

A₃ 型细胞质能源用甜高粱生物产量、茎秆含糖锤度和出汁率研究

邹剑秋 王艳秋 张志鹏 朱凯

(辽宁省农业科学院 高粱研究所,沈阳 110161)

摘要 本研究以 A₃ 型细胞质甜高粱杂交种和 A₁ 型细胞质甜高粱杂交种为试材,通过套袋和不套袋 2 种处理,研究分析了它们在不同生态区的生物产量、茎秆含糖锤度、出汁率及预期产糖量的变化。结果表明:虽然出汁率降低,但不育化的 A₃ 型细胞质杂交种生物产量、含糖锤度和总产糖量均得到显著提高。A₃ 型细胞质杂交种完全可以在能源用甜高粱生产中应用,并为解决 A₁ 型细胞质杂交种所存在的倒伏、分期收获、鸟害等问题开辟新的途径。

关键词 甜高粱; A₃ 型细胞质; 生物产量; 含糖锤度

中图分类号 S 514

文章编号 1007-4333(2011)02-0008-06

文献标志码 A

Research on biomass, brix and juice extraction of A₃-type cytoplasmic sweet sorghum for energy use

ZOU Jian-qiu, WANG Yan-qiu, ZHANG Zhi-peng, ZHU Kai

(Sorghum Research Institute, Liaoning Academy of Agricultural Sciences, Shenyang 110161, China)

Abstract The research selected A₃-type and A₁-type cytoplasmic sweet sorghum hybrids as material, to study their difference of biomass, brix, juice extraction and expected sugar yield using bagged and non-bagged treatments. The results showed that biomass, brix and total sugar yield of sterile A₃ cytoplasmic hybrid increased significantly, although its juice extraction was decreased. So A₃-type cytoplasmic sorghum hybrids can completely be used on bioenergy sweet sorghum production. It would provide a new approach to resolve the problems of A₁-type cytoplasmic sweet sorghum hybrids, such as lodging, harvesting in different time and bird damage.

Key words sweet sorghum; A₃-type cytoplasm; biomass; brix

全球性的能源危机使得能源用甜高粱在生物质能源利用方面的潜力愈来愈受到关注。能源用甜高粱生物产量高、含糖量高、种植范围广,有利于促进边际性土地增产增效^[1]。由于其转化乙醇利用的是茎秆,是一种非粮原料,符合我国人多地少、不宜于用大量粮食转化乙醇的国情^[2]。近年来,随着人们对甜高粱作为能源作物潜力的进一步深化认识,能源用甜高粱科研和生产有了快速的发展。但是,随着能源用甜高粱乙醇加工产业的发展,原料生产过程中经常面临茎秆含糖量低、倒伏重^[3]、防鸟害难及收获时间集中等问题,影响了优质能源生产原料的可持续供应。

为解决上述问题,本课题组依据已有前期研究结果,经充分论证,确定了“利用 A₃ 型细胞质雄性不育系选育不育化的茎秆专用型能源用甜高粱”的研究路线^[4-6]。所谓“不育化”是指杂交种自交不结实;“茎秆专用型能源用甜高粱”是指只能用茎秆,不能产籽粒的甜高粱品种。这类品种虽然无籽粒产量,但其茎秆含糖量明显高于粮秆兼用型甜高粱,所以综合加工效益并未降低。同时,由于穗上没有籽粒,无需防鸟害,也避免了因头重脚轻引起的倒伏。更为重要的是,由于茎秆专用型甜高粱不用等待籽粒成熟时收获,因此可以大大缩短生育期,为实施分期播种及阶段性收获奠定了基础。

收稿日期: 2010-08-24

基金项目: 农业部项目(nycytX-12); 农业部项目(nyhyzx07-011); 辽宁省科技厅项目(2006403010); 辽宁省科技基金博士启动项目(20061045)

第一作者: 邹剑秋, 研究员, 博士, 主要从事高粱遗传育种研究, E-mail: jianqizou@yahoo.com.cn

A₃型细胞质高粱雄性不育系是由Quinby于1980年发现命名的^[7],20世纪80年代引入中国。它的细胞质(IS1112C)来源于都拉—双色族(Durra—bicolor race)的都拉—近光秃群(Durra—Subglabrescens group),源自印度。A₃型细胞质是迄今研究过的一种最不寻常的细胞质,它几乎与各种细胞核的任何高粱杂交都能产生雄性不育;许多系都能变成带有这种细胞质的雄性不育系,却很难找到恢复源^[8]。A₃型细胞质雄性不育系的特点是花败育发生在花粉粒形成期,花药肥大,花粉可散出,可染色花粉为3%左右,但套袋自交不结实,抗败育^[9]。国内外高粱育种家多年来一直探索A₃型细胞质的利用途径,但是由于以A₃型细胞质雄性不育系为母本配制的杂交种几乎均表现为自交不育,而高粱生产过程多是以收获籽粒为目的。因此,目前A₃型细胞质雄性不育系除用作新育成恢复系的测验系外,只在杂交草高粱选育中有应用^[10],在其他类型高粱上的应用还未见报道。

辽宁省农业科学院高粱研究所对非迈罗细胞质雄性不育系进行了多年的深入研究^[11-15],掌握了A₃型细胞质雄性不育系的特点,并育成了一批A₃型细胞质雄性不育系。本项研究即利用以A₃型高粱细胞质雄性不育系为母本与甜高粱恢复系为父本配制的杂交组合,分析了其杂交种与普通结实甜高粱在不同生态区的生物产量、茎秆含糖锤度、出汁率及预期产糖量的变化,旨在探讨A₃型细胞质应用于选育能源用甜高粱品种的可行性,以解决能源用甜高粱生产中存在的倒伏、分期收获及鸟害等问题。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试3个甜高粱杂交种由2007年田间组配。其中A₃型细胞质杂交种2个:303A₃/M-81E、TX398A₃/111×1022,分别简称A₃-1和A₃-2;A₁型细胞质杂交种1个:辽甜1号(CK),简称A₁CK。其中辽甜1号是我国目前推广的能源用甜高粱杂交种中生物产量、含糖量、抗性等综合性状最好的品种。

1.2 试验设计

试验分别于2008年在沈阳,2009年在沈阳、朝阳、锦州、葫芦岛和绥中五个生态区进行。采用随机

区组设计,2次重复,12行区,行长3.0m,行距0.6m,小区面积为21.6m²,收获时去掉两侧边行,收获面积为每小区18m²,试验密度为75000株/hm²。

正常情况下,如果将A₃型细胞质杂交种隔离种植,没有外来花粉,它们是不结实的,是不育植株;如果在开花期接受了外来花粉,则可以结实。为比较相同遗传背景和环境条件下,不育植株与结实植株在生物产量、出汁率、含糖锤度等方面的表现,在开花前对A₃型细胞质杂交种分别进行花序套袋和不套袋处理。套袋处理后可防止A₃型细胞质杂交种开花期接受外来花粉,模拟出生产中大面积清种状态。辽甜1号为A₁型细胞质杂交种,自交结实。为了比较其结实与不结实情况下产量、出汁率、含糖锤度等方面的差异,对辽甜1号分别采取开放授粉和在开花末期砍掉花序2个处理。砍掉花序,使得辽甜1号无法结实,类似于对不育植株套袋处理,便于与正常结实植株进行比较。试验栽培管理与当地生产水平一致。

1.3 试验方法

A₃型细胞质杂交种采取5行套袋和5行不套袋,对照辽甜1号采取5行砍掉花序和5行不砍掉花序处理,见表1。收获时,生物产量为取5行全部植株称取鲜质量,折算成每hm²产量;含糖锤度采用PAL-1型糖度计自上而下测量甜高粱茎秆除穗柄外各节段中部锤度。茎秆混合锤度为每小区随机取10株样本,去掉叶、叶鞘,用电动榨汁机每株压榨2遍,然后用PAL-1型糖度计测量3次取平均值。并用电子秤测量茎秆鲜质量及出汁量,计算出汁率。

$$\text{出汁率}/\%=(\text{出汁量}/\text{茎秆鲜质量})\times 100$$

表1 参试品种及其处理

Table 1 Varieties and treatments

组合/杂交种名称	组合/杂交种代号	处理	
		套袋	不套袋
303A ₃ /M-81E	A ₃ -1	A ₃ -1T	A ₃ -1
TX398A ₃ /111×1022	A ₃ -2	A ₃ -2T	A ₃ -2
辽甜1号(A ₁ ,CK)	A ₁ CK	A ₁ CKT	A ₁ CK

1.4 试验统计方法

采用Excel和DPS统计分析软件进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 杂交种生物产量

2.1.1 不同品种生物产量比较

不同杂交种在不同生态区套袋和不套袋处理的生物产量比较(图1)。

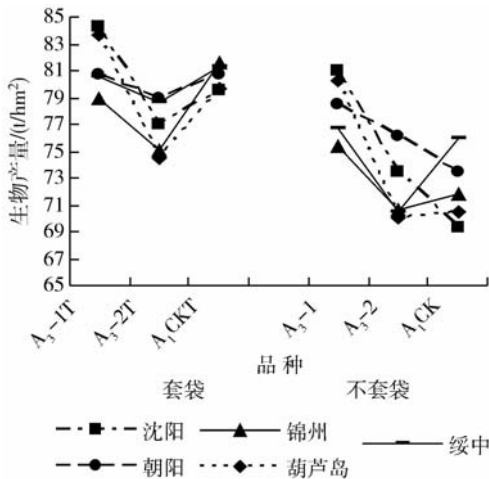


图1 不同品种在各生态区套袋和不套袋生物产量比较

Fig. 1 Comparison of biomass of different hybrids by bagged and non-bagged treatments at different ecological zones

可以看出,套袋处理条件下,沈阳、朝阳和葫芦岛3地的生物产量表现为 $A_3-1T > A_1CKT > A_3-2T$,锦州和绥中2地的生物产量表现为 $A_1CKT > A_3-1T > A_3-2T$;不套袋处理条件下,沈阳、朝阳2地的生物产量为 $A_3-1 > A_3-2 > A_1CK$,锦州、葫芦岛和绥中种植3地的生物产量为 $A_3-1 > A_1CK > A_3-2$ 。可见,无论套袋或不套袋, A_3-1 的生物产量在大多数生态区明显高于其他2个杂交组合。

2.1.2 不同处理生物产量比较

表2为各杂交种在5个生态区不同处理的生物产量。比较套袋和不套袋处理可以看出, A_3-1T 的平均产量为 81.61 t/hm^2 , A_3-1 为 78.36 t/hm^2 , A_3-2T 的平均产量为 76.82 t/hm^2 , A_3-2 为 72.12 t/hm^2 , A_1CKT 的平均产量为 80.52 t/hm^2 , A_1CK 为 72.17 t/hm^2 ,均表现为套袋比不套袋增产。在套袋处理下, A_3-1T 比 A_1CK 增产 1.35% , A_3-2T 比 A_1CK 减产 4.60% ;在不套袋处理下, A_3-1 比 A_1CK 增产 8.58% , A_3-2 比 A_1CK 减产 0.07% 。 A_3-1T 比 A_1CKT 增产 13.08% , A_3-2T 比 A_1CKT 增产 6.44% 。可见,不育可以显著增加杂交种的生物产量。

表2 各杂交种不同处理在5个生态区的生物产量比较

Table 2 Comparison of biomass for different hybrids by different treatments at five ecological zones

生态区	A_3-1			A_3-2			A_1CK		
	产量/(t/hm ²)		增减/%	产量/(t/hm ²)		增减/%	产量/(t/hm ²)		增减/%
	套袋	不套袋		套袋	不套袋		套袋	不套袋	
沈阳	84.33	80.94	4.19	77.00	73.39	4.92	79.44	69.28	14.68
朝阳	80.67	78.55	2.70	78.89	76.09	3.68	80.65	73.39	9.89
锦州	78.87	75.34	4.69	75.12	70.65	6.33	81.54	71.77	13.61
葫芦岛	83.65	80.22	4.28	74.43	69.98	6.36	79.65	70.43	13.09
绥中	80.54	76.76	4.92	78.65	70.51	11.54	81.32	75.99	7.01
平均	81.61	78.36	4.15	76.82	72.12	6.51	80.52	72.17	11.57

2.2 杂交种含糖锤度

2.2.1 不同节间的含糖锤度比较

甜高粱茎秆锤度的高低是衡量其利用价值的主要指标之一。因各个杂交种的节数及节间长度存在差异,所以本试验对茎秆上数(不包括穗柄)第1节

至第9节所有节间的含糖锤度进行了测定。每个杂交种取10株样本测定,计算其平均值。可见,节间含糖锤度因杂交种不同而不同,但无论是套袋处理,还是不套袋处理,节间含糖锤度均呈现低—高一低的变化趋势(图2),这与李振武^[16]、王艳秋^[17]等人

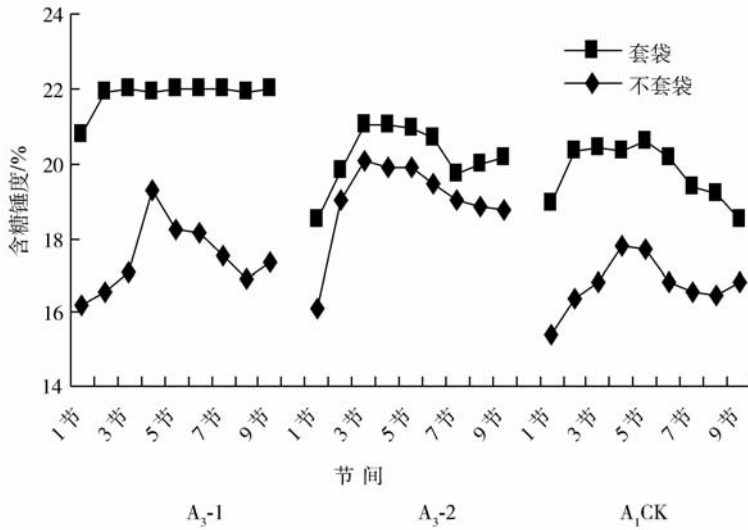


图 2 不同杂交种套袋与不套袋处理含糖锤度比较

Fig. 2 Comparison of brix for different hybrids under bagged and non-bagged treatments

的研究结果相一致。

由表 3 可见,同一杂交种,套袋处理节间最高含糖锤度和平均含糖锤度均显著高于不套袋处理;就不同杂交种而言,套袋处理节间最高含糖锤度和平均含糖锤度,均为 A₃-1T>A₃-2T>A₁CKT,不套袋处理则为 A₃-2>A₃-1>A₁CK。可见,虽然杂交种间存在差异,但本试验中 A₃ 型细胞质杂交种含糖锤度明显高于 A₁ 型细胞质杂交种,表明这类杂交种更易于积累糖分。A₃-1T 和 A₃-2T 的含糖锤度明显高于 A₁CK,说明不育使得杂交种茎秆的含糖量增加明显。

表 3 套袋和不套袋处理的节间最高含糖锤度及平均含糖锤度

Table 3 Highest brix and average brix in internode under bagged and non-bagged treatments

杂交种	处理	最高含糖锤度/%	平均含糖锤度/%
A ₃ -1	套袋	22.0 aA	21.8 aA
	不套袋	19.3 dD	17.5 eC
A ₃ -2	套袋	21.1 bB	20.2 bA
	不套袋	20.1 cC	19.0 dB
A ₁ CK	砍掉花序	20.6 bcBC	19.8 cB
	不套袋	17.8 eE	16.8 fC

2.2.2 不同处理对节间糖分的影响

同一杂交种同一节间套袋处理的含糖锤度均高

于不套袋处理,除 A₃-2 的个别节间外,其他节间含糖锤度差异均达到显著或极显著水平(图 2,表 4),表明通过套袋处理后均可有效提高各类杂交种的糖分含量。

表 4 同一节间套袋比不套袋含糖锤度增幅

Table 4 Increasing range of brix under bagged and non-bagged treatments at the same internode

节间	A ₃ -1	A ₃ -2	A ₁ CK	%
1	28.27**	14.62*	22.88*	
2	32.33**	4.32	23.98**	
3	28.39*	4.58	20.89*	
4	13.63*	5.83*	14.33*	
5	20.44*	5.49*	16.50*	
6	20.97*	6.37*	19.92*	
7	25.64*	4.00	16.71*	
8	29.67*	5.77*	16.05*	
9	26.50**	7.47*	9.43*	

注: * 表示 0.05 显著水平, ** 表示 0.01 显著水平。下同。

各节间糖分分布的变化见表 5。可以看出,套袋处理后,各杂交种糖分含量达到 17% 以上的节数均有了较大的提高。其中,A₃-1 由 50 节增加到 88 节,提高了 76%;A₃-2 糖分含量由 55 节增加到 82 节,提高了 49%;A₁CK 糖分含量由 42 节增加到 78 节,提高了 86%。可见,套袋处理使得每节糖分均

表5 套袋和不套袋处理的节间糖分分布次数比较

Table 5 Comparon of sugar distribution number in internode under bagged and non-bagged treatments

杂交种	处理	不同含糖锤度节数				
		8%~11%	11%~14%	14%~17%	17%~20%	20%~23%
A ₃ -1	套袋	0	0	2	20	68
	不套袋	9	8	23	20	30
A ₃ -2	套袋	0	1	7	38	44
	不套袋	0	6	19	27	28
A ₁ CK	砍掉花序	0	5	7	41	37
	不套袋	2	4	42	33	9

有所提高,从而提高了平均含糖锤度,提升了总体含糖水平。

2.3 不同处理对出汁率的影响

出汁率的高低直接影响到茎秆糖产量和乙醇产量。本试验中不同处理对出汁率有很大影响:同一

杂交种,不套袋处理出汁率均显著高于套袋处理;套袋处理时出汁率 $A_1CKT > A_3-2T > A_3-1T$,不套袋处理则为 $A_1CK > A_3-1 > A_3-2$ (表6),可见,虽然 A₃型细胞质杂交种出汁率不同,但均低于 A₁型细胞质杂交种。

表6 不同处理下茎秆产量、出汁率及含糖锤度的差异

Table 6 Difference on stalk yield,juice extraction and brix under different treatments

杂交种	处理	茎秆产量/(t/hm ²)	出汁率/%	含糖锤度/%	茎秆产量×出汁率×含糖锤度/(t/hm ²)
A ₃ -1	套袋	81.61	35.87 bB	21.83	6.39 aA
	不套袋	73.87	41.18 aA	17.49	5.32 bB
A ₃ -2	套袋	76.82	35.88 bB	20.21	5.57 aA
	不套袋	68.31	40.35 aA	19.01	5.24 aA
A ₁ CK	砍掉花序	80.52	35.91 bB	19.75	5.70 aA
	不套袋	66.53	43.56 aA	16.77	4.86 bB

2.4 不同处理茎秆产糖预期

由于茎秆产量、出汁率和含糖锤度均与杂交种的产糖量成正相关,因此用(茎秆产量×出汁率×含糖锤度)来表示某一杂交种的产糖量,进而预测其乙醇产量趋势。从表6可见,(茎秆产量×出汁率×含糖锤度)表现为套袋处理下茎秆乙醇产量为 $A_3-1 > A_1CK > A_3-2$,不套袋处理下 $A_3-2 > A_3-1 > A_1CK$ (A₃-1与A₃-2基本持平)。说明在同等条件下,A₃型细胞质杂交种茎秆产糖量及乙醇产量会高于A₁型细胞质杂交种,但A₃型细胞质品种间存在差异。

3 讨论

能源甜高粱生产的目的是乙醇产出最大化,这

可以通过提高产糖量或籽粒产量来实现,而产糖量高尤为为重要。一个品种能否获得高产糖量决定于生物产量、茎秆含糖量及汁液含量。

1)本研究结果表明,虽然A₃型细胞质杂交种出汁率低于A₁型细胞质杂交种,但(茎秆产量×出汁率×含糖锤度)高于A₁型细胞质杂交种,说明不育化的A₃型细胞质杂交种完全可以在能源用甜高粱生产中应用。国外也有类似的研究结果^[18]。目前生产中使用的能源用甜高粱杂交种均为A₁或A₂型细胞质,A₃型细胞质杂交种的应用,既可以拓宽甜高粱种质资源的利用范围和途径,丰富遗传背景,增加遗传多样性,有效避免高粱细胞质专化性感染病害的流行,又可以增加能源用甜高粱杂交种的类

型,促进品种的专用化,供企业和种植者选择。

2)正常情况下,甜高粱有2个光合产物贮藏库,一个是以糖分为主的茎秆,一个是以淀粉为主的籽粒^[2,6]。在套袋处理(即:大面积清种 A₃型细胞质杂交种)条件下,甜高粱的光合产物无法运送并贮存到籽粒中,只能用于茎叶等营养器官的生长,从而使生物产量有所提高。当营养生长所需的养分得以满足后,光合产物只能贮存在茎秆中,促使茎秆含糖量不断提高。

3)当前能源高粱产业化过程中面临的一个很大难题就是集中收获带来的原料贮存、消化问题。大量的秸秆收获后如果不能及时榨汁或发酵,会使糖分含量下降甚至酸败,影响乙醇产量。如果能够分期收获,则可以延长茎秆榨汁或处理时间,保证能源产业原料的可持续供应。种植 A₁型细胞质能源高粱时,为了提高经济效益,一方面要保证籽粒成熟,另一方面又要使茎秆含糖锤度达到最高,因此必须在籽粒成熟时收获。这就使得甜高粱生育期较长,不容易进行错期播种和分期收获。如果种植 A₃型细胞质能源高粱,由于没有籽粒,茎秆中的糖分很容易达到较高水平,且不用等待籽粒成熟,因此在生产上可实施提前收获。同时,由于生育期变短,也可以进行分期播种,为缓解原材料供应集中、延长加工时间创造了条件。

4)甜高粱植株高大,倒伏问题一直是能源用甜高粱生产中的一大难题。由于 A₃型细胞质甜高粱杂交种为不育类型,没有籽粒,有效避免了甜高粱生育后期头重脚轻的现状,大大减少了倒伏的风险。鸟害是甜高粱生产所要面临的另一个问题。应用 A₃型细胞质甜高粱杂交种,不必进行籽粒收获,既减少了收获环节,节约了用工成本,还不必考虑鸟类的危害。

5)本试验中,A₃型细胞质杂交种茎秆出汁率低于 A₁型细胞质杂交种,未来需通过增加参试品种和进一步的试验以寻找出汁率低的原因并加以解决。

参 考 文 献

- [1] Reddy B V S, Ramesh S, Reddy P S, et al. Sweet sorghum: a potential alternate raw material for bio-ethanol and bio-energy [J]. International Sorghum and Millets Newsletter, 2005, 46: 79-86
- [2] 卢庆善. 甜高粱[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2008
- [3] 郭兴强, 于文静, 谢光辉. 调环酸钙-青鲜素复配剂对甜高粱株高和倒伏的影响[J]. 中国农业大学学报, 2009, 14(1): 73-76
- [4] 邹剑秋. 我国甜高粱育种方向及高效育种技术[J]. 杂粮作物, 2007, 27(6): 403-404
- [5] 邹剑秋. 新型绿色可再生能源作物—甜高粱及其育种策略[J]. 杂粮作物, 2003, 23(3): 134-135
- [6] 马鸿图, 吴耀民, 华秀英, 等. 甜高粱高产生物学研究[C]// 全国高粱学术研讨会论文选编, 1996: 113-118
- [7] Quinby J R. Interaction of genes and cytoplasm in sex expression in sorghum [C] // Sorghum in the Eighties: Proceedings of the International Symposium on Sorghum. Vol 1. India: ICRISAT, 1982: 385-391
- [8] 卢庆善, 孙毅. 杂交高粱遗传改良[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2005
- [9] 张福耀, 牛天堂. 高粱非迈罗细胞质 A₁、A₂、A₃、A₄、A₅、A₆、9E 雄性不育系研究[J]. 山西农业科学, 1996, 24(3): 3-6
- [10] 张福耀, 平俊爱, 程庆军. 新型细胞质雄性不育系 A₃SX-1A 的创制与饲草高粱晋草 1 号的选育[J]. 中国农业科技导报, 2005, 7(5): 13-16
- [11] 陈悦, 孙贵荒, 石玉学. 部分高粱转换系与不同高粱细胞质的育性反应[J]. 作物学报, 1995, 21(3): 281-288
- [12] 陈悦, 石玉学. 高粱不同细胞质雄性不育性的诱导与应用[J]. 国外农学: 杂粮作物, 1991(1): 8-11
- [13] 邹剑秋, 杨晓光, 杨镇, 等. A₃型细胞质不育系在高粱育种中的应用[J]. 国外农学: 杂粮作物, 1995(4): 19-21
- [14] 赵淑坤. 胞质多元化在高粱杂优利用中的探讨[J]. 辽宁农业科学, 1997, 1: 36-39
- [15] 张志鹏, 黄瑞冬, 邹剑秋, 等. A₃、A₄细胞质对甜高粱产量及重要性状的影响[J]. 杂粮作物, 2008, 28(3): 137-140
- [16] 李振武, 支萍, 孔令旗. 糖高粱节段锤度与主茎秆锤度的关系[J]. 辽宁农业科学, 1990(1): 33-35
- [17] 王艳秋, 邹剑秋, 张志鹏. 能源甜高粱茎秆节间锤度变化规律研究[J]. 中国农业大学学报, 2010, 15(5): 6-11
- [18] Pfeiffer T W, Bitzer M J, Toy J J, et al. Heterosis in sweet sorghum and selection of a new sweet sorghum hybrid for use in syrup production in Appalachia [J]. Crop Science, 2010, 50(5): 1788-1794