

205 份玉米种质资源表型性状遗传多样性分析及优异种质筛选

李淑芳¹, 李鹤南², 刘晓冬¹, 张春宵³, 刘学岩³, 贾立辉⁴, 李晓辉³

(1. 吉林省农业科学院作物资源研究所, 吉林 公主岭 136100; 2. 山东农业大学植物保护学院, 山东 泰安 271018;

3. 吉林省农业科学院玉米研究所, 吉林 公主岭 136100; 4. 吉林省农业科学院, 长春 130033)

摘要: 为了拓宽玉米种质资源遗传基础, 了解玉米种质资源表型性状遗传多样性水平, 选择205份玉米种质资源的23个表型性状, 利用变异系数、遗传多样性指数及多种分析方法, 结合 F 值综合评价玉米种质资源。结果表明, 大多数种质资源花丝色及花药色均为黄绿色, 株型中间型, 轴色浅红色, 穗型筒形, 粒型硬粒型, 子粒形状中间形, 粒色浅黄。穗长的遗传多样性指数 H' 最大, 穗行数的 H' 最小; 粗蛋白质含量和粗脂肪含量的 H' 相同, 总淀粉含量的 H' 最小。15个数量性状和3个品质性状之间呈现显著或极显著正相关, 千粒重与穗行数呈极显著负相关, 各数量性状间相互联系又相互制约。通过聚类分析, 205份资源被划分为3大类群。通过综合得分 F 值筛选出10份优异玉米种质, 可作为优良的种质资源创新材料和遗传育种的亲本来源。

关键词: 玉米; 优异种质; 表型性状; 遗传多样性

中图分类号: S513.035.3

文献标识码: A

Genetic Diversity Analysis of Phenotypic Traits and Selection of Superior Germplasm in 205 Maize Germplasm Resources

LI Shu-fang¹, LI He-nan², LIU Xiao-dong¹, ZHANG Chun-xiao³, LIU Xue-yan³, JIA Li-hui⁴, LI Xiao-hui³

(1. Institute of Crop Resources Sciences, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Gongzhuling 136100; 2. Institute of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018; 3. Maize Research Institute, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Gongzhuling 136100; 4. Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: To broaden the genetic basis of maize germplasm resources and understand the genetic diversity level of phenotypic traits, 23 phenotypic traits of 205 maize germplasm resources were selected for analysis of variation coefficient, genetic diversity index, correlation analysis, cluster analysis, principal component analysis and general F -value. The results showed that, most of the germplasm resources were yellow-green in silk color and anther color, middle in plant type, light red in axis color, cylindrical ear, hard grain, middle in seed shape and light yellow in grain color. The genetic diversity index H' of ear length was the largest and kernel row number was the smallest; The genetic diversity index of crude protein content and crude fat content was the same, and the genetic diversity index of total starch content was the smallest. Among the 15 quantitative traits (including 3 quality traits), there was significant or highly significant positive correlation, and there was highly significant negative correlation between 1000-grain weight and kernel row number. Each quantitative trait was interconnected and interdependent. Through cluster analysis, 205 Germplasm resources were divided into three groups. The cumulative contribution rate of the first five principal components was 69.795%. Ten superior maize germplasm were selected by comprehensive F value, which could be used as excellent germplasm resources for innovation materials and genetic breeding parents.

Key words: Maize; Superior germplasm; Phenotypic trait; Genetic diversity

录用日期: 2022-09-01

基金项目: 吉林省农业科技创新工程创新团队项目“作物抗逆种质资源挖掘与创制”(CXGC2021TD111)、科技部、财政部国家科技资源共享服务平台项目“国家作物种质资源库-吉林分库运行服务”(NCGRC-2023-052)

作者简介: 李淑芳(1975-), 黑龙江佳木斯人, 硕士, 副研究员, 主要从事作物资源研究工作。E-mail: Xlsf@163.com

李晓辉和贾立辉为本文通信作者。

种质资源是国家战略性资源,对农业可持续发展起着至关重要的作用。种质资源作为一种重要的自然资源,在漫长的生物进化过程中,通过自然选择和人工选择积累了极其丰富的遗传变异,并形成了各种优良遗传性状和生物类型,构成了生物多样性,更是人类赖以生存和发展的重要物质基础,因此种质资源得到了世界各国的普遍重视。种质资源承载着作物的优良基因,一直被认为是作物育种的前提与基础^[1,2]。作物产量的增长离不开突破性的品种,突破性品种的育成源于优异种质资源和特殊基因的发掘与利用。

玉米是重要的粮、经、饲兼用作物,对全球的粮食生产和粮食安全至关重要^[3]。吉林省地处松辽平原腹地,是世界三大黄金玉米带之一,土壤肥沃,光、温、水充沛,给玉米种植带来了得天独厚的条件。吉林省玉米播种面积常年稳定在400万hm²左右,占吉林省粮食作物播种面积的3/4、粮食总产量的4/5。随着部分优良品种的大面积推广,品种同质化现象严重,导致玉米单产增长缓慢、抗病和抗逆性能力下

降^[4~8]。研究发现,我国主栽玉米杂交种的亲本种类比较集中,造成遗传多样性降低,遗传基础狭窄^[9~12]。因此,急需拓宽我国玉米种质的遗传基础,深度挖掘现有资源遗传信息,提高种质资源利用效率,加快品种选育进程。

种质资源表观形态特征可通过表型性状进行描述,表型多样性是基因多样性与所处生态环境互作的结果,对种质资源表型性状的评价是认识作物种质资源、挖掘其有利基因和培育新品种的基石,也是种质资源研究最直接和最基本的方法^[13]。本研究通过对205份玉米种质资源的23个表型性状多样性和综合评价,筛选出综合性状表现优异的玉米种质,为玉米种质创新和新品种选育提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为吉林省农业科学院作物资源研究所提供,所有资源均为建国后从全国各地农业科研单位和技术推广部门征集获得,编号M1~M205(表1)。

表1 供试205份玉米种质资源名称
Table 1 205 maize germplasm resources tested

编 号	种质名称	编 号	种质名称	编 号	种质名称	编 号	种质名称	编 号	种质名称
Number	Germplasm name	Number	Germplasm name	Number	Germplasm name	Number	Germplasm name	Number	Germplasm name
M1	H91	M42	WD	M83	K303	M124	ms70	M165	BC16
M2	Mo22W	M43	W85	M84	K305	M125	ms74	M166	HMV1528
M3	FR37	M44	BC14	M85	W64Ht	M126	ms91	M167	HMV1626
M4	RL3	M45	B65	M86	B73HN	M127	ms92	M168	W23
M5	RL11	M46	Q190	M87	DimboaHt11	M128	ms132	M169	B57
M6	RL12	M47	BC252	M88	NN14BHi2	M129	ms141	M170	F244
M7	RL13	M48	AN103A	M89	AR204	M130	ms213	M171	Va22
M8	A239	M49	Co106	M90	Bup44	M131	SD37	M172	W16
M9	A251	M50	Co109	M91	H69	M132	ms200	M173	7091
M10	A631	M51	Co113	M92	交501	M133	F520	M174	A375
M11	A427	M52	Co191	M93	BC4B	M134	B88	M175	AR212
M12	A624	M53	Co194	M94	Va50	M135	Va38	M176	B79
M13	B77	M54	Co234	M95	罗31	M136	B98	M177	B86
M14	A638	M55	Co235	M96	A662	M137	Va45	M178	BC20
M15	A658	M56	Lc24	M97	75-303	M138	K5	M179	MO41W
M16	A670	M57	Va26	M98	ZBT20	M139	R2040	M180	Va92
M17	A660	M58	B76	M99	W20TR	M140	N7A	M181	朝56
M18	H59	M59	H84	M100	BC73-1	M141	144	M182	FR20
M19	B70	M60	A665	M101	丹3501	M142	TVa22-96	M183	CM109
M20	H98	M61	72-125	M102	H109	M143	72-148	M184	C0150
M21	A657	M62	H95	M103	W182B	M144	W64ATRS	M185	CH591-36
M22	B75	M63	CH593-17	M104	白oh181	M145	F19	M186	CH593-32
M23	RN6Ht1A	M64	75-303(287)	M105	Co225	M146	F72	M187	CH601-13

续表1 Continued 1

编 号	种质名称	编 号	种质名称	编 号	种质名称	编 号	种质名称	编 号	种质名称
Number	Germplasm name	Number	Germplasm name	Number	Germplasm name	Number	Germplasm name	Number	Germplasm name
M24	TX441	M65	75-208	M106	Pa871	M147	朝80	M188	FR632
M25	6853-5	M66	75-232	M107	K304	M148	B64	M189	yuBC12
M26	70-104	M67	75-316	M108	CM105	M149	M0401	M190	yuBC16
M27	72-194	M68	75-349	M109	75-353	M150	FR52	M191	6830
M28	Linbrea	M69	75-358	M110	CH21	M151	T157	M192	朝91
M29	75-220	M70	A666	M111	CH592-13-2	M152	K816	M193	75-169
M30	75-215	M71	RT10	M112	CH593-9	M153	H100	M194	75-195
M31	75-217	M72	RT158	M113	T147	M154	R805	M195	75-221
M32	W153	M73	Co120	M114	K302	M155	Oh562	M196	342
M33	NR1036	M74	S-2	M115	Bup157	M156	AR226	M197	341
M34	A96	M75	4004	M116	CH586-12	M157	AR671	M198	344
M35	A629	M76	W454	M117	B85	M158	W538	M199	351
M36	A116	M77	FR303	M118	H75	M159	BC25	M200	352
M37	B8	M78	AR218	M119	B52	M160	BC23	M201	TC50-7
M38	H62	M79	T423	M120	Ky216	M161	BC18	M202	AR228
M39	B9A	M80	H66	M121	T260	M162	Oh551	M203	TAG218-1
M40	A630	M81	ZPH66	M122	ms24A	M163	AR238	M204	A641
M41	朝9	M82	B56	M123	ms67	M164	Pa762	M205	909

1.2 试验方法

1.2.1 试验地概况

试验于2021-2022年在吉林省公主岭市吉林省农业科学院作物资源研究所试验地进行。根据气温变化情况,每年在4月28日左右播种,根据每份资源

成熟情况,最早收获日期为9月10日。玉米生育期间平均日照时数1 441.4 h、平均气温17.1℃,平均降水量665.9 mm。2021-2022年玉米生育期间平均气温未发生异常现象(图1)。

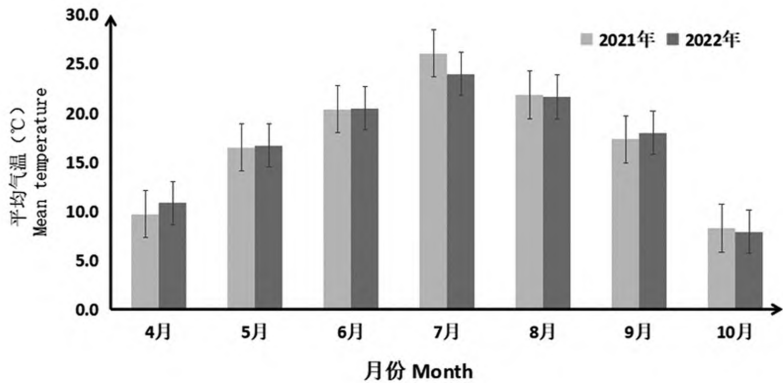


图1 玉米种质生育期间气温状况

Fig.1 Temperature during the growth and development of maize

1.2.2 试验设计

试验采用完全随机区组设计,3次重复。每份资源种植3行,行长3 m,株距22.2 cm,小区种植密度为7.5万株/hm²。田间管理与大田生产一致。

1.2.3 指标测定

试验对205份玉米种质资源的8个描述性状、15

个数量性状、3个品质性状进行观察及测量。描述性状包括花丝色、花药色、株型、轴色、穗型、粒型、子粒形状和粒色;数量性状包括株高、穗位高、苞叶层数、穗长、穗粗、穗行数、行粒数、轴粗、穗重、穗粒重、出籽率和千粒重;品质性状包括粗蛋白质含量、粗脂肪含量和总淀粉含量。调查标准参考《玉米种质资

源描述规范和数据标准》^[14],品质性状利用近红外分析仪(Perton 7250)测得。所有数据均来源于3次重复所得平均值,将8个描述性状分别赋值(表2)。

表2 玉米种质资源8个描述性状描述标准
Table 2 Description standard on 8 descriptive traits of maize germplasm resources

性 状 Trait	描述标准 Description standard
花丝色	黄绿色、浅红色、深红色、杂色
花药色	绿色、浅紫色、紫色、深紫色
株 型	紧凑型、中间型、披散型
轴 色	白、浅红、红
穗 型	筒形、锥形至筒形、锥形
粒 型	硬粒型、偏硬粒型、中间型、偏马齿型、马齿型
子粒形状	圆形、楔形、中间型
粒 色	白、浅黄、黄、橙黄、橘黄

1.3 数据分析

采用Excel 2010软件计算变异系数及遗传多样性指数,对描述性状进行分级描述及分析不同性状类型的频率分布和遗传多样性指数。数量性状利用平均数(\bar{X})和标准差(S)将材料划分为10级,从第1级 $X \leq (\bar{X} - 2S)$ 至第10级 $X \geq (\bar{X} + 2S)$,每0.5 S 为1级,每组的相对频率用来计算多样性指数^[15]。Shannon-

weaver遗传多样性指数^[16]公式: $H' = -\sum P_i \times \ln P_i$,其中, P_i 为某一性状第*i*级别时的频率。

采用Oringin 2021进行聚类分析;采用IBM SPSS 25进行主成分分析,计算各主成分得分和综合得分*F*值进行综合评价,筛选优异种质。

2 结果与分析

2.1 玉米种质资源遗传多样性分析

2.1.1 描述性状的频率分布和多样性指数

对205份玉米种质资源的8个描述性状进行统计分析发现(表3),8个性状之间的遗传多样性指数(H')变化范围为0.858~1.460,其中,粒色的 H' 最大,为1.460;株型的 H' 最小,0.858;其他性状的 H' 排序依次为粒型>花药色>花丝色>轴色>穗型>子粒形状。描述性状各级别的频率分布可知,花丝色以黄绿色和杂色居多,深红色最少;花药色绿色最多,其次为浅紫色,深紫色极少;株型中间型居多;轴色浅红色居多;穗型筒形最多,锥形少;子粒偏硬粒型最多,马齿及偏马齿型极少;子粒形状中间型最多,楔形最少;粒色黄色最多,白色、橘黄及橙黄均极少。由此可见,205份玉米种质资源的植株以中间型、花丝黄绿色、花药绿色、果穗筒形、浅红色轴,子粒偏硬粒型、形状中间型、黄色子粒的资源居多。

表3 参试材料8个描述性状的频率及遗传多样性
Table 3 Genetic diversity and frequency of 8 descriptive traits in tested materials

性 状 Trait	多样性指数(H') Diversity index	频 率 Frequency					
		1	2	3	4	5	6
花丝色	1.207	0.444	0.156	0.073	0.327	—	—
花药色	1.216	0.429	0.346	0.137	0.088	—	—
株 型	0.858	0.161	0.673	0.166	—	—	—
轴 色	1.085	0.307	0.410	0.283	—	—	—
穗 型	1.033	0.463	0.356	0.180	—	—	—
粒 型	1.307	0.278	0.385	0.268	0.034	0.034	—
子粒形状	0.974	0.346	0.132	0.522	—	—	—
粒 色	1.460	0.078	0.180	0.463	0.185	0.054	0.039

2.1.2 数量性状的主要参数和多样性指数

对205份种质资源的12个数量性状进行统计分析发现(表4),各性状之间的变异系数以及遗传多样性指数(H')均存在较大差异。 H' 范围在1.522~2.076,平均值1.961,其中,穗长的 H' 最大,为2.076;穗行数的 H' 最小,为1.522;其余10个性状的 H' 排序依次为苞叶层数>株高>千粒重>穗粗>轴粗>穗位

高>出籽率>行粒数>单株粒干重>单株穗干重,变异系数范围在11.20%~49.16%,平均值22.70%。其中,穗粗的变异系数最小,为11.20%;单株粒干重的变异系数最大,为49.16%;其余10个性状的变异系数排序依次为出籽率<株高<轴粗<苞叶层数<穗行数<千粒重<穗长<穗位高<行粒数<单株穗干重。变异系数大于10%,被认为样本间差异较大^[17],本研究

中的12个数量性状的变异系数均大于10%,表明这些性状离散程度高,遗传差异较大。205份资源的千粒重变异幅度最大,最大值为375.10 g,最小值为98.70 g;单株穗干重的变异幅度其次,最大值为255.16 g,最小值为9.20 g;株高的变异幅度为116.60 cm,最矮123.30 cm;穗位高的变异幅度为

75.90 cm,最低32.50 cm;苞叶层数的变异幅度为4.0层,最少3.2层,最多7.2层。通过分析,这些数量性状有着丰富的遗传多样性,可初步筛选出一批矮秆、穗位低、千粒重高、单株穗粒重高、苞叶层数少的优异种质资源。

表4 参试材料12个数量性状的变异分析及遗传多样性分析
Table 4 Genetic diversity and variation analysis of 12 quantitative traits in tested materials

性 状 Trait	最小值 Min.	最大值 Max.	极 差 Range	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数(%) CV	多样性指数(<i>H'</i>) Diversity index
株高(cm)	123.30	239.90	116.60	173.37	23.59	13.61	2.062
穗位高(cm)	32.50	108.40	75.90	62.46	14.59	23.36	2.025
苞叶层数(层)	3.20	7.20	4.00	5.24	0.81	15.45	2.074
穗长(cm)	5.90	21.50	15.60	13.44	2.76	20.51	2.076
穗粗(cm)	3.00	5.12	2.12	3.76	0.42	11.20	2.036
穗行数(行)	8.00	22.00	14.00	13.90	2.42	17.43	1.522
行粒数(粒)	9.00	52.00	43.00	21.70	7.21	33.25	1.980
轴粗(cm)	1.44	3.24	1.80	2.26	0.31	13.63	2.031
单株穗干重(g)	9.20	255.16	245.96	79.44	34.06	42.87	1.836
单株粒干重(g)	5.27	218.19	212.92	60.32	29.65	49.16	1.837
出籽率(%)	45.69	93.89	48.20	74.57	8.73	11.70	2.007
千粒重(g)	98.70	375.10	276.40	248.60	50.12	20.16	2.051

2.1.3 品质性状的主要参数和多样性指数

对205份资源的3个品质性状进行统计分析发现(表5),粗脂肪含量及粗蛋白质含量的遗传多样性指数(*H'*)相同,总淀粉含量最小;变异系数只有粗脂肪含量超过10%,由此可见,205份资源中粗脂肪含量存在着丰富的遗传变异。参照高油玉米、优质蛋

白玉米、高淀粉玉米划分标准,205份资源中有23份资源粗脂肪含量达到3级标准;55份资源总淀粉含量达到3级标准、5份资源达到2级标准;14份资源粗蛋白质含量达到3级标准、45份达到2级标准、147份达到1级标准,说明粗蛋白质含量的遗传潜力较大。

表5 参试材料3个品质性状的变异分析及遗传多样性分析
Table 5 Genetic diversity and variation analysis of 3 qualitative traits in tested materials %

性 状 Trait	最小值 Min.	最大值 Max.	极 差 Range	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数 CV	多样性指数(<i>H'</i>) Diversity index
粗蛋白质含量	9.02	14.28	5.26	11.67	1.13	9.67	2.081
粗脂肪含量	3.67	7.09	3.42	5.15	0.63	12.25	2.081
总淀粉含量	63.88	74.64	10.76	70.78	1.92	2.72	2.004

2.2 相关性分析

2.2.1 数量性状相关性分析

对12个数量性状进行相关性分析发现(表6),大部分性状之间存在显著($P<0.05$)相关性或极显著($P<0.01$)相关性,其中,株高与穗位高、单株穗干重、单株粒干重、千粒重均呈极显著正相关,与穗长呈显著正相关;穗位高与单株穗干重呈极显著正相关,与穗长、单株粒干重、千粒重呈显著正相关,与行粒数、

出籽率呈显著正相关;穗长与行粒数、单株穗干重、单株粒干重、出籽率呈极显著正相关,与穗粗、千粒重均呈显著正相关;穗粗与穗行数、轴粗、单株穗干重、单株粒干重、千粒重均呈极显著正相关;穗行数与行粒数、轴粗、单株穗干重、单株粒干重、出籽率、苞叶层数都呈极显著正相关;行粒数与单株穗干重、单株粒干重、出籽率呈极显著正相关;轴粗与单株穗干重、单株粒干重、苞叶层数呈极显著正相关,与千

粒重呈显著正相关;单株穗干重与单株粒干重、出籽率、千粒重均呈极显著正相关;单株粒干重与出籽率、千粒重呈极显著正相关;出籽率与苞叶层数呈极显著正相关。相关性分析反映了12个表型性状之间既相互独立又相互影响,株高与穗位高及与产量相关的性状呈极显著正相关,穗行数及轴粗均与苞叶层数极显著正相关。由此可见,为满足机收粒玉米产业需求,应在兼顾产量的同时,适当降低株高、穗位高,有利于选育抗倒伏品种;选育轴细、苞叶层数少的果穗,有利于子粒快速脱水,适于机械化收获。

表6 参试材料12个数量性状的相关性分析
Table 6 The correlation analysis of 12 quantitative traits in tested materials

性 状 Trait	相关系数 Correlation coefficient											
	株 高	穗位高	穗 长	穗 粗	穗行数	行粒数	轴 粗	单株穗	单株粒	出籽率	千粒重	苞叶层数
	PH	EH	EL	ED	KRN	KNR	CD	干重 EDW	干重 GDW	GYR	TGW	HL
株 高	1.000											
穗位高	0.608**	1.000										
穗 长	0.151*	0.148*	1.000									
穗 粗	0.131	0.131	0.144*	1.000								
穗行数	0.114	0.079	0.104	0.350**	1.000							
行粒数	0.097	0.128	0.607**	0.150*	0.206**	1.000						
轴 粗	0.106	0.063	0.128	0.603**	0.406**	0.011	1.000					
单株穗干重	0.219**	0.191**	0.580**	0.602**	0.292**	0.666**	0.362**	1.000				
单株粒干重	0.190**	0.142*	0.558**	0.578**	0.300**	0.669**	0.325**	0.977**	1.000			
出籽率	-0.021	-0.067	0.202**	0.162*	0.210**	0.353**	0.061	0.360**	0.531**	1.000		
千粒重	0.210**	0.170*	0.148*	0.440**	-0.195**	-0.080	0.176*	0.385**	0.354**	0.001	1.000	
苞叶层数	0.023	0.035	0.100	0.131	0.240**	0.079	0.196**	0.099	0.121	0.190**	0.003	1.000

注:*代表在0.05水平上显著相关;**代表在0.01水平上显著相关。下表同。
Note: * represents significant correlation at $P<0.05$; **represents significant correlation at $P<0.01$. The same below.

2.2.2 品质性状相关性分析
对3个质量性状进行相关性分析发现(表7),子粒中粗蛋白质含量及粗脂肪含量均与总淀粉含量呈极显著负相关;粗蛋白质含量与粗脂肪含量呈显著负相关。

表7 参试材料3个品质性状的相关性分析
Table 7 Correlation analysis of 3 qualitative traits in tested materials

性 状 Trait	相关系数 Correlation coefficient		
	粗蛋白质含量 CPC	粗脂肪含量 CFC	总淀粉含量 TSC
粗蛋白质含量	1.000		
粗脂肪含量	-0.179*	1.000	
总淀粉含量	-0.420**	-0.311**	1.000

2.3 聚类分析
对15个数量性状进行聚类分析(图2),205份玉米种质资源被划分为3类,同时对3个类群玉米种质资源的15个数量性状进行统计(表8)。类群Ⅰ包含23份材料,占有种质资源的11.2%,其主要特征是 高秆大穗型品种,株高、穗位高、穗长、穗粗、穗行数、行粒数、单株穗干重、单株粒干重及千粒重平均值在3个类群中最大,株高、穗长、穗行数、轴粗、千粒重、苞叶层数、粗蛋白、粗脂肪及总淀粉含量的变异系数在3个类群中最小,为高秆、高产、品质优异玉米种质;类群Ⅱ包含104份材料,占有种质资源的50.7%,主要特征是粗脂肪含量在3个类群中最高,

其中有 15 份材料的粗脂肪含量>6.0%,穗长、穗粗、行粒数、轴粗、单株穗干重、单株粒干重、出籽率、粗蛋白、粗脂肪及总淀粉含量的变异系数在 3 个类群中均最大,材料类型丰富,可作为筛选高油材料的亲本材料;类群Ⅲ包含 78 份材料,占有种质资源的 38.1%,主要特征是株高、穗位高、穗长、穗粗、行粒数、单株穗干重、单株粒干重、出籽率、千粒重及苞叶层数等平均值在 3 个类群中最小,可作为矮秆、脱水快品种选育的亲本材料。

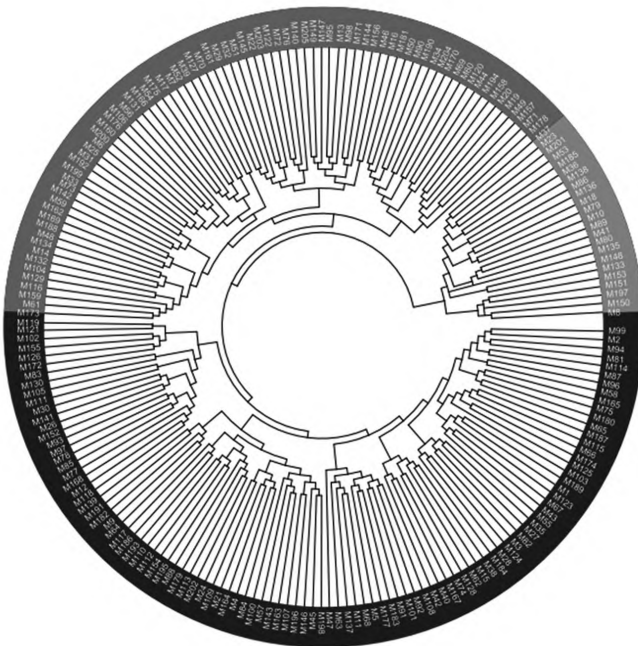


图2 基于 15 个数量性状的聚类分析
Fig.2 Clustering analysis based on 15 quantitative traits

表8 3 个类群玉米表型性状的平均值及变异系数
Table 8 Average values and variation coefficient of phenotypic traits in 3 maize groups

性 状 Trait	类 群 Group					
	I		II		III	
	平均值 Mean	变异系数(%) CV	平均值 Mean	变异系数(%) CV	平均值 Mean	变异系数(%) CV
株高(cm)	217.90	5.3	178.60	6.0	149.70	7.1
穗位高(cm)	84.80	19.6	65.20	17.2	51.80	15.6
穗长(cm)	14.00	18.5	13.70	20.4	12.90	18.9
穗粗(cm)	3.84	10.6	3.78	11.8	3.70	10.1
穗行数(行)	14.70	12.7	13.90	16.8	13.80	19.0
行粒数(粒)	23.00	27.6	22.60	37.1	20.40	27.0
轴粗(cm)	2.34	12.3	2.24	15.2	2.27	12.4
单株穗干重(g)	90.80	41.7	83.70	47.5	70.80	27.4
单株粒干重(g)	68.00	43.4	63.60	54.7	53.60	32.7
出籽率(%)	73.90	11.8	74.40	12.5	74.80	9.8
千粒重(g)	263.20	18.0	251.50	20.9	238.60	18.5
苞叶层数(层)	5.30	12.0	5.30	14.9	5.20	17.3
粗蛋白质含量(%)	11.81	8.4	11.58	10.5	11.76	8.9
粗脂肪含量(%)	5.18	11.8	5.21	12.5	5.07	11.9
总淀粉含量(%)	70.14	2.4	70.79	2.8	70.95	2.7

2.4 主成分分析

通过对 205 份玉米种质资源主成分分析发现(表 9), 15 个数量性状的信息集中在前 5 个主成分中, 累积贡献率为 69.795%, 表示这 5 个主成分可以代表 205 份资源 15 个性状 69.795% 的遗传信息。其中, 主成分 1 的特征值和贡献率分别为 4.199% 和 27.994%, 载荷较高的为单株穗干重、单株粒干重、行粒数、穗长、穗粗, 第 1 主成分为子粒产量构成因子; 主成分 2 的特征值和贡献率分别为 2.120% 和 14.131%, 载荷较高的正系数为穗粗、轴粗, 主成分 2 主要为果穗构成因子; 主成分 3 的特征值和贡献率分别为 1.607% 和 10.712%, 载荷较高的系数为株高、穗位高, 第 3 主成分为株型因子; 主成分 4 的特征值和贡献率分别为 1.372% 和 9.145%, 载荷系数较高的为粗脂肪含量和穗行数, 主成分 4 综合了果穗性状和品质性状; 主成分 5 的特征值和贡献率分别为 1.172% 和 7.814%, 载荷系数较大的正系数为总淀粉含量, 载荷较大的负系数为粗脂肪含量, 粗脂肪含量对总淀粉含量起着一定的负影响。

2.5 玉米种质资源综合评价

通过玉米种质资源 15 个农艺性状所对应的主成分值为系数构建线性方程:

$$y_1=0.069X_1+0.061X_2+0.152X_3+0.152X_4+0.099X_5+$$

$$0.170X_6+0.107X_7+0.223X_8+0.225X_9+0.120X_{10}+0.080X_{11}+0.054X_{12}-0.079X_{13}+0.009X_{14}+0.057X_{15};$$

$$y_2=0.201X_1+0.195X_2-0.084X_3+0.222X_4+0.059X_5-0.219X_6+0.223X_7+0.019X_8-0.019X_9-0.172X_{10}+0.224X_{11}+0.026X_{12}+0.268X_{13}-0.029X_{14}-0.287X_{15};$$

$$y_3=0.370X_1+0.381X_2+0.158X_3-0.205X_4-0.252X_5+0.129X_6-0.298X_7+0.021X_8-0.001X_9-0.093X_{10}+0.072X_{11}-0.189X_{12}-0.095X_{13}+0.197X_{14}-0.081X_{15};$$

$$y_4=0.142X_1+0.127X_2-0.057X_3-0.079X_4+0.396X_5+0.041X_6+0.067X_7-0.107X_8-0.075X_9+0.139X_{10}-0.431X_{11}+0.270X_{12}-0.035X_{13}+0.416X_{14}-0.226X_{15};$$

$$y_5=0.273X_1+0.327X_2-0.007X_3-0.117X_4+0.237X_5+0.056X_6+0.067X_7-0.101X_8-0.139X_9-0.164X_{10}-0.191X_{11}+0.182X_{12}-0.010X_{13}-0.557X_{14}+0.398X_{15};$$

式中, $X_1 \sim X_{15}$ 分别表示 15 个表型性状的标准化值。

利用模糊隶属函数将 5 个主成分的得分归一化处理, 计算 5 个主成分权重系数(0.401、0.202、0.153、0.131、0.112), 计算各种质材料的综合得分 F 值, F 值 $=0.401y_1+0.202y_2+0.153y_3+0.131y_4+0.112y_5$ 。运用 F 值对每份材料进行综合评价, F 值越大, 表型综合性状越好, 最终筛选出 10 份种质为综合性状优异的种质(表 10)。

表 9 参试材料 15 个数量性状的主成分分析
Table 9 Principal component analysis of 15 phenotypic traits in tested materials

表型性状 Phenotypic trait	主成分 1 Principal component 1	主成分 2 Principal component 2	主成分 3 Principal component 3	主成分 4 Principal component 4	主成分 5 Principal component 5
株 高	0.069	0.201	0.370	0.142	0.273
穗位高	0.061	0.195	0.381	0.127	0.327
穗 长	0.152	-0.084	0.158	-0.057	-0.007
穗 粗	0.152	0.222	-0.205	-0.079	-0.117
穗行数	0.099	0.059	-0.252	0.396	0.237
行粒数	0.170	-0.219	0.129	0.041	0.056
轴 粗	0.107	0.223	-0.298	0.067	0.067
单株穗干重	0.223	0.019	0.021	-0.107	-0.101
单株粒干重	0.225	-0.019	-0.001	-0.075	-0.139
出籽率	0.120	-0.172	-0.093	0.139	-0.164
千粒重	0.080	0.224	0.072	-0.431	-0.191
苞叶层数	0.054	0.026	-0.189	0.270	0.182
粗蛋白质含量	-0.079	0.268	-0.095	-0.035	-0.010
粗脂肪含量	0.009	-0.029	0.197	0.416	-0.557
总淀粉含量	0.057	-0.287	-0.081	-0.226	0.398
特征值(%)	4.199	2.120	1.607	1.372	1.172
贡献率(%)	27.994	14.131	10.712	9.145	7.814
累积贡献率(%)	27.994	42.125	52.837	61.981	69.795

表 10 10份优异玉米种质资源综合评价 *F* 值与排名
Table 10 Comprehensive evaluation *F* value and ranking of 10 maize germplasm resources

编 号	种质名称	<i>F</i> 值	排 名	编 号	种质名称	<i>F</i> 值	排 名
No.	Germplasm name	<i>F</i> value	Ranking	No.	Germplasm name	<i>F</i> value	Ranking
M41	朝9	0.986	1	M201	AR228	0.879	6
M195	75-221	0.947	2	M185	CH591-36	0.874	7
M133	F520	0.938	3	M88	NN14BHt2	0.823	8
M63	CH593-17	0.917	4	M135	Va38	0.819	9
M11	A427	0.907	5	M23	RN6Ht1A	0.804	10

3 讨 论

作为种质评价和利用的基础,遗传多样性可为基因资源的发掘提供必要信息,表型性状可为解析复杂性状提供重要依据^[18, 19]。研究种质资源遗传多样性的常用检测方式有表型性状分析、染色体分析、DNA 分子标记等^[20, 21]。表型性状具有稳定性和变异性,是植物基因型与所处环境的综合体现,根据表现型的差异来反映基因型差异,最为直观、简单和经济,因此被广泛运用^[22, 23]。本研究选用 23 个表型性状对 205 份玉米种质资源的遗传多样性进行分析,通过综合得分 *F* 值评价玉米种质资源并筛选优异种质。

3.1 205 份玉米种质资源表型性状的遗传差异

本研究对 23 个表型性状进行分析,结果表明,15 个数量性状均表现出不同程度的遗传变异,除粗蛋白质含量和总淀粉含量的变异系数<10.00%以外,其余数量性状的变异系数变幅为 11.20%~49.16%,其中,单株穗干重、行粒数、穗位高、穗长、千粒重的变异系数均在 20.00%以上,说明这些数量性状具有较大的变异程度,表现出较高的表型多样性;粗蛋白质含量和总淀粉含量的变异系数较小,说明供试的 205 份玉米种质资源的两个品质性状相对较为稳定^[24]。遗传多样性研究结果表明,8 个描述性状的遗传多样性指数(*H'*)变幅为 0.858~1.460;15 个数量性状的 *H'* 变幅为 1.522~2.081。供试的 205 份玉米种质拥有较大的遗传差异,这有利于拓宽遗传基础以及优异玉米种质资源的筛选。

3.2 玉米种质资源表型性状综合评价

通过相关性分析结果表明,株高及穗位高对子粒产量起着重要的作用,若筛选抗倒伏品种必须在兼顾产量的同时适当降低株高。3 个品质性状之间呈显著或极显著负相关,且 205 份玉米资源的粗蛋白质含量均达到优质蛋白玉米标准,说明粗蛋白质

含量的遗传潜力较大,为高蛋白玉米育种提供了丰富的遗传资源。通过聚类分析发现,以 15 个数量性状为依据,可将 205 份种质资源划分为 3 类,类群 I 包含 23 份种质,其主要特征是高秆大穗型品种;类群 II 包含 104 份材料,主要特征是粗脂肪含量在 3 个类群中最高,穗长等 9 个数量性状的变异系数在 3 个类群中均最大,材料类型丰富,可作为筛选高油材料的亲本材料;类群 III 包含 78 份种质,主要特征是株高、穗位高、苞叶层数等 10 个数量性状平均值在 3 个类群中最小,可作为矮秆、脱水快品种选育的亲本材料,该分类结果可为不同育种目标提供参考和选择依据。

通过主成分分析发现,15 个数量性状的信息集中在前 5 个主成分中,累积贡献率为 69.795%,载荷较高的为子粒产量构成因子,株型、果穗及品质性状也起着一定的作用。结合隶属函数法与主成分分析对种质资源进行综合评价,依据 15 个表型性状在主成分中的贡献率权重来计算综合得分(*F* 值),最终筛选出综合性状表现优异的玉米种质资源 10 份。评价结果表明,朝 9 综合值最高,其余 9 份种质依次为 75-221、F520、CH593-17、A427、AR228、CH591-36、NN14BHt2、Va38、RN6Ht1A。

参考文献:

[1] 孟祥勋. 生物科学中的种质资源学[J]. 生物学通报, 2002, 37(6): 22-24.
MENG X X. Germplasm resources in the biological sciences[J]. Bulletin of Biology, 2002, 37(6): 22-24. (in Chinese)
[2] 董玉琛, 刘旭. 中国作物野生近缘植物及其保护[A]//中国科学院生物多样性委员会. 生物多样性与人类未来-第二届全国生物多样性保护与持续利用研讨会论文集[C]. 北京: 中国林业出版社, 1998: 24-29.
[3] MESSMER R, FRACHEBOUD Y, B NZIGER M, et al. Drought stress and tropical maize: QTL-by-environment interactions and stability of QTLs across environments for yield components and secondary traits[J]. Theoretical and Applied Genetics, 2009, 119(5): 913-930.

- [4] NORMILE D. Variety spices up Chinese rice yield[J]. Science, 2000, 289: 1119–1120.
- [5] 张世煌, 彭泽斌, 李新海. 玉米杂种优势与种质扩增、改良和创新[J]. 中国农业科学, 2000, 33(增刊): 34–39.
ZHANG S H, PENG Z B, LI X H. Heterosis of maize, enhancement, improvement and development of germplasm resources[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2000, 33(S): 34–39. (in Chinese)
- [6] 潘光堂, 杨克诚. 我国西南地区玉米育种面临的挑战及相应对策探讨[J]. 作物学报, 2012, 38(7): 1141–1147.
PAN G T, YANG K C. Facing toward challenges and corresponding strategies for maize breeding in southwestern region of China[J]. Acta Agronomica Sinica, 2012, 38(7): 1141–1147. (in Chinese)
- [7] 吴元奇, 郑灵, 荣廷昭. 西南地区白玉米地方种质资源分布及遗传多样性[J]. 草业学报, 2013, 22(4): 160–169.
WU Y Q, ZHENG L, RONG T Z. Distribution and genetic diversity of white maize germplasm resources in southwest China[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2013, 22(4): 160–169. (in Chinese)
- [8] 刘志斋, 吴迅, 刘海利, 等. 基于40个核心SSR标记揭示的820份中国玉米重要自交系的遗传多样性与群体结构[J]. 中国农业科学, 2012, 45(11): 2107–2138.
LIU Z Z, WU X, LIU H L, et al. Genetic diversity and population structure of important Chinese maize inbred lines revealed by 40 core simple sequence repeats(SSRs)[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2012, 45(11): 2107–2138. (in Chinese)
- [9] 杨玉蓉, 孙建昌, 王兴盛, 等. 宁夏不同年代水稻品种的遗传多样性比较[J]. 植物遗传资源学报, 2014, 15(3): 457–464.
YANG Y R, SUN J C, WANG X S, et al. Comparative analysis of genetic diversity for different period rice varieties in Ningxia[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2014, 15(3): 457–464. (in Chinese)
- [10] 刘巧, 李自超, 史延丽, 等. 利用SSR标记进行梗稻品种的遗传多样性研究[J]. 西南农业学报, 2005, 18(5): 509–513.
LIU Q, LI Z C, SHI Y L, et al. Genetic diversity of Japonica rice varieties based on SSR markers[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2005, 18(5): 509–513. (in Chinese)
- [11] 甘晓燕, 李苗, 关雅静, 等. 宁夏89份梗稻种质资源遗传多样性的SSR分析[J]. 西北植物学报, 2009, 29(9): 1772–1778.
GAN X Y, LI M, GUAN Y J, et al. Genetic diversity of 89 Japonica rice varieties in Ningxia province by using SSR[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2009, 29(9): 1772–1778. (in Chinese)
- [12] 马静, 孙建昌, 王兴盛, 等. 宁夏水稻选育品种遗传多样性和亲缘关系分析[J]. 西北植物学报, 2011, 31(5): 929–934.
MA J, SUN J C, WANG X S, et al. Genetic diversity and genetic relationship of inbred japonica rice varieties in Ningxia[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2011, 31(5): 929–934. (in Chinese)
- [13] 陈越, 张敦宇, 丁明亮, 等. 多个省份水稻资源的表型多样性与优异资源的筛选[J]. 浙江农业学报, 2019, 31(11): 1779–1789.
CHEN Y, ZHANG D Y, DING M L, et al. Phenotypic diversity of rice resources in multiple provinces and screening of excellent resources[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2019, 31(11): 1779–1789. (in Chinese)
- [14] 石云素, 黎裕, 王天宇, 等. 玉米种质资源描述规范和数据标准[M]. 中国农业出版社, 2006.
- [15] 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.
ZHAO X N, LI G Y, LIU Y, et al. Genetic diversity and correlation analysis of main agronomic characters in domestic and foreign sweet sorghum germplasm[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2008, 9(3): 302–307. (in Chinese)
- [16] SHANNON C E. A mathematical theory of communication[J]. ACM Sigmoble Mobile Computing and Communications Review, 2001, 5(1): 3–55.
- [17] 田朋佳, 廖文华, 高小丽, 等. 140份西藏大麦种质资源遗传多样性分析[J]. 西南农业学报, 2022, 35(1): 16–26.
TIAN P J, LIAO W H, GAO X L, et al. Genetic diversity analysis of 140 barley germplasm resources in Tibet[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2022, 35(1): 16–26. (in Chinese)
- [18] CAMPBELL D R. Using phenotypic manipulations to study multivariate selection of floral trait associations[J]. Ann Bot, 2009, 103: 1557–1566.
- [19] SOLERI D, CLEVELAND D A. Farmer selection and conservation of crop varieties[J]. In: Goodman R M ed. Encyclopedia of Plant and Crop Science. Marcel Dekker, New York: Marcel Dekker Incorporated, 2004: 433–438.
- [20] 刘新龙, 蔡青, 吴才文, 等. 甘蔗品种资源的表型遗传多样性[J]. 生物多样性, 2010, 18(1): 37–43.
LIU X L, CAI Q, WU C W, et al. Phenotypic diversity of sugarcane variety germplasm[J]. Biodiversity Science, 2010, 18(1): 37–43. (in Chinese)
- [21] 蔡一林, 刘志斋, 王天宇, 等. 国内部分玉米地方品种的品质与农艺性状的表型多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2011, 12(1): 31–36.
CAI Y L, LIU Z Z, WANG T Y, et al. Phenotypic diversity analysis of quality and agronomy traits of maize landraces selected from the collection of China National Genebank[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2011, 12(1): 31–36. (in Chinese)
- [22] 李凌雨, 阎彩清, 邢亚静, 等. 中国玉米自交系植株性状分析[J]. 玉米科学, 2002, 10(4): 5–7.
LI L Y, YAN C Q, XING Y J, et al. Character analysis of Chinese maize inbred lines[J]. Journal of Maize Sciences, 2002, 10(4): 5–7. (in Chinese)
- [23] 刘玉旭, 王黎明, 刘必善, 等. 西南地区玉米杂交种主要生物性状分析[J]. 玉米科学, 2003, 11(3): 42–44.
LIU Y X, WANG L M, LIU B S, et al. Analysis on main biological characters of maize hybrid strains in southwest region[J]. Journal of Maize Sciences, 2003, 11(3): 42–44. (in Chinese)
- [24] 张春宇, 秦红珍, 林凤. 美国玉米杂交种分离后代代表型的多样性[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(20): 76–79.
ZHANG C Y, QIN H Z, LIN F. Phenotypic diversity of isolated offspring of maize hybrids in the United States[J]. Journal of Jiangsu Agricultural Sciences, 2017, 45(20): 76–79. (in Chinese)

(责任编辑: 朴红梅)