

江苏省高粱种质资源的收集及多样性分析

李春宏¹, 狄佳春², 颜伟², 郭文琦¹, 朱银², 殷剑美¹, 王立¹, 韩晓勇¹, 蒋璐¹, 张培通¹

(¹ 江苏省农业科学院经济作物研究所, 南京 210014; ² 江苏省农业科学院种质资源与生物技术研究所, 南京 210014)

摘要: 2016-2017年“第三次全国农作物种质资源普查与收集行动”江苏调查队收集到江苏41个县市区地方高粱资源104份, 并对15个农艺性状进行调查, 利用相关系数、聚类分析研究了高粱资源的遗传多样性。结果表明: 高粱资源农艺数量性状变异类型丰富。穗粒重与株高、穗长、节数、百粒重、抽穗期、地上部鲜重呈极显著正相关; 地上部鲜重与株高、节数、抽穗期呈极显著正相关, 与穗柄长呈极显著负相关。聚类分析将该批高粱资源划分为7个类群, 第Ⅰ类群为甜高粱品种, 是糖用与饲用材料; 第Ⅱ类群穗很长, 为工艺专用材料; 第Ⅲ类群单穗与百粒重较高, 是粒用、糖用兼型材料; 第Ⅳ类群植株矮, 节数少, 早熟, 是粒用、饲用及工艺用兼型材料; 第Ⅴ类群偏野生型材料, 可粒用、饲用及工艺用, 但产量性状表现较差; 第Ⅵ类群株高、穗长、抽穗期、地上部鲜重适中, 是粒用、糖用、工艺用及饲用兼型材料; 第Ⅶ类群植株矮、百粒重高、裸粒、生育期较早, 是粒用材料。综合表型筛选出9份具有优良与特异性状的种质资源。总之, 江苏地方高粱资源具有丰富的多样性, 蕴藏着较多的可利用遗传变异, 在高产、早熟、穗型和籽粒大小等方面存在可供育种和生产利用的优异资源。

关键词: 江苏; 高粱; 种质资源; 多样性; 聚类分析

Collection and Diversity Analysis of Sorghum Germplasm Resource in Jiangsu Province

LI Chun-hong¹, DI Jia-chun², YAN Wei², GUO Wen-qi¹, ZHU Yin², YIN Jian-mei¹,
WANG Li¹, HAN Xiao-yong¹, JIANG Lu¹, ZHANG Pei-tong¹

(¹ Institute of Industrial Crops Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014;

² Institute of Crop Germplasm and Biotechnology, Jiangsu Academy of Agricultural Science, Nanjing 210014)

Abstract: Under the frame of the Third National Survey and Collection Action on Crop Germplasm Resources, 104 sorghum germplasm resources were collected from 41 counties of Jiangsu from 2016 to 2017. Fifteen agronomic traits were investigated for the genetic diversity analysis of sorghum germplasm resources. The variation types of agronomic quantitative traits of sorghum resources are rich. The very significant positive correlation was detected between grain weight and any of plant height, spike length, node number, 100 grain weight, heading stage and aboveground fresh weight. The aboveground fresh weight was very-significant positively correlated with any of plant height, node number and heading stage, while negatively correlated with stalk length. The cluster analysis suggested seven groups of the sorghum germplasm accessions. Especially, the first group included sweet sorghum accessions, which are used for sugar and forage; the second group included the accessions with a long spike, which are the special materials for craft; the third group showing higher weight of single spike and 100 grains, represented the accessions with the end-use for grain and sugar; the accessions

收稿日期: 2020-02-17 修回日期: 2020-02-23 网络出版日期: 2020-04-09

URL: <http://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20200217003>

第一作者研究方向为高粱育种与栽培工作, E-mail: 2350772535@qq.com; 狄佳春为共同第一作者

通信作者: 张培通, 研究方向为特色经济作物栽培与育种, E-mail: 1196764929@qq.com

颜伟, 研究方向为作物种质资源的收集与保存, E-mail: 896387948@qq.com

基金项目: 第三次全国农作物种质资源普查与收集行动(111821301354052028); 高粱遗传与种质创新山西省重点实验室开放研究基金(2018K-01)

Foundation projects: The Third National Survey and Collection Action on Crop Germplasm Resources(111821301354052028), Open Research Fund of Shanxi Provincial Key Laboratory of Sorghum Genetics and Germplasm Innovation(2018K-01)

from the fourth group often showed short, few nodes and early maturing, and they are used for grain, forage and craft; the fifth group are wild accessions, which showed lower yield and are potentially are used for grain, forage and craft; the accessions in sixth group, which often showed moderate plant height, spike length, heading stage and aboveground fresh weight, are used for grain, sugar, craft and forage; the accessions in seventh group, often with short plant, high 100 grain weight, bare grain, and early growth period, are used for grain production. Out of that, nine germplasm resources with excellent and special characters were identified. In summary, the sorghum germplasm accessions from Jiangsu Province represented abundant genetic diversity, especially including several excellent germplasm resources with any of high yield, early maturity, ear type and grain weight can be used potentially for breeding and industrial production.

Key words: Jiangsu; sorghum; germplasm resources; diversity; cluster analysis

高粱 (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) 是世界上重要的禾谷类作物之一, 为 C4 作物, 光合效率高, 可以获得较高的生物学产量和经济产量。高粱有独特的抗逆性和适应性, 具有抗旱、抗涝、耐盐碱、耐瘠薄、耐高温、耐冷凉等多重抗性^[1-3]。江苏种植高粱历史悠久, 曾是大面积常规作物之一, 20 世纪 50 年代以前江苏种植面积在 450 万亩以上。高粱在江苏用途很大, 包括粒用 (酿酒、粮食、饲料)、糖用 (甜高粱茎生食、制糖)、工艺用 (扫帚、刷具)、饲用 (青饲或青贮) 等, 近年来由于种植效益比较低, 高粱种植规模大幅减少, 常年仅仅有面积在 10 多万亩, 尽管如此, 高粱零星、小面积种植仍然广泛, 是部分地区不可缺少的搭配作物^[4]。江苏大量的地方高粱品种散落在农户, 形成了丰富的地方高粱种质资源。

江苏酒厂众多, 种植 400 万亩以上的粒用高粱才能满足市场需要; 同时青贮饲料也有很大的缺口, 江苏发展高粱市场潜力巨大^[5-6]。随着近两年高粱价格恢复上升, 江苏粒用与青贮用高粱种植面积也在增加。但江苏种植的商业品种主要来自于进口, 缺乏适应本地区自主选育的品种, 这也成为制约江苏高粱产业发展的瓶颈^[7]。

种质资源是作物遗传改良和相关研究的物质基础, 开展高粱资源收集、整理、性状鉴定评价是挖掘和利用优异资源的前提。自从第三次全国农作物种质资源普查与收集行动启动以来, 江苏省调查队经过 2016-2017 年连续 2 年对江苏省 60 个区县的高粱种植情况全面调查, 从 41 个区县收集到 104 份在江苏持续种植的高粱地方品种。为了系统评价江苏地方高粱品种多样性, 了解其类型和特点, 本研究拟对收集到的高粱资源分布区域、特点和特异资源进行整理和分析, 对 15 个主要农艺性状进行全面的表型评价, 开展其多样性分析和类群划分研究, 以期解析江苏高粱地方品种表型多样性, 为优异农艺性状

的基因发掘与高效利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

本试验所用的高粱地方品种是由“第三次全国农作物种质资源普查与收集行动”江苏调查队于 2016-2017 年通过对江苏省常年种植高粱的区县系统调查和普查征集所获取。剔除重复与完全相似资源, 共获得 104 份材料, 来源于江苏 41 个区县, 具体来源和信息见表 1。

1.2 试验方法

试验地位于江苏省农业科学院六合基地, 该试验地点位于 118.63°E, 32.48°N, 属于亚热带季风气候, 气候温和, 四季分明, 雨水充沛。平均气温 15.3 °C, 年平均降水量 1073.8 mm, 无霜期平均 225 d, 年均日照总时数 1956.2 h。地块地力中等, 壤土。2017-2019 年进行 2 年试验调查, 均在当年 6 月 5 日播种, 行距 50 cm, 每小区 4 行, 种植密度 11 万~12 万株/hm²。小区面积 15 m², 3 次重复。播种前结合整地施 45% 三元复合肥 (N : P₂O₅ : K₂O 为 15 : 15 : 15) 300 kg/hm², 拔节期追施 1 次尿素 300 kg/hm²。其他管理措施同大田生产。

性状记载田间调查参照《高粱种质资源描述规范和数据标准》^[8]进行。对抽穗期、节数、分蘖性、分枝性、株高、穗长、穗柄长、穗型、穗形、地上部鲜重等性状进行观测记载。待成熟后于室内对颖壳包被度、颖壳色、穗粒重、百粒重进行调查记载, 并进行优异种质筛选。

性状描述中各质量性状差异用阿拉伯数字表示, 分蘖性: 1=弱, 2=中, 3=强, 4=很强; 分枝性: 1=弱, 2=中, 3=强, 4=很强; 穗柄伸出状态: 1=长, 2=中, 3=短, 4=缩穗; 穗型: 1=紧, 2=中紧, 3=中散, 4=散; 穗形: 1=棒形, 2=伞形, 3=帚形; 颖壳包

表 1 江苏高粱资源留存信息

Table 1 Passport information of sorghum resources in JiangSu											
序号 Code	采集编号 Collection No.	俗名 Trivial name	收集地 Location	留存时间 (年) Reserve time	利用方式 Utilization form	序号 Code	采集编号 Collection No.	俗名 Trivial name	收集地 Location	留存时间 (年) Reserve time	利用方式 Utilization form
1	P320116003	芦粟	六合区	30	工艺用	27	P320684023	粗秆芦稷	如皋市	30	糖用
2	P320381005	矮秆高粱	新沂市	60	粒用	28	P320684032	高粱	如皋市	50	粒用
3	P320381006	甜到梢高粱	新沂市	30	糖用、粒用	29	P320723048	高粱	灌云县	30	粒用
4	P320381007	新店甜高粱	新沂市	20	糖用、粒用	30	P320724001	野生高粱	灌南县	40	粒用
5	P320481009	甜芦黍	启东市	30	糖用、饲用	31	P320724003	甜秆高粱	灌南县	40	糖用、粒用
6	P320581001	芦粟	常熟市	50	糖用	32	P320803006	野高粱	淮安区	30	粒用
7	P320581002	淡芦	常熟市	30	粒用	33	P320804002	芦素	淮阴区	40	粒用
8	P320581003	淡芦	常熟市	35	粒用	34	P320804003	甜芦素	淮阴区	40	粒用
9	P320582009	芦粟	张家港市	30	糖用、粒用	35	P320826004	高粱	涟水县	30	粒用
10	P320582010	甜芦粟	张家港市	30	糖用、粒用	36	P320924011	糯高粱	射阳县	30	粒用
11	P320582024	芦稷	张家港市	40	糖用	37	P320924016	甜雅梢	射阳县	20~30	糖用
12	P320583003	早熟芦粟	昆山市	20	糖用	38	P320924020	糯高粱	射阳县	30	粒用
13	P320583010	黑头芦粟	昆山市	25	糖用	39	P320982009	红高粱	大丰区	20	粒用
14	P320584013	甜高粱	吴江区	30	糖用	40	P320982032	糖高粱	大丰区	30	糖用
15	P320585001	早芦粟	太仓市	30	糖用	41	P321023001	红高粱	宝应县	25~30	粒用
16	P320585012	红皮芦粟	太仓市	30	糖用	42	P321181007	本地高粱	丹阳市	30	粒用
17	P320585014	十月芦	太仓市	30	糖用、粒用	43	P321282016	米芦稷	靖江市	40	粒用
18	P320585020	红秆芦粟	太仓市	30	糖用	44	P321282022	甜芦稷	靖江市	40	糖用、粒用、饲用
19	P320612007	甜紫秆芦稷	通州区	70	糖用	45	P321322009	高粱	沭阳县	30	粒用
20	P320621008	高粱	海安市	30	粒用	46	P321323005	高粱	泗阳县	35	粒用
21	P320681024	红心芦稷	启东市	60	糖用、饲用	47	P321324024	粘高粱	泗洪县	30	粒用
22	P320684024	细秆芦稷	启东市	60	糖用	48	P321324026	野高粱	泗洪县	30	粒用
23	P320681025	甘蔗芦稷	启东市	60	糖用、饲用	49	P320321020	丰县高粱	丰县	20~30	粒用
24	P320681025	红皮黑穗芦稷	启东市	70	糖用	50	P320305013	甜高粱	贾汪区	30	糖用、粒用
25	P320681035	矮高粱	启东市	30	粒用	51	P320305018	野高粱	贾汪区	75	工艺用
26	P320682008	高粱	如皋市	55	粒用	52	P320305020	杂交高粱	贾汪区	40	粒用

表 1 (续)

序号 Code	采集编号 Collection No.	俗名 Trivial name	收集地 Location	留存时间 (年) Reserve time	利用方式 Utilization form	序号 Code	采集编号 Collection No.	俗名 Trivial name	收集地 Location	留存时间 (年) Reserve time	利用方式 Utilization form
53	P320305027	本地高粱	贾汪区	30	粒用	79	2016323067	小芦粟	盱眙县	30	工艺用
54	P321084001	野高粱	高邮市	30	工艺用	80	2016323234	芦箕	泰兴市	30	粒用、工艺用
55	2016322013	野生高粱	睢宁县	30	工艺用	81	2016323248	本地高粱	泰兴市	20	粒用、糖用
56	2016322038	母鸡够	睢宁县	50	粒用	82	2016323421	野高粱	仪征市	20	粒用
57	2016322049	高粱	睢宁县	10~20	粒用	83	2016323623	兴化高粱	兴化市	20	工艺用
58	2016322050	小术	睢宁县	40	粒用、饲用、工艺用	84	2016323643	本地高粱	东台市	20	糖用、粒用、饲用
59	2016322167	高粱	邳州市	30	粒用、工艺用	85	2016321018	芦稷	阜宁县	50	粒用
60	2016322177	红高粱	邳州市	30	粒用、工艺用	86	2016321023	芦黍	阜宁县	40	粒用、工艺用
61	2016322190	抱头矮高粱	邳州市	30	粒用、工艺用	87	2016321061	芦黍	阜宁县	30	工艺用
62	2016322194	高粱	邳州市	30	粒用、工艺用	88	2016321082	甜大梢	大丰区	30	糖用
63	2016322196	高粱	邳州市	20~30	粒用、工艺用	89	2016321159	草芦黍	启东市	50	饲用、工艺用
64	2016322208	高粱	邳州市	50	粒用	90	2016321453	稻黍子	东台市	30	糖用、工艺用
65	2016322230	甜高粱	邳州市	50	糖用	91	2016522502	抱头矮高粱	邳州市	50	粒用
66	2016322240	野高粱	邳州市	75	粒用、饲用	92	2016322189	高粱	赣榆区	30	粒用、工艺用
67	2016322248	甜高粱	邳州市	50	糖用、粒用、饲用	93	2017321089	稷子	句容市	50	粒用、工艺用
68	2016322350	高粱	如皋市	20~30	粒用	94	2017321205	草芦粟	溧阳市	30	粒用
69	2016322419	甘蔗芦稷	如东县	50	糖用、粒用	95	2017323604	高粱	东台市	60	籽粒、饲用、工艺用
70	2016322420	甜芦稷	如东县	50	糖用	96	2017323020	高粱	射阳县	30	粒用、工艺用
71	2016322438	糯高粱	如东县	20~30	粒用	97	2017323823	高粱	泗阳县	20	粒用
72	2016322454	糯高粱	如东县	20	粒用	98	P321203003	甜高粱	高港区	30	粒用、饲用
73	2016322650	高粱	涟水县	50	粒用	99	2017323226	高粱	泰兴市	20	植株观赏
74	2016322656	矮高粱	涟水县	20	粒用	100	2017323014	高粱	盱眙县	40	粒用、工艺用
75	2016322662	高粱	沭阳县	20	粒用	101	2016321172	甜芦黍	溧阳市	40	糖用
76	2016322666	糯高粱	沭阳县	20	粒用	102	2017321057	高粱	句容市	30	饲用
77	2016322685	红高粱	沭阳县	50	粒用	103	2017323601	高粱	大丰区	40	工艺用
78	2016323003	小芦黍	如皋市	50	粒用、工艺用	104	P320925007	野高粱	建湖县	60	粒用、饲用

被度: 1= 籽粒裸露, 2= 包被 1/4, 3= 包被 1/2, 4= 包被 3/4, 5= 全被; 颖壳色: 1= 黄色, 2= 红色, 3= 红褐色, 4= 褐色, 5= 黑色。

1.3 数据处理及统计分析

试验数据采用 SPSS 20 计算各性状的平均值 ($\bar{X}$)、标准差 (s) 等, 并根据计算结果, 将数量性状划分为 10 个等级, 从第 1 级 [$X_i < (\bar{X} - 2s)$] 到第 10 级 [$X_i > (\bar{X} + 2s)$], X_i 为第 i 级中的数据, 每 0.5 s 为 1 级, 每 1 级的相对频率 (P_i) 用于计算多样性指数。

多样性指数即 Shannon-Wiener index (H') 信息指数计算公式: $H' = -\sum P_i \times \ln P_i$ 。式中 P_i 为某性状第 i 级别内材料份数占总份数的百分比^[9]。相关性、聚类分析采用 SPSS 20 软件进行运算, 聚类分析过程中将质量性状予以赋值, 种质间遗传距离为欧氏距离, 聚类方法采用类平均法 (UPGMA)。

2 结果与分析

2.1 高粱资源在江苏的种植利用现状

从收集的高粱资源数量分布来看, 高粱地方品种资源分布主要集中在江苏西北的徐淮农区、东南部的沿海农区、中东部的沿江农区, 而在西南部丘陵地区、中部的里下河地区分布较少, 只有零星分布。其中以邳州市获得的高粱资源最多, 为 10 份; 其次是启东市、如皋市, 分别为 7 份、5 份 (表 1)。

收集的高粱资源种植历史长, 平均达到了 42.5 年, 种植资源 70 年及以上的资源编号有 4 份, 分别为: P320612007、P320681025、P320305018、2016322240。江苏高粱种质资源利用方式丰富多样, 其中粒用、糖用、工艺用、饲用、观赏用材料分别为 42 份、18 份、8 份、1 份、1 份; 粒用与工艺、粒用与糖用、粒用与饲用、糖用与饲用、饲用与工艺、糖用与工艺兼用材料分别为 12 份、9 份、3 份、3 份、1 份、1 份; 粒用、糖用与饲用兼用型材料 3 份; 粒用、工艺用与饲用兼用型材料 2 份 (表 1)。

2.2 高粱资源遗传多样性

2.2.1 高粱资源质量性状遗传多样性分析 从 7 个质量性状的表型分析来看 (表 2), 104 份地方品种共观测到 4 种穗伸出状态, 其中以长型所占比例最大, 为 50.0%; 其次是中型, 其余为缩穗、短型。穗型以散穗最多, 占 94.2%; 中紧穗、中散穗与紧穗较少。穗形以伞形最多, 占 98.0%; 帚形、棒形极少, 仅各占 1.0%。颖壳包被度以包被 3/4 为主, 占 38.4%; 其次是全被, 包被 1/2、包被 1/4 与裸露有少量存在。

颖壳色以红色为主, 占 55.8%; 其次是黑色, 黄色、褐色、红褐色有少量存在。分蘖主要以弱级为主, 中级与强级较少。分枝以弱级为主, 其次是中级、很强级, 强级较少。7 个质量性状中颖壳包被度遗传多样性指数最高 (1.48); 穗形最低 (0.11), 平均值为 0.78。质量性状遗传多样性相对较窄, 在育种和遗传改良中质量性状的选择余地较小。

2.2.2 高粱资源数量性状遗传多样性分析 从 8 个数量性状的表型分析来看 (表 3), 不同材料间的数量性状存在较大差异 (表 3), 其中地上部鲜重变异系数最大, 达到 75.73%; 其次为穗粒重, 为 48.83%, 其余节数、穗柄长、株高、抽穗期、穗长、百粒重等性状也有较大的变异。数量性状多样性指数高, 其中多样性指数以穗柄长最高, 为 2.03; 其次是百粒重, 为 2.02, 其余性状都 ≥ 1.60 。这表明江苏高粱地方品种数量性状具有较丰富的变异类型。

高粱资源的 8 个数量性状相关性分析表明 (表 4): 穗粒重与株高、穗长、节数、百粒重、抽穗期、地上部鲜重呈极显著正相关; 地上部鲜重与株高、节数、抽穗期呈极显著正相关, 与穗柄长呈极显著负相关; 抽穗期与株高、节数、百粒重呈极显著正相关, 与穗柄长呈极显著负相关; 穗柄长与节数呈极显著负相关; 百粒重与株高、节数呈极显著正相关, 与穗长呈显著正相关; 节数与株高呈极显著正相关; 穗长与与株高呈显著正相关。

2.3 聚类分析

对 104 份参试品种的 15 个性状进行了聚类分析, 以欧氏距离为遗传距离, 聚类方法采用类平均法 (UPGMA), 在遗传距离为 15 处将高粱资源分为 7 个类群 (图 1)。第 I 类群有 26 份材料, 此类群均为甜高粱品种, 特点是散穗型、伞穗形、植株高大、地上部鲜重较高, 是糖用与饲用一类优良材料, 尤其甜高粱茎秆是重要的休闲食品, 本类群在江苏种植较广泛。第 II 类群仅有 2 份材料, 此类群特点是早熟、穗长、穗柄伸出状态长、穗形为帚形, 是典型的工艺专用材料, 来源于兴化市与大丰市, 利用去粒的穗作帚、刷用具是当地的传统习惯。第 III 类群有 3 份材料, 此类群特点是株高适中、穗伸出状态长、百粒重与单穗籽粒重较高, 颖壳包被度低, 是粒用、糖用兼型材料, 来源于张家港市、常熟市。第 IV 类群有 44 份材料, 此类群特点是株高较矮、节数少、早熟、地上部鲜重低, 是粒用包括食用、酿酒, 饲用及工艺用兼型材料。除材料编号 P321181007 来源于丹阳外, 其余 43 份材料都来源于苏中、苏北。第 V 类群

表 2 高粱资源质量性状的多样性分析

Table 2 Diversity analysis of qualitative characters of sorghum resources

质量性状代码 Quality characters code	穗伸出状态 Spike extension		穗型 Spike type		穗形 Spike shape		颖壳包被度 Glume coverage		颖壳色 Glume color		分蘖 tiller		分枝 branch	
	类型 Type	比例(%) Percentage	类型 Type	比例(%) Percentage	类型 Type	比例(%) Percentage	类型 Type	比例(%) Percentage	类型 Type	比例(%) Percentage	类型 Type	比例(%) Percentage	类型 Type	比例(%) Percentage
1	长	50.0	紧穗	1.0	棒形	1.0	裸露	12.5	黄色	8.6	弱	86.5	弱	81.7
2	中	26.0	中紧穗	2.9	伞形	98.0	包被 1/4	7.7	红色	55.8	中	9.6	中	9.6
3	短	8.6	中散穗	1.9	帚形	1.0	包被 1/2	20.2	红褐色	5.8	强	3.9	强	2.9
4	缩穗	15.4	散穗	94.2			包被 3/4	38.4	褐色	8.6	很强		很强	5.8
5							全包被	21.2	黑色	21.2				
多样性指数 H'		1.20	0.28	0.11	1.48				1.24	0.48			0.66	

表 3 高粱资源数量性状的多样性分析

Table 3 Diversity analysis of quantitative characters of sorghum resources

数量性状 Quantitative characters	最大值 Max.	最小值 Min.	极差 Range	均值 Average	标准差 s	变异系数(%) CV	多样性指数 H'
株高(m)PH	4.0	1.3	2.7	2.5	0.79	31.29	1.95
穗长(cm)SL	60.7	15.8	44.9	31.2	6.41	20.53	1.96
节数PN	19.3	4.8	14.5	10.1	3.95	39.00	1.86
百粒重(g)HGW	2.8	1.2	1.6	1.9	0.37	18.96	2.02
穗柄长(cm)PSL	79	15.5	63.5	40.2	13.1	32.61	2.03
抽穗期(d)HS	102	40	62	62.8	18.23	29.05	1.75
地上部鲜重(g)AFW	1520.0	130.0	1390.0	475.0	359.74	75.73	1.61
穗粒重(g)GW	79.1	5.5	73.6	28.1	13.74	48.83	1.97

PH: Plant height, SL: Spike length, PN: Pitch number, HGW: Hundred-grain weight, PSL: Panicle stalk length, HS: Heading stage, AFW: Aboveground fresh weight, GW: Grain weight. The same as below

表 4 高粱种质资源数量性状相关性
Table 4 The correlation coefficient between the quantitative characters of sorghum germplasm resources

相关系数 Correlation coefficient	穗长 SL	节数 PN	百粒重 HGW	穗柄长 PSL	抽穗期 HS	地上部鲜重 AFW	穗粒重 GW
株高 PH	0.202*	0.751**	0.276**	0.013	0.755**	0.732**	0.445**
穗长 SL		0.022	0.217*	-0.032	0.012	-0.021	0.316**
节数 PN			0.296**	-0.304**	0.946**	0.891**	0.563**
百粒重 HGW				0.039	0.255**	0.167	0.571**
穗柄长 PSL					-0.345**	-0.330**	-0.147
抽穗期 HS						0.874**	0.510**
地上部鲜重 AFW							0.465**

*, ** 分别在表示 $P=0.05$ 、 $P=0.01$ 水平上达到显著差异
*, ** indicated significant differences at $P=0.05$, $P=0.01$, respectively

有 14 份材料,此类群特点是偏野生、节数少、早熟、地上部鲜重很低、种子小、单穗籽粒重低且易掉粒、颖壳包被度重、分蘖与分枝特性强,可粒用、饲用与工艺用,材料 2017323226 还用来作观赏用;但产量性状表现较差,本类群材料来源于苏南、苏中、苏北 12 个县(市)。第Ⅵ类群有 14 份材料,此类群特点是株高、穗长、抽穗期、地上部鲜重适中,种子较小,单穗籽粒重较低,是糖用、工艺、饲用、粒用兼用型材料,来源于苏南、苏中、苏北 13 个县(市)。第Ⅶ类群仅有 1 份材料,该材料特点为株高矮、百粒重高、籽粒裸露、生育期较早,是粒用酿酒材料,来源于贾汪区。

2.4 优异资源的筛选

通过田间调查和数据分析,从 104 份高粱种质中筛选了 9 份综合表现好的材料(图 2),是进一步生产与育种利用优质资源,产量相关性状见表 5。

产量高、具有优异性状的粒用高粱有 3 份。编号 P320581002 采集于常熟市梅李镇瞿巷村,常规高粱,穗粒重 40.0 g,芒长,耐旱涝,虫害轻;当地主要用该品种与小麦、玉米酿酒。编号 P320924011 采集于射阳县合德镇双丰村,为糯高粱,穗粒重达 54.6 g,耐盐碱;当地将籽粒加工粉做糕点,质粘而不腻。编号 2016322454 采集于如东县岔河镇金发村,为糯高粱,穗粒重达 48.9 g,抗倒伏,病害轻;当地将籽粒加工粉做糕点,也作为酿酒原料。

具有特色性状的糖用高粱有 2 份。编号 P320612007 采集于通州区十总镇张沙村,紫秆、黑穗,是茎秆生食或者榨汁的优良品种,口感甜纯,无杂味;抗倒伏、病虫害轻。编号 2016322420 采集于

如东县直镇毛潭村,青秆、红穗,生育期长,抽穗期 94 d,产量极高,地上部鲜重达 1520 g,是茎秆生食或者榨汁优良品种,口感超甜好吃;病虫害轻,耐旱、耐瘠薄。

特色工艺用高粱 1 份。编号 2016323623 采集于兴化市李中镇苏宋村,早熟,抽穗期 56 d,穗长达 44.7 cm,百粒重低,仅为 1.4 g,中等抗倒,穗去籽粒后适用于制作扫帚、锅刷。

糖用与粒用兼用型 2 份。编号 P320381006 采集于新沂市草桥镇古墩村,迟熟,抽穗期 94 d,地上部鲜重与穗粒重都较高,分别达 1350.0 g、49.4 g,抗旱、耐贫瘠,茎秆生食或者榨汁,籽粒食用。编号 P320305013 采集于贾汪区青山泉镇张庄村,迟熟,抽穗期 91 d,地上部鲜重与穗粒重都较高,分别达 1240 g、47.6 g,抗病,茎秆很甜,生食或者榨汁,籽粒食用或者酿酒用。

糖用与饲用兼用型 1 份。编号 P320681025 采集于启东市汇龙镇鹤群村,中熟,抽穗期 83 d,地上部鲜重较高,达 1020 g,耐热、耐盐碱、耐贫瘠,持绿性强,地上部可采收作青贮饲料用,茎秆生食或者榨汁。

3 讨论

3.1 江苏高粱地方品种来源特点

由于种植业结构的调整,当前江苏高粱主要种植在丘陵岗地、瘠薄地、盐碱地、边角地等不宜种植玉米、水稻、大豆等其他大宗作物的边际耕地,逆境条件下生长。经过长期的自然与人工选择,形成了适应当地气候的耐高温干旱、耐涝、耐盐碱、耐贫瘠

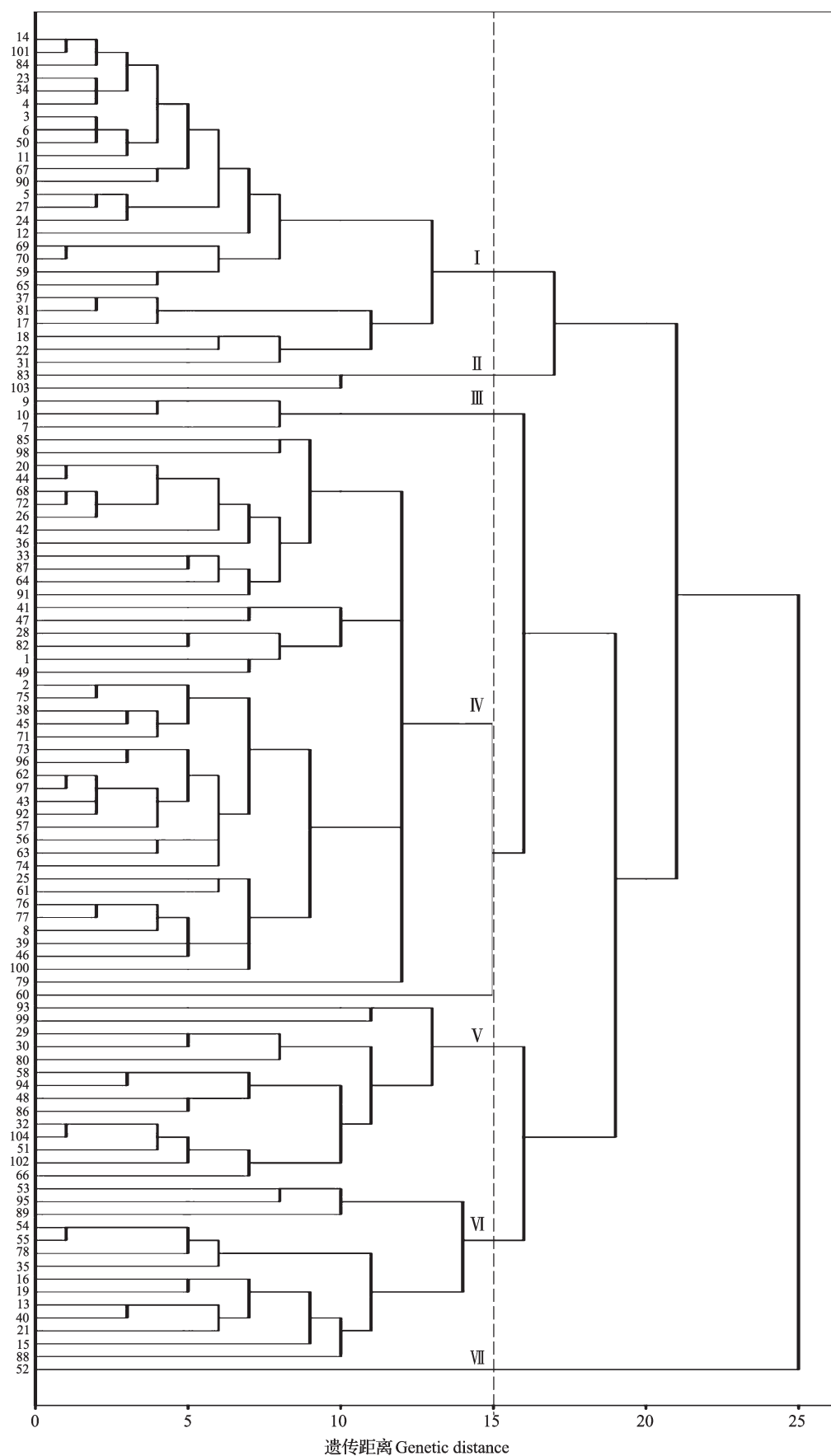
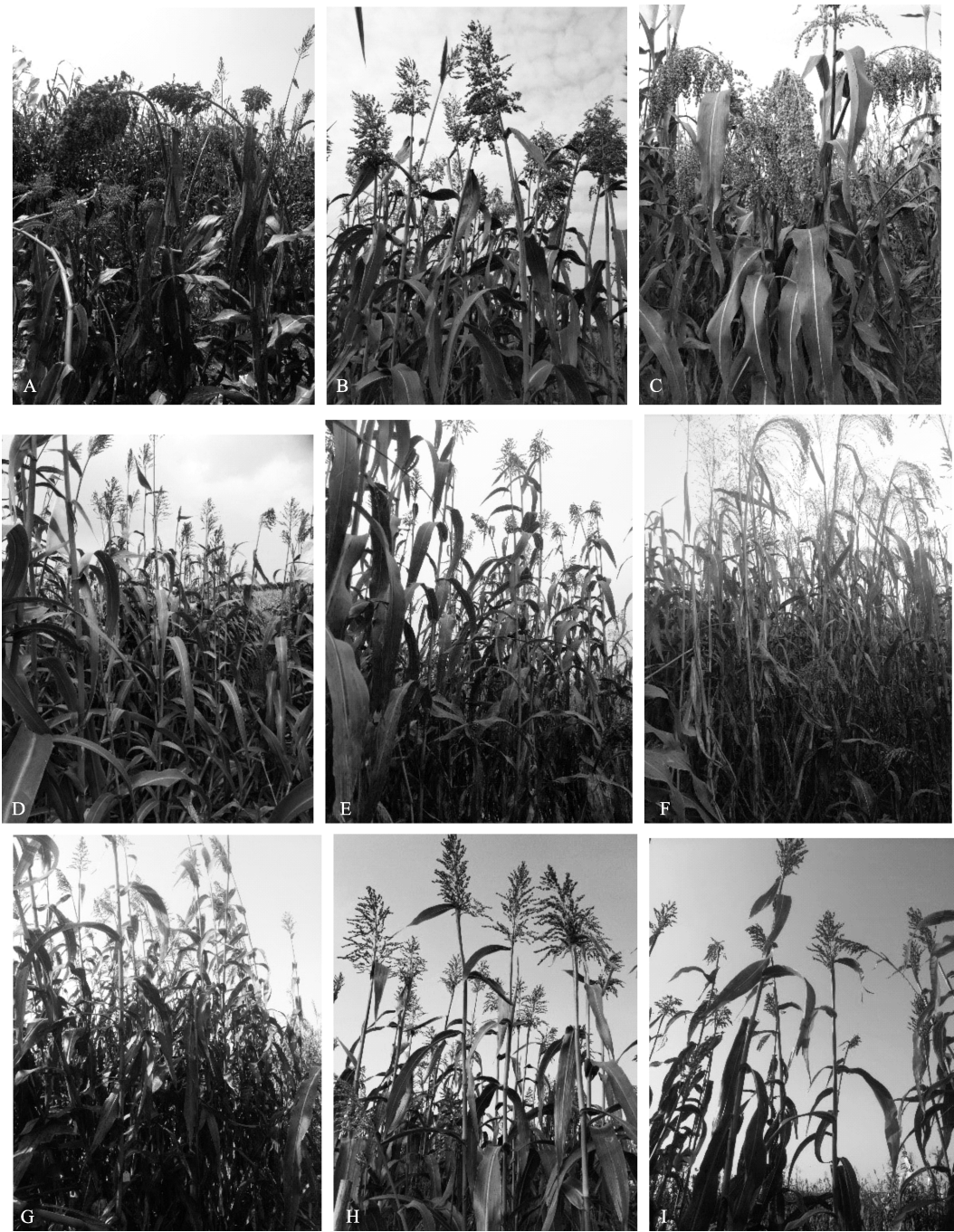


图 1 基于 104 份高粱资源 15 个性状的聚类分析

Fig.1 Cluster dendrogram of 104 sorghum accessions based on 15 agronomic traits



A: P320581002; B: P320924011; C: 2016322454; D: P320612007; E: 2016322420;
F: 2016323623; G: P320381006; H: P320305013; I: P320681025

图 2 筛选的优异高粱种质资源
Fig.2 Selected elite sorghum germplasm resorces

表 5 筛选的优异高粱种质资源

Table 5 Selected elite sorghum germplasms resources

资源编号 Resource number	产量相关性状 Yield related traits						应用 Applications
	抽穗期 (d)	株高 (m)	穗长 (cm)	百粒重 (g)	地上部鲜重 (g)	穗粒重 (g)	
	HP	PH	SL	HGW	AFW	GW	
P320581002	65	2.34	24.3	2.3	380.0	40.0	粒用
P320924011	69	3.07	31.0	2.2	456.7	54.6	粒用

表 5(续)

资源编号 Resource number	产量相关性状 Yield related traits						应用 Applications
	抽穗期 (d) HP	株高 (m) PH	穗长 (cm) SL	百粒重 (g) HGW	地上部鲜重 (g) AFW	穗粒重 (g) GW	
2016322454	66	2.43	38.1	2.3	323.3	48.9	粒用
P320612007	67	3.10	24.5	1.6	766.7	13.7	糖用
2016322420	94	3.76	31.8	2.1	1520.0	54.0	糖用
2016323623	56	3.35	44.7	1.4	350.0	14.6	工艺用
P320381006	94	3.83	32.7	2.2	1350.0	49.4	糖用、粒用
P320305013	91	3.47	34.2	2.2	1240.0	47.6	糖用、粒用
P320681025	83	3.49	32.8	2.2	1020.0	43.1	糖用、饲用

等地方资源。高粱资源提供者所在地都保留着传统利用与种植高粱的习惯,资源多来源于祖辈相传或者周围农户交流,种植年限大多在 30 年以上,一般仅供自家使用,从而使得优质地方性高粱资源得以留存。

3.2 江苏高粱地方品种特点

江苏省地处我国东部沿海地区,处于暖温带-亚热带湿润-半湿润季风气候区,地貌包括平原、低山丘陵与滩涂,是南北方过渡的省份,江苏的生态环境、农耕文化与生活习俗,造就了江苏省高粱资源的独特性。江苏高粱质量性状中穗型以散型、穗形以伞形为主,这与山西^[10]、湖北^[11]、贵州^[12]等地区高粱穗为中散、紧穗型,纺锤形、棒形有明显不同,推测特征的形成及选择与本省湿润多风雨的气候有关。

鉴定的穗柄长、百粒重、穗粒重、穗长、株高、节数、抽穗期、地上部鲜重 8 个数量性状有较高的遗传多样性指数。何继红等^[13]发现甘肃省 128 份高粱地方品种资源中的穗粒重、抽穗期、百粒重、穗柄长、穗长、株高等具有丰富的遗传多样性,李莉等^[11]也发现湖北省 436 份高粱种质资源中株高、穗长、穗粒重、百粒重等具有丰富的遗传多样性,江苏的高粱地方资源性状遗传多样性与这些研究结果相似或者部分相似。相关性分析表明穗粒重与株高、穗长、节数、百粒重、抽穗期、地上部鲜重呈极显著正相关,这与仪治本等^[14]研究结果相似,而与逯晓萍等^[15]研究发现单穗粒重与百粒重呈显著负相关有不同,推测原因是材料群体差异所致。本研究按照农艺性状将高粱资源划分为 7 个类群,类群中包括全区域分布型如 I、V、VI 类群,局部区域分布型如 II、III、IV 类群和专化区域分布型如 VII 类群。类群分布的区域特性表明:在江苏既存在遗传差异和亲缘关系相近的高粱种质资源在全省广泛种植,又存在

遗传特异性材料在特定的生态区域种植的现象,这与前人对大豆^[16]、黄瓜^[17]、高粱^[18]等研究结果类似。很可能的原因是历史上通用型强的高粱种质资源基因有所交流,而特异性与局部地区偏好性高粱品种资源由于地理、人为因素或消费习惯阻隔了基因交流。种质资源涉及到粒用、糖用、饲用、工艺专用或者兼用类群,通过综合性状分析,筛选出一批高产、优质、抗逆性强的基础材料,可供今后资源创新、品种改良、抗性选择利用。

总之,江苏地区的高粱地方种质资源遗传多样性相当丰富,具有很大的利用价值和进一步改良潜力,下一步工作将测定种质资源的营养成分;利用分子标记手段更深层次地研究高粱种质资源的多样性和遗传背景及衍生关系,为生产开发与育种利用提供更可靠的依据。

参考文献

- [1] Seshiah C V, Rao S J, Reddy Y R, Nagalakshmi D, Mahender M, Harikrishna C H. Effect of feeding processed sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) crushed residue based complete ration on growth performance and feeding behavior of murrah buffalo calves. *Veterinary World*, 2013, 6(3): 151-155
- [2] 郭秀卿,崔福柱,杜天庆,郝建平,段永红. 4 种甜秆饲草高粱对密度与刈割次数的响应. *山西农业大学学报:自然科学版*, 2015, 35(6): 597-602
- [3] Guo X Q, Cui F Z, Du T Q, Hao J P, Duan Y H. Response of 4 sweet straw forage sorghum for different density and mowing times. *Journal of Shanxi Agricultural University: Natural Science*, 2015, 35(6): 597-602
- [4] 李春宏,苏衍菁,张培通,王仪明,郭文琦,殷剑美,韩晓勇,王立,火恩杰. 不同刈割时期对甜高粱产量和品质的影响. *南方农业学报*, 2018, 49(2): 239-245
- [5] Li C H, Su Y J, Zhang P T, Wang Y M, Guo W Q, Yin J M, Han X Y, Wang L, Huo E J. Effects of different mowing times on yield and quality of sweet sorghum. *Journal of Southern Agriculture*, 2018, 49(2): 239-245
- [6] 李春宏. 酿酒高粱在江苏的发展前景与展望. *大麦与谷类科*

- 学, 2019, 36(4): 18-20
- LI C H. The prospect of development of sorghum planting industry for making liquor in Jiangsu province. *Barley and Cereal Sciences*, 2019, 36(4): 18-20
- [5] 郭士伟. 江苏高粱发展前景分析. *中国农学通报*, 2015, 31(21): 82-85
- Guo S W. Development prospect of sorghum bicolor in Jiangsu. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2015, 31(21): 82-85
- [6] 李春宏, 张培通, 郭文琦, 殷剑美, 韩晓勇. 甜高粱青贮饲料研究与利用现状及展望. *江苏农业科学*, 2014, 42(3): 150-152
- Li C H, Zhang P T, Guo W Q, Yin J M, Han X Y. Present situation and prospect of research and utilization of sweet sorghum silage. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2014, 42(3): 150-152
- [7] 张培通, 李春宏, 郭文琦, 张恒友. 江苏省构建沿海滩涂盐碱地甜高粱产业技术体系的设想. *江西农业学报*, 2013, 25(2): 17-20
- Zhang P T, Li C H, Guo W Q, Zhang H Y. Assumption of constructing sweet sorghum industrial technology system in coastal saline-alkali land in Jiangsu. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2013, 25(2): 17-20
- [8] 陆平. 高粱种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社, 2006: 8-27
- Lu P. descriptors and data standard for sorghum. Beijing: China Agricultural Publishers, 2006: 8-27
- [9] 龙珏臣, 张继君, 龚万灼, 陈红, 王萍, 宗绪晓, 何玉华, 杜成章. 重庆地区豌豆 (*Pisum sativum* L.) 种质资源收集与多样性分析. *植物遗传资源学报*, 2019, 20(1): 137-145
- Long J C, Zhang J J, Gong W Z, Chen H, Wang P, Zong X X, He Y H, Du C Z. Field collection and genetic diversity analysis of pea (*Pisum sativum* L.) germplasm resource in Chongqing. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2019, 20(1): 137-145
- [10] 张桂香, 史红梅, 宋旭东. 山西省高粱种质资源收集鉴定与利用评价. *山西农业科学*, 2008, 36(7): 77-80
- Zhang G X, Shi H M, Song X D. Collection, identification, uses and evaluation of sorghum germplasm resources in Shanxi province. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2008, 36(7): 77-80
- [11] 李莉, 刘昌燕, 陈宏伟, 万正煌, 刘良军, 伍广洪, 黎大革. 湖北省高粱地方种质资源鉴定和主要农艺性状评价. *湖北农业科学*, 2017, 56(23): 4463-4562
- Li L, Liu C Y, Chen H W, Wan Z H, Liu L J, Wu G H, Li D G. Identification of local germplasm resources and evaluation of main characteristics of sorghum in Hubei province. *Hubei Agricultural Sciences*, 2017, 56(23): 4463-4562
- [12] 熊先勤, 陈瑞祥, 杨菲, 刘正书, 周玉锋. 贵州酒用高粱种质资源考察及鉴定. *山地农业生物学报*, 2003, 22(2): 117-121
- Xiong X Q, Chen R X, Yang F, Liu Z S, Zhou Y F. Collection and appraisal of germplasm resources of wine-making sorghum in Guizhou. *Journal of Mountain Agriculture and Biology*, 2003, 22(2): 117-121
- [13] 何继红, 董孔军, 刘敏轩, 任瑞玉, 张磊, 杨天育, 陆平. 甘肃省新征集高粱地方品种资源的鉴定与遗传多样性评价. *植物遗传资源学报*, 2015, 16(3): 479-484
- He J H, Dong K J, Liu M X, Ren R Y, Zhang L, Yang T Y, Lu P. Identification and genetic diversity evaluation of new-collective germplasm of sorghum in Gansu province. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2015, 16(3): 479-484
- [14] 仪治本, 梁小红. 高粱数量性状的多元遗传分析. *华北农学报*, 2002, 17(3): 52-58
- Yi Z B, Liang X H. Multivariate genetic analyses of quantitative characters in sorghum. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2002, 17(3): 52-58
- [15] 逯晓萍, 张先炼, 李元清, 张瑞霞. 典型相关分析在高粱遗传育种中的应用研究. *华北农学报*, 2002, 17(3): 46-51
- Lu X P, Zhang X L, Li Y Q, Zhang R X. Application research of canonical correlation analysis in sorghum breeding. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2002, 17(3): 46-51
- [16] 曾凯, 张恒斌, 陈李森, 赵靓, 罗赓彤, 战勇, 周新安. 68 份大豆品种资源在新疆灌区的农艺性状分析. *中国油料作物学报*, 2017, 39(5): 615-622
- Zeng K, Zhang H B, Chen L M, Zhao J, Luo G T, Zhan Y, Zhou X A. Agronomic traits analysis of 68 soybean variety resources in Xinjiang irrigation area. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2017, 39(5): 615-622
- [17] 郭元元, 周生茂, 陈振东, 蒋月喜, 尚小红, 张力, 宋焕忠, 车江旅, 陈琴, 蒋万. 广西黄瓜地方品种鉴定评价及遗传多样性分析. *南方农业学报*, 2018, 49(7): 1273-1281
- Guo Y Y, Zhou S M, Chen Z D, Jiang Y X, Shang X H, Zhang L, Song H Z, Che J L, Chen Q, Jiang W. Identification, evaluation and genetic diversity analysis of local cucumber varieties from Guangxi. *Journal of Southern Agriculture*, 2018, 49(7): 1273-1281
- [18] 赵香娜, 李桂英, 刘洋, 陆平, 顿宝庆, 岳美琪, 张璞. 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. *植物遗传资源学报*, 2008, 9(3): 302-307
- Zhao X N, Li G Y, Liu Y, Lu P, Dun B Q, Yue M Q, Zhang P. Genetic diversity and correlation analysis of main agronomic characters in domestic and foreign sweet sorghum germplasm. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2008, 9(3): 302-307