西绿洲区储水灌溉节水技术研究[J].中国沙漠,2000,20(4):451-454.
- [5] 丁林,金彦兆,李元红,等.石羊河流域农田休闲期耗水规律研究[J].中国生态农业学报,2012,20(4):447-453.
- [6] 丁林,李元红,孟彤彤,等.春小麦免储水灌全膜覆盖穴播与保水剂配合节水技术研究[J].灌溉排水学报,2012,31(1):102-105.
- [7] 张新民,丁林,雒天峰.民勤地区玉米注水播种技术试验研究[J].灌溉排水学报,2010,29(5):86-89.
- [8] 王福霞.河西内陆灌区玉米免储水灌注水播种技术试验研究[D].兰州:甘肃农业大学,2009:6-7.
- [9] 刘冠.干旱区农田休闲期耗水规律及春小麦注水播种技术研究[D].兰州:甘肃农业大学,2009:12-23.
- [10] 丁林,张新民.保水剂对春玉米注水播种条件下土壤水分及生长发育的影响[J].中国农村水利水电,2010,(11):56-60.
- [11] 丁林,王以兵,李元红,等.干旱区辣椒全膜垄作沟灌与保水剂配合节水技术研究[J].干旱地区农业研究,2011,29(2):77-82.
- [12] 丁林,王以兵,张新民,等.玉米免储水灌全膜覆盖膜孔注水播种技术试验研究[J].人民黄河,2011,33(3):83-85.
- [13] 翟治芬,赵元忠,景明,等.秸秆和地膜覆盖下春玉米农田腾发特征研究[J].中国生态农业学报,2010,18(1):62-66.
- [14] 姚宝林,景明,施炯林.留茬覆盖免耕条件下土壤休闲期节水效应研究[J].西北农业学报,2008,17(2):122-125.
- [15] 张久东,胡志桥,包兴国,等.垄作和灌水量对河西绿洲灌区啤酒大麦的影响[J].干旱地区农业研究,2011,29(1):157-160,167.