

覆膜畦灌条件下不同灌溉定额对饲用甜高粱农艺性状及生物产量的影响

王增丽¹, 樊晓康¹, 温广贵²

(1. 武威市中心灌溉试验站, 甘肃 武威 733000; 2. 甘肃省武威职业学院, 甘肃 武威 733000)

摘要: 为探索西北旱区饲用甜高粱最佳灌溉定额和节水效果, 进行了覆膜畦灌条件下饲用甜高粱需水规律及优化灌溉制度试验, 研究了不同灌溉定额(2 400、3 000、3 600、4 200、4 800 m³·hm⁻²) 条件下, 饲用甜高粱生育期土壤水分变化情况、农艺性状及生物产量变化。结果表明, 甜高粱生育期 0~100 cm 土层含水量随生育期的延长呈先降低后升高的趋势, 灌水定额对土壤水分分布的影响发生在播后 62 d。当灌溉定额小于 2 400 m³·hm⁻² 时, 严重影响甜高粱长势, 植株表现为矮小, 茎秆增粗, 干物质累积量降低。随灌溉定额的降低, 甜高粱茎秆汁液的含糖量呈提高的趋势。甜高粱生物产量的增加是由于株高($R^2 = 0.97$)、LAI($R^2 = 0.81$)、茎节数($R^2 = 0.59$)等因素共同作用的结果。从节水和增加生物量角度而言, 畦灌条件下, 甜高粱在全生育期灌水 4 次, 灌水定额为 900 m³·hm⁻², 灌溉定额为 3 600 m³·hm⁻² 的灌溉制度最优。

关键词: 饲用甜高粱; 灌溉定额; 农艺性状; 生物产量; 覆膜畦灌

中图分类号: S277.9; S152.7 **文献标志码:** A

Effect of irrigation quota on agronomic trait and biomass of feeding sweet sorghum under condition of border irrigation with mulching

WANG Zeng-li¹, FAN Xiao-kang¹, WEN Guang-gui²

(1. Wuwei Central Experimental Irrigation Station, Wuwei, Gansu 733000, China;

2. Wuwei Occupational College, Wuwei, Gansu 733000, China)

Abstract: In order to explore the optimal irrigation quota and water-saving effect suitable for feeding sweet sorghum under condition of border irrigation with mulching, a field experiment was conducted to study the effect of the irrigation quota (2 400, 3 000, 3 600, 4 200, 4 800 m³·hm⁻² respectively) on soil water content, agronomic trait and biomass. Results showed that soil water content within 0~100 cm soil layer first increased and then decreased in sweet sorghum growth period, and irrigation quota had significant effect on 0~100 cm soil moisture distribution at the 62th d after sowing. Irrigation quota which was less than 2 400 m³·hm⁻² seriously affected the sweet sorghum growing (such as reducing plant height, enlarging stem stalk, decreasing accumulative dry matter). Sugar content of sweet sorghum stalk juice had a trend of increase with the decrease of irrigation quota. The increase of sweet sorghum biomass was attributed to factors such as plant height, LAI and numbers of stem nodes ($R^2 = 0.97, 0.81, 0.59$ respectively). In conclusion, for water-saving and increasing the biomass, irrigation schedule with irrigation quota of 3 600 m³·hm⁻² (irrigation frequency was 4 times) was thereby recommended as the optional practice to increase the biomass (25.29 t·hm⁻²) and WUE (5.76 kg·m⁻³) under condition of border irrigation with mulching.

Keywords: feeding sweet sorghum; irrigation quota; agronomic trait; biomass; border irrigation with mulching

甜高粱又称糖高粱, 属于 C4 作物, 是粒用高粱的变种, 具有抗旱、耐盐碱、耐瘠薄、综合利用价值高等特点, 适宜在盐碱干旱等边际土地种植^[1-2]。种植甜高粱不仅可以解决畜牧业的饲料问题、生物能

收稿日期: 2016-01-12
基金项目: 水利部公益性行业科研专项(201501017); 甘肃省陇原青年创新人才扶持计划、甘肃省水利科研推广项目
作者简介: 王增丽(1974—), 女, 山西祁县人, 博士, 高级工程师, 主要从事农业水土资源保护与利用研究。E-mail: wangzengli201@163.com。

源原材料问题,还能有效提高干旱半干旱地区边际土地利用^[3-4]。

目前,关于甜高粱节水抗旱方面的研究较多。Amaducci、Dolciotti 等研究结果表明,甜高粱地上部生物产量中茎秆生物占的比重最大^[5-6]。Marcello 在地中海地区的研究结果表明,在甜高粱生育前期进行水分胁迫会抑制甜高粱生长发育,进而导致生物量减产^[7]。然而过多的灌溉也不利于作物产量提高,而且还导致作物营养品质的下降^[8]。有研究结果表明,在作物苗期进行适当控水具有改善籽仁营养品质的作用^[9]。

我国干旱半干旱地区光照资源充足,昼夜温差大,有利于甜高粱茎秆糖分积累;土地资源丰富,有利于甜高粱规模化种植。因此,作为一种高效节水型作物和优质饲草作物,在干旱半干旱地区大力推广种植甜高粱符合我国发展节水型农业的要求。但目前,我国关于甜高粱的研究主要集中于东部等气候湿润地区,而对干旱半干旱区甜高粱需水规律的研究较少,更没有提出合理的灌溉制度来指导农业生产。

基于此,本研究在前人工作的基础上,对石羊河流域甜高粱节水高效灌溉技术模式进行田间试验,研究不同灌溉定额对甜高粱农艺性状、生物产量、品质以及水分利用效率的影响,了解甜高粱需水规律及生产潜力,提出最优灌溉制度,为发展甜高粱产业提供理论依据和实践指导。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

该研究于 2015 年 4 月—10 月在武威市中心灌溉试验站进行,地理位置东经 102°50′50″,北纬 37°52′20″,海拔 1 582 m,为典型内陆性干旱荒漠生态区。年均降水量 163.2 mm,多年平均蒸发量 2 019.9 mm,土壤干容重 1.54 g·cm⁻³,土壤质地为灰钙质粉质壤土,田间持水率为 30%。

1.2 试验设计与方法

试验采用甜高粱品种为 BJ0603,于 2015 年 4 月 23 日播种,同年 9 月 28 日收获。试验共设置 5 种灌水定额(其中:T1 处理为重度干旱,T2、T3 为轻度干旱,T4、T5 处理为水分充盈),每处理重复 3 次,共计 15 个小区。在旋耕整地前进行春灌,灌溉定额为 900 m³·hm⁻²,并施入基肥:尿素 300 kg·hm⁻²,磷酸二氢铵 525 kg·hm⁻²,K 肥 150 kg·hm⁻²,Zn 肥 30 kg·hm⁻²。播前按照试验要求设置小区后进行覆膜,膜宽 1.40 m,种植方式为一膜四行。采用穴播机进行

播种,行距 40 cm,株距 20 cm,小区面积为 68 m²(10 m×6.8 m),周围布置 1 m 宽的保护带。在 7 月上旬随水追施尿素 1 次,追肥量 195 kg·hm⁻²。灌溉水源来自试验站内水井。为保证灌水量准确,水管直接通至每小区,并在出水口安装水表进行计量。

表 1 甜高粱灌溉定额设置

Table 1 Experimental design of irrigation quota for sweet sorghum

处理 Treatment	T1	T2	T3	T4	T5
06-12	600	750	900	1050	1200
07-14	600	750	900	1050	1200
08-17	600	750	900	1050	1200
09-06	600	750	900	1050	1200
灌溉定额 Irrigation quota /(m ³ ·hm ⁻²)	2400	3000	3600	4200	4800

1.3 测定项目与内容

1.3.1 土壤水分测定 土壤水分测定采用烘干法,土壤深度为 0~100 cm,分[0,20],[20,40],[40,60],[60,80],[80,100] cm 5 层进行测定,生育期每隔 15 d 测定 1 次,灌水、降雨前后加测,测点布置在行间。

1.3.2 农艺性状测定 每小区选取 5 穴有代表性、长势一致的植株进行挂牌标记。自播后 40 d 左右开始,每隔 15 d 采用直尺法测定株高、茎粗、叶面积。采用烘干称重法测定不同生育期甜高粱干物质累积量。

1.3.3 水分利用效率计算 作物收获后,各小区取 3 穴株进行考种。考察甜高粱株高、茎粗、叶面积指数、茎秆含糖量及生物量鲜干重。并根据以下公式计算作物耗水量和水分利用效率。

采用农田土壤水量平衡公式进行耗水量计算。由于该试验田地下水埋深在 40 m 以下,可视地下水补给量为 0,降水入渗深度不超过 1 m,可视深层渗漏为 0。作物生长所需水分主要来源灌溉水和降雨。

$$E_c = P + I - \Delta W \tag{1}$$

$$WUE = Y/E_c \tag{2}$$

式中, E_c 为作物生育期耗水量(mm); P 为生育期降水量(mm); I 为生育期内灌溉量(mm); ΔW 为作物生育期土壤蓄水变化量(mm)。 WUE 为水分利用效率(kg·m⁻³); Y 为干生物产量(kg·hm⁻²)。

1.3.4 降雨及气象资料 作物生育期气象资料由武威市中心灌溉试验站自动气象站获取,甜高粱生育期降雨量 147.2 mm,有效降雨量 112.6 mm。

1.4 数据处理

采用 Excel 及 SPSS 15.0 软件对数据进行处理,利用 Duncan 新复极差法进行显著性检验($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同灌水定额对土壤水分动态变化的影响

不同处理甜高粱生育期 0~100 cm 土壤水分动态变化见图 1。由图可知,在生育前期,各处理土壤水分含量呈连续下降的趋势。到播后 62 d,灌水和灌水后土壤才呈现短暂上升趋势,随后随着甜高粱蒸腾强度加大,水分含量呈快速下降趋势。到播后 116 d,0~100 cm 土层土壤含水量降到最低值,各处理含水率为 12.99%~14.33%。之后因降雨增多,土壤含水量又呈上升的趋势。

为进一步分析不同生育期土壤含水量 0~100 cm 动态变化,将播后不同时段土壤含水量变化绘于图 2。由图可知,播后 20 d,各处理土壤含水量变化曲线出现交叉、重叠,表明土壤含水量变化规律基本一致:均随土壤深度的增加呈先增加后降低的趋势。播后 62 d,处理间土壤含水量差异在 20~80 cm 土层内明显。其中,T1 处理最低,为 17.04%,T4 处理

最高,为 19.95%。播后 96 d 测定结果表明,受气温、蒸散作用及作物根系吸水等因素影响,土壤水分含量逐渐下降,到播后 116 d,土壤水分含量降到最低值。其中,浅层土壤水分含量明显下降,增加灌水定额使土壤水分变化曲线逐渐右移,垂直剖面土壤水分含量增加明显,各处理 0~100 cm 土层内水分含量为 12.99%~15.75%,其中,T1 处理最低,T5 处理最高。播后 145 d 结果表明,在降雨和灌水措施作用下,0~100 cm 土壤蓄水量较前期明显增加。各处理土壤含水量较播后 116 d 分别增加 2.89%~4.97%。其中,T1 处理增量最小,T5 处理增量最大。

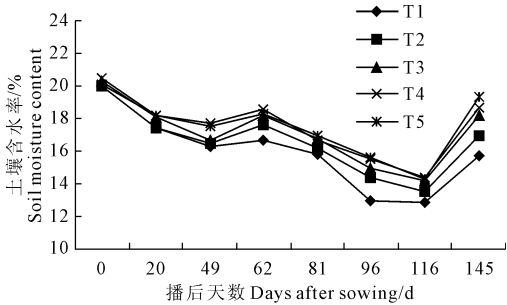


图 1 不同处理土壤含水量变化

Fig.1 Change of soil water content at 0~100 cm layer

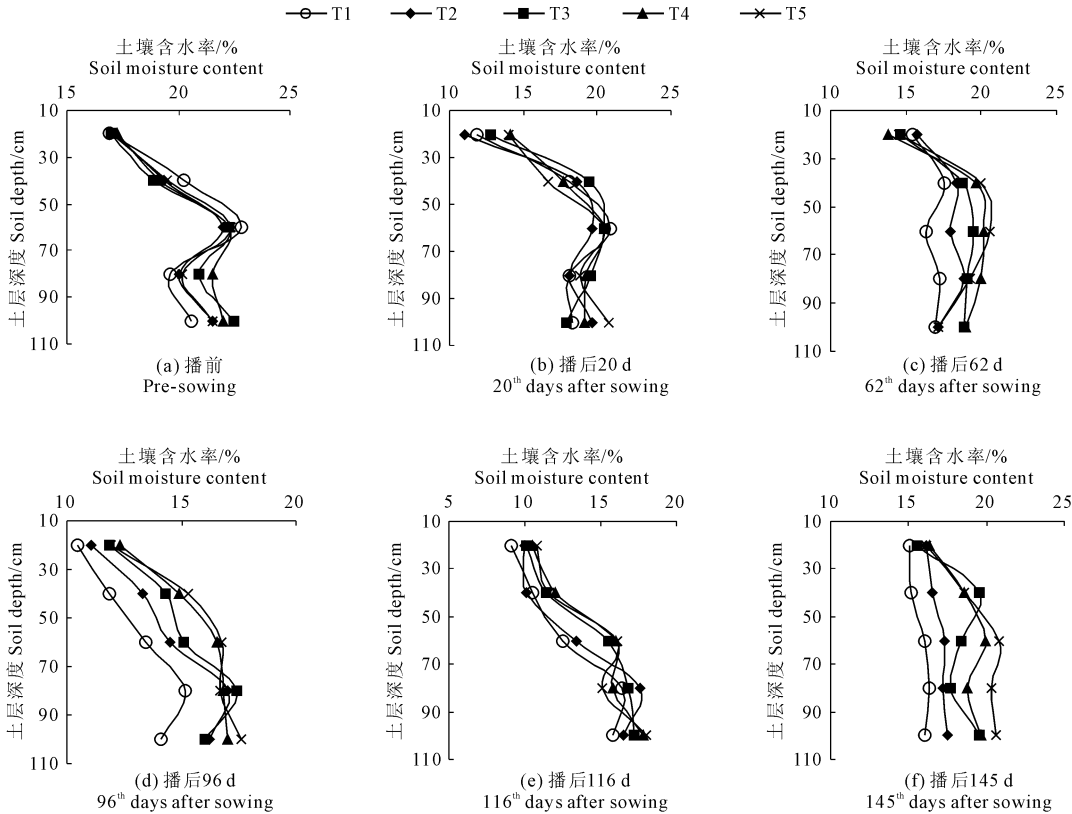


图 2 不同处理甜高粱生育期土壤剖面含水量分布

Fig.2 The distribution of water content for soil profile in sweet sorghum growth period

研究表明,甜高粱生育期 0~100 cm 土层含水量随生育期的延长呈先降低后升高的趋势。灌水定额对土壤水分分布的影响发生在播后 62 d,且在播后 96 d 灌水定额影响能明显增加 0~100 cm 土层水分含量。

2.2 甜高粱农艺性状分析

将不同处理甜高粱生育期株高变化列于表 2。由表可知,从播后到 131 d 生长周期内,各处理株高变化规律基本一致:均呈直线上升趋势,且在播后 131 d 后株高增长幅度逐渐减缓。播后 158 d 测定

结果表明,T1、T2、T3、T4、T5 处理的株高分别为 286.5 cm、298.8 cm、320.0 cm、332.0 cm、324.5 cm,其中 T3、T4、T5 处理较 T1、T2 处理能明显促进株高生长。茎粗测定结果可知,随灌水定额的减少,甜高粱茎粗呈增加的趋势。播后~62 d 时段内,各处理茎粗呈直线增加趋势。62 d 后茎粗的增长速率缓慢。到播后 158 d,T1、T2、T3、T4、T5 处理茎粗分别为 31.2 mm、27.5 mm、26.1 mm、27.3 mm、27.1 mm,其中 T1 与其他处理差异显著。

表 2 不同处理甜高粱生育期农艺性状动态变化分析

Table 2 The analysis on dynamic change of agronomic traits in sweet sorghum growth period																
播后天数 days of sowing /d	T1			T2			T3			T4			T5			
	株高 Plant height /cm	茎粗 Stem diameter /mm	LAI	株高 Plant height /cm	茎粗 Stem diameter /mm	LAI	株高 Plant height /cm	茎粗 Stem diameter /mm	LAI	株高 Plant height /cm	茎粗 Stem diameter /mm	LAI	株高 Plant height /cm	茎粗 Stem diameter /mm	LAI	
41	39.9	8.50	0.37	40.7	9.37	0.57	41.2	11.40	0.77	50.4	14.14	0.90	51.0	13.38	0.93	
62	75.5	18.04	1.88	81.0	18.88	2.52	84.5	20.16	2.22	78.5	18.78	2.76	79.0	19.93	2.38	
76	134.5	21.11	5.72	137.0	20.25	7.52	152.0	22.17	7.46	147.0	23.02	7.39	145.5	21.85	9.40	
91	178.2	23.13	7.15	191.0	22.35	8.72	190.2	25.15	9.11	197.2	23.73	9.65	197.7	23.71	11.29	
131	266.5	24.70	8.02	268.5	22.53	9.32	297.0	24.99	9.65	295.0	23.47	10.54	306.5	24.38	12.08	
158	286.5	31.23	8.71	298.5	27.46	9.65	320.0	26.14	10.98	332.0	27.27	11.46	324.5	27.05	13.06	

叶面积指数(Leaf Area Index, LAI)是单位种植面积上作物叶片面积的总和。LAI 的大小,不仅直接影响到作物的蒸腾量,而且影响阳光照射面积的大小与作物进行光合作用的能力。播后到 76 d 内,各处理 LAI 上升较快,之后各处理 LAI 增幅逐渐下降。到收获期,甜高粱 LAI 大小依次为 T5>T4>T3>T2>T1。其中 T5 处理 LAI 为 13.06,T1 处理 LAI 为 8.71。

研究表明,灌溉定额对甜高粱生育期株高、茎粗、LAI 的变化具有一定的影响。当灌溉定额为 2 400 m³·hm⁻²时,严重影响甜高粱的营养生长,植株株高矮小,茎粗增加。当灌溉定额大于 4 200 m³·hm⁻²时,对甜高粱的株高、茎粗及 LAI 的促进作用减弱。

2.3 甜高粱生物产量、WUE 分析

由图 3 可知,随灌溉定额的增加,甜高粱地上部生物量鲜重逐渐增加。T4、T5 处理甜高粱鲜重分别为 95.0 t·hm⁻²和 94.3 t·hm⁻²,与其他处理差异显著;T1 处理地上部生物产量鲜、干重最低,分别为 65.0 t·hm⁻²和 18.99 t·hm⁻²,表明增加灌溉定额能显著提高甜高粱生物产量,当灌水定额增加到 4 800 m³·hm⁻²时,对生物量的促进作用减弱。方差分析

结果表明,与 T4、T5 处理相比,重度干旱胁迫下(T1),甜高粱地上生物产量鲜、干重均显著降低($P<0.05$),中度干旱胁迫(T2、T3 处理)生物产量明显增加。

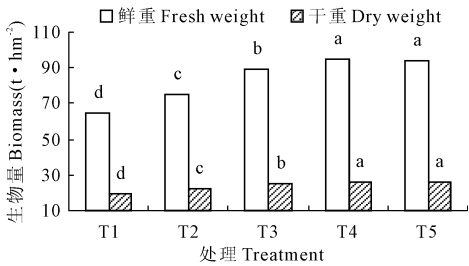


图 3 不同处理甜高粱产量分析

Fig.3 The analysis on biomass for sweet sorghum

水分利用效率(图 4)分析得出,各处理 WUE 大小依次为 T3>T2>T1>T4>T5。其中,T3 处理甜高粱 WUE 最高,为 5.81 kg·m⁻³;T5 处理最低,为 5.10 kg·m⁻³。其中,T1、T2、T3 处理与 T4、T5 处理差异分别达显著性水平($P<0.05$)。试验结果表明,甜高粱生育期进行适度亏水,能显著提高水分利用效率(WUE),综合研究结果,甜高粱生育期灌水 4 次,灌水定额为 900 m³·hm⁻²,灌溉定额为 3 600 m³·hm⁻²的灌溉制度最优。

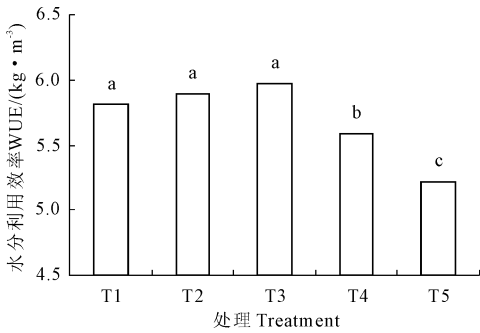


图 4 不同处理饲用甜高粱 WUE 分析

Fig.4 WUE of sweet sorghum under different treatment

2.4 甜高粱农艺性状相关性分析

将甜高粱收获期的株高、茎粗、LAI、茎节数、

含糖量以及生物量 5 个农艺性状进行相关性分析, 结果见表 3。由表 3 可知, 甜高粱株高与茎粗呈极显著负相关关系 ($R^2 = -0.75$), 与 LAI、茎节数及生物量均为正相关关系, 说明甜高粱生物产量及各性状的增加均与株高的变化有关。生物产量与各性状的相关性分析结果表明, 除含糖量、茎粗外, 均为正相关关系, 说明甜高粱生物产量的增加是由于株高 ($R^2 = 0.97$)、LAI ($R^2 = 0.81$)、茎节数 ($R^2 = 0.59$) 等因素共同作用的结果。茎粗、含糖量与生物量呈极显著的负相关关系 ($R^2 = 0.77, 0.80$), 表明茎粗增加和含糖量的提高, 不利于甜高粱生物量的增加。

表 3 甜高粱产量、耗水量及产量特征值相关性分析

Table 3 The correlation analysis on the value of biological yield, water consumption and yield characteristic of sweet sorghum

相关系数 Correlativity	株高 plant height	茎粗 Stem diameter	LAI	茎节数 pitch number	含糖量 Sugar content	生物量 Biomass
株高 Plant height	1					
茎粗 Stem diameter	- 0.75 * *	1				
LAI	0.82 * *	- 0.61 *	1			
茎节数 Pitch number	0.53	- 0.59	0.41	1		
含糖量 Sugar content	- 0.83 * *	0.73 *	- 0.68 *	- 0.74 * *	1	
生物量 Biomass	0.97 * *	- 0.74 * *	0.81 * *	0.59	- 0.80 * *	1

注: *, ** 分别表示 $P < 0.05, P < 0.01$ 水平显著相关。
Note: *, ** indicates significant difference at $P < 0.05$ and 0.01 level respectively.

3 结论与讨论

研究表明,在灌溉水和自然降水双重作用下,甜高粱生育期 0~100 cm 土层含水量随生育期的延长呈先降低后升高的趋势。灌水定额对土壤水分分布的影响发生在播后 62 d,且在播后 96 d 灌水定额影响能明显增加 0~100 cm 土层水分含量。

灌溉定额对甜高粱生育期株高、茎粗、LAI 具有一定的影响。当灌溉定额为 $2\,400\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,严重影响甜高粱的营养生长,植株表现为株高矮小,茎粗增加。当灌溉定额高于 $4\,200\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,对甜高粱的株高、茎粗及 LAI 的促进作用差异减弱。

Salvatore^[10] 研究表明,甜高粱生育期灌溉水量减少 38%,生物产量减少 22% 左右,水分利用效率增加 $0.95\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。本研究结果表明,灌溉水量减少 11.8% 时,甜高粱生物产量降低 8.4%,水分利用效率提高 4.3%。谢婷婷^[11] 研究结果在甜高粱生育期进行适度土壤水分亏缺,不仅有利于甜高粱生产力和品质的提高,而且有利于提高作物 WUE,有效节约水资源,本研究也证明了这一点。在重度干

旱胁迫下(T1),甜高粱地上生物产量鲜、干重均显著降低($P < 0.05$),而中度干旱处理(T2、T3)有所升高,且差异达显著性水平($P < 0.05$)。

随灌溉定额的降低,生育期甜高粱茎秆汁液糖分含量呈增加趋势,且在成熟期达到峰值,这与再吐尼古丽·库尔班等^[12]的研究结果相一致。

本研究结合甜高粱干物质累积量 and 水分利用效率结果认为,覆膜畦灌条件下,甜高粱生育期灌水 4 次,灌溉定额为 $3\,600\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 的灌溉制度最优。

在西北旱区,覆膜栽培方式依然是西北旱区重要的保墒措施,优化主要农作物的灌溉方案对该区农业的可持续生产依然具有重要的意义,且在干旱年增产节水效益尤为显著^[13-16]。

参 考 文 献:

[1] 卢 峰,邹剑秋,段有厚.甜高粱茎秆含糖量及主要农艺性状相关性研究[J].辽宁农业科学,2013,(6):1-4.
[2] 王黎明,焦少杰,蒋艳喜,等.甜高粱主要农艺性状的主成分分析[J].中国糖料,2012,(12):7-8.
[3] Ali M L, Rajewski J F, Baenziger P S, et al. Assessment of ge-netic

