

宁夏半干旱区玉米滴灌灌溉制度试验研究

李真朴, 刘学军, 翟汝伟, 刘平

(宁夏水利科学研究院, 宁夏 银川 750021)

摘要: 为了促进宁夏半干旱区节水灌溉技术的推广应用, 本文针对宁夏扬黄灌区规模推广玉米大田滴灌缺乏相关滴灌灌溉制度的突出问题, 采用大田小区对比试验与示范区技术应用监测相结合的方法, 开展了玉米裸地滴灌灌溉制度试验研究。在综合分析玉米生育期灌溉定额、土壤含水率变化、耗水量、作物产量、水分生产效率的基础上, 研究提出了玉米生育期滴灌 11~12 次、灌水定额 300~450 m³/hm², 灌溉定额 4 200~4 425 m³/hm² 的滴灌灌溉制度。研究结果表明: 玉米大田滴灌目标产量 15 000 kg/hm², 水分生产效率达到 3.0 kg/m³, 玉米滴灌较大田畦灌可提高经济效益 3 735 元/hm², 同时节水 1 800 m³/hm²、节水 30% 以上。

关键词: 玉米; 滴灌; 耗水量; 灌溉制度; 宁夏半干旱区

中图分类号: S274.1; S513

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2017)05-0242-05

Experimental study on irrigation schedule of maize drip irrigation in semi-arid region of Ningxia Province

LI Zhenpu, LIU Xuejun, ZHAI Ruwei, LIU Ping

(Ningxia Institute of Water Conservancy, Yinchuan 750021, China)

Abstract: In order to promote the extension and application of water-saving irrigation technology in semi-arid area of Ningxia, in this paper, considering the lack of drip irrigation system in the promotion of maize field drip irrigation in Ningxia Yanghuang Irrigation District, the experimental study on the irrigation system of maize bare soil was carried out by using the method of field experiment and demonstration application. Based on the comprehensive analysis of irrigation quota, soil water content change, water consumption, crop yield and water production efficiency, the paper suggested that drip irrigation in maize growth period was 11–12 times, irrigation quota was 300–450 m³/hm², and irrigation fixed volume was 4 200–4 425 m³/hm². The results showed that the target yield of maize field drip irrigation was 15 000 kg/hm², the water production efficiency reached 3.0 kg/m³, and the corn field drip irrigation could improve the economic benefit by 3 735 m³/hm². The water saving was 1 800 m³/hm² and accounted for more than 30%.

Key words: maize; drip irrigation; water consumption; irrigation system; semi-arid zone of Ningxia

1 研究背景

宁夏黄土高原扬黄灌区光照资源丰富, 玉米增产潜力较大^[1], 2016 年种植面积占灌区面积的 70%、达到 9.5 × 10⁴ hm², 灌溉方式主要为大田地面灌溉, 灌溉定额 7 500 m³/hm², 平均单产 1 0000 kg/hm² 以上^[2]。随着灌区节水技术的推广应用, 灌区开展了玉米覆膜沟灌^[3]、玉米限额补充灌溉^[4]、玉米膜下滴灌^[5-7] 以及经济作物滴灌水肥一体化技术研究^[8]。为了提高水资源

的利用效率, 挖掘农业节水潜力, 近年来灌区开展了较大规模的玉米裸地滴灌工程建设, 面积达到了 3.5 × 10⁴ hm², 但对半干旱区滴灌条件下裸地玉米精量灌溉制度研究很少^[9-10], 部分地区参照地面灌溉制度进行设计^[11-12], 成果缺乏指导性。已建玉米滴灌区无相应的灌溉制度可循, 部分地区滴灌工程仍参照大田地面灌溉方式进行管理, 导致高效节水灌溉工程效益不能充分发挥。为了保障高效节水灌溉工程的可持续应用, 推进玉米高效节水灌溉技术的发展, 在宁夏半干旱

收稿日期: 2017-05-28; 修回日期: 2017-07-14

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2015BAD22B05)

作者简介: 李真朴(1965-), 男, 宁夏银川人, 高级工程师, 主要从事节水灌溉、水土保持技术研究工作。

区开展滴灌条件下裸地玉米精量灌溉制度的试验研究十分必要,研究成果可为宁夏玉米滴灌技术的推广应用提供技术支撑。

2 材料与方法

2.1 试验区概况

试验区位于宁夏同心县王团镇的南村和北村,地处宁夏中部,属西北干旱内陆地区,鄂尔多斯高原西部与黄土高原北部的衔接地带,地理坐标为北纬 $36^{\circ}58'48''$,东经 $105^{\circ}54'24''$,海拔1240m。气候属典型大陆性季风型气候,多年平均降水量270 mm,降水年内分布不均衡,7~9月降水占全年降水的65%,年蒸发量2325 mm以上,干旱指数8.4,相对湿度52%。

试验区土质为沙质壤土,田间持水量18%~25%,速效钾179 mg/kg,速效磷72 mg/kg。2016年对试验区土壤特性进行取样检测,土壤田间持水量20%,土壤容重 1.36 g/cm^3 ,0~30 cm深度的土壤有机质含量3.76~4.19 g/kg,30~50 cm深度的土壤有机质含量3.56~3.90 g/kg。

2.2 试验设计

玉米参试品种为先玉335。玉米种植方式采用宽窄行种植,其中宽行行距0.7 m、窄行行距0.4 m,玉米株距0.2 m。

试验区灌溉水源为宁夏同心现代节水高效农业科技园区已建的 $5\times 10^4\text{ m}^3$ 蓄水池调蓄的黄河水,灌溉系统利用潜水泵加压,配套筛网+叠片过滤器进行水质净化处理。

玉米田间滴灌带采用 $\Phi 16\text{ PE}$ 贴片式滴灌带,滴灌带长50 m,沿玉米种植行方向铺设于窄行,一条滴灌带灌溉2行玉米,滴头流量2.5 L/h,滴头间距0.3 m。

根据宁夏扬黄灌区已开展的玉米滴灌应用初步经验,采用灌溉定额、灌水定额多水平组合试验设计,共设计试验方案9组。每组试验设置2个重复,分别为 D_1 、 D_2 ,共布设试验小区18个,每个试验小区面积 $7.7\text{ m}\times 50\text{ m}$ 。设计玉米生育期滴灌11~12次,灌溉定额 $2\,175\sim 4\,500\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。

各试验设计施肥水平相同。设计年施肥总量为 $540\text{ kg}/\text{hm}^2$,其中 $\text{N}:300\text{ kg}/\text{hm}^2$, $\text{P}_2\text{O}_5:144\text{ kg}/\text{hm}^2$, $\text{K}_2\text{O}:96\text{ kg}/\text{hm}^2$ 。磷肥采用磷酸二氢铵基施,在播种时与种子一起播入土壤,施用量 $360\text{ kg}/\text{hm}^2$,折合 P_2O_5 含量 $151\text{ kg}/\text{hm}^2$, $\text{N}:54\text{ kg}/\text{hm}^2$ 。氮肥、钾肥以追肥为主,在作物生育期追施尿素 $540\text{ kg}/\text{hm}^2$,含氮

$248\text{ kg}/\text{hm}^2$;硫酸钾 $192\text{ kg}/\text{hm}^2$,含氧化钾 $96\text{ kg}/\text{hm}^2$ 。追施分5次,分别为6月上旬、6月下旬、7月中旬、8月上旬、8月中旬,利用滴灌设施,将肥料溶于水随灌溉施肥。

2.3 监测项目与方法

主要对试验区降水量、土壤理化性质、土壤养分、出苗率、灌水定额、灌溉定额、土壤含水率、施肥量、植株高度、生物产量、经济产量(籽粒产量)进行监测。监测方法按照灌溉试验规范执行。

3 试验结果与分析

3.1 试验结果监测

在玉米生育期4~9月,监测降水量为146.4 mm,其中次降水大于5 mm的降水量之和为97.5 mm。

在灌溉试验过程中,由于设计的灌水期出现较大降雨,对试验设计进行了适当调整,玉米生育期实际灌水9次。在田间灌水时,对水表监测水量控制出现偏差,多次累计出现的偏差在13~468 m^3/hm^2 ,最大偏差占设计灌溉定额的10%左右。实际滴灌时间、灌水定额监测结果见表1。

3.2 玉米生育期土壤含水率变化监测分析

绘制滴灌18个试验小区玉米生育期0~10、10~20、20~30、30~40、40~60、60~100 cm不同层次土壤含水率生育期变化曲线,选择代表大、中、小灌溉定额典型试验区土壤含水量变化情况见图1。

试验区6月至7月中旬,由于降雨影响,调整了灌水周期,延长了灌水间隔到10~15 d,但降雨未能弥补充足的土壤水分,导致0~30 cm土壤含水率多处于60%田间持水量以下,只是在灌水后的短期内含水率高于60%田间持水量,制约了玉米的正常生长,会对产量产生影响。土壤前期含水率较低,也说明试验区前期灌水量不足、灌水间隔时间较长。试验区在8月份以后,灌溉定额大于 $3\,000\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 时,各层土壤水分均大于60%田间持水量,土壤水分较充足,主要是后期灌水较集中,作物处于生长后期耗水量降低,也说明后期灌水定额、灌水次数较适宜。

生育期不同灌溉定额试验结果对比表明,灌溉定额较大的试验区在整个生育期不同层次土壤含水率较大,而灌溉定额较小的试验区土壤含水率长期处于较低区间,影响作物的正常生长。

3.3 不同灌溉定额对玉米产量、水分生产效率的影响

对玉米滴灌 D_1 、 D_2 试验区籽粒产量、灌溉定额、降水量、灌溉前后土壤水蓄变量进行综合分析,各试验区耗水量、水分生产效率分析结果见表2。

对 D₁、D₂ 试验区同一灌溉方案的试验结果进行算术平均,分析滴灌灌溉定额、耗水量与产量、水分生产效率的关系见表 3。滴灌定额与产量间的关系见图 2、耗水量与产量关系见图 3。

表 1 玉米滴灌试验灌水监测结果 m³/hm²

灌水日期	D ₁₋₁	D ₁₋₂	D ₁₋₃	D ₁₋₄	D ₁₋₅	D ₁₋₆	D ₁₋₇	D ₁₋₈	D ₁₋₉	D ₂₋₁	D ₂₋₂	D ₂₋₃	D ₂₋₄	D ₂₋₅	D ₂₋₆	D ₂₋₇	D ₂₋₈	D ₂₋₉
06-07	300	300	300	300	300	300	225	225	150	300	305	308	300	300	227	228	225	150
06-22	375	375	300	300	300	227	225	225	152	377	375	311	300	300	225	225	225	150
07-03	458	387	375	375	339	404	386	314	363	450	375	375	375	300	300	300	225	225
07-18	378	378	378	366	300	300	300	314	275	378	375	378	303	299	300	303	221	230
07-28	455	455	396	375	377	381	305	266	233	452	450	392	375	375	377	300	236	225
08-09	846	879	410	552	401	392	509	479	254	690	567	551	527	453	494	344	375	444
08-21	375	375	378	299	300	323	306	225	227	383	377	374	300	300	300	300	225	231
08-30	450	375	378	309	309	339	321	389	357	450	378	377	309	311	308	225	227	239
09-09	327	339	300	312	302	225	228	230	227	381	335	329	300	303	258	254	239	224
合计	3964	3863	3215	3188	2927	2889	2804	2664	2235	3860	3536	3392	3089	2940	2787	2478	2196	2118

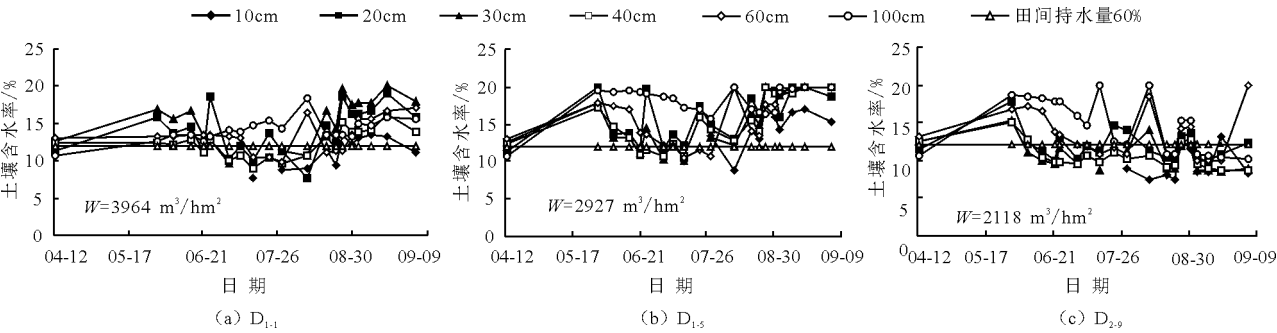


图 1 玉米不同灌溉定额不同层次土壤含水率变化曲线

表 2 试验区玉米灌水量与产量、水分生产效率关系

试验 小区	籽粒产量/ (kg · hm ⁻²)	灌溉定额/ (m ³ · hm ⁻²)	降雨量/ (m ³ · hm ⁻²)	种前 1m 土体 土壤含水率/ %	收获后 1m 土体土壤平均 含水量/%	1m 土体土壤 水蓄变量/ (m ³ · hm ⁻²)	耗水量/ (m ³ · hm ⁻²)	水分生产效率/ (kg · m ⁻³)
D ₁₋₁	15158	3964	1466	12.04	15.56	479	4950	3.06
D ₁₋₂	15393	3863	1466	12.04	17.28	713	4615	3.34
D ₁₋₃	12779	3215	1466	12.04	13.17	153	4526	2.82
D ₁₋₄	12275	3188	1466	12.04	14.89	387	4266	2.88
D ₁₋₅	13116	2927	1466	12.04	19.27	983	3408	3.85
D ₁₋₆	10991	2889	1466	12.04	16.84	653	3701	2.97
D ₁₋₇	12879	2804	1466	12.04	17.44	734	3534	3.64
D ₁₋₈	10674	2666	1466	12.04	16.50	606	3524	3.03
D ₁₋₉	10307	2237	1 466	12.04	13.86	246	3455	2.98
D ₂₋₁	12608	3858	1466	12.04	15.76	506	4817	2.62
D ₂₋₂	15000	3537	1466	12.04	15.07	413	4589	3.27
D ₂₋₃	11358	3392	1466	12.04	17.54	749	4108	2.76
D ₂₋₄	12416	3090	1 466	12.04	17.23	707	3849	3.23
D ₂₋₅	12233	2940	1 466	12.04	18.17	834	3571	3.43
D ₂₋₆	12261	2787	1466	12.04	15.98	536	3717	3.30
D ₂₋₇	9629	2478	1 466	12.04	17.37	725	3218	2.99
D ₂₋₈	12381	2198	1 466	12.04	16.02	542	3120	3.97
D ₂₋₉	9795	2118	1 466	12.04	11.91	- 18	3601	2.72

表 3 玉米滴灌灌水量、耗水量与产量、水分生产效率的关系

滴灌方案	灌水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	籽粒经济产量/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	耗水量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)	水分生产效率/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	灌溉水生产效率/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	产量 排序	水分生产 效率排序
方案 1	3912	13882	4884	2.8	3.5	2	9
方案 2	3699	15196	4602	3.3	4.1	1	4
方案 3	3303	12069	4317	2.8	3.7	5	8
方案 4	3139	12345	4057	3.1	3.9	4	6
方案 5	2932	12673	3489	3.6	4.3	3	1
方案 6	2838	11625	3709	3.1	4.1	6	5
方案 7	2640	11253	3376	3.3	4.3	8	3
方案 8	2431	11527	3322	3.5	4.7	7	2
方案 9	2178	10050	3528	2.9	4.6	9	7

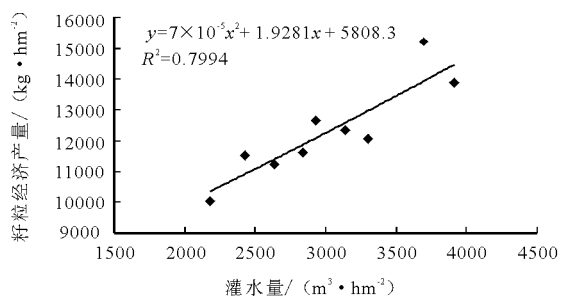


图 2 玉米滴灌灌水量与产量关系

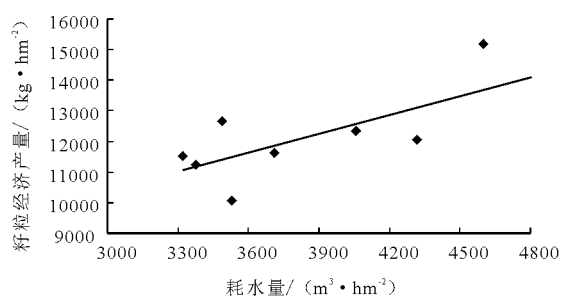


图 3 玉米滴灌耗水量与产量关系

玉米滴灌综合试验结果表明,在试验的灌溉定额范围内,随着灌溉定额提高也相应产量提高,但水分生产效率随着灌溉定额的提高有减小趋势^[13-15]。试验结果说明,试验还没有涵盖最大产量时的灌溉定额。在灌溉定额 2 178 ~ 2 932 m^3/hm^2 、平均 2 604 m^3/hm^2 ,产量 10 050 ~ 12 673 kg/hm^2 、平均 11 425 kg/hm^2 ,水分生产效率较高,达到 2.9 ~ 3.6 kg/m^3 、平均 3.28 kg/m^3 。在灌溉定额 3 139 ~ 3 912 m^3/hm^2 、平均 3 513 m^3/hm^2 ,产量达到 12 345 ~ 15 195 kg/hm^2 、平均 13 373 kg/hm^2 ,水分生产效率达到 2.8 ~ 3.3 kg/m^3 、平均 3.0 kg/m^3 。

玉米滴灌耗水量与产量关系分析表明,随着耗水量的增加,产量相应增加,但在实际试验的灌溉定额及当年降雨量情况下,作物产量没有达到最大值,说明灌水不足。当地属充分灌溉区域,考虑玉米滴灌增产效果是保证滴灌工程可持续应用的关键、以及提高灌溉定额对水分生产效率影响的幅度,应当适当加大或调整玉米拔节期、抽雄期、灌浆期的灌水次数或灌水定额,保证作物关键生育期的耗水需求,取得玉米最高产量。

3.4 玉米高效节水精量灌溉制度

对比玉米滴灌设计方案与实际灌溉情况,经灌溉定额(方案 1 最大)、产量(方案 2 最大)、作物耗

水量(方案 1 最大)、水分生产效率(方案 5 最大)、灌溉水生产效率(方案 8 最大)关系分析,以及增加灌溉水量对提高产量影响、增产对滴灌工程可持续应用的作用,结合生育期作物土壤水分变化状况、作物生长状况观测结果,推荐玉米在充分供水情况下的滴灌精量灌溉制度为:生育期灌水 11 ~ 12 次,灌溉定额 4 200 ~ 4 425 m^3/hm^2 ,目标产量 15 000 kg/hm^2 ,见表 4。

表 4 试验区玉米滴灌精量灌溉制度

生育期	时段	灌水次数	灌水量/($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)
播种期	4 月 下旬	视墒情灌水	150 ~ 225
苗期	5 月 中旬	1	300
拔节期	6 月	上旬	1
		中旬	1
		下旬	1
抽雄期	7 月	上旬	1
		中旬	1
		下旬	1
灌浆期	8 月	上旬	1
		中旬	1
		下旬	1
成熟期	9 月 上旬	1	300
生育期合计		11 ~ 12	4200 ~ 4425

3.5 玉米高效节水灌溉成本效益分析

对宁夏黄土高原扬黄灌区玉米高效节水灌溉工程的运行管理状况进行调研,在对 22 个县玉米不同灌溉方式的灌溉成本、生产全成本调查统计的基础上,结合试验区实际运行情况,对玉米高效节水灌溉与大田灌溉成本、农业生产全成本调查、统计、整理、分析。

玉米滴灌灌溉成本在 4 005 元/hm²,较大田地面灌溉成本 1 875 元/hm² 增加 2 145 元/hm²,主要是增加了加压电费、管网系统维修费、滴灌带的更新费用,但减少了灌溉人工费、水费,总体上灌溉成本增加。玉米滴灌农业种植成本 9 150 元/hm²,较大田地面灌溉农业成本 9 690 元/hm² 减少 540 元/hm²,主要是减少肥料用量 20% 以上,减少肥料费用 840 元/hm²,但增加滴灌系统布设、滴灌带回收等劳务费用 300 元/hm²。玉米滴灌生产全成本 12 030 元/hm² (已包括宁夏对玉米滴灌带补贴 1 125 元/hm²),较大田畦灌玉米生产全成本 11 565 元/hm² 高出 465 元/hm²。

大田地面灌溉产量多在 12 000 kg/hm²、玉米滴灌产量多在 15 000 kg/hm² 以上,按照玉米市场销售价格 1.4 元/kg,玉米滴灌净效益 8 970 元/hm²,较玉米大田畦灌效益 5 235 元/hm² 增加经济效益 3 735 元/hm²。同时节水 1 800 m³/hm²、节水 30% 以上。

4 结 论

(1) 玉米的产量与生育期耗水量、灌溉水量有较好的关系。玉米滴灌灌溉定额 3 139 ~ 3 912 m³/hm²、平均 3 513 m³/hm²,产量达到 12 345 ~ 15 195 kg/hm²、平均 13 373 kg/hm²,水分生产效率达到 2.8 ~ 3.3 kg/m³、平均 3.0 kg/m³。在灌溉定额 2 178 ~ 2 932 m³/hm²、平均 2 604 m³/hm²,产量 10 050 ~ 12 673 kg/hm²、平均 11 425 kg/hm²,水分生产效率较高,达到 2.9 ~ 3.6 kg/m³、平均 3.28 kg/m³。

(2) 推荐玉米生育期滴灌灌水 11 ~ 12 次,灌水定额 300 ~ 450 m³/hm²,其中 4 月下旬播种时视墒情进行灌溉,墒情较差时灌水 150 ~ 225 m³/hm²,可采用播后灌溉。5 月中旬灌水 1 次,灌水定额 300 m³/hm²。从 6 月上旬至 9 月下旬,每 10 天灌水 1 次,灌水定额 300 ~ 450 m³/hm²,生育期灌溉定额 4 200 ~ 4 425 m³/hm²,可保证玉米的正常生长,目标产量 15 000 kg/hm²。

(3) 玉米滴灌净效益 8 970 元/hm²,较玉米大田畦灌效益 5 235 元/hm² 增加经济效益 3 735 元/hm²,同时节水 1 800 m³/hm²、节水 30% 以上。玉米滴灌技术对灌区增产增效意义重大,研究取得的玉米滴灌灌溉制度在宁夏扬黄灌区具有广阔的推广前景。

参考文献:

- [1] 刘玉兰,张晓煜,刘娟,等. 气候变化对宁夏引黄灌区玉米生产的影响[J]. 玉米科学, 2008, 16(2): 147 - 149.
- [2] 孙建书,陈天伟. 宁夏河套引黄灌区(银北部分)主要作物畦灌节水型灌溉制度的确定[J]. 人民黄河, 1998 (S1): 32 - 36.
- [3] 汤英,李金娟,韩小龙,等. 宁夏中部干旱带覆膜沟灌玉米灌溉制度研究[J]. 节水灌溉, 2014(3): 9 - 13.
- [4] 刘学军,王乐,张红玲,等. 宁夏扬黄灌区玉米限额补充灌溉制度研究[J]. 水资源与水工程学报, 2012, 23(3): 30 - 33.
- [5] 范雅君,吕志远,田德龙,等. 河套灌区玉米膜下滴灌灌溉制度研究[J]. 干旱地区农业研究, 2015, 33(1): 123 - 129.
- [6] 宇宙,王勇,罗迪汉. 膜下滴灌玉米需水规律及优化灌溉制度研究[J]. 节水灌溉, 2015(4): 10 - 13.
- [7] 唐瑞,王怀博,徐利岗,等. 宁夏中部干旱带玉米膜下滴灌灌溉制度试验研究[J]. 宁夏工程技术, 2016, 15(4): 390 - 394.
- [8] 朱洁,刘学军,陆立国,等. 宁夏贺兰山东麓酿酒葡萄滴灌水肥一体化试验研究[J]. 节水灌溉, 2016(8): 76 - 81.
- [9] 周乾,鲍子云,王怀博,等. 宁夏农牧交错带青贮玉米滴灌灌溉制度研究[J]. 节水灌溉, 2016(9): 112 - 116.
- [10] 赵自明. 西北干旱缺水大田作物滴灌灌溉制度试验[J]. 武汉大学学报(工学版), 2006, 39(4): 9 - 13.
- [11] 王茜,杨建全. 宁夏引黄灌区滴灌冬小麦、玉米灌溉制度研究[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(36): 17585 - 17588.
- [12] 侯峥,杜军,沈振荣. 宁夏引黄灌区玉米滴灌灌溉施肥一体化关键技术研究[J]. 节水灌溉, 2012(11): 9 - 12.
- [13] 李蔚新,王忠波,张忠学,等. 膜下滴灌条件下玉米灌溉制度试验研究[J]. 农机化研究, 2016(1): 196 - 199 + 200.
- [14] 刘一龙,张忠学,郭亚芬,等. 膜下滴灌条件下不同灌溉制度的玉米产量与水分利用效应[J]. 东北农业大学学报, 2010, 41(10): 53 - 56.
- [15] 魏永华,陈丽君. 膜下滴灌条件下不同灌溉制度对玉米生长状况的影响[J]. 东北农业大学学报, 2011, 42(1): 55 - 60.