

A1、A3 型细胞质甜高粱品种抗倒性能研究

邹剑秋¹ 王艳秋¹ 张飞¹ 李巍^{1,2}

(1. 辽宁省农业科学院 高粱研究所, 沈阳 110161; 2. 沈阳农业大学 研究生院, 沈阳 110866)

摘要 为探讨比较 A1 和 A3 两种细胞质甜高粱品种在抗倒性上的异同点,以便有针对性地培育抗倒伏品种,解决生产中的倒伏问题。试验应用 5 个典型的 A1 细胞质品种和 5 个 A3 细胞质品种为试材,对其自然倒伏率、倒折率,各倒伏影响因子以及抗倒参数进行了比较与分析,同时进行了拉力试验。结果表明:在自然条件下,A3 细胞质品种的倒折率和倒伏率均明显低于 A1 细胞质品种;A3 细胞质品种茎秆充实度和茎秆壁厚度显著高于 A1 细胞质品种;A3 细胞质品种较 A1 细胞质品种在抗弯能力上有较大的优势;用拉力秤将茎秆拉至偏离垂直方向 45°、60°和 75°时,A3 细胞质品种所用的拉力可分别比 A1 细胞质品种高 16.4%、15.6%和 18.6%,回复后角度分别低 3.70°、3.96°和 4.08°。说明 A3 细胞质品种的抗倒潜力很大,用做生物乙醇的原材料栽培有明显优势,有必要进行进一步研究。

关键词 甜高粱; 抗倒; 细胞质

中图分类号 S 566.5; Q 949.93

文章编号 1007-4333(2012)06-0092-06

文献标志码 A

Research on lodging resistance of A1-type and A3-type cytoplasm sweet sorghum (*Sorghum bicolor*)

ZOU Jian-qiu¹, WANG Yan-qiu¹, ZHANG Fei¹, LI Wei^{1,2}

(1. Sorghum Research Institute, Liaoning Academy of Agricultural Sciences, Shenyang 110161, China;

2. Graduate School of Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

Abstract The purpose of this study was to investigate the similarities and differences of lodging resistance between A1-type and A3-type cytoplasm sweet sorghum. The result may help breed lodging-resistant hybrids and solve the lodging problem in sweet sorghum. Five A3-type and 5 A1-type cytoplasm sweet sorghum hybrids were used for this study and the natural lodging rate, breaking rate, and results of tensile force test were compared and analyzed. We found that the natural lodging rate and breaking rate of A3-type cytoplasm sweet sorghum was significantly lower than that of A1-type cytoplasm sweet sorghum. The stalk enrichment degree and stalk wall thickness of A3-type cytoplasm sweet sorghum was significantly higher than that of A1-type cytoplasm sweet sorghum. A3-type cytoplasm sweet sorghum had a great superiority in anti-bending ability compared with A1-type cytoplasm sweet sorghum. When stalk was pulled to 45°, 60° and 75° from vertical direction with spring scale, the used tensile force of A3 cytoplasm sweet sorghum was 16.44% 15.63% and 18.58%, respectively, which was more than that of A1-type cytoplasm sweet sorghum hybrids, and the corresponding retrieved angles were 3.70°, 3.96° and 4.08° lower than A1-type cytoplasm sweet sorghum, respectively. We showed that A3-type cytoplasm sweet sorghum hybrids had a great lodging resistance potential and obvious advantages to used for bio-ethanol production.

Key words sweet sorghum; lodging resistance; cytoplasm

收稿日期: 2012-05-13

基金项目: 农业部现代农业产业技术体系项目(CARS-06); 辽宁省科技基金博士启动项目(20061045); 国际合作项目(CFC/FIGG/41); 948 项目(2012-Z54)

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: jianqiuzou@yahoo.com.cn

倒伏一直是影响作物产量和品质提高的重要因素,长期以来受到育种者和栽培者的关注^[1]。不同的文献对作物倒伏类型划分的理解是有差异的。Cloninger 等根据倒伏发生的部位将倒伏分为茎倒、节倒和根倒^[2]。多数研究认为倒伏分茎倒(折)和根倒。穗以下茎节弯曲、折断称茎倒(折);植株倾角在 30°至 45°之间时,茎秆维持挺直的倒伏称作根倒伏。还有的文献将倒伏现象依据倒伏状态不同分为挫折型倒伏,弯曲型倒伏,扭转型倒伏和开张型倒伏 4 种^[3]。

倒伏、倒折一直是影响甜高粱高产稳产的主要因素,倒伏多发生在甜高粱开花期至成熟期,导致甜高粱籽粒产量下降并影响茎秆内含物的积累,也不利于收割^[4]。Allen、王黎明等人研究认为甜高粱倒伏是受环境因素和品种本身特性共同作用的结果^[5-6]。因此根据现有的环境条件选择抗倒性强的品种对发展甜高粱产业具有重要意义。

随着汽车业的快速发展,能源供需矛盾更为突出。在众多生物质能源作物中,甜高粱以其独特的茎秆高含糖量、高生物产量、高乙醇转化率高抗性成为符合我国国情、适合我国国土、气候条件、既产能源又产粮食的理想作物之一,它的开发利用为生产燃料乙醇原料的多元化开辟了一条新路^[7]。20 世纪 90 年代以前,几乎所有高粱杂交种都是以迈罗(Milo)细胞质为母本组配的。通过中国、美国和印度等国高粱专家的不懈努力,研究明确了不同细胞质不育系的育性差异:现有细胞质 A1、A2、A3、A4、A5、A6、9E 中,其不育程度 A1 最为彻底,也是迄今为止在杂交高粱生产上应用最为广泛的一种雄性不育系^[8],A3 细胞质是一种最不寻常的细胞质,几乎与各种细胞核的任何高粱杂交种都产生雄性不育,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^[9]。虽然品种的表现型主要由核基因控制,但也会因细胞质的改变而变化,对一些主要农艺性状的表型表现及配合力产生一定的影响^[10]。因此,通过探究和发现 A1 和 A3 两种细胞质甜高粱品种在抗倒性上的异同点,有利于在育种和栽培方面有针对性地培育抗倒伏品种,降低生产中的倒伏风险,促进甜高粱高产稳产。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试品种为包括 5 个 A1 型细胞质甜高粱品种和 5 个 A3 型细胞质甜高粱品种。A1 型细胞质甜

高粱品种包括 A1-1、A1-2、A1-3、A1-4、A1-5, A3 型细胞质甜高粱品种 A3-1、A3-2、A3-3、A3-4、A3-5,其中 A1-1 为当前生产上主栽的甜高粱品种,设为本试验的对照,代号及组合见表 1。所有品种均由辽宁省农业科学院高粱研究所选育并提供,种植密度为 75 000 株/hm²。

表 1 参试品种代号与组合

Table 1 Hybrids' code and their crossing combinations

代号	组合名称
A1-1	辽甜 1 号
A1-2	7050A1/LTR108
A1-3	7050A1/LTR112
A1-4	辽甜 6 号
A1-5	7050A1/LTR114
A3-1	307A3/LTR108
A3-2	309A3/LTR108
A3-3	311A3/LTR108
A3-4	辽甜 9 号
A3-5	303A3/LTR108

1.2 试验设计

本试验于 2010 年在辽宁省农业科学院试验地进行,采用随机区组设计,6 行区,行距 0.6 m,行长 3 m,小区面积 10.8 m²,3 次重复。5 月 8 日播种,10 月 8 日收获,田间管理相当于当地一般生产水平。

1.3 测定项目及方法

自然倒折倒伏率:在灌浆期调查每小区的总株数和倒伏、倒折株数。

倒伏率/% = 倒伏株数/总株数;

倒折率/% = 倒折株数/总株数。

重心高度:在灌浆期每小区选取有代表性的植株 10 株,从根部割掉,将地上部分放在一支点,两端平衡时测量支点到茎基部的长度即为重心高度。

节间长度:在灌浆期每小区选取有代表性的植株 10 株,用直尺测量从基部上数第 3、5 和 7 节的长度。

圆形惯性矩: $I_y = \pi d^4/64$,其中, d 为茎秆的平均直径。

茎秆的弹性模量: $E = Fl^3/3fI_y$, F 表示将高粱茎秆拉折时的力, l 为高粱茎秆偏离水平方向的位移,即固定端到受力点的距离, f 为试验中受力点的

弯曲位移。

抗弯截面系数: $W_y = I_y / d$

抗弯强度: $y_{w \max} = F_{\max} l / W_y^{[4]}$

1.4 数据处理与分析

试验数据均采用 Microsoft Excel 2003 和 DPSv6.50 软件^[11]进行处理与分析。

2 结果与分析

2.1 A1、A3 细胞质甜高粱品种自然倒伏率、倒折率变化

图 1 为 A1、A3 细胞质甜高粱品种自然倒伏率、倒折率情况。由图 1 可知,10 个参试品种的倒伏率和倒折率存在较大差异,尤其是不同细胞质间差异

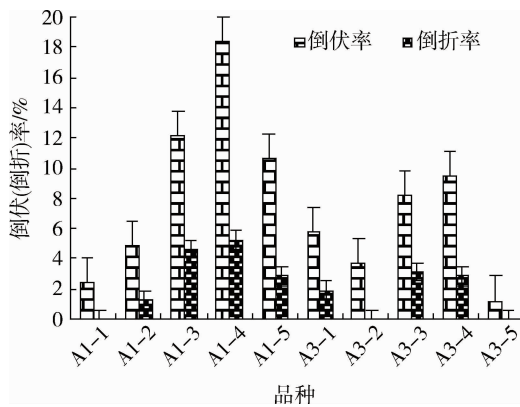


图 1 A1、A3 细胞质甜高粱品种自然倒伏、倒折率变化

Fig. 1 Variations of natural lodging rate and natural breaking rate for sweet sorghum

更大, A1 细胞质品种的倒伏率变幅为 2.5%~18.3%, A3 细胞质品种变幅为 1.6%~9.5%; A1 细胞质品种倒折率的变幅为 0~5.3%, A3 细胞质品种为 0~3.2%。A1 细胞质品种的平均倒伏率和倒折率分别比 A3 细胞质品种高出 41.3% 和 43.7%, 差异达极显著水平。

2.2 A1、A3 细胞质品种抗倒伏因子的比较

影响植株倒伏的因素包括株高、茎粗、根系、叶片舒展度、茎秆充实度、茎秆壁厚度及韧性等, 通过测定 A1、A3 细胞质品种间上述性状表现, 可能找到造成两种细胞质甜高粱品种倒伏、倒折差异的原因。由表 2 可以看出, 不同细胞质甜高粱品种的重心高度、节间长度、茎秆壁厚度、茎秆充实度以及根冠比均存在差异。从重心高度看, 不同细胞质品种间差异较大, A3 细胞质品种明显高于 A1 细胞质品种。在最易发生倒折的茎秆从基部上数第 3 至第 7 节, 同一品种节间长度均表现出第 3 节 < 第 5 节 < 第 7 节, A1 和 A3 细胞质品种差异不明显; 茎秆壁厚度则表现出第 3 节 > 第 5 节 > 第 7 节, A3 细胞质品种明显高于 A1 细胞质品种, 第 3、5、7 节平均分别要比 A1 细胞质品种高出 9.4%、7.3% 和 10.6%, 且在不同品种间, 茎秆壁厚度与节间长度之间的综合作用的结果表现为第 3 节 > 第 5 节 > 第 7 节。茎秆充实度 A1、A3 细胞质品种间差异较大, A3 细胞质品种明显高于 A1 细胞质品种。A1 和 A3 细胞质品种根冠比也存在差异, 5 个 A3 细胞质品种

表 2 A1、A3 细胞质品种抗倒因子的比较

Table 2 Comparison of the lodging-resistance factors between A1-type and A3-type cytoplasm sweet sorghum

品 种	重心高度/ cm	节间长度/cm			茎秆壁厚度/mm			茎秆充实度/ (mg/mm ⁴)	根/冠/ %
		第 3 节	第 5 节	第 7 节	第 3 节	第 5 节	第 7 节		
A1-1	167.0 ab	20.5 ab	22.7 a	23.3 a	20.6 b	19.6 ab	17.6 b	415.5 a	19.6 ab
A1-2	147.9 d	18.9 c	19.6 b	19.9 b	20.5 b	19.5 ab	16.8 b	402.3 b	18.4 b
A1-3	154.1 c	20.8 b	22.6 a	22.9 ab	18.5 c	18.3 c	14.0 c	394.1 c	16.5 b
A1-4	145.8 d	19.8 c	20.3 b	20.7 b	19.8 b	18.8 c	17.3 b	409.2 b	18.2 b
A1-5	150.0 c	20.3 b	20.9 b	21.3 ab	17.4 c	17.6 c	15.5 bc	399.7 c	17.5 b
A3-1	160.8 b	19.5 ab	19.6 b	19.4 b	19.6 b	19.1 ab	17.3 b	408.8 b	19.4 ab
A3-2	170.3 ab	23.6 a	23.4 a	24.1 a	22.3 a	21.1 a	18.6 a	421.6 a	20.8 a
A3-3	170.8 ab	23.5 a	22.2 a	22.1 ab	20.1 b	19.4 ab	17.1 b	413.3 a	19.3 ab
A3-4	166.2 ab	19.7 ab	20.3 b	20.5 b	20.6 b	19.2 ab	17.2 b	415.7 a	19.3 ab
A3-5	177.5 a	18.9 b	19.6 b	22.6 ab	23.3 a	21.8 a	19.6 a	428.6 a	21.6 a
CV%	75.7	14.0	10.1	11.4	21.0	17.7	14.6	25.6	11.7

平均要比 A1 细胞质品种高出 11.3%。

2.3 A1、A3 细胞质品种的抗倒因子相关性分析

为进一步分析 A1、A3 细胞质甜高粱品种间抗倒性存在较大差异的原因,对重心高度、节间长度(3、5、7 节)、茎秆壁厚度(3、5、7 节)、茎秆充实度和根冠比进行了相关性分析。结果表明,重心高度和节间长度与自然倒伏率和自然倒折率呈正相关,秆壁厚度、茎秆充实度和根冠比与自然倒伏率和自然倒折率呈负相关。对自然倒伏率的影响茎秆充实度>重心高度>茎秆壁厚度>节间长度,其中茎秆

充实度、重心高度与自然倒伏率的相关达显著水平。对自然倒折率的相关性茎秆充实度>茎秆壁厚度>重心高度>节间长度,除节间长度外,其他因子与自然倒折率的相关均达显著水平。说明茎秆充实度和茎秆壁厚度是影响甜高粱抗倒性的重要因子,这两个性状可以作为选择抗倒品种的依据。

可见,在与甜高粱品种抗倒性关联度较大的因子中,A3 细胞质品种各因子较 A1 细胞质品种具有明显的优势,也进一步说明了 A3 细胞质品种具有较强抗倒性的原因(表 2,3)。

表 3 A1、A3 细胞质品种的抗倒因子相关性分析

Table 3 Correlation analysis of the lodging-resistance factors for A1-type and A3-type cytoplasm sweet sorghum

R	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁
X ₁	1										
X ₂	0.95**	1									
X ₃	0.68*	0.62*	1								
X ₄	0.03	0.03	0.36	1							
X ₅	0.06	0.08	0.26	0.82**	1						
X ₆	0.25	0.31	0.51	0.74**	0.99**	1					
X ₇	-0.56	-0.67*	0.65*	0.05	-0.21	0.03	1				
X ₈	-0.40	-0.68*	0.84**	0.25	0.19	0.52	0.77**	1			
X ₉	-0.63	-0.73*	0.75**	0.11	0.02	0.39	0.86**	0.80**	1		
X ₁₀	-0.75*	-0.74*	0.82**	0.15	0.07	0.29	0.94**	0.91**	0.88**	1	
X ₁₁	-0.71*	-0.77**	0.82**	0.13	-0.06	0.21	0.95**	0.83**	0.91**	0.96**	1

注: X₁-X₁₁ 分别表示倒伏率、倒折率、重心高度、从基部上数第 3 节间长度、第 5 节间长度、第 7 节间长度、从基部上数第 3 节间茎秆壁厚度、第 5 节间茎秆壁厚度、下第 7 节间茎秆壁厚度、茎秆充实度和根冠比。* 表示 P<0.05, ** 表示 P<0.01。

2.4 A1、A3 细胞质甜高粱品种抗倒参数分析

为分析 A1、A3 细胞质品种抗倒因子间的相互作用关系,对其抗倒参数进行了分析。由表 4 可以看出,A1 细胞质品种的圆形惯性矩品种间差异较大,A3 细胞质品种明显高于 A1 细胞质品种,5 个 A3 细胞质品种的平均值比 A1 细胞质品种的平均值高出 34.8%,其中 A3-5 和 A3-2 高于对照,分别比对照高出 13.4%和 2.3%;两种细胞质品种在茎秆的弹性模量和抗弯截面系数方面也存在差异,A3 细胞质品种平均比 A1 细胞质品种分别高出 33.9%和 29.2%,且 4 个 A1 细胞质品种均低于对照,而 A3 细胞质品种中有 2 个品种明显高于对照,差异达显著水平;抗弯强度 A1 细胞质品种和 A3 细胞质品种差异最为明显,A3 细胞质品种平均比 A1 细胞质

品种高出 39.2%,A3-1 甚至比对照高出 36.4%,说明 A3 细胞质品种较 A1 细胞质品种在抗弯能力上有较大的优势,即在遭遇不良气候条件时有更强的抵抗和调节能力。

2.5 A1、A3 细胞质品种的拉力比较

为探索在不同自然条件下,不同细胞质甜高粱品种的抗倒能力,对其进行了拉力试验。用拉力秤将重心位置茎秆分别拉至偏离垂直方向 45°、60°和 75°时,A3 细胞质品种所用的拉力均高于 A1 细胞质品种,分别高出 16.4%、15.6%和 18.6%,差异达显著水平。说明 A3 细胞质品种较 A1 细胞质品种更不易倾斜。在自然状态下,松开拉力秤 3 min 后,各倾斜后的品种又都有不同程度的恢复,即茎秆向垂直方向移动,但回复后的角度品种间存在差异,被

表4 A1、A3细胞质甜高粱品种抗倒参数分析

Table 4 Analysis of lodging resistance parameters for A1-type and A3-type cytoplasm sweet sorghum

品 种	圆形惯性矩	比对照	茎秆的弹性	比对照	抗弯截面	比对照	抗弯强度	比对照
	I_y/mm^4	±%	模量 E/MPa	±%	系数 W_y	±%		±%
A1-1CK	2 401.4 b	0	96.3 a	0	75.6 b	0	4.9 bc	0
A1-2	1 935.4 c	-19.4	72.8 b	-24.3	69.9 bc	-7.5	3.3 d	-32.6
A1-3	1 401.2 d	-41.6	68.6 b	-28.7	52.8 c	-30.1	4.9 bc	-0.6
A1-4	1 372.0 d	-42.8	49.4 c	-48.6	52.8 c	-30.0	3.5 d	-28.2
A1-5	1 211.8 d	-49.5	59.6 c	-38.1	45.9 d	-39.2	4.5 c	-8.4
A3-1	1 883.5 c	-21.5	104.9 a	8.9	67.0 bc	-11.3	6.8 a	36.4
A3-2	2 456.8 b	2.3	95.7 a	6.6	83.9 b	11.0	5.7 b	14.6
A3-3	2 157.8 bc	-10.1	69.4 b	-27.9	74.6 b	-1.2	4.9 bc	-1.4
A3-4	1 996.0 c	-16.8	89.5 b	-7.0	67.7 bc	-10.3	6.0 a	21.8
A3-5	2 724.1 a	13.4	104.7 a	8.7	90.4 a	19.5	6.1 a	22.6

拉至 45° 、 60° 和 75° 后,可回复至离垂直方向的角度 A3 细胞质品种分别比 A1 细胞质品种少 3.70° 、 3.96° 和 4.08° ,且不同品种间恢复后的角度的差异 $45^\circ > 60^\circ > 75^\circ$ 。说明 A3 细胞质品种较 A1 细胞质品种在遭遇倒伏后具有更强的自身调节能力。

用拉力秤在重心位置将茎秆拉折,所用力的大

小不同细胞质品种之间存在较大差异(表 5)。A3 细胞质品种要比 A1 细胞质品种平均高出 55.3% 。4 个 A1 细胞质品种的拉折力均明显低于对照,而 5 个 A3 细胞质品种中有 3 个品种所用拉力高于对照。说明 A3 细胞质品种要比 A1 细胞质品种具有更强的抗倒折能力,但二者折断的节间都是在 4 至

表5 不同处理下 A1、A3 细胞质品种的拉力比较

Table 5 Comparison of tensile force between A1-type and A3-type cytoplasm sweet sorghum under different treatments

品 种	拉倾斜力/ F			恢复后倾斜角度/ F			拉折力/ F	折断节段/ 节段
	45°	60°	75°	拉 45° 后	拉 60° 后	拉 75° 后		
A1-1CK	2.4 a	2.8 a	3.1 a	5.3 d	7.5 d	10.4 c	4.6 ab	4
A1-2	1.3 c	1.8 c	2.1 bc	8.2 c	11.7 c	13.5 b	2.5 c	3
A1-3	1.2 c	1.6 cd	2.0 bc	12.7 b	14.2 b	16.6 b	3.4 bc	4
A1-4	1.7 b	2.1 b	2.5 b	11.3 b	15.8 b	15.4 ab	2.6 c	5
A1-5	0.7 d	1.3 d	1.6 c	17.4 a	20.1 a	22.1 a	2.8 c	5
A3-1	1.3 c	2.0 b	2.6 b	8.3 c	11.4 c	14.2 b	5.1 a	5
A3-2	2.1 a	2.3 b	2.8 b	3.2 d	5.7 d	7.3 d	5.5 a	5
A3-3	1.7 b	2.1 b	2.6 b	9.6 c	10.5 c	11.7 c	4.3 b	4
A3-4	1.2 c	1.8 c	2.1 bc	8.1 c	12.2 c	13.6 b	4.2 b	4
A3-5	2.2 a	2.9 a	3.3 a	7.2 c	9.7 c	10.8 c	5.6 a	4
均值	1.6	2.1	2.5	9.1	11.9	13.5	4.1	4.3
CV%	15.5	10.6	9.8	155.8	128.5	107.8	30.7	9.5

5 节,没有明显的差异。

3 讨 论

本试验选择在甜高粱灌浆期进行测定,这一时期甜高粱最易发生倒伏、倒折。这与国外学者研究的茎秆强度力学指标测定时间常在乳熟期至蜡熟期或成熟期进行基本一致^[12-14]。测定部位取下数第 3-7 节,与玉米取植株茎秆地上第 1~3 伸长节间略有差异^[15],可能因为甜高粱植株较高,节间较长,重心高度相对玉米要高。

试验分析了 A1、A3 细胞质甜高粱品种间抗倒性存在较大差异的原因,对重心高度、节间长度(3、5、7 节)、茎秆壁厚度(3、5、7 节)、茎秆充实度和根冠比进行了相关性分析,得出茎秆充实度 > 重心高度 > 茎秆壁厚度 > 节间长度,茎秆充实度、重心高度与自然倒伏率的相关性最大。这与刘兴唐、袁志华、赵安庆等对玉米抗倒性研究的结果基本一致,即当遇暴风雨时较充实的茎秆会发生弯曲,表现出较好的弹性,当作用力消失后,茎秆会随着光照重新恢复到直立状态,而恢复能力将随重心高度的增加而降低^[16-18]。

无论是抗倒伏因子,还是抗倒伏参数,或是拉力测验,结果表明 A3 细胞质品种抗倒性优于 A1 细胞质品种,这与两类品种的实际倒伏情况一致。A3 细胞质甜高粱杂交种抗倒伏能力强的原因除了受细胞质因素影响外,还与其营养分配有关,由于 A3 细胞质甜高粱杂交种为不育化类型,没有籽粒,因此光合产物无法输送到籽粒中,只能贮存到茎秆、根系和叶片中,因此其茎秆充实度和壁厚度以及根冠比均较 A1 细胞质品种有所增加,增强了其抗倒伏和倒折能力,而 A1 细胞质不育性最为彻底,A1 细胞质甜高粱杂交种具有较高的籽粒产量,增加了甜高粱品种的附加产值,但也因此降低了其抗倒能力。此外,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象,大大减少了倒伏的风险^[19]。可见,A3 细胞质品种的抗倒伏潜力很大,用做生物乙醇的原材料有明显优势,有必要进行进一步探讨与研究。

参 考 文 献

- [1] 盖钧镒. 作物育种学各论[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002
- [2] Cloninger F D, Zuber M S, Calvert O H, et al. Methods for evaluating stalk quality in corn[J]. *Phytopathology*, 1970, 60: 295-300
- [3] 胡建东, 鲍雅萍, 罗福和, 等. 作物茎秆抗倒伏强度测定技术研究[J]. *河南农业大学学报*, 2000, 34(1): 77-80
- [4] 杨洪昌, 范源洪, 吴正焜, 等. 甜高粱抗倒伏性状评价及其倒伏系数初探[J]. *作物杂志*, 2008(3): 54-56
- [5] Allen R R. 联合收获机在收割倒伏高粱时割台性能的研究[J]. *农业技术与装备*, 2010(17): 70-73
- [6] 王黎明. 酿造高粱杂交种龙杂 8 号[J]. *中国种业*, 2007(5): 17-19
- [7] 邹剑秋, 王艳秋. 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
- [8] 张福耀, 牛天堂, 韦耀明, 等. 高粱非买罗细胞质 A2, A3, A4, A5, A6, 9E 雄性不育系研究[J]. *山西农业科学*, 1996(3): 35-37
- [9] 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
- [10] 王富德, 张世苹, 杨立国. 高粱 A2 雄性不育系的鉴. 主要农艺性状的配合力分析[J]. *作物学报*, 1990, 16(3): 242-251
- [11] 唐启义, 冯明光. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统[M]. 北京: 科学出版社, 2002
- [12] Zuber M S, Kang M S. Corn lodging slowed by sturdier stalk [J]. *Crop Soils*, 1978, 30: 13-15
- [13] Anderson B, White D G. Evaluation of methods for identification of corn genotype with stalk rot and lodging resistance[J]. *Plant Dis*, 1994, 78: 590-593
- [14] Kang M S, Din A K, Zhang Y D, et al. Combining ability for rind puncture resistance in maize[J]. *Crop Sci*, 1999, 39: 368-371
- [15] 勾玲, 赵明, 黄建军, 等. 玉米茎秆弯曲性能与抗倒能力的研究[J]. *作物学报*, 2008, 34(4): 653-661
- [16] 刘兴唐, 官春云, 雷冬阳. 作物抗倒伏的评价方法研究进展[J]. *中国植物学通报*, 2007, 23(5): 203-206
- [17] 袁志华, 全林斯, 赵祥雄, 等. 玉米茎秆抗倒伏的综合评价[J]. *河南科学*, 2002, 20(5): 495-497
- [18] 赵安庆, 袁志华. 玉米茎秆抗倒伏的力学机制研究[J]. *生物数学学报*, 2003, 18(3): 311-313
- [19] 邹剑秋, 王艳秋, 张志鹏, 等. 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[J]. *中国农业大学学报*, 2011, 16(2): 8-13