

甜高粱品系的抗倒伏性评价及相关分析

赵威军,张福耀,常玉卉,张 阳,邵荣峰,李金梅

(山西省农业科学院高粱研究所/山西省农业科学院饲草遗传育种重点实验室,晋中 030601)

摘要:倒伏一直是影响我国甜高粱高产稳产的主要因素。调查了 58 份甜高粱品系与抗倒伏性相关的农艺性状,依据倒伏系数,制定分级标准,对抗倒伏性进行了鉴定、分级和评价,并对相关农艺性状进行了遗传多样性、相关性、因子和聚类分析,以期对甜高粱抗倒伏品系的选择和组配抗倒伏杂交种提供理论依据。研究表明,抗倒伏性相关的农艺性状多样性指数均较大,遗传变异丰富。在遗传距离 2.57 处,58 份甜高粱品系可聚类分为 8 个类群。甜高粱倒伏系数的 3 个主因子代表 90% 以上信息,第 1 主因子包括株高、重心高度和主茎秆鲜重,第 2 主因子为茎秆抗折力,第 3 主因子为茎粗,育种中应加强选择。保持系品系 Tx3047B、Tx3048B、墨彩 B、张 02427B、抗蚜 60B、MAMAMAMA、R111B/Sug 中秆、P236/R111-1、E35/糖/9047B 的倒伏系数小,抗倒伏性好。恢复系品系甜 C-1-1 杂-1、HAT-1、15069、帚黄矮/品 02283 的抗倒伏性好。

关键词:甜高粱;抗倒伏性;相关性分析;因子分析;聚类分析

Evaluation and Correlation Analysis of Lodging Resistance on Sweet Sorghum Lines

ZHAOWei-jun, ZHANG Fu-yao, CHANG Yu-hui, ZHANG Yang, SHAO Rong-feng, LI Jin-mei

(Key Laboratory of Forage Genetic Improvement and Sorghum Institute/
Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Jinzhong 030601)

Abstract: Lodging has been considered an important limiting factor of sweet sorghum production and extension. By investigating the agronomic traits relevant to the lodging resistance of 58 sweet sorghum lines, the grading standards of 10 scales was generated according to lodging coefficient, and applied to classification and evaluation of the lodging resistance of sweet sorghum lines. The genetic diversity assessment, correlation analysis, factorial analysis of variance, and clustering analysis of related agronomic traits were performed to provide scientific basis for choosing parents and developing new varieties. The results indicated that all agronomic traits test showed great diversity index, ranging from 1.6504 to 2.0666, which showed that the 58 lines had large diversity. These 58 lines were separated to 8 groups when distinct coefficient was 2.57. 3 main factors contributed 90% information. No. 1 main factors were plant height, gravity center height, and main stem fresh weight, No. 2 main factor was stem breaking force, and No. 3 main factor was stem diameter. As the more important factors, these 5 traits should be aimed for selection in the breeding program.

The maintenance lines Tx3047B, Tx3048B, mo-cai B, Zhang 02427B, aphid resistance 60B, MAMAMAMA, R111B/Sug moderate plant height, P236/R111-1, E35/tang/9047B, and the restoring lines Tian C-1-1 hybrid-1, HAT-1, 15069, Zhou huang'ai/pin 02283 were lodging resistant lines.

Key words: Sweet sorghum; lodging resistance; correlation analysis; factor analysis; cluster analysis

收稿日期:2012-01-04 修回日期:2012-03-14 网络出版日期:

URL:

基金项目:山西省科技攻关项目(20100311004-2);山西省农业科学院育种工程项目(11YZGC023);山西省农业科学院育种基础项目(YYZJC1004)

作者简介:赵威军,副研究员,主要从事甜高粱遗传育种研究。E-mail:zhaowj2000@126.com

甜高粱是粒用高粱 [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] 的一个变种。甜高粱不仅有高能作物之称,而且也因其具有抗旱、耐涝、耐贫瘠、耐盐碱等特性,而享有作物中的“骆驼”之美誉^[1-2]。近 20 年来,随着人口和经济的持续增长,能源消费量也在不断增长,世界正面临能源与环境问题的严峻挑战。甜高粱作为最具优势的可再生生物能源作物之一,已受到有关专家和政府的重视,并被国家发展和改革委员会列入《可再生能源中长期发展规划》。但是,倒伏一直是影响我国甜高粱高产稳产的主要因素^[3-6],倒伏多发生在甜高粱开花期至成熟期,导致甜高粱子粒产量下降并影响茎秆内含物的积累,也不利于收割。许多学者在高粱抗倒伏原因、机理和预防倒伏的措施上曾做过研究^[3-13]。影响甜高粱倒伏的因素除品种自身的因素外,还因地区和年份而异^[11]。准确评价种质资源的遗传变异对于种质资源的保

表 1 品系编号及名称

Table 1 Sorghumcultivar and the code

编号 Code	品系 Line	编号 Code	品系 Line	编号 Code	品系 Line	编号 Code	品系 Line
1	7050B	16	MAMAMAMA	31	5-27/糖高粱-2	46	帚黄矮/品 02283 F ₄
2	265-1Y	17	R111B/Sug 中杆 F ₄	32	14054	47	9047B/8000B-2 F ₄
3	R111B	18	7050B/品 0594 F ₄	33	FZ7050	48	品 02284/帚黄矮-3 F ₄
4	张 02427/小粒甜	19	吉林甜高粱/GW0633 选 F ₄	34	GW0730	49	品 02284/帚黄矮-4 F ₄
5	九蔗 1B	20	2457B/E35/糖 F ₄	35	后院甜 7	50	帚黄矮/品 02248 F ₄
6	Tx3047B	21	P236/R111-1 F ₄	36	小粒甜	51	辽饲杂 1 号选 F ₄
7	Tx3048B	22	P236/R111-2 F ₄	37	15069	52	甜 2 杂散 F ₄
8	954066B	23	7050B/Sug 中杆 F ₄	38	HAT-1	53	甜杂 F ₄
9	墨彩 B	24	E35/糖/9047B F ₄	39	济甜 1 号	54	甜 C-1-1 杂-1 F ₄
10	张 02427B-2	25	吉林甜高粱	40	冯 FH59	55	甜 C-1-1 杂-2 F ₄
11	7050B	26	05206	41	吉甜 2 号	56	甜 C-1-1 杂-3 F ₄
12	Tx623B	27	甜 C-1-1	42	修 1	57	太谷帚/吉农甜 1 号-1 F ₄
13	抗蚜 60B	28	柳 1378-2	43	品 02284/帚黄矮-1 F ₄	58	太谷帚/吉农甜 1 号-2 F ₄
14	J7029	29	糖高粱 495	44	品 02284/帚黄矮-2 F ₄		
15	J7030	30	5-27/糖高粱-1	45	甜 C-1-1 杂选 F ₄		

1.2 试验设计

试验于 2010 年和 2011 年在山西省农业科学院高粱研究所试验基地(晋中市榆次区)进行。该地区平均日照数 2662 h, 年均气温 10.1 °C, 极端最低气温 -21.2 °C, 极端最高气温 37 °C, >0 °C 积温 3990 °C, 无霜期 158 d, 属大陆性半干旱气候, 年均降雨 395.8 mm, 降水变率 27%, 6~9 月降雨占全年降雨的 70%~75%。2010 年 5~9 月降水

存、利用和品种改良有重要意义。对品种抗倒伏性进行准确评价, 最终选育出抗倒伏品种, 是有效降低生产上因倒伏造成损失的重要措施。国内外专家对高粱的抗倒伏性进行了鉴定, 并提出了评价的依据和方法^[11-13]。本研究参考杨洪昌等^[3]提出的倒伏系数, 调查了 58 份甜高粱育种品系的与抗倒伏性相关的农艺性状, 对农艺性状进行了遗传多样性分析、相关性分析、因子分析和聚类分析, 以期甜高粱抗倒伏品系的选择和组配抗倒伏杂交种提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材料

供试材料共 58 份, 其中甜高粱亲本材料 34 份, 田间表现未倒伏的 F₄ 品系 24 份, 供试材料及编号见表 1。

268.0 mm, 日照数 1062.2 h; 2011 年 5~9 月降水 432.8 mm, 日照数 1193.4 h。试验地为石灰性褐土, 质地中壤, 前茬玉米, 0~25 耕层有机质含量 1.26%, 全氮 0.079%, 有效磷 2.2 mg/kg, 速效钾 103.9 mg/kg, pH7.8。底肥为普通复合肥(N、P、K 含量均为 15%) 750 kg/hm², 普通尿素(含量为 46%) 150 kg/hm²。播种前将肥料一次性撒施土层表面, 然后旋耕, 全生育期不再追肥。2010 年 5 月 6

日播种,5月9日用40%的阿特拉津悬浮剂250 g兑水30 kg均匀喷雾土表除草,6月2日人工间苗,7月6日人工中耕,7月16日人工灌溉,10月9日进行调查测定;2011年5月7日播种,5月8日用40%的阿特拉津悬浮剂250 g兑水30 kg均匀喷雾土表除草,5月29日人工间苗,7月4日人工中耕,未进行灌溉,10月19-20日进行调查测定。2年均未进行病虫害防治。

试验采用随机区组设计,2次重复,每品种种2行区,播种面积0.44 m×4 m,留苗密度90000/hm²,不去分蘖,成熟期每区随机取样2株进行调查测定。

1.3 试验方法

倒伏系数的测量方法参考杨洪昌等^[3]提出的方法,考虑到甜高粱根系发达,与土壤接触面大,且倒伏一般发生在地上部分,故未测量根量。具体方法如下:

从地表割取甜高粱植株,用卷尺测量主茎秆基部到穗顶部的距离(株高),用游标卡尺测量主茎秆中部节间的直径(茎粗),用电子秤称量主茎秆(带叶、穗)的鲜重(G),找到该主茎秆的平衡支点,测量主茎秆基部到平衡支点的距离(重心高度H),并计算重心高度比例(重心高度/株高)。

然后,将样株去叶、去穗,测量基部第1~4节或第5~7节长度及其抗折力。

抗折力(S)测定:将样株基部第1~4节或第5~7节置于两张试验台之间,在节长1/2处挂一铁桶,缓慢向桶中注入细沙,测量直至茎秆折断时的沙和铁桶的重量。

茎秆机械强度(M)计算方法:抗折力(S)与节长1/2长度的乘积。即为茎秆承受的最大力矩,以此代表茎秆机械强度。

倒伏系数(LC)计算方法:LC = H · G / M。

1.4 统计分析

统计分析的性状包括株高、茎粗、重心高度、重心高度比例、主茎秆鲜重、1~4节长度、1~4节抗折力、1~4节机械强度、1~4节倒伏系数、5~7节长度、5~7节抗折力、5~7节机械强度及5~7节倒伏系数等13个农艺性状,性状编号依次为X1、X2、X3、X4、X5、X6、X7、X8、X9、X10、X11、X12及X13。

用Exce 2003软件分析处理各个性状的变异系数和多样性指数。多样性指数计算方法参考赵香娜等^[14]的方法。

用SPSS软件分析处理各农艺性状与1~4节倒伏系数、5~7节倒伏系数之间的相关性。用DPS软

件进行因子分析、关联度分析和数据标准化转换的欧氏距离法(Euclidean distant)聚类分析。

2 结果与分析

2.1 抗倒性分级

杨洪昌等^[3]对甜高粱倒伏系数与倒伏面积进行相关分析,相关系数为 $r = 0.95$, t 测验显示, $P < 0.01$,说明倒伏系数与倒伏面积之间的相关关系达极显著水平,表明采用倒伏系数评价甜高粱倒伏抗性是可靠的。本研究组参考其提出的倒伏系数的测量方法,根据计算出的倒伏系数的大小,制定了抗倒伏性的分级标准(表2)。

表2 分级标准

Table 2 Grading standard

抗性分级 Scale	1~4节倒伏系数 X9	5~7节倒伏系数 X13
1	X9 < 0.1	X13 < 0.1
2	X9 < 0.1	0.1 < X13
3	0.1 < X9 < 0.2	X13 < 0.2
4	0.1 < X9 < 0.2	0.2 < X13
5	0.2 < X9 < 0.3	X13 < 0.3
6	0.2 < X9 < 0.3	0.3 < X13
7	0.3 < X9 < 0.4	X13 < 0.4
8	0.3 < X9 < 0.4	0.4 < X13
9	0.4 < X9	X13 < 0.5
10	0.4 < X9	0.5 < X13

2.2 品系的抗倒伏性能

品系1~24为保持系和F₄品系,株高低于180 cm,株高重心低,抗倒伏系数小,表现出较好的抗倒性能。其中,抗倒伏性达到2级的品系有8个,达到3级的有6个(表3)。Tx3047B、Tx3048B、墨彩B、张02427B、抗蚜60B、MAMAMAMA、P236/R111-1、E35/糖/9047B的倒伏系数小,抗倒伏性好。R111B的后代,R111B/Sug中秆、P236/R111-1、P236/R111-2的抗倒伏性比R111B有所提高。

品系25~58为恢复系及后代品系,株高均在230 cm以上,植株高、重心高,抗倒伏系数大,抗倒伏级别绝大多数在4级以上。HAT-1、15069是2个抗倒伏性较好的亲本品系。达到4级的品系有11个,且多为F₄品系。F₄品系中,帚黄矮/品02283的抗倒伏性最好,甜C-1-1杂-1次之,甜C-1-1的后代抗倒伏性有所提高。可见加强田间选择,可以提高品系的抗倒伏性能。

表 3 主要性状及抗倒性评级

Table 3 The main characteristics and lodging-resistance rating

编号 Code	品系 Line	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	抗性分级 Scale
1	7050B	147.5	1.85	73.5	0.498	0.279	23.3	15.44	179.43	0.114	21.0	10.83	113.66	0.180	3
2	265-1Y	152.0	1.95	76.5	0.504	0.445	24.3	14.45	175.15	0.194	23.8	9.38	111.45	0.305	4
3	R111B	138.5	2.13	72.0	0.520	0.539	23.0	19.11	219.77	0.177	20.8	12.41	128.75	0.302	4
4	张 02427/小粒甜	143.5	1.75	69.0	0.481	0.310	23.8	11.77	139.77	0.153	20.0	5.94	59.40	0.360	4
5	九蔗 1B	110.5	1.42	53.0	0.480	0.173	19.0	7.94	75.38	0.121	19.5	7.35	71.66	0.128	3
6	Tx3047B	115.5	1.75	56.8	0.492	0.233	14.0	32.00	224.00	0.060△	42.0	6.13	128.63	0.103	2
7	Tx3048B	111.5	1.80	56.3	0.505	0.275	13.5	32.00	216.00	0.072△	13.8	9.75	67.03	0.231	2
8	954066B	103.0	2.20	56.5	0.547	0.295	22.3	12.99	144.46	0.115	30.8	11.34	174.28	0.096	3
9	墨彩 B	112.5	1.70	51.3	0.456	0.313	13.3	32.00	212.00	0.076△	12.5	15.40	96.22	0.166	2
10	张 02427B	108.8	2.03	56.5	0.520	0.223	24.3	10.84	131.37	0.096	20.0	8.14	81.40	0.154	2
11	7050B-2	122.5	2.18	64.5	0.527	0.343	22.8	13.57	154.36	0.143	19.8	12.03	118.80	0.186	3
12	Tx623B	124.0	2.16	57.0	0.460	0.358	22.5	15.14	170.33	0.120	17.8	9.95	88.31	0.231	4
13	抗蚜 60B	107.5	2.25	52.5	0.489	0.278	24.0	15.00	180.00	0.081	17.8	11.37	100.86	0.144	2
14	J7029	110.5	1.69	56.0	0.507	0.185	17.3	9.32	80.39	0.129	20.3	6.53	66.07	0.157	3
15	J7030	107.0	1.65	55.5	0.519	0.215	14.3	12.73	90.70	0.132	17.3	6.86	59.12	0.202	4
16	MAMAMAMA	111.5	1.72	50.0	0.448	0.225	14.5	32.00	232.00	0.048△	16.5	7.42	61.22	0.184	2
17	R111B/Sug 中秆	142.3	2.53	66.5	0.467	0.565	20.8	32.00	332.00	0.117△	29.8	8.44	125.45	0.301	4
18	7050B/品 0594	154.0	2.29	73.0	0.474	0.450	27.0	20.13	230.21	0.162△	21.8	6.62	73.38	0.474	4
19	吉林甜高粱/GW0633 选 F ₄	175.5	2.00	81.3	0.463	0.528	30.5	15.91	241.18	0.178	46.0	11.91	277.29	0.159	3
20	2457B/E35/糖 F ₄	149.0	1.80	77.5	0.520	0.278	46.5	7.26	165.82	0.129	35.0	6.03	105.03	0.207	4
21	P236/R111-1 F ₄	138.0	2.13	65.5	0.475	0.488	23.5	32.00	376.00	0.086△	30.8	13.01	195.92	0.177	2
22	P236/R111-2 F ₄	155.0	2.22	76.8	0.495	0.560	33.0	18.31	301.73	0.143	36.5	10.48	191.38	0.226	4
23	7050B/Sug 中秆 F ₄	134.0	2.26	66.5	0.496	0.393	26.8	16.62	226.53	0.139	19.0	10.94	105.49	0.270	4
24	E35/糖/9047B F ₄	119.5	1.83	55.5	0.464	0.295	14.0	25.10	175.70	0.096△	13.3	7.97	51.92	0.321	2
25	吉林甜高粱	320.0	2.05	138.0	0.431	0.885	57.8	13.47	388.95	0.314	60.5	11.77	356.04	0.343	7
26	05206	362.0	1.80	156.0	0.430	1.005	72.0	10.82	389.52	0.402	64.3	11.92	382.93	0.409	9
27	甜 C-1-1	379.0	2.00	150.0	0.397	1.058	72.0	11.54	415.26	0.382	85.8	5.97	255.96	0.620	8
28	柳 1378-2	270.5	1.90	124.0	0.459	0.762	57.5	10.66	306.33	0.309	60.0	6.52	195.45	0.484	8
29	糖高粱 495	295.0	1.90	116.5	0.403	0.865	60.3	14.22	428.23	0.235	62.5	7.93	247.66	0.407	6
30	5-27/糖高粱-1	301.5	1.70	130.8	0.434	0.641	77.5	5.62	217.58	0.385	67.8	4.82	163.11	0.514	8
31	5-27/糖高粱-2	247.5	1.95	88.0	0.370	0.597	37.3	13.82	257.30	0.204	30.0	17.73	265.95	0.198	5
32	14054	281.0	2.00	122.5	0.436	0.709	54.0	12.91	348.44	0.249	66.0	7.23	238.43	0.364	6
33	FZ7050	320.0	1.70	140.5	0.440	0.651	90.5	5.71	258.38	0.354	78.5	4.65	182.32	0.502	8
34	GW0730	243.5	1.50	119.5	0.491	0.489	39.3	7.70	151.11	0.387	36.0	5.00	90.00	0.650	8
35	后院甜 7	292.0	1.91	121.0	0.414	0.735	51.3	9.26	237.16	0.375	51.0	7.09	180.80	0.492	8
36	小粒甜	234.5	1.69	102.0	0.435	0.405	55.5	5.84	162.06	0.255	60.0	3.46	103.80	0.398	6
37	15069	287.3	2.03	124.5	0.432	0.950	60.0	32.00	960.00	0.124	△65.0	15.67	509.11	0.232	4
38	HAT-1	265.0	1.65	118.5	0.447	0.450	67.8	11.74	397.69	0.134	64.0	8.89	284.32	0.188	3
39	济甜 1 号	293.5	1.81	128.0	0.436	0.710	39.3	18.19	356.88	0.255	61.3	11.70	358.31	0.254	5

表 3(续)

编号 Code	品系 Line	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	抗性分级 Scale
40	冯 FH59	235.0	1.87	117.0	0.499	0.565	59.5	9.45	281.14	0.235	50.0	7.46	186.50	0.354	6
41	吉甜 2 号	273.5	1.79	111.0	0.406	0.615	54.0	11.93	321.98	0.212	65.8	7.56	248.54	0.275	5
42	修 1	279.0	1.57	113.0	0.405	0.533	53.5	11.33	302.94	0.199	64.5	5.59	180.28	0.334	4
43	品 02284/帚黄矮-1 F ₄	333.0	1.75	142.5	0.428	0.823	58.0	9.30	269.70	0.435	56.0	7.39	206.92	0.567	10
44	品 02284/帚黄矮-2 F ₄	282.0	1.89	117.0	0.415	0.741	49.3	16.66	410.25	0.211	60.0	7.60	228.00	0.380	6
45	甜 C-1-1 杂选 F ₄	321.3	1.88	136.0	0.424	0.713	59.3	13.38	387.29	0.257	74.5	9.82	360.56	0.269	5
46	帚黄矮/品 02283 F ₄	248.0	2.00	108.0	0.435	0.725	42.8	32.00	684.00	0.114△	57.0	7.16	204.93	0.391	4
47	9047B/8000B-2 F ₄	266.5	1.87	135.5	0.514	0.923	53.0	23.71	582.72	0.221	61.0	10.74	330.09	0.392	6
48	品 02284/帚黄矮-3 F ₄	290.0	1.96	132.5	0.457	0.813	49.8	16.10	400.58	0.268	52.0	9.88	256.88	0.420	6
49	品 02284/帚黄矮-4 F ₄	290.0	1.67	127.0	0.438	0.693	59.5	11.53	342.34	0.257	62.5	6.71	209.59	0.421	6
50	帚黄矮/品 02248 F ₄	250.5	1.48	107.0	0.427	0.720	64.3	7.43	243.24	0.306	65.8	4.50	147.66	0.502	8
51	辽饲杂 1 号选 F ₄	309.0	1.72	119.5	0.387	0.613	77.5	11.70	442.17	0.166	65.5	7.61	250.19	0.300	4
52	甜 2 杂散 F ₄	344.0	1.54	144.0	0.419	0.763	69.3	17.65	611.28	0.180	72.3	10.83	391.74	0.283	4
53	甜杂 F ₄	241.5	1.67	106.5	0.441	0.583	55.0	14.43	399.38	0.159	60.3	9.65	289.29	0.216	4
54	甜 C-1-1 杂-1 F ₄	273.0	1.74	112.5	0.412	0.568	49.5	17.78	437.99	0.146	66.0	9.80	320.32	0.202	4
55	甜 C-1-1 杂-2 F ₄	299.5	1.74	112.5	0.377	0.590	74.8	11.68	435.87	0.156	74.8	8.03	300.58	0.219	4
56	甜 C-1-1 杂-3 F ₄	315.5	1.72	123.5	0.391	0.688	61.5	18.39	565.02	0.150	77.5	10.21	396.62	0.215	4
57	太谷帚/吉农甜 1 号-1 F ₄	286.5	1.92	118.5	0.413	0.713	58.3	17.63	513.19	0.165	65.8	9.29	304.19	0.278	4
58	太谷帚/吉农甜 1 号-2 F ₄	299.5	1.64	123.0	0.411	0.683	66.0	15.58	516.15	0.163	61.8	10.17	313.61	0.270	4
变异系数(%) CV		38.1	12.0	32.8	9.4	40.9	47.4	47.9	52.4	49.6	46.9	32.3	54.1	43.4	
多样性指数(H') Diversity index		1.6504	1.9575	1.7906	2.0666	1.9579	1.8678	1.7172	1.8689	1.9930	1.7220	1.9397	1.9381	1.9913	

由于条件有限,可测得的抗折力最高只能达到 32 kg。△表示抗折力大于 32 kg,未能测得确切数值,故倒伏系数以抗折力为 32 kg 计算得出,确切的倒伏系数理论上比估算出的要小。

Highest breaking forcemay only 32 kg. Lodging coefficient with △ was counted by breaking force of 32 kg.

2.3 农艺性状的变异

供试甜高粱品系农艺性状的变异系数和多样性指数均存在较大的变异(表 3)。除茎粗和重心高度比例的变异系数较小外,各性状的变异系数均较大。各性状的多样性指数均较大,株高的多样性指数较小,为 1.6504,重心高度比例的多样性指数最大,为 2.0666。这表明,供试品系拥有丰富的遗传多样性。

2.4 相关分析

相关分析表明(表 4),株高与 5~7 节抗折力间的相关性未达到显著水平,与其他性状间的相关性达到显著或极显著水平。茎粗与主茎秆鲜重、机械强度、倒伏系数间的相关性未达到显著水平,与 5~7 节抗折力间的相关性达到极显著水平。重心高度

与 5~7 节抗折力间的相关性未达到显著水平,与其他性状间的相关性达到显著或极显著水平。重心高度比例与抗折力间的相关性未达到显著水平。主茎秆鲜重与茎粗、抗折力间的相关性未达到显著水平。倒伏系数与株高、重心高度、主茎秆鲜重、节间长度呈显著正相关,与重心高度比例呈显著或极显著负相关,与抗折力呈极显著负相关。

2.5 关联度分析和因子分析

把株高、茎粗、重心高度、重心高度比例、主茎秆鲜重、1~4 节长度、1~4 节抗折力、1~4 节机械强度视为一个灰色系统,进行灰色关联分析,并对 1~4 节倒伏系数进行因子分析。结果表明,关联顺序为重心高度、主茎秆鲜重、株高、1~4 节长度、茎粗、重心高度比例、1~4 节机械强度、1~4 节抗折力。

表 4 农艺性状间的表型相关系数

Table 4 Phenotypic correlation coefficient between traits

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12
X2	-0.306 *											
X3	0.979 **	-0.289 *										
X4	-0.768 **	0.299 *	-0.632 **									
X5	0.881 **	0.021	0.888 **	-0.607 **								
X6	0.915 **	-0.335 *	0.905 **	-0.669 **	0.751 **							
X7	-0.328 *	0.334 *	0.346 **	0.108	-0.087	-0.460 **						
X8	0.634 **	0.015	0.615 **	-0.532 **	0.722 **	0.556 **	0.353 **					
X9	0.718 **	-0.215	0.763 **	-0.363 **	0.671 **	0.644 **	-0.591 **	0.057				
X10	0.925 **	-0.315 *	0.905 **	-0.709 **	0.792 **	0.919 **	-0.289 *	0.665 **	0.569 **			
X11	-0.109	0.383 **	-0.132	0.024	0.095	-0.232	0.431 **	0.291 *	-0.312 *	-0.214 *		
X12	0.768 **	-0.072	0.749 **	-0.589 **	0.776 **	0.665 **	0.031	0.837 **	0.284 *	0.769 **	0.397 **	
X13	0.578 **	-0.131	0.626 **	-0.298 *	0.597 **	0.519 **	-0.347 **	0.109	0.835 **	0.430 **	-0.502 **	0.047

*、** 分别表示在 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 水平上达到显著差异。

*, ** mean significant difference at 0.05 and 0.01 level

前 3 个主因子代表 90% 以上信息,第 1 主因子包括株高、主茎秆鲜重和重心高度,第 2 主因子为 1~4 节抗折力,第 3 主因子为茎粗。

把株高、茎粗、重心高度、重心高度比例、主茎秆鲜重、5~7 节长度、5~7 节抗折力、5~7 节机械强度视为一个灰色系统,进行灰色关联分析,并对 5~7 节倒伏系数进行因子分析。结果表明,关联顺序为重心高度、株高、主茎秆鲜重、5~7 节长度、重心高度比例、茎粗、5~7 节抗折力、5~7 节机械强度。前 3 个主因子代表 90% 以上信息,第 1 主因子包括株高、重心高度和主茎秆鲜重,第 2 主因子为 5~7 节抗折力,第 3 主因子为茎粗。

2.6 聚类分析

通过对数据进行标准化转换的欧氏距离法 (Euclidean distant) 最小距离法聚类分析处理,得到聚类分析图 (图 1)。J7029 和 J7030 的遗传距离最小,为 0.713;7050B 和 15069 的遗传距离最大,为 4.29。在遗传距离 2.57 处,58 份甜高粱品系被分为 8 个类群,6 个类群为恢复系品系,另 2 个类群为保持系品系。

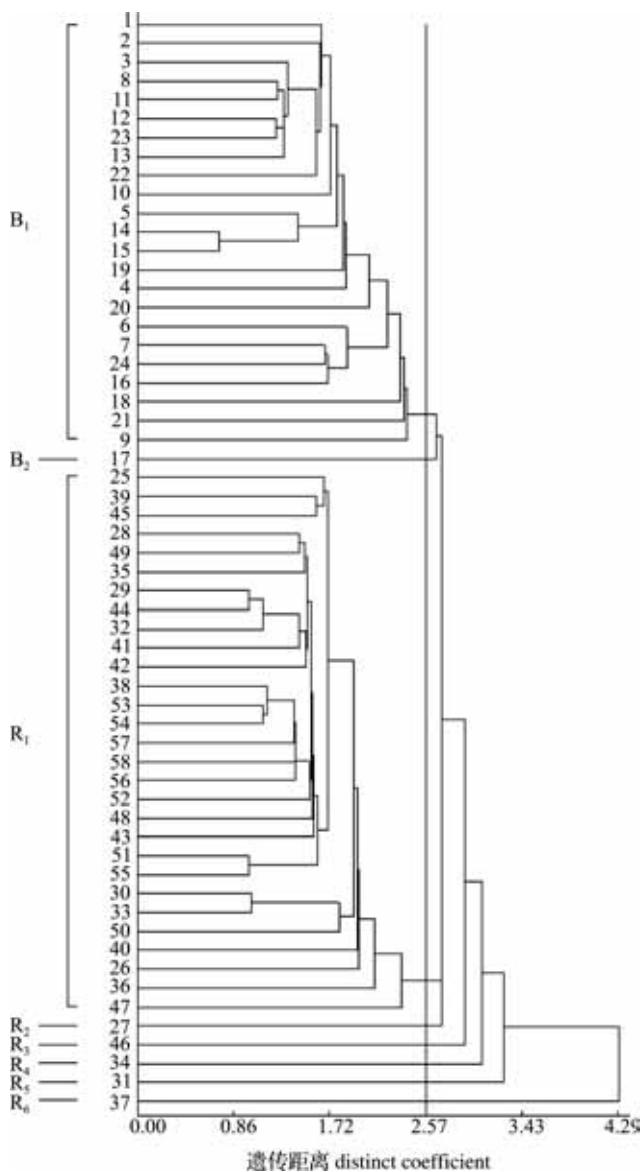
结合表 3 可以看出,恢复系 6 个类群中,R2 类群的甜 C-1-1 的株高最高,主茎秆鲜重最大,R3 类群的帚黄矮/品 02283 的 1~4 节抗折力和机械强度较大,R4 类群的 GW0730 茎粗较小,抗折力较小,5~7 节倒伏系数最大,R5 类群的 5-27/糖高粱-2 的重心高度和重心高度比例都较低,R6 类群的 15069 的机械强度最大,其余恢复系品系归入 R1 类

群。保持系中,R111B/Sug 中秆的茎粗最大,归在 B2 类群。相比较而言,保持系品系株高和重心高度较低,重心高度比例较大,主茎秆鲜重较低,节间较短,倒伏系数较小。

3 讨论

3.1 抗倒伏性的研究

甜高粱种质资源是其遗传改良的重要基因来源,是培育高产、优质、抗病甜高粱新品种的重要物质基础。本研究中,甜高粱品系间的抗倒伏性能存在较大差异,品系中 2~10 级均有分布,表现出丰富的遗传多样性。但从聚类分析看,虽然分了 8 个类群,但大多数材料集中在 2 个类群中,说明本研究所用的育种材料和育种资源遗传基础比较狭窄。赵香娜等^[14-15]对 206 份国内外甜高粱种质资源的表型性状进行了研究,结果表明,株高和茎粗的多样性指数均较大,这些种质资源的遗传多样性丰富,品种间存在较大差异,聚类分析可分为 2 大组 16 个类群。这些都表明,甜高粱种质资源的遗传多样性丰富,品种间存在较大差异,为甜高粱的抗倒伏品种选育提供了丰富的种质资源。随着生物技术的发展,遗传多样性的检测逐渐深入到分子水平^[15-17]。将形态性状、农艺性状和分子标记技术相结合,准确把握遗传多样性的本质,能更好地为资源鉴定、评价和育种提供信息。本研究的供试品系相对较少,且亲缘关系和农艺性状类群有很多不同之处,需要加大种质



B, R 分别表示保持系和恢复系

B, R mean the maintenance lines and the restoring lines respectively

图 1 58 份甜高粱品系的聚类图(材料编号同表 1)

Fig. 1 Cluster dendrogram of 58 sweet sorghum lines (No. was as table 1)

资源数量,并结合分子标记分析才能对甜高粱抗倒伏性进行较为全面的研究。

3.2 抗倒伏性的评价

准确评价种质资源的遗传变异对于种质资源的保存、利用和品种改良有重要意义。许多专家对甜高粱的抗倒伏性进行了研究和评价。L. L. Bashford 等^[12]依据造成倒伏所需力的大小对基因型进行抗倒伏性分级,该分级依据仅侧重于造成倒伏所需力,考虑不够全面。H. A. Esehie 等^[13]视情节轻重,对高粱品系抗倒伏性用 1~5 级进行了描述。孙守钧

等^[11]按倒伏程度将不同高粱材料分为 0~4 级。这些研究中,抗性分级的依据仅侧重倒伏情况的表现,未涉及甜高粱种质资源的固有特性,不能充分反映内在的抗倒伏性能。

倒伏系数涉及植株自身的特征(重心高度和主茎秆鲜重所形成的倒伏压力)和造成倒伏所需力,且倒伏系数与倒伏面积之间的相关关系达极显著水平^[3],倒伏系数在一定程度上能反映田间倒伏情况,倒伏系数相关的农艺性状可以进行准确测量。因此,以倒伏系数为分级依据,似乎略胜一筹,较为全面合理,可行性也较高。

3.3 抗倒伏品系的选择

甜高粱倒伏系数的 3 个主因子代表 90% 以上信息,第 1 主因子包括株高、重心高度和主茎秆鲜重,第 2 主因子为茎秆抗折力,第 3 主因子为茎粗。在表型相关系数上,株高、重心高度和主茎秆鲜重是与倒伏系数的相关系数值较大的前 3 个性状,且均为正相关(表 4)。由于茎粗与抗折力间呈显著或极显著正相关,重心高度比例与倒伏系数间呈显著或极显著负相关,株高、重心高度与主茎秆鲜重呈极显著正相关,所以,抗折力较大、茎粗是选育抗倒性高的甜高粱品系的重点性状,株高、重心高度、主茎秆鲜重应在前 2 个性状选择的基础上加以选择。

参考文献

- [1] 卢庆善. 甜高粱[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2008: 173-174
- [2] 张福耀,赵威军,平俊爱. 高能作物——甜高粱[J]. 中国农业科技导报,2006,8(1):14-17
- [3] 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
- [4] 郭兴强,于永静,谢光辉,等. 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
- [5] 禚维言,张涛,黄永禄,等. 喷施多效唑对甜高粱生长及生理特性的影响[J]. 作物杂志,2011(5):73-76
- [6] Al-Tayar F A. Stalk strength measurements to predict field lodging in *sorghum bicolor* (L) Moench [M]. Ph. D. thesis, Texas A&M University, College Station, Texas, USA. 1974: 126
- [7] Schertz K F, Rosenow D T. Anatomical variation in stall internodes of sorghum[J]. Crop Sci, 1977, 17: 628-631
- [8] Miller F R. Sorghum Improvement—Past and Present[M]. Texas A M University press, College Station, TX, 1990
- [9] 卢庆善,刘河山,毕文博,等. 高粱茎秆倒伏及其防御技术的研究[J]. 辽宁农业科学,1993(2):8-11
- [10] 李庆海,徐箭,袁喜庆,等. 以 622A 为母本的杂交高粱倒伏原因调查[J]. 杂粮作物,2002,22(2):118-119
- [11] 孙守钧,曹秀云,候秀英,等. 高粱抗倒机理的研究[J]. 辽宁农业科学,1999(1):1-4
- [12] Bashford L L, Maranville J W, Weeks S A, et al. Mechanical properties affecting lodging in grain sorghum[J]. Trans Am Soc Agric Eng, 1976, 19(5):962-966

- [13] Esehie H A, Maranville J W, Ross W M. Relationship of stalk morphology and chemical composition to lodging resistance in sorghum[J]. *Crop Sci*, 1977, 17:609-612
- [14] 赵香娜,李桂英,刘洋,等. 国内外甜高粱种质资源主要性状遗传多样性及相关性分析[J]. *植物遗传资源学报*,2008,9(3):302-307
- [15] 赵香娜,岳美琪,刘洋,等. 国内外甜高粱种质遗传多样性的 SSR 分析[J]. *植物遗传资源学报*,2010,11(4):407-412
- [16] 闫锋,陈丽,赵春雷,等. 不同甜高粱种质的 SSR 多态性分析[J]. *中国糖料*,2008(3):40-42
- [17] 高建明,罗峰,裴忠有,等. 甜高粱重要种质材料的 SSR 指纹分析[J]. *华北农学报*,2010,25(2):93-98