

文章编号: 1005-0906(2011)03-0001-06

美国高产优质青贮玉米杂交种的选育

XU Wen-wei¹, 徐国良², 李淑华², XUE Yin-gen¹, 才卓²

(1. Agricultural Research and Extension Center, Texas A&M University System, 1102 East FM 1294, Lubbock, TX 79403, USA ;

2. 吉林省农业科学院, 长春 130033)

摘要: 总结粮饲兼用型、多叶型和棕色中脉型 3 种类型青贮玉米杂交种的特点。介绍青贮玉米产量和饲料营养价值的评价指标和方法, 比较不同类型的青贮玉米种质资源的饲料营养价值和目前美国市场上最新的青贮玉米杂交种的农艺性状和品质性状。2010 年美国德克萨斯州青贮玉米区域参试杂交种生物产量和干物质产量分别达 78 210 kg/hm² 和 27 370 kg/hm², 淀粉含量平均为 40.9%, 中性洗涤纤维平均 36.4%, 总可消耗营养平均为 75%。

关键词: 玉米; 育种; 青贮饲料; 棕色中脉型

中图分类号: S513.03

文献标识码: A

Breeding Maize Hybrids for High Silage Yield and Quality

XU Wen-wei¹, Xu Guo-liang², LI Shu-hua², XUE Yin-gen¹, CAI Zhuo²(1. *Agricultural Research and Extension Center, Texas A&M University System,**1102 East FM 1294, Lubbock, TX 79403, USA;**2. Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033, China)*

Abstract: Maize silage is an important source of forage. Superior hybrids should yield well, have high silage quality, and be adapted to local environments. Dual-type hybrids can be used for grain and silage production. They are usually taller and later in maturity and have a higher percentage of tropical germplasm than the typical temperate grain hybrids. Leafy hybrids have 9 – 12 leaves above the top ear due to a dominant gene(*Lfy1*). They usually have tall flexible stalks, thinner stalk rinds, wider leaves, soft and white cobs, and softer kernels. Silage-specific brown midrib hybrids have higher silage digestibility. Breeding for brown midrib hybrids takes more efforts because brown midrib trait is recessive and the two parent lines must be homozygous for a particular recessive gene. In 2010, the Texas state silage maize performance tests involved 28 hybrids at Halfway and 33 hybrids at Etter. The top yielding hybrid produced 78 210 kg/ha of silage yield and 27 370 kg/ha of dry matter. Silage quality was assayed with the NIR method. The tested hybrids had, on average based on the dry matter, 40.9% starch, 36.4% NDF, and 75% TDN.

Key words: Maize; Breeding; Silage; Brown midrib hybrid

青贮玉米单位面积产量高, 适口性好, 品质高且相对稳定, 生产成本相对较低。在发达国家, 青贮玉米是奶牛、肉牛和其他草食牲畜的重要饲料。美国 2009 年玉米种植面积为 3 500 万 hm², 其中青贮玉米实际收获的面积 227 万 hm², 占 6.5%, 总饲料

产量达 9 816 万 t¹⁾。

1 青贮玉米类型及特点

目前研究较多、市场上可供选择的青贮玉米主要有 3 种类型:

粮饲兼用型(dual-purpose hybrid), 一般植株较高大、晚熟, 具有较多的热带种质, 除了具有子粒产量高、生物产量高和饲用品质好等优点外, 种植者可以根据粮用玉米和青贮玉米市场需求变化, 适时调整应用方向, 以获得最大经济效益。

多叶型(leafy hybrid), 果穗以上有 9~12 个叶片, 比普通玉米多 3~4 片, 茎秆较高, 有韧性, 外皮薄;

收稿日期: 2010-12-10

作者简介: XU Wen-wei, 男, 博士, 美国德克萨斯 A&M 大学教授, 美国农学会德克萨斯州分会主席, 美国玉米种质资源项目(GEM)的技术指导组成员。E-mail: wxu@ag.tamu.edu
本文应本刊主编特约撰写。

叶片宽大,穗位较低,子粒和穗轴较软,生物产量高,可消化性好。子粒产量一般较低,多为青贮专用,极少用于粮食生产。但奶牛食用的产奶量与一般子粒用品种没有差异,也有报道可以显著提高奶的产量。

棕脉型(brown midrib hybrid),叶片的中脉为棕色,其形态与粮饲兼用型区别不大。棕脉型茎秆和叶片的木质素含量比常规的品种要低,可消化性较高,有关能否增加奶牛产奶量的报道不一。由于木质素含量低,茎秆容易受损倒伏,但也有报道称没有发现茎倒。

2 青贮玉米的评价指标

选育普通玉米杂交种要考虑产量和品质,同时也要考虑抗病虫害、抗逆、抗真菌毒素污染的能力。青贮玉米的评价指标与粮用玉米不同,除以上指标还要考虑生物产量高低、营养物质的可消化性、产量和品质的平衡以及最佳青贮收获期等,包括高的干物质产量、高能量、好的适口性和高的取食量、高的可消化性。

2.1 青贮玉米的生物产量和子粒产量

青贮玉米的生物产量或称饲料产量一般用单位面积鲜重和干重表示。玉米植株在半乳线期整株的含水量在 65%左右,此时茎叶生物产量达到最高值,子粒接近生理成熟期,是收获和评价产量及品质的最好时期。青贮玉米的最佳收获期只有 1 个星期,早收或晚收会降低产量和品质。子粒是非常重要的能量来源,好的青贮玉米子粒重量占整个植株干重的 50%左右,所以玉米果穗对青贮玉米的产量和品质具有重要作用。品质优良的青贮玉米杂交种应该具有果穗较大、生物产量高等特点。

2.2 青贮玉米的营养品质指标

目前,国际上通常采用营养成分含量如淀粉、粗蛋白、脂肪含量、纤维素类型和含量以及可消化性等指标来评价青贮玉米的品质。

淀粉:淀粉是青贮玉米最主要的能量来源,子粒是淀粉的最大贡献者。植株高大但子粒产量低的品种不会有高的品质。

粗蛋白:蛋白质是反刍动物瘤胃微生物以及动物本身氮素营养的来源。青贮玉米品种一般在 8%左右,品种间没有明显差异。

脂肪:脂肪也是重要的能量来源,但脂肪含量过高,会降低瘤胃微生物的活性,影响消化,降低产奶量。

中性洗涤纤维(NDF)含量:中性洗涤纤维主要包

括半纤维素、纤维素、木质素和灰分。中性洗涤纤维能被动物部分消化利用。

酸性洗涤纤维(ADF)含量:酸性洗涤纤维主要包括纤维素、木质素和灰分。酸性洗涤纤维很难被动物消化,含量越高消化率越低,牲畜取食量也减少。木质素是限制植物纤维被消化利用的主要因素。直到 90 年代初期,青贮玉米的营养价值通常用酸性洗涤纤维含量来衡量。

产奶净能(NEL):产奶净能是评价青贮玉米饲料营养价值的综合指标。目前国际上一般通过回归模型来计算饲料的产奶净能。美国的科研人员开发了一种基于 MS Excel 的青贮玉米产奶净能快速计算器,并对计算模型进行了多次修订。使用者输入干物质、粗蛋白、中性洗涤纤维、中性洗涤纤维消化率、淀粉、灰分、脂肪和产量等参数,即可得出总可消化能量、产奶净能等指标,这种简单快速的方法在美国和欧洲也常用于青贮玉米品种比较试验。

2.3 青贮玉米品质的近红外(NIR)快速测定

化学方法分析青贮玉米成分测定速度慢、成本高,而且使用试剂有害,不适合大批样品多组分的测定。近红外反射光谱法是利用植物不同成分对近红外光的最强吸收波长不同以及同一成分因含量高低而对近红外光的吸收强弱的差异,通过对大量样品的测定,建立组分光谱特征数据库和相关测定模型,在此分析平台的基础上,对样品进行检测。该方法检测速度快、操作简便、不耗费化学试剂、适合大量样品多组分的快速测定。近红外反射光光谱分析法从 20 世纪 70 年代开始,已在青贮玉米品质分析中得到广泛应用。近红外反射光谱法与 MILK2006 产奶净能计算器为青贮玉米育种工作带来极大的便利,使大量的品系品质比较和种质资源筛选成为可能。

2.4 青贮玉米抗病、抗虫、抗逆和抗霉菌毒素污染性

与粮用玉米相比,青贮玉米产量和品质更容易受病害、虫害、草害、环境压力及霉菌毒素的影响。玉米螟、穗夜蛾、秋粘虫等不仅能造成直接的产量损失,而且还能增加霉菌的侵入机会,加重霉菌毒素如黄曲霉毒素、伏马毒素等的污染。干旱、高温等环境压力不但有利于霉菌生长,而且影响玉米正常的生理代谢,使玉米抵抗力下降,使霉菌毒素污染加重。霉菌毒素不但直接影响牲畜健康,降低奶肉产量,而且霉菌毒素及其有毒代谢物还能进入奶及奶制品中,危害人类健康。

目前,青贮玉米的抗病性主要是利用玉米种质

的自然抗性,而抗虫性则利用转 *Bt* 基因或利用玉米的自然抗性。与普通的青贮玉米饲料相比,目前还没有发现转基因玉米青贮饲料对牲畜、奶产量和品质等有显著影响。

3 青贮玉米的种质资源

育种工作者已经培育了一些具有不同饲料性状的玉米种质资源。Lauer 在 1995 年对不同玉米类别的青贮玉米饲料性状做了综述^[2]。

多叶型玉米只有在抽雄时才容易鉴定,由 Shaver 于 1983 年发现^[3]。多叶性状由单一显性基因 *Lfy1* 控制,位于 3 号染色体的长臂。多叶型玉米杂交种只需一个亲本具有该性状即可。

棕脉型玉米含有隐性基因 *bm1*、*bm2*、*bm3*、*bm4*、*bm5*。*bm1*~*bm4* 分别位于第 5、1、4、9 号染色体上^[4~7]。市场上的棕脉型品种用的是 *bm3* 基因。有关 *bm1*、*bm2*、*bm4* 和 *bm5* 对农艺性状的的影响报道很少,有报道认为 *bm1* 可缩短到开花的天数,而 *bm2* 可以增加开花的天数^[8]。杂交种的两个亲本系至少需要有一对 *bm* 基因纯合等位才能表现棕脉性状,这就增加了育种的难度。

常规的马齿型玉米是目前最主要的种质资源,可以用作粮饲兼用型的育种。Jung 等比较了当时市场上的 45 个品种的饲料性能。Ngonyamo-Majee 等

(2008 年)比较了 33 个不同种质自交系的淀粉可降解性,其中包括 17 个种质资源创新工程(GEM)自交系、6 个硬质型玉米自交系和 6 个 *Oh43* 的近等基因品系。

爆裂型和甜玉米干物质产量比马齿型低 42%,易倒伏。甜玉米子粒干燥较慢,易腐烂^[9]。高油玉米一般具有较高的能量,牲畜取食量大,但可消化性比普通玉米低^[10]。高赖氨酸和色氨酸突变型 *Opaque-2* 的青贮饲料营养价值与普通玉米相似^[11]。糯玉米产量一般与常规的马齿型玉米相似或略低,但饲喂实验结果还不能证明比马齿型青贮玉米更好^[12]。

4 美国青贮新杂交种的农艺性状和品质性状

分析 2007 ~ 2010 年美国德克萨斯州青贮玉米区试品种性状^[13,14],大多数为转基因杂交种,少数为非转基因品种,多数都含有比例较高的热带种质。从 2010 年西部灌溉区 Halfway 和 Etter 试点可以看出,杂交种生物产量 59 060 ~ 78 210 kg/hm²,干物质产量为 20 670 ~ 27 370 kg/hm²,没有根倒和茎倒发生。淀粉含量占干物质的 28.7% ~ 48.5%,平均 40.9%。总可消耗营养平均为 75%。这些青贮玉米品种的产量和品质代表了当前最新育种成果,对未来青贮玉米品种选育有一定参照和借鉴意义(表 1、2、3)。

表 1 青贮玉米区域试验产量和农艺性状比较(Halfway, Texas, USA. 2010)
Table 1 Yield and agronomic traits of the Texas state silage maize performance test(Halfway, Texas, USA. 2010)

杂交种 Hybrid	生育期(d) Growth stage	播种到散粉天数(d) Days to pollen shed	株高(cm) Plant height	穗位高(cm) Ear height	含水量(%) Moisture	饲料产量(t/hm ²) Silage yield	干物质产量(t/hm ²) Dry matter yield
BH 8895VTTP	118	69.0	277	106	65.8	69.80	24.43
BH9018VTTP	118	67.0	286	127	63.8	67.99	23.79
X9150G	118	67.0	286	116	64.3	65.08	22.78
X9151G	116	67.0	299	129	65.7	69.00	24.15
70R50	114	66.0	287	112	61.5	62.00	21.70
73B33	114	67.0	295	117	66.4	65.30	22.85
58VP30	118	66.0	286	120	62.5	64.43	22.55
56VP69	116	67.0	275	122	61.8	65.61	22.96
CX10617	117	66.0	278	100	64.7	64.00	22.40
CX10115	115	66.0	248	85	63.9	60.45	21.16
DKC67-88	117	68.0	294	128	63.7	73.12	25.59
F2F622	109	67.0	292	115	60.3	67.28	23.55
TMF2W727	113	68.0	299	120	66.6	68.35	23.92
TMF2N804	116	70.0	316	101	68.3	69.20	24.22
TMF2L844	118	69.0	318	128	67.6	74.84	26.19
1825V	118	69.0	308	116	64.4	71.08	24.88
8539R	118	70.0	318	116	68.9	72.52	25.38
2288H	122	70.0	311	133	66.8	70.38	24.63
Integra EXP 952115GT	115	68.0	307	130	67.2	72.07	25.22

续表 1 Continued 1

杂交种	生育期(d)	播种到散粉天数(d)	株高(cm)	穗位高(cm)	含水量(%)	饲料产量(t/hm ²)	干物质产量(t/hm ²)
Hybrid	Growth stage	Days to pollen shed	Plant height	Ear height	Moisture	Silage yield	Dry matter yield
Integra 9701VT3	120	68.0	296	126	62.8	75.04	26.26
Integra 9676VTPRO	117	66.0	283	117	63.1	64.93	22.73
Integra 9651VT3	115	67.0	253	86	61.4	69.32	24.26
WXY10A	118	69.0	289	134	62.5	68.59	24.01
WXY10B	118	69.0	298	129	62.8	73.85	25.85
WXY10C	117	68.0	282	116	62.6	66.28	23.20
WXY10D	118	69.0	281	112	69.5	62.70	21.94
WXY10E	117	68.0	289	110	66.8	68.18	23.86
WXY10F	119	70.0	300	120	65.8	63.45	22.21
平 均		67.9	291	117	64.7	68.03	23.81

注:种植密度为 78 960 株 /hm²。 Note: The planting density is 78 960 plant/ha.

表 2 青贮玉米区域试验饲料产量和农艺性状比较 (Etter, Texas, USA. 2010)

Table 2 Yield and agronomic traits of the Texas state silage maize performance test (Etter, Texas, USA. 2010)

杂交种	生育期(d)	播种到散粉天数(d)	株高(cm)	穗位高(cm)	含水量(%)	饲料产量(t/hm ²)	干物质产量(t/hm ²)
Hybrid	Growth stage	Days to pollen shed	Plant height	Ear height	Moisture	Silage yield	Dry matter yield
BH 8895VTTP	118	69.0	279	105	59.2	72.31	25.31
BH9018VTTP	118	70.0	285	109	55.7	75.25	26.34
X9150G	118	69.0	279	95	58.5	64.40	22.54
X9151G	116	70.0	300	124	56.5	74.21	25.97
70R50	114	66.0	288	116	53.9	60.35	21.12
73B33	114	71.0	289	115	60.9	68.12	23.84
71K36	114	69.0	289	123	59.2	72.84	25.49
74A60	115	66.0	275	113	58.0	66.74	23.36
58VP30	118	69.0	291	127	56.1	73.04	25.56
56VP69	116	69.0	278	109	57.4	71.78	25.12
CX10617	117	69.0	285	106	58.8	66.17	23.16
CX10115	115	66.0	266	104	59.8	70.93	24.83
GA 28V71	118	69.0	297	117	59.3	75.58	26.45
GA X6515	119	70.0	305	133	60.2	76.97	26.94
GA X6022	117	69.0	290	122	55.9	68.85	24.10
DKC67-88	117	71.0	288	125	59.0	70.65	24.73
F2F622	109	69.0	292	117	57.8	65.22	22.83
TMF2W727	113	69.0	299	110	60.0	70.98	24.84
TMF2N804	116	73.0	312	99	60.0	67.97	23.79
TMF2L844	118	73.0	307	122	58.7	71.95	25.18
1825V	118	71.0	293	113	57.8	78.21	27.37
8539R	118	72.0	323	134	58.4	68.44	23.95
2288H	122	73.0	314	152	63.3	70.62	24.72
Integra EXP 952115GT	115	71.0	299	108	58.4	74.34	26.02
Integra 9701VT3	120	72.0	288	118	56.1	75.76	26.52
Integra 9676VTPRO	117	69.0	285	116	56.3	73.42	25.70
Integra 9651VT3	115	69.0	266	92	58.7	68.28	23.90
WXY10A	117	71.0	303	129	56.9	66.83	23.39
WXY10B	118	70.0	295	115	61.9	64.60	22.61
WXY10C	116	69.0	277	96	60.0	71.45	25.01
WXY10D	118	71.0	288	145	65.1	72.58	25.40
WXY10E	117	70.0	291	110	58.6	59.06	20.67
平 均		69.8	291	116	58.7	70.14	24.55

注:种植密度为 81 327 株 /hm²。 Note: The planting density is 81 327 plant/ha.

表 3 美国青贮玉米新品种饲料品质比较(Halfway, Texas, USA. 2010)

Table 3 Forage quality of the State silage maize performance test (Halfway, Texas, USA. 2010)

%

杂交种	粗蛋白	酸性洗	中性洗	木质素	非纤维碳	淀 粉	总可消	24 h 离体	24 h 中性洗涤	产奶量(kg/t)	灰 分
Hybrid	CP	涤纤维	涤纤维	Lignin	水化合物	Starch	耗营养	消化力	纤维消化率	MILK/dry	Ash
		ADF	NDF		NFC		TDN	IVTD 24	NDFD 24	matter	
BH 8895VTTP	8.3	19.7	34.4	3.2	52.1	45.0	77.0	81.0	43.7	1 412.7	4.02
BH9018VTTP	9.3	17.3	30.6	3.2	54.6	47.0	77.0	82.3	41.7	1 406.9	4.20
X9150G	9.4	19.2	34.2	3.5	51.7	42.6	76.0	80.0	42.0	1 394.1	3.80
X9151G	8.4	22.6	39.0	3.5	47.7	40.0	73.0	76.3	39.0	1 329.9	3.70
70R50	9.1	17.6	31.6	3.1	53.9	46.6	79.0	82.7	45.0	1 471.9	3.72
73B33	9.3	19.5	33.9	3.4	51.6	42.8	75.0	79.7	40.0	1 383.1	3.90
58VP30	9.1	19.2	33.1	3.4	52.5	45.4	77.0	81.0	43.0	1 409.7	4.00
56VP69	9.4	20.6	35.9	3.8	49.4	41.0	74.0	78.0	39.3	1 367.1	3.89
CX10617	9.4	19.7	34.8	3.4	50.5	42.7	77.0	80.3	43.7	1 422.7	4.04
CX10115	9.1	17.3	30.8	3.2	54.7	47.0	77.0	82.0	41.7	1 419.0	3.95
DKC67-88	9.1	22.3	38.6	3.7	47.4	38.5	72.0	76.3	38.3	1 330.2	3.89
F2F622	8.5	26.1	44.2	3.9	42.7	36.4	74.0	79.3	53.3	1 429.8	4.08
TMF2W727	9.0	22.6	38.1	3.9	47.5	38.8	74.0	78.0	42.3	1 372.2	4.44
TMF2N804	9.0	22.8	38.7	3.8	46.7	38.5	74.0	77.3	42.0	1 360.6	4.52
TMF2L844	7.9	29.7	48.6	4.3	37.8	28.7	68.0	70.7	39.7	1 243.3	4.97
1825V	9.2	18.8	33.3	3.4	52.4	44.3	77.0	80.7	42.3	1 414.3	3.94
8539R	8.8	24.4	41.2	3.6	44.4	36.9	72.0	75.3	40.7	1 317.3	4.59
2288H	8.6	26.7	45.3	4.0	41.1	32.0	71.0	73.0	39.7	1 315.0	4.02
Integra EXP 952115GT	8.4	20.0	34.5	3.3	51.5	44.5	75.0	78.7	39.3	1 340.7	4.32
Integra 9701VT3	8.3	24.8	41.9	3.5	44.3	36.7	74.0	76.7	44.0	1 366.6	4.54
Integra 9676VTPRO	8.7	21.2	36.4	3.4	50.0	41.8	73.0	77.7	39.0	1 325.3	4.00
Integra 9651VT3	9.2	17.1	29.7	3.1	56.1	48.5	78.0	83.0	42.7	1 433.3	3.75
WXY10A	8.6	20.2	36.0	3.3	50.8	43.1	76.0	80.0	43.3	1 413.0	3.43
WXY10B	9.5	16.8	29.9	3.1	55.5	47.8	79.0	82.7	41.7	1 456.4	3.42
WXY10C	9.3	23.7	41.0	3.9	44.6	33.5	74.0	76.3	42.0	1 407.2	4.03
WXY10D	9.6	23.1	38.5	4.0	46.1	35.7	74.0	77.3	41.7	1 372.2	4.87
WXY10E	9.8	19.5	32.9	3.7	51.7	42.4	76.0	81.0	41.7	1 401.0	4.58
WXY10F	9.2	22.6	38.3	3.9	47.0	37.6	74.0	77.0	39.7	1 377.9	4.09
平 均	9.0	21.3	36.6	3.6	49.2	40.9	74.9	78.7	41.9	1 381.9	4.10

5 青贮玉米品种的选育策略

5.1 青贮玉米的育种目标

(1)高产。生物产量一定要高,子粒产量是生物产量的指示器,即子粒产量越高,生物产量也越高。尤其是粮饲兼用型,子粒产量和生物产量二者都要高。

(2)低纤维。纤维素的含量与牲畜的取食量有关,纤维含量高,牲畜取食量减少,从而影响奶或肉的产量。一般中性洗涤纤维含量为 29.7%~48.6%,平均 36.4%。

(3)高消化率。主要是秸秆的可消化性要好。一般中性洗涤纤维 24 h 消化率平均 41.9%。

(4)病虫害和逆境的综合抗性强,抗倒性适中。

目前,青贮玉米品种的茎秆强度和根系发达程度较好,参比品种中没有发现茎倒或根倒现象。

(5)相对成熟期略晚。一般比子粒用品种晚 5~10 d,收获时的含水量适当,便于贮存和发酵。

5.2 青贮玉米育种策略

青贮玉米的选育方法和普通玉米相同,只是在选择过程中有一些特殊性。

(1)植株高大、茎秆粗壮才能获得高的生物产量,所以,适当利用热带种质有利于达到目标。

(2)保证子粒产量,改良子粒质地,增加淀粉含量是提高品质和消化率的有效方法。

(3)青贮玉米不便于长途运输,一般是奶牛场附近就地种植,所以,品种的地域性很强,适合本地气候、土壤、水利和耕作条件是重要的前提。

(4)奶牛养殖场一般位于干燥、少雨地区,种植青贮玉米就地消化,所以抗热、耐旱和抗红蜘蛛是很重要的性状。

(5)青贮玉米收获较早,所以对后期茎倒要求不是十分严格。

(6)子粒颜色和穗轴的色泽无关紧要,可用黄粒和白粒自交系组配。

(7)利用棕脉基因或选择茎叶高消化率基因回交转育高消化率自交系。

棕色中脉基因为隐性,双亲必需携带同一基因组配杂交种。携带双棕脉基因的自交系杂交(*bm1 bm1 bm3 bm3*)消化率会更高;棕色中脉基因在6~8叶期前表达不明显,分离群体应高密度种植,待6~8叶期后去除非棕脉植株,选留优良株进行回交。

高产、优质青贮玉米选育的基础工作是种质资源的改良和创新。借鉴已有的成功经验,结合本地的环境特点,才能加速培育适合本地的优良品种。

参考文献:

- [1] USDA. National Statistics for Corn[HB]. <http://www.nass.usda.gov>. 2010.
- [2] Lauer J. Corn germplasms for corn silage. Agronomy Advice of University of Wisconsin[J]. Field Crops, 1995, 28: 5-4.
- [3] Muirhead Jr R C, Shaver D L. Genetic factor capable of altering leaf number and distribution in maize[C]. US Patent, 1985.
- [4] Jorgenson L R. Brown midrib in maize and its linkage relations[J]. Journal of the American Society of Agronomy, 1931, 23: 549-557.
- [5] Burnham C R, Brink R A. Linkage relations of a second brown midrib

- gene(*bm2*) in maize[J]. Journal of the American Society of Agronomy, 1932, 24: 960-963.
- [6] Kuc J, Nelson O E, Flanagan P. Degradation of abnormal lignins in the brown midrib mutants and double mutants of maize[J]. Phytochemistry, 1968, 7: 1435-1436.
- [7] Haney L L H, Hake S S H, Scott M P S. Allelism testing of Maize Coop Stock Center lines containing unknown brown midrib alleles[J]. Maize Newsletter Note, 2008, 82: 4-5.
- [8] Vermerris W, McIntyre L M. Time to flowering in brown midrib mutants of maize: an alternative approach to the analysis of developmental traits[J]. Heredity, 1999, 83: 171-178.
- [9] Kurle J E, Shaefer C C, Crookston R K, et al. Popcorn, sweet corn, and sorghum as alternative silage crops[J]. Journal of Production Agriculture, 1991, 4: 432.
- [10] Atwell D G, Jaster E H, Moore K J, et al. Evaluation of high oil corn and corn silage for lactating cows[J]. Journal of Dairy Science, 1988, 71: 2689-2698.
- [11] Thomas V W, Benson W M, Perry T W. Effect of normal vs. *opaque-2* vs. roasted normal corn and normal vs. *opaque-2* corn silage for finishing beef cattle[J]. Journal of Animal Science, 1975, 41: 641.
- [12] Roth G W, Heinrichs A J. Corn silage production and management[R]. Pennsylvania State University Agronomy Facts 18, 2001.
- [13] Xu W, Spinhirne B, Marek T, et al. 2007 Silage corn hybrids for the Texas High Plains[C]. TAES-Lubbock Center Technical Publication. 2007.
- [14] Xu W, Marek T, Spinhirne B, et al. State Silage Corn Performance Test in the Texas High Plains[C]. Texas AgriLife Research and Extension-Lubbock Center Technical Report. 2009.

(责任编辑:李万良)