

甜高粱在青海高原不同海拔生态区的适应性研究

李春喜* 冯海生

(中国科学院西北高原生物研究所 中国科学院高原生物适应与进化重点实验室 青海 西宁 810001)

摘要: 2010-2011年在青海高原不同海拔生态区对甜高粱进行品种适应性研究,结果显示,海拔对生育期、茎秆高度、单株鲜重、叶片数、茎叶产量、糖锤度有极显著影响。海拔1850m鲜重产量111127~139840 kg/hm²,籽粒成熟,产量4154~7609 kg/hm²;海拔1990m鲜重产量96156~139496 kg/hm²;海拔2100m鲜重产量70124~109596 kg/hm²,早熟品种籽粒能成熟;海拔2300m鲜重产量71528~102690 kg/hm²,晚熟品种不能抽穗;海拔2500m鲜重产量41340~61034 kg/hm²,早熟品种能进入抽穗期。茎秆糖锤度海拔2300m以下地区除晚熟品种较低外,可达15%以上,海拔2500m茎秆糖锤度只有6.52%~9.28%。九甜杂三品种综合表现突出,鲜重产量61033.5~125439.0 kg/hm²,糖锤度9.28%~19.61%。海拔1850m籽粒产量7461 kg/hm²,是推广种植的首选品种;吉甜5号、超级放牧者综合表现良好,可为候选品种。

关键词: 甜高粱; 海拔; 鲜重产量; 糖锤度; 适应性

中图分类号: S514; Q948.118 文献标识码: A 文章编号: 1004-5759(2013)03-0051-09

DOI: 10.11686/cyxb20130307

甜高粱(*Sorghum bicolor*)为一种能源作物、饲料作物和糖料作物。作为饲料利用具有明显的优势,既可做牧草放牧,又可刈割做青饲、青贮和干草,是优质饲料资源,营养丰富,茎秆本身含糖量达18%,其效果比玉米好,牛羊爱吃,在当前生产中使用的青贮玉米(*Zea mays*)、大麦(*Hordeum vulgare*)、苜蓿(*Medicago sativa*)、燕麦(*Avena sativa*)中,甜高粱独占鳌头,种植甜高粱已成为世界众多国家推进本国种植业发展的一条重要途径^[1]。在美国甜高粱收获面积约占美国高粱总面积的70%;奶牛饲喂用甜高粱可使日产奶量提高4.54 kg,消化率提高40%,并提高蛋白质含量,其营养价值几乎超过苜蓿,且其需水量还不到玉米的1/3^[2,3]。19世纪末,澳大利亚从美国引进大量甜高粱品种,作为牧草、青饲料、青贮饲料和干草利用,1976年甜高粱面积已达10.3万hm²,产量也很高;20世纪70年代我国甘蔗糖业研究所就育成了“7418”甜高粱等品种;中国科学院植物研究所从美国引进甜高粱品种丽欧(Rio)、洛马(Roma)、雷伊(Wray)、拉马达(Ramada)等品种,产量达33510~56475 kg/hm²,为玉米产量的1.9~2.5倍,种植面积迅速扩大,大量用作牲畜饲料;此后中国科学院原子能利用研究所及辽宁、黑龙江、吉林、新疆、内蒙古等地科研院校相继选育出辽饲杂1号、沈农杂1号、龙饲杂1号、吉甜1号等饲用品种,平均产量45000~75000 kg/hm²,还可产3000~4000 kg/hm²的籽粒,多以饲料为主,又以青贮饲料为多^[4]。德国甜高粱的鲜生物量可达159990 kg/hm²^[5]。21世纪初,中国科学院植物研究所研制出具有自主知识产权的甜高粱秸秆粉配合饲料(发明专利:ZL99106068)^[6]。中国科学院近代物理研究所在品种选育、规模化种植及酒精生产和酵母系列产品开发取得成果^[7]。国内对甜高粱品种比较、播种、刈割、饲喂等有较多报道^[7-13]。利用高粱与苏丹草(*Sorghum sudanense*)的杂种优势,孙守钧等^[14]进行了高粱-苏丹草杂交种的应用可行性研究及其选育,詹秋文等^[15]进行了42份高粱与苏丹草及其2个杂交种DNA指纹图谱的构建,房永雨等^[16]开展了低氰含量高丹草(*Sorghum hybrid sudangrass*)新品系主要农艺特性及染色体构型分析,刘建宁等^[17]对高丹草生长动态及刈割期进行了研究,郭艳萍等^[18]开展了不同添加剂对高粱青贮质量的研究。

目前,青海省存栏几百头至上千头规模奶牛养殖企业,都以玉米为青贮饲料,并从农民中收购小麦秸秆为补充饲料,还没有饲用甜高粱的报道。在2009年初步研究的基础上^[19],2010年引进国内外8个甜高粱品种,从海

* 收稿日期: 2012-05-15; 改回日期: 2012-07-26

基金项目: 青海省科技厅项目(2012-N-504)、西宁市科技局项目(2010-X-01)和青海省作物分子育种重点实验室资助。

作者简介: 李春喜(1959-),男,河南新乡人,副研究员,学士。E-mail: cxli@nwipb.cas.cn

* 通讯作者。E-mail: cxli@nwipb.cas.cn

拔 1 990 m 到 2 500 m 开展不同生态区的品种适应性研究,2011 年又在海拔 1 850 m 生态区进行 6 个品种的适应性研究,为推广应用提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 试验点概况

1.1.1 乐都县雨润镇荒滩村(青海天露乳业奶牛养殖场,简称乐都) 海拔 1 990 m,年平均气温 6.5℃,年降水量 362.30 mm,日平均气温稳定通过 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 初日 3 月 1 日,终日 11 月 15 日,年积温 3 414℃;日平均气温稳定通过 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日 4 月 10 日,终日 10 月 20 日,年积温 2 973℃。无霜期 176~183 d。灰钙土,质地中壤。土壤有机质 1.5%~2.0%,碱解氮 60~90 mg/kg,速效磷 25~40 mg/kg,速效钾 120~200 mg/kg。前茬玉米。2010 年 4 月 28 日播种,5 月 28 日—30 日移栽补苗,6 月 12 日浇头水,7 月 4 日浇 2 水,7 月 27 日浇 3 水。人工除草 2 次。

1.1.2 平安生态农业试验站(简称平安站) 海拔 2 100 m,年均气温 6.2℃,年均降水量 354.1 mm,年均蒸发量 1 800 mm,无霜期 179 d,日均气温稳定通过 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 的初日为 3 月 13 日,终日为 11 月 1 日,年积温 2 900℃,稳定通过 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 的初日为 4 月 7 日,终日为 10 月 20 日,年积温 2 500℃。灌淤型红粘砂土,土壤有机质 1.7%,pH 值 8.3~8.8,土壤肥力中等,较平坦,前茬小麦(*Triticum aestivum*)。5 月 8 日播种,5 月 28 日—29 日移栽补苗,5 月 29 日浇头水,6 月 23 日浇 2 水,人工除草 2 次。7 月因修水渠没有浇上 3 水,加上今年夏秋季(7—9 月)出现高温,降水量比往年严重偏少,干旱严重,影响了该点试验。

1.1.3 湟中县田家寨镇李家台村(青海春源奶牛养殖场,简称李家台) 海拔 2 300 m,年均气温约 5.4℃,年均降水量 400 mm,无霜期 150 d, $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 的年积温为 2 151℃,灌淤型砂土。土壤肥力中等,较平坦,前茬油菜(*Brassica napus*)。5 月 24 日播种,6 月 26 日田间苗,6 月 27 日浇头水,7 月 27 日浇 2 水。人工除草 1 次。

1.1.4 湟中县田家寨镇丹麻村(青海藏地堂奶牛养殖场,简称丹麻) 海拔 2 500 m,年均气温 3.0℃,年均降水量 500 mm,无霜期 120 d, $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 的年积温为 1 817.4℃。灌淤型砂土,土壤肥力中等,较平坦,前茬燕麦(*Avena sativa*)。5 月 10 日—11 日播种,6 月 10—11 日田间苗、补苗,7 月 21 日浇 1 水,人工除草 3 次。

1.1.5 2011 年在民和县马场垣乡马聚垣村(马场垣奶牛养殖场,简称民和) 进行 6 个品种试验。海拔 1 850 m,年均气温 7.9℃,年均降水量 360.7 mm,无霜期 190~200 d,日平均气温稳定通过 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 初日 3 月 1 日,终日 10 月 20 日,期间年积温 3 432.4℃, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温 2 752.7℃。红粘砂土,属川暖水地,灌溉良好。前茬玉米,4 月 21 日播种;5 月 25—30 日田间苗、除头草,6 月 9 日浇头水、除 2 草,6 月 28 日浇 2 水,6 月 16—20 日除 3 草,7 月 19 日浇 3 水,8 月 15 日浇 4 水。

各试验点施底肥磷酸二铵 225 kg/hm²,尿素 225 kg/hm²;拔节期浇 2 水前追施尿素 225 kg/hm²,每株约 2 g,距根部 8~10 cm 处人工戳孔,集中施肥;浇 3 水前,追施尿素 75 kg/hm²(丹麻点没有施肥),撒入地中,没有施用任何农药。9 月 27 日—10 月 10 日取样测数据、测产,收割。

1.2 试验方 法

1.2.1 试验品种 甜高粱试验品种 8 个,播种前对引进品种千粒重进行了测定,品种来源、千粒重、发芽率见表 1。由于当地养奶牛企业使用玉米为青贮饲料,故在 2010 年的试验中加入了 1 个玉米品种(中玉 9 号)进行比较研究。

1.2.2 试验方 法 在海拔 1 850~2 500 m,播种从 4 月下旬到 5 月上旬。铺地膜,地膜宽度为 3 m,两边埋入土中,地面保留地膜宽度 2.6~2.7 m。试验小区面积 10.0 m \times 2.4 m=24 m²,随机排列,3 次重复。行株距 40 cm \times 20 cm,12.0 万株/hm²,用卷尺固定行株距,每小区种 6 行,人工戳孔,每穴下种 2~4 粒。

1.2.3 测定项目 小区两边第 2 行为样段区,数据均在样段区内取得。

生育期:分播种、出苗、分蘖、拔节、抽穗、收割记载生育期。

出苗率、定株率:出苗后 3~5 叶查看苗情,统计出苗率,补苗;拔节期统计定株率。

株高、茎粗、单株质量、叶片数:收割前,在样段区内中部连续取 10 株,用卷尺测单株高度;从基部往上第 6 节,用游标卡尺测单株茎粗;在电子秤上称单株重量;记录单株绿叶数和黄叶数。单株干重只在平安生态农业试验站进行,称完鲜重后,靠墙自然晾晒 22 d,在电子秤上称干重。

茎秆糖锤度: 测茎秆第6节, 剥去皮后, 用手钳挤出汁液2~3滴, 滴在测试仪器上, 测糖锤度。测试仪器为北京万成北增精密仪器有限公司生产的WZ-103型糖度折射仪, 精度0~32%。

鲜草产量: 取小区中间4行, 长3 m(面积4.8 m²)内全部植株, 在电子秤上称重, 计算出小区产量、每hm²产量。

籽粒产量: 2011年测民和点4.8 m²内籽粒产量, 测10株穗粒数、穗粒重、千粒重。

表1 供试材料

Table 1 Tested materials

编号 Number	品种名称 Variety	来源 Resource	产地 Origins	千粒重 1 000 grain weight (g)	发芽率 Germination rate (%)
1	BJ0602	中国科学院近代物理研究所 Institute of Modern Physics	澳大利亚 Australia	30.53	96
2	辽甜1号 Liaotian No. 1	辽宁省农业科学院 Liaoning Academy of Agricultural Sciences	中国辽宁 Liaoning, China	25.13	94
3	辽甜3号 Liaotian No. 3	辽宁省农业科学院 Liaoning Academy of Agricultural Sciences	中国辽宁 Liaoning, China	40.73	90
4	大力士 Humnigreen	百绿集团北京办事处 Bailv Group Beijing Office	澳大利亚 Australia	28.50	86
5	超级放牧者 Super herder	百绿集团北京办事处 Bailv Group Beijing Office	澳大利亚 Australia	32.07	88
6	九甜杂三 Jiutianzasan	吉林市农业科学院 Jilin City Academy of Agricultural Sciences	中国吉林 Jilin, China	24.83	98
7	吉甜3号 Jitian No. 3	吉林省农业科学院 Jilin Academy of Agricultural Sciences	中国吉林 Jilin, China	10.80	89
8	吉甜5号 Jitian No. 5	吉林省农业科学院 Jilin Academy of Agricultural Sciences	中国吉林 Jilin, China	13.34	91

1.3 数据处理

试验数据均用农作物区域试验专用RCT99统计软件进行分析, 计算出平均值和标准差, 差异显著性分析和多重比较。

2 结果与分析

2.1 生育期

正常播种出苗需9~12 d, 李家台播种晚6~7 d出苗(表2)。正常播种出苗27~33 d进入分蘖期, 李家台17~21 d进入分蘖期; 海拔2 300 m以下出苗到拔节期天数为43~51 d, 海拔2 500 m需67~72 d。品种间出苗、分蘖期相差仅1~3 d, 差异不大。拔节期差异扩大, 海拔2 300 m以下地区相差1~5 d, 海拔2 500 m相差3~12 d。抽穗期及收获时差异大, 海拔1 850 m, 8月上中旬进入抽穗期, 收获时籽粒都能灌浆成熟; 海拔1 990~2 100 m大部分品种能抽穗, 辽甜1号、九甜杂三最早8月中旬抽穗, 大力士不能抽穗, 收获时辽甜1号、九甜杂三籽粒能成熟, 吉甜5号在抽穗期, 其他品种在灌浆期; 海拔2 300 m大部分品种能抽穗, 九甜杂三、辽甜1号抽穗早, 比其他品种早6 d, 收获时都未能灌浆, 大力士不能抽穗; 海拔2 500 m只有九甜杂三能抽穗, 其他品种不能抽穗。

2.2 出苗率和定株率

各试验点播种后7~10 d出苗, 3~5叶查看苗情, 出苗率79.86%~95.21%, 经补苗、间苗后, 定株率为83.5%~95.5%。

2.3 株高、茎粗、单株鲜量、单株干重、叶片数

随海拔升高, 甜高粱的植株高度、单株鲜重、单株绿叶数、总叶片数明显下降, 差异达极显著水平(表3)。海拔1 990 m株高平均293.1 cm, 单株鲜重平均1 048.6 g, 单株绿叶数平均9.6叶, 总叶片数平均14.9叶; 2 500 m株高平均157.0 cm, 降低136.1 cm, 单株鲜重平均433.4 g, 降低615.2 g, 单株绿叶数平均8.3片, 降低1.3片, 总叶片数平均9.7叶, 降低5.2叶。海拔对茎粗没有显著影响。2011年在海拔1 850 m的民和县试验6个品种的株高高于海拔1 990 m的乐都县相同品种的株高, 单株鲜重基本相同, 单株绿叶数明显增多, 表明海拔对甜高粱生长有影响。

表 2 不同品种在不同试验点的生育期

Table 2 Growth and development period in different points

月-日 Month-day

试验点 Points	品种 Variety	播种期 Sowing time	出苗期 Emergence stage	分蘖期 Tiller stage	拔节期 Jointing stage	抽穗期 Earing stage	收割时生育期 Harvesting time
乐都 Ledu (2010)	BJ0602	4-28	5-7	6-4	6-26	8-29	灌浆初期 Early filling stage
	辽甜 1 号 Liaotian No. 1	4-28	5-7	6-5	6-24	8-10	成熟期 Mature
	辽甜 3 号 Liaotian No. 3	4-28	5-7	6-5	6-25	8-16	灌浆中期 Medium filling stage
	大力士 Hunnigreen	4-28	5-7	6-4	6-25	-	未抽穗 No heading
	超级放牧者 Super herder	4-28	5-7	6-6	6-27	8-29	灌浆初期 Early filling stage
	九甜杂三 Jiutianzasan	4-28	5-7	6-8	6-24	8-9	灌浆后期 Early later stage
	吉甜 3 号 Jitian No. 3	4-28	5-7	6-8	6-25	8-21	灌浆后期 Early later stage
	吉甜 5 号 Jitian No. 5	4-28	5-7	6-8	6-27	9-10	抽穗期 Heading stage
平安站 Pingan (2010)	BJ0602	5-8	5-17	6-17	7-5	9-7	灌浆初期 Early filling stage
	辽甜 1 号 Liaotian No. 1	5-8	5-17	6-17	7-2	8-20	成熟期 Mature
	辽甜 3 号 Liaotian No. 3	5-8	5-17	6-19	7-5	8-28	灌浆中期 Medium filling stage
	大力士 Hunnigreen	5-8	5-17	6-17	7-2	-	未抽穗 No heading
	超级放牧者 Super herder	5-8	5-17	6-20	7-4	9-10	灌浆初期 Early filling stage
	九甜杂三 Jiutianzasan	5-8	5-17	6-17	7-2	8-17	灌浆后期 Early later stage
	吉甜 3 号 Jitian No. 3	5-8	5-17	6-21	7-6	9-3	灌浆中期 Medium filling stage
	吉甜 5 号 Jitian No. 5	5-8	5-17	6-19	7-5	9-15	抽穗期 Heading stage
李家台 Lijiatai (2010)	BJ0602	5-24	5-30	6-20	7-12	9-10	抽穗后期 Heading later stage
	辽甜 1 号 Liaotian No. 1	5-24	5-30	6-17	7-13	9-5	灌浆初期 Early filling stage
	辽甜 3 号 Liaotian No. 3	5-24	5-31	6-19	7-14	9-7	抽穗后期 Heading later stage
	大力士 Hunnigreen	5-24	5-31	6-17	7-14	-	未抽穗 No heading
	超级放牧者 Super herder	5-24	5-31	6-20	7-14	9-25	抽穗期 Heading stage
	九甜杂三 Jiutianzasan	5-24	5-31	6-17	7-10	8-25	灌浆初期 Early filling stage
	吉甜 3 号 Jitian No. 3	5-24	6-1	6-21	7-15	9-7	灌浆初期 Early filling stage
	吉甜 5 号 Jitian No. 5	5-24	6-31	6-19	7-15	-	孕穗期 Booting stage
丹麻 Danma (2010)	BJ0602	5-10	5-19	6-16	7-25	-	未抽穗 No heading
	辽甜 1 号 Liaotian No. 1	5-10	5-19	6-14	7-25	-	未抽穗 No heading
	辽甜 3 号 Liaotian No. 3	5-10	5-21	6-15	7-25	-	未抽穗 No heading
	大力士 Hunnigreen	5-10	5-21	6-17	7-23	-	未抽穗 No heading
	超级放牧者 Super herder	5-10	5-19	6-18	7-26	-	未抽穗 No heading
	九甜杂三 Jiutianzasan	5-10	5-19	6-18	7-20	9-10	抽穗初期 Early heading stage
	吉甜 3 号 Jitian No. 3	5-10	5-22	6-19	7-30	-	未抽穗 No heading
	吉甜 5 号 Jitian No. 5	5-10	5-21	6-18	8-2	-	孕穗期 Booting stage
民和 Minhe (2011)	BJ0602	4-21	4-29	5-28	6-17	8-14	成熟期 Mature
	辽甜 1 号 Liaotian No. 1	4-21	4-29	5-27	6-14	8-3	成熟期 Mature
	辽甜 3 号 Liaotian No. 3	4-21	4-29	5-27	6-16	8-6	成熟期 Mature
	超级放牧者 Super herder	4-21	4-29	5-29	6-18	8-15	成熟期 Mature
	九甜杂三 Jiutianzasan	4-21	4-29	5-24	6-14	8-5	成熟期 Mature
	吉甜 5 号 Jitian No. 5	4-21	4-29	5-30	6-20	8-19	成熟期 Mature

表 3 收割时性状表现

Table 3 The characteristics performance at harvesting time

试验点 Points	品种 Variety	株高 Plant height (cm)	主茎粗 Main stem diameter (cm)	单株鲜重 Fresh weight of single plant (g)	绿叶数 Green leaf number	总叶数 Total leaf number
乐都 Ledu	BJ0602	289.0 ± 26.69 b	1.61 ± 0.06 bc	886.5 ± 107.07 c	9.5 ± 0.67	14.7 ± 0.71 b
	辽甜 1 号 Liaotian No. 1	271.7 ± 24.27 bc	1.67 ± 0.03 b	893.3 ± 119.26 c	8.8 ± 0.36	14.2 ± 0.60 c
	辽甜 3 号 Liaotian No. 3	289.2 ± 29.18 b	1.69 ± 0.14 b	1 007.7 ± 376.06 bc	8.9 ± 0.55	14.9 ± 0.46 b
	大力士 Hunnigreen	303.8 ± 15.16 a	1.68 ± 0.10 b	1 122.2 ± 308.73 ab	10.3 ± 0.72	16.1 ± 0.70 a
	超级放牧者 Super herder	290.8 ± 21.67 ab	1.68 ± 0.08 b	970.0 ± 86.78 c	8.6 ± 0.26	15.2 ± 1.41 b
	九甜杂三 Jiutianzasan	299.7 ± 18.31 a	1.71 ± 0.05 b	1 177.5 ± 12.76 b	9.4 ± 0.21	14.1 ± 0.46 c
	吉甜 3 号 Jitian No. 3	283.9 ± 6.37 b	1.66 ± 0.10 b	948.3 ± 129.69 c	9.9 ± 0.44	14.2 ± 0.81 bc
	吉甜 5 号 Jitian No. 5	314.8 ± 17.25 a	1.99 ± 0.05 a	1 383.3 ± 122.75 a	11.2 ± 0.85	16.1 ± 0.85 a
品种间 Variety <i>F</i>		3.36*	32.96**	11.35**	0.69	21.35**
平安站 Pingan	BJ0602	205.3 ± 44.41 ab	1.58 ± 0.11 b	788.7 ± 126.26 c	8.4 ± 0.26 a	14.0 ± 0.25
	辽甜 1 号 Liaotian No. 1	209.2 ± 12.64 b	1.61 ± 0.06 b	790.7 ± 52.39 bc	6.9 ± 0.53 b	14.0 ± 0.55
	辽甜 3 号 Liaotian No. 3	197.7 ± 32.18 ab	1.61 ± 0.06 b	850.8 ± 125.99 b	6.5 ± 1.63 bc	13.7 ± 0.83
	大力士 Hunnigreen	226.2 ± 12.99 a	1.47 ± 0.15 c	868.8 ± 146.79 ab	9.1 ± 1.04 a	14.6 ± 0.67
	超级放牧者 Super herder	209.9 ± 9.26 ab	1.49 ± 0.03 bc	877.8 ± 72.05 a	7.7 ± 0.72 ab	14.0 ± 0.87
	九甜杂三 Jiutianzasan	244.7 ± 40.17 a	1.49 ± 0.12 c	943.3 ± 93.46 a	7.6 ± 1.49 b	14.0 ± 0.94
	吉甜 3 号 Jitian No. 3	181.1 ± 22.39 bc	1.35 ± 0.09 d	652.0 ± 84.12 d	6.9 ± 0.50 b	14.0 ± 0.50
	吉甜 5 号 Jitian No. 5	196.9 ± 34.58 ab	1.76 ± 0.02 a	778.0 ± 179.35 c	10.1 ± 1.60 a	14.2 ± 0.76
品种间 Variety <i>F</i>		5.15**	23.20**	13.41**	12.28**	1.62
李家台 Lijiatai	BJ0602	238.0 ± 8.67 b	1.66 ± 0.03 c	709.3 ± 75.57 b	8.5 ± 0.32 b	13.4 ± 0.32 a
	辽甜 1 号 Liaotian No. 1	252.1 ± 17.18 b	1.66 ± 0.09 c	573.7 ± 57.14 d	8.5 ± 0.20 b	12.7 ± 0.50 b
	辽甜 3 号 Liaotian No. 3	251.0 ± 15.72 b	1.71 ± 0.16 bc	816.3 ± 136.00 a	8.0 ± 0.17 b	13.1 ± 0.26 ab
	大力士 Hunnigreen	253.2 ± 8.48 b	1.82 ± 0.18 b	787.0 ± 176.40 a	8.5 ± 0.67 b	13.4 ± 0.67 a
	超级放牧者 Super herder	244.7 ± 8.15 b	1.69 ± 0.14 c	712.0 ± 151.22 ab	8.7 ± 0.46 b	13.8 ± 0.46 a
	九甜杂三 Jiutianzasan	296.8 ± 7.95 a	1.76 ± 0.14 b	856.7 ± 35.29 a	8.8 ± 0.26 b	13.0 ± 0.29 b
	吉甜 3 号 Jitian No. 3	227.8 ± 15.62 bc	1.55 ± 0.10 d	607.3 ± 143.72 c	8.4 ± 0.64 b	12.4 ± 0.64 b
	吉甜 5 号 Jitian No. 5	239.1 ± 5.32 b	1.96 ± 0.20 a	785.3 ± 197.54 a	10.1 ± 0.69 a	14.0 ± 0.69 a
品种间 Variety <i>F</i>		9.21**	33.93**	9.65**	5.01**	3.12*
丹麻 Danma	BJ0602	155.6 ± 24.26 b	1.68 ± 0.15 a	397.7 ± 31.66 c	8.1 ± 0.25 c	9.7 ± 0.10 b
	辽甜 1 号 Liaotian No. 1	170.4 ± 6.62 b	1.67 ± 0.12 ab	463.7 ± 105.08 a	9.0 ± 0.15 b	10.3 ± 0.51 b
	辽甜 3 号 Liaotian No. 3	151.3 ± 18.99 bc	1.69 ± 0.11 a	405.7 ± 116.99 bc	7.6 ± 0.15 cd	9.8 ± 0.15 b
	大力士 Hunnigreen	166.7 ± 13.47 b	1.63 ± 0.09 b	461.7 ± 172.40 a	7.6 ± 0.31 d	9.0 ± 0.38 c
	超级放牧者 Super herder	141.2 ± 1.00 c	1.73 ± 0.14 a	435.7 ± 90.89 ab	8.3 ± 0.51 c	9.7 ± 0.51 b
	九甜杂三 Jiutianzasan	189.3 ± 25.64 a	1.62 ± 0.06 b	497.0 ± 26.63 a	9.8 ± 0.20 a	11.2 ± 0.25 a
	吉甜 3 号 Jitian No. 3	147.3 ± 21.71 c	1.58 ± 0.14 c	444.7 ± 43.06 a	7.9 ± 0.15 c	9.1 ± 0.55 bc
	吉甜 5 号 Jitian No. 5	134.3 ± 3.31 c	1.61 ± 0.09 bc	360.7 ± 33.50 c	8.2 ± 0.42 c	9.0 ± 0.42 c
品种间 Variety <i>F</i>		9.33**	9.09**	4.74**	19.43**	9.49**
海拔间 Elevation <i>F</i>		198.39**	0.39	59.14**	7.68**	101.65**

续表3 Continued

试验点 Points	品种 Variety	株高 Plant height (cm)	主茎粗 Main stem diameter (cm)	单株鲜重 Fresh weight of single plant (g)	绿叶数 Green leaf number	总叶数 Total leaf number
民和 Minhe	BJ0602	320.9 ± 14.36 a	1.78 ± 0.02	1 326.7 ± 74.14 a	10.73 ± 0.12 b	
	辽甜1号 Liaotian No. 1	272.3 ± 22.69 c	1.76 ± 0.14	912.0 ± 224.46 b	9.60 ± 0.61 b	
	辽甜3号 Liaotian No. 3	296.9 ± 20.59 b	1.68 ± 0.04	1 096.7 ± 287.42 ab	10.10 ± 0.56 b	
	超级放牧者 Super herder	332.1 ± 15.55 a	1.69 ± 0.05	1 235.8 ± 70.87 a	10.37 ± 0.76 b	
	九甜杂三 Jiutianzasan	326.4 ± 19.11 a	1.72 ± 0.04	1 177.2 ± 224.18 ab	10.33 ± 1.15 b	
	吉甜5号 Jitian No. 5	337.2 ± 8.86 a	1.88 ± 0.10	1 341.0 ± 183.66 a	12.40 ± 0.72 a	
品种间 Variety <i>F</i>		16.65**	2.41	3.96*	5.37*	

注: 同列不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$); * 表示差异显著 ($P < 0.05$), ** 表示差异极显著 ($P < 0.01$)。下同。

Note: Different lower case letters in each column show significant difference at 0.05 level; * and ** indicate significant difference at 0.05 and 0.01 levels, respectively. The same below.

品种间的植株高度、茎粗、单株鲜重、单株干重、绿叶数、总叶片数有显著或极显著差异。植株高度九甜杂三最高, 达 189.3 ~ 299.8 cm, 平均 257.6 cm, 其次是大力士, 平均为 237.5 cm, 其他品种平均为 210.0 ~ 225.9 cm; 茎粗吉甜 5 号最粗, 达 1.61 ~ 1.99 cm, 平均 1.83 cm, 最细是吉甜 3 号, 为 1.54 cm, 其他品种为 1.63 ~ 1.68 cm; 单株鲜重九甜杂三最重, 达 497.0 ~ 1 177.5 g, 平均 868.6 g, 其次是吉甜 5 号和大力士, 分别为 826.8 和 809.9 g, 其他品种为 663.1 ~ 770.1 g; 单株绿叶数吉甜 5 号最多, 达 8.23 ~ 11.2 叶, 平均 9.9 叶, 其次是九甜杂三和大力士, 分别为 8.89 和 8.87 叶, 其他品种为 7.77 ~ 8.62 叶; 总叶片数吉甜 5 号和大力士多, 达 9.0 ~ 16.1 叶, 平均 13.3 叶, 其他品种为 9.0 ~ 15.2 叶(表 3)。平安生态农业试验站, 大力士单株干重最高, 达 592.6 g, 其次为九甜杂三、超级放牧者、吉甜 5 号, 分别为 583.5、560.2、556.6 g, 其他品种单株干重为 368.0 ~ 545.8 g; 干青比为吉甜 5 号最高, 达 71.5%, 吉甜 3 号最低, 为 56.4%, 其他品种为 61.7% ~ 68.2%, 品种间差异达极显著水平。综合分析九甜杂三、吉甜 5 号、超级放牧者和大力士 4 个品种适应性优于其他品种。2011 年海拔 1 850 m 的民和点试验结果也表现出品种间有差异。

2.4 鲜重产量及茎秆糖锤度

随海拔升高, 甜高粱鲜重产量和茎秆糖锤度(平安点除外)下降, 差异达极显著水平(表 4)。各品种在海拔 1 990 m 鲜重产量 96 156 ~ 139 496 kg/hm², 平均 113 658 kg/hm², 糖锤度 9.33% ~ 17.18%, 平均 15.06%; 海拔 2 100 m 鲜重产量 70 124 ~ 109 596 kg/hm², 平均 93 774 kg/hm², 因少浇 1 水茎秆水分含量降低, 糖锤度显著高于其他试验点; 海拔 2 300 m 鲜重产量 71 528 ~ 102 690 kg/hm², 平均 87 761 kg/hm²; 糖锤度 10.71% ~ 16.39%, 平均 14.52%; 海拔 2 500 m 鲜重产量 41 340 ~ 61 034 kg/hm², 平均 52 229 kg/hm², 糖锤度 6.52% ~ 9.28%, 平均 7.6%, 比其他地区下降 1 倍左右。表明青海高原海拔对甜高粱的鲜重产量有极显著影响, 2 300 m 以下大部分品种产量接近或超过 90 000 kg/hm², 茎秆糖锤度差异不显著; 2 500 m 鲜重产量、茎秆糖锤度极显著下降。

品种间鲜重产量、茎秆糖锤度有极显著差异。九甜杂三鲜重产量最高 61 034 ~ 125 439 kg/hm², 平均 99 197 kg/hm²; 其次是大力士为 58 119 ~ 128 029 kg/hm², 平均 96 185 kg/hm²; 第 3 位吉甜 5 号为 41 340 ~ 139 496 kg/hm², 平均 95 612 kg/hm²; 第 4 位超级放牧者为 51 242 ~ 119 607 kg/hm², 平均 89 989 kg/hm²; 其他品种鲜重平均产量 73 556 ~ 83 981 kg/hm²。茎秆糖锤度九甜杂三最高, 为 9.28% ~ 19.61%, 平均 15.47%。辽甜 3 号、BJ0602、吉甜 3 号、辽甜 1 号、超级放牧者为 14.36% ~ 14.95%, 吉甜 5 号为 12.76%、大力士为 10.16%; 吉甜 5 号、大力士的茎秆糖锤度极显著低于其他品种(表 4)。

2011 年在海拔 1 850 m 民和点试验, 品种间鲜重产量、籽粒产量、穗粒数、穗粒重、干粒重、茎秆糖锤度有极显著差异(表 5)。鲜重产量 101 608 ~ 139 841 kg/hm², 平均 119 004 kg/hm², 略高于 2010 年乐都点的鲜重产量, 吉甜 5 号、九甜杂三最高, 分别达 139 841 和 128 544 kg/hm²。参试的 6 个甜高粱品种都能结籽成熟, 籽粒产量吉甜

5 号、九甜杂三、辽甜 1 号最高,分别达 7 609、7 461、7 321 kg/hm²,超级放牧者籽粒产量最低;穗粒数吉甜 5 号、九甜杂三最多,分别达 4 241.2 和 3 414.0 粒,辽甜 3 号最少,仅有 1 861.2 粒;穗粒重辽甜 1 号、吉甜 5 号最重,分别达 77.05 和 73.88 g,超级放牧者最低,为 38.21 g;千粒重辽甜 1 号、辽甜 3 号最高,分别达 29.80 和 26.67 g,其他品种为 17.30 ~ 18.42 g。

表 4 鲜重产量及茎秆糖锤度

Table 4 Fresh weight yield and internode brix

试验点 Points	品种编号 Variety No.	鲜重产量 Fresh weight (kg/hm ²)	茎秆糖锤度 Internode brix (%)	试验点 Points	品种编号 Variety No.	鲜重产量 Fresh weight (kg/hm ²)	茎秆糖锤度 Internode brix (%)
乐都 Ledu	1	102 681 ± 9 670.5 c	17.18 ± 0.72 a	平安 Ping'an	1	97 862 ± 24 635.9 a	19.26 ± 1.72 a
	2	96 156 ± 7 414.9 d	15.01 ± 0.26 b		2	82 416 ± 5 892.5 ab	17.95 ± 1.62 b
	3	100 529 ± 27 232.5 c	16.77 ± 1.39 a		3	82 188 ± 31 186.2 b	19.59 ± 0.48 a
	4	128 028 ± 25 903.9 a	9.33 ± 0.47 c		4	107 474 ± 15 972.9 a	14.05 ± 1.90 c
	5	119 607 ± 1 361.1 a	14.28 ± 2.02 b		5	101 613 ± 5 545.5 a	20.26 ± 1.09 a
	6	125 439 ± 12 438.3 a	16.61 ± 1.91 a		6	109 596 ± 7 194.8 a	19.61 ± 0.57 a
	7	97 331 ± 6 151.2 cd	16.94 ± 2.38 a		7	70 124 ± 17 544.0 b	18.68 ± 0.92 ab
	8	139 496 ± 12 150.6 a	14.33 ± 1.25 b		8	98 918 ± 37 446.6 a	18.01 ± 1.42 b
品种间 Variety F		11.87 **	26.06 **	品种间 Variety F		4.49 **	15.03 **
李家台 Lijiatai	1	86 547 ± 4 782.3 b	15.55 ± 1.19 a	丹麻 Danma	1	48 825 ± 4 490.9 ab	7.58 ± 0.50 ab
	2	71 528 ± 13 064.1 c	15.44 ± 0.36 a		2	56 975 ± 14 890.4 a	9.02 ± 0.83 a
	3	87 702 ± 9 596.4 ab	15.49 ± 1.33 a		3	47 817 ± 13 134.3 b	7.94 ± 0.37 a
	4	91 116 ± 16 755.9 a	10.71 ± 1.26 c		4	58 119 ± 22 986.0 a	6.56 ± 1.09 b
	5	87 494 ± 19 776.6 b	15.12 ± 0.64 a		5	51 242 ± 10 908.2 a	6.82 ± 0.40 b
	6	100 718 ± 9 595.2 a	16.39 ± 0.85 a		6	61 034 ± 3 311.9 a	9.28 ± 0.81 a
	7	74 286 ± 18 997.1 bc	15.33 ± 0.60 a		7	52 482 ± 4 048.9 a	7.08 ± 1.39 b
	8	102 690 ± 16 899.3 a	12.16 ± 0.42 b		8	41 340 ± 4 438.2 b	6.52 ± 0.66 b
品种间 Variety F		6.43 **	18.62 **	品种间 Variety F		3.26 *	10.79 **

1: BJ0602; 2: 辽甜 1 号 Liaotian No. 1; 3: 辽甜 3 号 Liaotian No. 3; 4: 大力士 Hunnigreen; 5: 超级放牧者 Super herder; 6: 九甜杂三 Jiutianzasan; 7: 吉甜 3 号 Jitian No. 3; 8: 吉甜 5 号 Jitian No. 5.

表 5 2011 年海拔 1 850 m 试验点产量

Table 5 Test yield results on altitude of 1 850 m in 2011

品种 Variety	鲜重产量 Fresh weight (kg/hm ²)	籽粒产量 Grain yield (kg/hm ²)	穗粒数 Grains per spike	穗粒重 Grain weight (g)	千粒重 1 000 grain weight (g)	茎秆糖锤度 Internode brix (%)
BJ0602	111 127 ± 5 457.9 cd	6 324 ± 367.05 ab	3 104.2 ± 690.71 bc	53.98 ± 14.16 cd	17.30 ± 1.47 b	14.70 ± 1.82 a
辽甜 1 号 Liaotian No. 1	101 608 ± 14 523.2 d	7 321 ± 1 661.00 ab	2 562.2 ± 752.25 cd	77.05 ± 25.53 a	29.80 ± 3.67 a	8.32 ± 1.87 c
辽甜 3 号 Liaotian No. 3	109 735 ± 10 958.6 cd	5 680 ± 1 382.25 bc	1 861.2 ± 362.73 d	50.81 ± 14.96 cd	26.67 ± 3.22 a	11.83 ± 1.38 b
超级放牧者 Super herder	123 169 ± 10 059.9 bc	4 153 ± 371.55 c	2 054.4 ± 359.22 d	38.21 ± 9.14 d	18.42 ± 2.16 b	14.51 ± 0.30 a
九甜杂三 Jiutianzasan	128 544 ± 13 398.0 ab	7 461 ± 247.95 ab	3 414.0 ± 581.45 b	64.45 ± 18.15 bc	18.64 ± 2.75 b	15.08 ± 0.84 a
吉甜 5 号 Jitian No. 5	139 841 ± 16 626.9 a	7 609 ± 639.75 a	4 241.2 ± 1 098.76 a	73.88 ± 27.17 ab	17.38 ± 3.52 b	16.36 ± 1.18 a
品种间 Variety F	8.21 **	5.23 *	11.17 **	4.17 **	17.60 **	15.79 **

2.5 与玉米的比较

海拔 1 990 m 吉甜 5 号、大力士、九甜杂三、超级放牧者超过中玉 9 号(112 868 kg/hm²) 的产量,增产 6.0% ~ 23.6%,茎秆糖锤度比中玉 9 号(4.05%) 高 2.3 ~ 4.2 倍。海拔 2 100 m 九甜杂三、大力士超过玉米产量。海拔 2 300 m 甜高粱茎叶产量低于玉米产量,但甜高粱茎秆糖锤度比玉米高 1 倍。海拔 2 500 m 甜高粱鲜重产量极显著低于玉米,茎秆糖锤度与玉米无显著差异。

3 结论与讨论

青海高原的自然条件和农业自然资源具有过渡性特点并表现出明显的垂直地域差异等多种类型的生态区域,地形地貌和气候等自然条件的垂直变化十分明显。10 月初青海高原东部农业区平均气温降至 8℃ 以下,有霜冻出现,生长停止,进入收割。因而不同海拔对甜高粱生长有极显著影响,海拔 1 850 m 地区甜高粱能完成整个生长发育过程,能获得较高的茎叶产量和籽粒产量;海拔 2 000 m 以下地区早熟品种籽粒成熟,海拔 2 100 m 不能完成整个生长发育,海拔 2 500 m 不能抽穗,产量也低,不适宜种植甜高粱。表现出随着海拔升高,气温下降,甜高粱生长时间缩短,株高、单株鲜重,叶片数、茎叶产量、糖锤度等性状降低。

甜高粱茎秆糖锤度与品种熟性、收获时生育期有关,9 月中旬能完成抽穗的品种,茎秆糖锤度高,未进入到抽穗期的品种糖锤度低。九甜杂三属早熟品种,海拔 2 500 m 唯一能抽穗的品种,表现出鲜重产量和茎秆糖锤度双高,综合优势突出,优于其他品种,可作为养牛企业种植饲用甜高粱的首选品种;吉甜 5 号、超级放牧者虽然糖锤度平均值略低于其他品种,但鲜重产量高,仍值得推广种植,可作为候补品种。

海拔 2 300 m 以下地区种植甜高粱与玉米产量相同或略高,海拔越低,增产越高,茎秆糖锤度比玉米高 1 倍左右,具有产量和糖锤度高的优势;种植方法和生产成本与种植玉米相同,没有病虫害发生,没有施用任何农药,不会有任何污染;甜高粱营养丰富,多种养分含量优于玉米,是一个品质优良饲料作物,养殖企业可推广种植。

对试验收获的甜高粱,进行初步的饲喂效果探讨,乐都县农户用机械粉碎袋装青贮,来年 2 月加入 30% 的玉米秸秆饲喂奶牛,民和县农户加入 30% 玉米土窖青贮,来年 1 月再掺入 5% ~ 10% 的小麦秸秆饲喂奶牛,据调查,每头每日可增加奶量 2 kg 以上,效益高于青贮玉米;湟中县的青海春源奶牛养殖场从 9 月中旬 - 10 月中旬将甜高粱作为青饲料饲喂奶牛,反映有增奶效果,奶牛爱吃。

我国北方部分地区的水热条件在种植一季粮食作物时有余,而种植两季粮食作物又嫌不足;在这些地区利用剩余的光、热、水、土资源,发展农区草业,将牧草引入传统耕作地农业,为第二性生产提供优质、充足、廉价的饲料资源,以先进养殖业,提高饲料报酬率,其提供的生态服务功能无可替代^[20]。在青海高原海拔 2 300 m 以下地区种植饲用甜高粱,可充分利用 8 9 月的资源,9 月底开始收获,甜高粱生长繁茂,茎叶鲜绿,茎秆多汁多糖,口感也好,是一个品质优良的绿色饲料作物,完全可以用作青干、青贮、青饲料,满足畜牧业的发展,还能延长青海高原秋天田野绿色期。

参考文献:

- [1] 石龙阁. 我国甜高粱产业发展前景分析[J]. 杂粮作物, 2007, 27(3): 242-243.
- [2] 李建平, 郭孝. 国内外饲用高粱生产、科研状况及应用前景[J]. 饲料研究, 2007, (10): 68-70.
- [3] 卢庆善. 甜高粱研究进展[J]. 世界农业, 1998, 229(5): 21-23.
- [4] 朱翠云. 甜高粱——大有发展前途的作物[J]. 国外农学—杂粮作物, 1999, 19(2): 29-32.
- [5] Bassam E L, Jakob K. Sweet Sorghum, a sustainable crop for energy production in Europe results of 10 years experiments(1985-1995) [C]. Proceedings of First International Sweet Sorghum Conference, Beijing, 1997: 88-110.
- [6] 黎大爵. 开发甜高粱产业、解决能源、粮食安全及三农问题[J]. 中国农业科技导报, 2004, (5): 55-57.
- [7] 董喜存, 李文建. 对甘肃省甜高粱产业发展的思考与探讨[J]. 甘肃科技, 2008, (22): 4-6.
- [8] 阿依古丽·艾买提, 依再提姑·阿布都克里木. 甜高粱品种的引种及品比试验研究[J]. 新疆农业科学, 2006, 43(S1): 206-208.
- [9] 杨相昆, 田海燕, 陈树宾, 等. 甜高粱品种比较试验初报[J]. 农业科技通讯, 2008, (4): 66-68.
- [10] 张志鹏, 朱凯, 王艳秋, 等. 甜高粱不同播期对主要性状影响的研究[J]. 辽宁农业科学, 2005, (3): 69-70.
- [11] 石贵山, 刘洪欣, 包淑英, 等. 春播高粱造成出苗不全的原因与防治对策[J]. 杂粮作物, 2009, 29(5): 341.

- [12] 郑庆福,杨恒山,赵兰坡.刈割次数对杂交甜高粱草产量及品质的影响[J].草业科学,2009,26(2):76-79.
- [13] 宋金昌,范莉,牛一兵,等.不同甜高粱品种生产与奶牛饲喂特性比较[J].草业科学,2009,26(4):74-78.
- [14] 孙守钧,王云,郑根昌,等.高粱-苏丹草杂交种的应用可行性研究及其选育[J].草业学报,1999,8(3):39-45.
- [15] 詹秋文,李杰勤,汪保华,等.42份高粱与苏丹草及其2个杂交种DNA指纹图谱的构建[J].草业学报,2008,17(6):85-92.
- [16] 房永雨,于肖夏,于卓,等.低氰含量高丹草新品系主要农艺特性及染色体构型分析[J].草业学报,2012,21(2):162-170.
- [17] 刘建宁,石永红,王运琦,等.高丹草生长动态及收割期的研究[J].草业学报,2011,20(1):31-37.
- [18] 郭艳萍,王柱,顾雪莹,等.不同添加剂对高粱青贮质量的影响[J].草地学报,2010,18(6):875-879.
- [19] 李春喜,董喜存,李文建,等.甜高粱在青海高原种植的初步研究[J].草业科学,2010,27(9):75-81.
- [20] 任继周,林惠龙.农区种草是改进农业系统、保证粮食安全的重大步骤[J].草业学报,2009,18(5):1-9.

A study on the adaptability of sweet sorghum planted in different altitudinal areas of the Qinghai plateau

LI Chun-xi, FENG Hai-sheng

(Key Laboratory of Adaptation and Evolution of Plateau Biota, Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810001, China)

Abstract: The adaptability of different cultivars of sweet sorghum (*Sorghum bicolor*) was evaluated in different altitudinal areas of the Qinghai plateau from 2010 to 2011. There was a significant effect of altitude on growth period, plant height, fresh weight per plant, leaf number, stem and leaf yield and brix. At 1 850 m altitude fresh weight ranged from 111 127 to 139 840 kg/hm², and all varieties matured normally with kernel yields ranging from 4 154 to 7 609 kg/hm². At 1 990 m, altitude fresh weight ranged from 96 156 to 139 496 kg/hm² while at 2 100 m, it was from 70 124 to 109 596 kg/hm² and early varieties matured normally. At 2 300 m, altitude fresh weight ranged from 71 528 to 102 690 kg/hm² and late varieties could not ear normally while at 2 500 m, it was from 41 340 to 61 034 kg/hm² and early varieties eared normally. In areas at less than 2 300 m, stem brix was more than 15% except that of late varieties. At 2 500 m, stem brix ranged from 6.52% to 9.28%. The variety Jiutianzasan was the first choice at five different altitudes because its fresh weight was from 61 033.5 to 125 439.0 kg/hm², its brix was from 9.28% to 19.61%, and its kernel yield was 7 461 kg/hm². At 1 850 m, Jitian No.5 and Super herder could also be candidates because of their adaptability.

Key words: sweet sorghum; altitude; fresh weight; brix; adaptability