

重庆玉米地方品种表型多样性分析

董 昕¹, 李淑君¹, 杨 华¹, 官 玲², 付忠军¹, 祁志云¹, 金 川¹,
余雪源³, 易红华¹, 陈荣丽¹, 张丕辉¹

(¹重庆市农业科学院玉米研究所, 重庆 401329; ²重庆市农业科学院农业生物技术研究中心, 重庆 401329;

³重庆市农业科学院人力资源处, 重庆 401329)

摘要: 为全面了解重庆玉米地方品种的多样性和类群特点, 本研究对 129 份“第三次全国农作物种质资源普查与收集行动”重庆项目组收集的地方品种的 31 个农艺性状进行两年田间鉴定, 并对其表型多样性进行分析, 利用聚类分析的方法进行类群划分。结果表明, 两年鉴定的农艺性状表型值呈极显著正相关, 调查的 31 个农艺性状中有 16 个性状多样性指数达 2.0 以上, 其中株高的多样性指数最高, 两年鉴定结果分别为 2.07 和 2.08。基于 31 个性状的聚类分析结果将重庆玉米地方品种划分为 3 大类群, 即早熟小粒型、早熟中秆硬粒型和中熟高秆型。早熟小粒型是食用玉米类型, 以糯玉米为主, 还包括爆裂玉米和食用硬粒白玉米; 早熟中秆硬粒型主要为分布于中高山区的白色早熟硬粒品种; 中熟高秆型表现为中熟、高秆、中大果穗。全面分析表明, 重庆玉米地方品种多样性水平较高, 划分的 3 大类群表型特征为重庆玉米地方品种资源的保护以及优异资源的进一步开发利用提供了参考。

关键词: 玉米; 地方品种; 重庆; 表型多样性; 类群

Phenotypic Diversity of Maize Landraces Collected From Chongqing

DONG Xin¹, LI Shu-jun¹, YANG Hua¹, GUAN Ling², FU Zhong-jun¹, QI Zhi-yun¹, JIN Chuan¹,
YU Xue-yuan³, YI Hong-hua¹, CHEN Rong-li¹, ZHANG Pi-hui¹

(¹ Maize Research Institute, Chongqing Academy of Agricultural Sciences, Chongqing 401329; ² Agricultural Biotechnology Research Center, Chongqing Academy of Agricultural Sciences, Chongqing 401329; ³ Human Resources Department, Chongqing Academy of Agricultural Sciences, Chongqing 401329)

Abstract: This study aims to evaluate the phenotypic diversity and the characteristics of 129 maize landraces, which were collected from Chongqing. By performing a two-year field trial, we evaluated the phenotypic variation and calculated the diversity index, i.e. Shannon-Weaver index. All these 129 landraces were subjected for cluster analysis with Ward method based on Euclidean distance of these resources. The phenotypic performances of all 31 traits were significantly positively correlated between two years, and the Shannon-Weaver diversity indices of 16 traits were more than 2.0. The diversity index of plant height exhibited the highest, 2.07 and 2.08 respectively in the year of 2017 and 2018. By clustering, the maize landraces collected from Chongqing were divided into 3 groups, i.e. Group I, early-maturing small-grain genotype, Group II, early-maturing flint genotype with middle stem, and Group III, medium-maturing genotype with high stem. Group I was mainly

收稿日期: 2018-12-02 修回日期: 2018-12-09 网络出版日期: 2018-12-21

URL: <http://www.doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20181202001>

第一作者研究方向为玉米遗传育种, E-mail: dongxinnx53@163.com

通信作者: 张丕辉, 研究方向为农学, E-mail: 2548865552@qq.com

陈荣丽, 研究方向为玉米遗传育种, E-mail: Chenrl-27@163.com

基金项目: 重庆市科委项目 (cstc2018jcsx-mszdX0062, cstc2016shms-ztx80013); 重庆市基本科研业务费 (2016cstc-jbky-00506); 重庆市农业科学院青年创新团队项目 (Nky-2018QC02); 重庆市农发项目 (Nky-2016AA002)

Foundation project: Chongqing Science and Technology Commission Project (cstc2018jcsx-mszdX0062, cstc2016shms-ztx80013), Chongqing Basic Scientific Research Project (2016cstc-jbky-00506), Youth Innovation Team Project of Chongqing Academy of Agricultural Science (Nky-2018QC02), Chongqing Agricultural Development Project (Nky-2016AA002)

consisted of waxy resources that collected from middle altitude regions, Group II mainly contained early-maturing white flint resources from middle and high altitude mountains. And Group III mainly contained medium-maturing genotypes with high stem and larger ears that collected from middle to low altitude regions. In summary, maize landraces collected from Chongqing possess and exhibit three distinctive groups, the phenotypic characterization of which provided informative references for the germplasm protection and future mining and utilization of maize resources for maize breeding particularly in Chongqing.

Key words: maize (*Zea mays* L.); landrace; Chongqing; phenotypic diversity; group classification

玉米是我国重要的粮饲兼用作物,在我国 500 年的栽培历史中经过长期的选择和驯化形成了各具特色的地方品种资源^[1]。地方品种资源是扩充我国玉米种质资源的基础,其中旅大红骨和塘四平头种质的发掘和利用在育种历史的实践中有效缓解了我国玉米种质基础狭窄的矛盾^[2]。

表型多样性是遗传多样性和环境多样性共同作用的产物,是遗传多样性的主要内容之一,通过表型性状的分析,可以系统评价玉米种质资源的遗传多样性和类群划分^[3-4]。在表型多样性研究方面,通过对来自国家种质库收集的玉米地方品种进行分析,结果表明我国西南地区的方品种具有较高的表型多样性^[5-7],通过对重庆和四川地方品种分析表明该区域地方种植株形态水平上存在丰富的遗传变异^[8]。在族群划分方面,曹镇北等^[9]最早开展这方面工作,将中国玉米资源划分为 5 个种族和 4 个可能的类群;刘志斋等^[10]通过对我国核心种质库中收录的地方品种进行表型多样性分析,将我国玉米资源划分为 9 个种族,其中有 3 个种族来源于西南地区。不同研究者进一步对我国各省市的玉米地方品种开展了表型评价、类群划分的工作,为我国玉米地方品种的利用提供了依据^[11-14]。

重庆地处西南地区的腹心地带,地貌以丘陵和山地为主,北边有大巴山、巫山,东面有武陵山,南边有大娄山,高山峡谷纵横,立体气候明显,因而该地区具有较强的生物多样性。由于重庆特殊的地理位置和多样的生态环境,“第三次全国农作物种质资源普查与收集行动”启动以来,重庆被列为首批开展调查的省市之一。重庆市调查队经过 2015-2016 年连续 2 年对重庆 38 个区县的全面调查,收集到 129 份在重庆地区持续种植的玉米地方品种^[15]。

为了系统评价重庆玉米地方品种多样性,了解其类型和特点,本研究于 2017-2018 年对 129 份重庆玉米地方品种的 31 个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,以期为重 庆玉米地方品种表型多样性解析及优异农艺性状的发掘和高效利用提供参考。

1 材料与方 法

1.1 材 料

本试验所用的 129 份玉米地方品种是由“第三次全国农作物种质资源普查与收集行动”重庆项目组于 2015-2016 年通过对该市 38 个区县的系统调查和普查征集所获取,材料的具体来源和信息见表 1。

1.2 田间试验设计

于 2017-2018 年对 129 份玉米地方品种进行了表型评价,每份材料设置 3 次重复,采用完全随机区组试验设计,单行区,行长 3 m,行距 1 m,株距 30 cm,穴播,每穴 2 株,种植密度为 4500 株/667 m²。试验在重庆市九龙坡区皇田试验站进行,试验地海拔 309 m,106.37° E, 29.4° N,亚热带湿润季风气候,年平均气温 18.4 °C,年平均降雨 1151.5 mm,壤土,肥力较高,中等施肥水平、栽培管理同当地大田玉米生产管理。

1.3 性状鉴定

调查的性状共 31 个,包括 8 个质量性状和 23 个数量性状。8 个质量性状分别为雄穗护颖颜色、花药颜色、花丝颜色、穗形、粒型、子粒形状、粒色和轴色。23 个数量性状则包括出苗至抽雄日数、抽雄至开花散粉日数、开花散粉至吐丝日数、吐丝至成熟日数、生育日数、株高、穗位高、雄穗一级分枝数、雄穗长、茎粗、主茎叶片数、上位穗位叶数、上位穗上叶叶长、上位穗上叶叶宽、穗长、穗粗、穗行数、行粒数、轴粗、百粒重、单株穗干重、单株粒干重和出籽率。

性状调查按照《玉米种质资源描述规范和数据标准》^[16]进行,所有数量性状每个品种每次重复调查 10 株,质量性状按照每个试验小区为调查对象,记录 50% 以上的植株或果穗的性状表现。

表 1 重庆玉米地方品种名称和来源

Table 1 Name and origin of maize landraces collected from Chongqing

编号 Code	名称 Name	来源 Origin	编号 Code	名称 Name	来源 Origin
1	大黄	城口县岚天乡	47	大棒苞谷	西阳县李溪镇
2	二黄	城口县岚天乡	48	酉酬黄	西阳县酉酬镇
3	大红苞谷	城口县鸡鸣乡	49	长金黄	西阳县两罾乡
4	潼南白玉米	潼南区五桂镇	50	老红玉米	西阳县两罾乡
5	五桂黄苞谷	潼南区五桂镇	51	白玉米	西阳县两罾乡
6	青岗粘	城口县高楠镇	52	小糯	西阳县两罾乡
7	大白苞谷	城口县岚天乡	53	十年制白苞谷	西阳县木叶乡
8	白花苞谷	城口县鸡鸣乡	54	乌苞谷	西阳县木叶乡
9	青壳早	城口县鸡鸣乡	55	木叶红苞谷	西阳县木叶乡
10	扁玉米	巫山县竹贤乡	56	清泉黄玉米	西阳县清泉乡
11	水白早	巫溪县长桂乡	57	金黄早玉米	彭水鹿角镇
12	油白早	巫溪县中岗乡	58	本地糯玉米	垫江县白家镇
13	野鸡爪	奉节县云雾乡	59	贵州马牙瓣	江津区四面山镇
14	陕西白	巫溪县兰英乡	60	金黄早苞谷	綦江区石壕镇
15	糯米苞谷	巫溪县中岗乡	61	白马牙	綦江区石壕镇
16	小籽黄	巫溪县长桂乡	62	五味白	綦江区石壕镇
17	蛮苞谷	巫溪县长桂乡	63	大黄早	綦江区赶水镇
18	乌苞谷	巫溪县中岗乡	64	紫刺苞谷	綦江区郭扶镇
19	吐祥金黄早	奉节县吐祥镇	65	丁山红苞谷	綦江区丁山镇
20	当阳小籽黄	巫山县当阳乡	66	扁嘴苞谷	綦江区隆盛镇
21	中岗小籽黄	巫溪县中岗乡	67	白糯玉米	綦江区石角镇
22	大籽黄	巫山县当阳乡	68	三黄早	綦江区安稳镇
23	麦子苞谷	奉节县长安乡	69	海南岛玉米	綦江区打通镇
24	铁籽白	巫山县当阳乡	70	九龙山红苞谷	开县九龙山镇
25	东陵白	巫山县邓家乡	71	早白玉米	开县河堰镇
26	长安白玉米	奉节县长安乡	72	紫玉米	开县谭家镇
27	巫溪青壳早	巫溪县长桂乡	73	老红苞谷	开县白泉乡
28	乌云早	奉节县吐祥镇	74	二刨早玉米	开县河堰镇
29	糯白玉米	奉节县云雾乡	75	水白早玉米	开县河堰镇
30	千年不换种	巫溪县长桂乡	76	白苞谷	开县敦好镇
31	金果早	奉节县兴隆镇	77	乌龙早	开县麻柳乡
32	大黄苞谷	奉节县长安乡	78	小米刺苞谷	南川区古花乡
33	白苞谷	石柱县龙潭乡	79	铁秆黄苞谷	南川区古花乡
34	白糯苞谷	石柱县河嘴乡	80	马牙齿	渝北区石船镇
35	小白苞谷	石柱县六塘乡	81	茨竹黄玉米	渝北区茨竹镇
36	都会大白苞谷	石柱县龙潭乡	82	金黄早	涪陵区大木乡
37	早白苞谷	石柱县枫木乡	83	红玉米	涪陵区大木乡
38	大黄玉米	石柱县枫木乡	84	白玉米	涪陵区大木乡
39	小籽糯	石柱县龙潭乡	85	二黄早	万盛经开区关坝镇
40	玉米	黔江区金洞乡	86	万年青	万盛经开区关坝镇
41	白玉米	西阳县双泉乡	87	紫刺苞谷	万盛经开区金桥镇
42	小黄爆玉米	西阳县李溪镇	88	早白玉米	万盛经开区黑山镇
43	小紫爆玉米	西阳县李溪镇	89	大黄玉米	黔江区阿蓬江镇
44	小籽糯苞谷	西阳县李溪镇	90	小黄玉米	黔江区阿蓬江镇
45	糯玉米	西阳县李溪镇	91	高秆大棒	黔江区石家镇
46	白玉米	西阳县李溪镇	92	白玉米	北碚区澄江镇

表 1 (续)

编号 Code	名称 Name	来源 Origin	编号 Code	名称 Name	来源 Origin
93	金黄早	云阳县清水乡	112	二黄早	万盛经开区黑山镇
94	八路苞谷	云阳县清水乡	113	糯玉米	万盛经开区黑山镇
95	白玉米	云阳县鱼泉镇	114	早白苞谷	云阳县桑坪镇
96	妹儿苞谷	梁平县梁山街	115	岐山金黄早	云阳县清水乡
97	白合玉米	梁平县梁山街	116	小黄玉米	云阳县清水乡
98	龙胜红玉米	梁平县龙胜乡	117	黄苞谷	武隆县大洞河乡
99	铁秆苞谷	江津区四面山镇	118	黄苞谷	武隆县黄莺乡
100	贵州白马牙	江津区四面山镇	119	龙池黄苞谷	秀山县龙池镇
101	野鸡爪	云阳县清水乡	120	糯苞谷	合川区隆兴镇
102	小白	云阳县清水乡	121	金黄早	武隆县黄莺乡
103	糯玉米	云阳县农坝镇	122	万年代玉米	万盛经开区石林镇
104	农坝黄苞谷	云阳县农坝镇	123	大白苞谷	万盛经开区黑山镇
105	紫红玉米	云阳县桑坪镇	124	早白玉米	云阳县上坝乡
106	南门大黄苞谷	万盛经开区黑山镇	125	小籽糯苞谷	秀山县梅江镇
107	矮脚铁秆大黄	万盛经开区黑山镇	126	糯苞谷	秀山县梅江镇
108	小黄苞谷	云阳县农坝镇	127	小金黄玉米	云阳县农坝镇
109	金果早玉米	万盛经开区青年镇	128	早白玉米	云阳县农坝镇
110	万年代	万盛经开区黑山镇	129	白花糯	合川区三汇镇
111	白玉米	万盛经开区黑山镇			

1.4 统计分析

1.4.1 Shannon-Weaver 多样性指数 数量性状根据每个性状的平均观测值 (\bar{x}) 和标准差 (σ), 按照 $\bar{x} \pm k\sigma$ (其中 $k = 0, 0.5, 1, 1.5, 2$) 将每一性状的观测值划分为 10 个等级 (表 2), 质量性状按照标准化代码进行分级 (表 3), 分级后的数据按照公式 $H' = -\sum_{i=1}^n P_i \times \ln(P_i)$ 计算 Shannon-Weaver 多样性指数, 其中, P_i 表示某性状第 i 等级的分布频率, 该频率为处于第 i 等级的材料个数占总材料之比。

表 2 性状观测值的等级划分

Table 2 Classification of phenotypic of traits

等级 Class	性状观测值 Phenotypic observation
1	$x_1 < \bar{x} - 2\sigma$
2	$\bar{x} - 2\sigma \leq x_2 < \bar{x} - 1.5\sigma$
3	$\bar{x} - 1.5\sigma \leq x_3 < \bar{x} - \sigma$
4	$\bar{x} - \sigma \leq x_4 < \bar{x} - 0.5\sigma$
5	$\bar{x} - 0.5\sigma \leq x_5 < \bar{x}$
6	$\bar{x} \leq x_6 < \bar{x} + 0.5\sigma$
7	$\bar{x} + 0.5\sigma \leq x_7 < \bar{x} + \sigma$
8	$\bar{x} + \sigma \leq x_8 < \bar{x} + 1.5\sigma$
9	$\bar{x} + 1.5\sigma \leq x_9 < \bar{x} + 2\sigma$
10	$x_{10} \geq \bar{x} + 2\sigma$

1.4.2 性状分析 利用 Excel (2007) 分别计算 129 份地方品种在 2017 年和 2018 年各性状 3 个重复下的观测平均值, 并利用 R 语言软件 (3.4.2) 对两年 129 份地方品种的观测平均值进行相关性分析。同时基于 2017 年和 2018 年所有地方品种的观测平均值, 利用 R 语言软件 (3.4.2) 计算各性状的最大值、最小值、平均值、标准差、变异系数和 Shannon-Weaver 多样性指数。利用 R 语言软件 (3.4.2), 基于调查的 31 个性状, 采用欧氏距离作为地方品种间距离, 离差平方和 (Ward method) 法进行聚类分析。

2 结果与分析

2.1 重庆玉米地方品种在质量性状上的表型多样性

从 8 个质量性状的表型分析来看 (表 3), 129 份地方品种共观测到 13 种籽粒颜色, 其中白色所占比例最大, 为 47.29%, 其次为黄色、橙黄色和红色, 而浅黄、橘黄、紫色、黑色、白血丝、黄血丝、黄粒红斑、顶白和花色少量存在; 该性状的表型多样性指数为 1.53。粒型有 5 种, 多样性指数为 1.42, 其中硬粒型所占比例最大, 为 40.31%, 其次为中间型、糯质型和马齿型, 爆裂型最少。子粒形状主要为中间型和圆形, 楔形较少; 穗形和轴色多样性指数低, 穗形以柱形为主, 其次为锥形, 扁形极少; 轴色以白色为主, 浅红和红色较少。

表 3 重庆地方品种质量性状多样性

Table 3 Shannon-Weaver index of 8 qualitative traits among maize landraces collected from Chongqing

标准化代码 Standard code	雄穗护颖颜色		花药颜色		花丝颜色		穗形		粒型		子粒形状		轴色		粒色	
	Tassel color		Anther color		Silk color		Ear shape		Kernel type		Kernel shape		Cob color		Kernel color	
	比例		比例		比例		比例		比例		比例		比例		比例	
	类型	(%)	类型	(%)	类型	(%)	类型	(%)	类型	(%)	类型	(%)	类型	(%)	类型	(%)
Type	Percent	Type	Percent	Type	Percent	Type	Percent	Type	Percent	Type	Percent	Type	Percent	Type	Percent	
	age	age	age	age	age	age	age	age	age	age	age	age	age	age	age	
1	绿色	50.39	绿色	51.16	黄绿色	46.51	柱形	86.05	硬粒型	40.31	圆形	42.64	白	89.92	白	47.29
2	绿带 紫纹	37.98	浅紫色	31.78	浅红色	43.41	锥形	12.40	马齿型	13.18	楔形	12.40	浅红	6.20	浅黄	3.10
3	紫色	11.63	紫色	14.73	深红色	10.08	扁形	1.55	中间型	25.58	中间型	44.96	红	3.88	黄	13.95
4			深紫色	2.33					糯质型	16.28					橙黄	13.18
5									爆裂型	4.65					橘黄	2.33
6															红	8.53
7															紫	3.10
8															黑	0.78
9															白血丝	1.55
10															黄血丝	2.33
11															黄粒红 斑	0.78
12															顶白	0.78
13															花色	2.33
多样性指数 H'	0.96		1.08		0.95		0.40		1.42		0.98		0.39		1.53	

雄穗护颖颜色、花药和花丝颜色多样性指数较低,雄穗护颖颜色以绿色和绿带紫纹为主,紫色较少;花药颜色以绿色为主,其次为浅紫色,紫色和深紫色较少;花丝颜色以黄绿色和浅红色为主,深红色较少。

2.2 重庆玉米地方品种在数量性状上的表型多样性

基于 23 个数量性状,对两年鉴定结果进行相关性分析(表 4),结果显示各性状两年的观察值之间的相关系数在 0.61~0.94 之间,均呈极显著正相关($P<0.001$),说明本研究所分析的 129 份地方品种在 2017 年和 2018 年两年的鉴定结果较为一致。23 个数量性状中,有 16 个性状两年的多样性指数均 ≥ 2.00 ,表明重庆玉米地方品种具有较丰富的变异类型。

生育期与花期相关的 6 个性状表现上,重庆玉米地方品种以中早熟品种为主,全生育期为 92~129 d。出苗至抽雄日数、吐丝至成熟日数和生育日数多样性指数分别为 2.01~2.08,多样性水平较

高,而抽雄至开花散粉日数和开花散粉至吐丝日数多样性水平较低。

田间农艺性状方面,重庆玉米地方品种的株高、穗位高、雄穗一级分枝数、雄穗长、主茎叶片、上位穗上叶叶长和叶宽的变异系数较稳定,多样性指数较高,分别为 2.00~2.11。在所调查的数量性状中,其中株高在 2 年间的多样性水平最高,其多样性指数分别为 2.07 和 2.08;而雄穗一级分枝数变异系数最大,该性状 2 年间多样性指数分别为 2.05 和 2.04。这些性状的表型多样性分析结果表明,重庆地方品种的田间农艺性状差异较大,蕴藏着丰富的变异。

在 9 个穗粒相关产量性状方面,穗长、穗粗、行粒数、轴粗、单株穗干重、单株粒干重的多样性指数为 2.00~2.09,出籽率和百粒重的多样性指数略低,为 1.91~1.98,而穗行数多样性指数最低,该性状 2 年间多样性指数分别为 1.29 和 1.28。这表明重庆玉米地方品种除穗行数变异较低外,其他穗粒相关性状均蕴藏着较丰富的变异类型。

表4 重庆玉米地方品种的数量性状多样性

Table 4 Shannon-Weaver index of 23 quantitative traits among maize landraces collected from Chongqing

性状 Traits	2017 年鉴定 Phenotyping in 2017						2018 年鉴定 Phenotyping in 2018						2 年间性状 相关系数 Correlation coefficient between 2017 and 2018
	最小值 Min.	最大值 Max.	平均值 Average	标准差 SD	变异系 数(%) CV	多样性 指数 H'	最小值 Min.	最大值 Max.	平均值 Average	标准差 SD	变异系 数(%) CV	多样性 指数 H'	
出苗至抽雄日数(d) DFSETT	46	68	56.26	4.00	7.13	2.05	47	72	58.27	4.21	7.23	2.02	0.83***
抽雄至开花散粉日数 (d)TAI	0	5	2.46	0.88	35.98	1.19	0	5	2.15	0.89	41.61	1.18	0.61***
开花散粉至吐丝日数 (d)ASI	-1	5	1.82	1.16	63.80	1.53	-2	7	1.80	1.49	82.64	1.66	0.70***
吐丝至成熟日数 (d)SMI	32	52	42.17	4.36	10.33	2.03	29	50	37.11	4.03	10.84	2.04	0.67***
生育日数(d)DFSTM	92	128	110.11	6.74	6.12	2.01	94	129	109.36	6.19	5.66	2.08	0.89***
雄穗一级分枝数 PTBN	5	25	14.40	4.44	30.82	2.05	6	28	14.94	4.66	31.16	2.04	0.94***
雄穗长(cm)TL	23.0	50.2	35.15	5.24	14.90	2.05	21.7	54.8	35.74	6.09	17.03	2.04	0.90***
株高(cm)PH	160.0	347.2	259.18	33.58	12.96	2.07	154.7	337.2	249.96	38.74	15.50	2.08	0.79***
穗位高(cm)EH	68.3	200.8	120.70	22.34	18.51	2.04	53.3	187.0	112.24	24.03	21.40	2.06	0.76***
茎粗(cm)SD	1.18	2.43	1.83	0.23	12.53	1.93	1.13	2.78	1.86	0.30	16.28	2.04	0.74***
主茎叶片数LNOS	9	20	14.58	2.04	13.98	2.00	10	20	14.50	2.11	14.59	2.11	0.88***
上位穗位叶数NOLUE	3	8	5.09	0.84	16.49	1.17	3	8	5.16	0.78	15.04	1.11	0.65***
上位穗上叶叶长(cm) LLOUE	63.4	113.6	85.77	8.31	9.69	2.05	56.8	102.3	83.61	7.94	9.50	2.04	0.74***
上位穗上叶叶宽(cm) LWOUE	6.0	12.5	8.78	1.13	12.92	2.00	5.5	11.3	8.35	1.12	13.38	2.06	0.75***
穗长(cm)EL	9.8	23.8	17.02	2.36	13.84	2.04	7.5	21.6	15.43	2.46	15.95	2.02	0.73***
穗粗(cm)ED	2.6	5.7	4.10	0.55	13.51	2.02	2.5	5.3	3.98	0.47	11.83	2.04	0.76***
穗行数(cm)NORPR	8	18	12.78	1.79	14.02	1.29	8	20	12.82	1.83	14.28	1.28	0.77***
行粒数NOKPE	18	47	32.68	5.79	17.73	2.03	12	45	28.93	5.70	19.72	2.01	0.76***
轴粗(cm)CD	1.6	3.6	2.62	0.38	14.32	2.01	1.7	3.4	2.54	0.32	12.40	2.02	0.77***
单株穗干重(g) DWOEPP	37.8	192.3	120.68	30.63	25.38	2.08	26.0	156.2	98.17	25.52	25.99	2.07	0.74***
单株粒干重(g) DWOKPP	28.9	160.4	97.92	26.18	26.73	2.07	19.5	128.9	78.54	22.06	28.08	2.09	0.78***
出籽率(%)KR	64.1	88.4	80.90	4.32	5.34	1.92	59.5	89.5	79.63	5.05	6.34	1.98	0.79***
百粒重(g)HKW	9.03	34.95	26.81	4.79	17.87	1.92	8.10	31.75	24.20	4.46	18.41	1.91	0.92***

*, **, *** 分别在表示 $P=0.05$, $P=0.01$ 和 $P=0.001$ 水平上达到显著差异。下同

*, **, *** indicated significant differences at $P=0.05$, $P=0.01$, $P=0.001$, respectively

DFSETT: the abbreviation of days from seedling emergence to tasselin, TAI: the abbreviation of tasseling-anthesis interval, ASI: the abbreviation of anthesis-silking interval, SMI: the abbreviation of silking-maturity interval, DFSTM: the abbreviation of days from sowing to maturity, PTBN: the abbreviation of primary tassel branch number, TL: the abbreviation of tassel length, PH: the abbreviation of plant height, EH: the abbreviation of ear height, SD: the abbreviation of stalk diameter, LNOS: the abbreviation of leaf number of stalk, NOLUE: the abbreviation of number of leaves upper ear, LLOUE: the abbreviation of leaf length of upper ear, LWOUE: the abbreviation of leaf width of upper ear, EL: the abbreviation of ear length, ED: the abbreviation of ear diameter, NORPR: the abbreviation of number of rows per row, NOKPE: the abbreviation of number of kernel per ear, CD: the abbreviation of cob diameter, DWOEPP: the abbreviation of dry weight of ears per plant, DWOKPP: the abbreviation of dry weight of kernels per plant, KR: the abbreviation of Kernel ratio, HKW: the abbreviation of 100-kernel weight, the same as below

2.3 玉米地方品种的聚类分析

利用 31 个农艺性状,采用离差平方和法分别对 2017 年和 2018 年的 129 份玉米地方品种进行聚类分析,将重庆玉米地方品种划分为 3 个类群(表 5)。2017 年鉴定结果中,3 个类群分别包含 27 份、57 份和 45 份品种;2018 年鉴定结果中,3 个类群分别包

含 29 份、39 份和 61 份品种。综合 2 年的鉴定结果找到 98 份两年聚类相同的品种,其中类群 I 包括 22 份品种,类群 II 包括 35 份品种,类群 III 包括 41 份品种。2 年鉴定结果中类群 II 和类群 III 的品种存在部分交叉,但是总体上 2 年类群划分结果较一致,重复率为 76%。

表 5 重庆玉米地方品种的聚类分析

Table 5 Clustering analysis of 129 Chongqingmaize landraces based on Euclidean distance via ward method

类群 Group	2017 年鉴定 Identification in 2017		2018 年鉴定 Identification in 2018		2 年品种相同个数 The varieties with same code in 2 years	2 年聚类重复率 (%) Clustering repetition rate in 2 years
	品种代码 Code	个数 Number	品种代码 Code	个数 Number		
I	4, 12, 13, 15, 23, 24, 27, 32, 34, 38, 42, 43, 64, 78, 87, 94, 99, 103, 108, 113, 114, 116, 120, 124, 125, 126, 129	27	4, 12, 13, 15, 23, 24, 27, 34, 38, 42, 43, 46, 64, 66, 67, 78, 87, 88, 94, 103, 107, 113, 116, 118, 120, 124, 125, 126, 128	29	22	
II	1, 2, 3, 6, 7, 9, 11, 14, 16, 17, 20, 21, 22, 25, 26, 29, 30, 31, 33, 41, 44, 46, 48, 60, 62, 63, 65, 66, 67, 68, 70, 71, 72, 74, 75, 76, 77, 79, 80, 82, 83, 84, 85, 92, 93, 95, 96, 100, 101, 102, 107, 109, 112, 118, 119, 121, 127	57	2, 6, 7, 11, 16, 17, 20, 21, 22, 25, 26, 29, 30, 41, 44, 48, 56, 58, 62, 63, 68, 71, 76, 77, 79, 80, 82, 85, 95, 100, 101, 102, 108, 109, 112, 114, 119, 121, 127	39	35	76
III	5, 8, 10, 18, 19, 28, 35, 36, 37, 39, 40, 45, 47, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 61, 69, 73, 81, 86, 88, 89, 90, 91, 97, 98, 104, 105, 106, 110, 111, 115, 117, 122, 123, 128	45	1, 3, 5, 8, 9, 10, 14, 18, 19, 28, 31, 32, 33, 35, 36, 37, 39, 40, 45, 47, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 57, 59, 60, 61, 65, 69, 70, 72, 73, 74, 75, 81, 83, 84, 86, 89, 90, 91, 92, 93, 96, 97, 98, 99, 104, 105, 106, 110, 111, 115, 117, 122, 123, 129	61	41	

2.4 重庆玉米地方品种类群的表型特性

对 98 份两年聚类结果相同的地方品种,进行了对应的表型分析(表 6、表 7)。两年的鉴定结果中,类群 I 品种性状除了穗行数外,18 个数量性状表型平均值显著低于类群 III ($P<0.05$),株高、穗位高、上位穗上叶叶长和叶宽、穗长、穗粗、行粒数、单株穗干重和粒干重、轴粗和出籽率、百粒重这 12 个性状表型值低于类群 II ($P<0.05$)。类群 II 中品种的生育日数、雄穗一级分枝数、雄穗长、株高、穗位高、茎粗、主茎叶片数、上位穗位叶数、上位穗上叶叶长和叶宽这 10 个性状表型平均值显著值低于类群 III

($P<0.05$)。

从 3 个类群在 2 年间的综合表型来看,类群 I 主要表现为早熟小粒型,包括硬粒型、糯质型和全部的爆裂型玉米;尤其是糯质型,占该类群 41% 的比例。籽粒多为圆形小粒,轴色全部为白色,生育期短,叶片数少,株高、穗位高低,雄穗中等、不发达,叶长、叶宽短,果穗短、行粒数少、出籽率低、籽粒产量低。18.18% 的品种来源于海拔 0~500 m 地区,27.27% 的品种来源于海拔 500~1000 m 地区,54.55% 的品种来源于海拔 1000~1500 m 地区。

表 6 重庆玉米地方品种 3 个类群果穗特性和来源地分布

Table 6 Analysis on ear characters and original information of 3 groups of maize landraces collected from Chongqing

性状 Traits	类型 Type	品种所占比例(%) Proportion of varieties		
		类群 I Group I	类群 II Group II	类群 III Group III
穗形 Ear shape	柱形	68.18	94.29	95.12
	锥形	31.82	5.71	4.88
粒型 Kernel type	硬粒型	31.82	62.86	29.27
	马齿型	0	11.43	24.39
	中间型	0	17.14	39.02
	糯质型	40.91	8.57	7.32
	爆裂型	27.27	0.00	0.00
籽粒形状 Kernel shape	圆形	72.73	54.29	12.20
	楔形	0	11.43	21.95
	中间型	27.27	34.29	65.85
轴色 Cob color	白	100.00	97.14	75.61
	浅红	0	2.86	12.20
	红	0	0	12.20
粒色 Kernel color	白	63.64	48.57	39.02
	浅黄	0	0	4.88
	黄	0	25.71	9.76
	橙黄	22.73	20.00	9.76
	橘黄	0	2.86	2.44
	红	4.55	0	14.63
	紫	9.09	0	2.44
	黑	0	0	2.44
	黄血丝	0	0	7.32
	黄粒红斑	0	2.86	2.44
来源地海拔 (m) Altitude of original area	0~500	18.18	0	14.63
	500~1000	27.27	37.14	46.34
	1000~1500	54.55	42.86	39.02
	1500~2000	0	20.00	0

表 7 重庆玉米地方品种 3 个类群主要数量性状分析

Table 7 Analysis on the main quantitative characters of 3 groups of maize landraces collected from Chongqing

性状 Traits	2017 年鉴定 Identification in 2017			2018 年鉴定 Identification in 2018		
	类群 I Group I	类群 II Group II	类群 III Group III	类群 I Group I	类群 II Group II	类群 III Group III
生育日数 (d) DFSTM	107.05a	105.60a	114.56b	107.67a	104.69a	113.71b
雄穗一级分枝数 PTBN	12.65a	12.37a	17.15b	13.63a	12.60a	17.46b
雄穗长 (cm) TL	31.53a	34.61b	38.15c	32.28a	35.03a	38.76b
株高 (cm) PH	215.58a	256.30b	280.38c	207.28a	244.33b	271.39c
穗位高 (cm) EH	98.86a	114.97b	134.68c	90.33a	107.29b	125.53c
茎粗 (cm) SD	1.68a	1.79a	1.96b	1.69a	1.73a	2.07b
主茎叶片数 LNOS	13.86a	13.32a	15.89b	13.90a	13.00a	15.85b
上位穗位叶数 NOLUE	4.87a	4.70a	5.48b	4.98a	4.88a	5.55b
上位穗上叶叶长 (cm) LLOUE	76.16a	85.11b	91.29c	76.73a	82.48b	87.99c
上位穗上叶叶宽 (cm) LWOUE	7.75a	8.77b	9.49c	7.55a	8.37b	8.83c
穗长 (cm) EL	14.16a	17.36b	18.24c	13.02a	15.88b	16.18b
穗粗 (cm) ED	3.45a	4.15b	4.31b	3.44a	3.97b	4.15c
穗行数 (cm) NORPR	12.86a	12.80a	12.68a	12.95a	12.46a	12.88a
行粒数 NOKPE	28.48a	32.49b	35.74c	25.26a	29.19b	31.05b

表 7(续)

性状 Traits	2017 年鉴定 Identification in 2017			2018 年鉴定 Identification in 2018		
	类群 I Group I	类群 II Group II	类群 III Group III	类群 I Group I	类群 II Group II	类群 III Group III
轴粗 (cm) CD	2.29a	2.62b	2.73b	2.23a	2.50b	2.62b
单株穗干重 (g) DWOEPP	82.54a	126.22b	133.55b	71.84a	102.33b	108.08b
单株粒干重 (g) DWOKPP	64.71a	103.70b	108.75b	55.18a	83.60b	87.02b
出籽率 (%) KR	78.33a	82.26b	81.20b	76.74a	81.79b	80.31b
百粒重 (g) HKW	19.90a	28.11b	28.24b	18.18a	25.19b	25.59b

表中数据后面字母相同表示在 $P=0.05$ 时差异不显著,不同字母则表示差异显著 ($P<0.05$)

In this Table, the same letter after the mean value of each trait means non-significant difference at $P=0.05$ level, while different means significant difference at this level

类群 II 主要表现为早熟中秆硬粒型,粒型以硬粒型为主 (62.86%),马齿型、中间型和糯质型均有分布。该类群籽粒以圆形和中间型为主,楔形较少,轴色以白色为主,生育期短,叶片数少,株高、穗位较高,雄穗中等,叶长、叶宽中等;果穗中等、行粒数较多、百粒重中等、籽粒产量较高。37.14% 的品种来源于海拔 500~1000 m 地区,42.86% 的品种来源于海拔 1000~1500 m 地区,20.00% 的品种来源于海拔 1500~2000 m 地区(表 6)。

类群 III 是中熟高秆型。粒型以中间型为主,硬粒型、马齿型和糯质型均有分布,籽粒以中间型为主、圆形较少,轴色以白色为主、浅红和深红色较少,生育期在 3 个类群中最长,植株高大、穗位高,叶片长、宽大,果穗中大、行粒数较多、百粒重中等、籽粒产量较高。14.63% 的品种来源于海拔 0~500 m 地区,46.34% 的品种来源于海拔 500~1000 m 地区,39.02% 的品种来源于海拔 1000~1500 m 地区(表 6)。

3 讨论

3.1 重庆玉米地方品种多样性分析

刘志斋^[17]研究表明我国西南区玉米地方品种多样性水平高于全国其他玉米产区,在调查的 30 个数量性状中,有 20 个性状多样性指数达到 2.0 以上。而本研究中重庆玉米地方品种 23 个数量性状中,有 16 个性状多样性指数达到 2.0 以上。重庆是西南地区的重要组成部分,这与刘志斋^[17]的研究结果一致。佟屏亚^[18]根据古籍推断出玉米先从欧洲传到印度、缅甸等地,再由印度、缅甸引种到我国的西南地区是一种可能的传播路径。因此重庆等西南地区极有可能是我国最早种植玉米的地区之一,再加上重庆独特的地理区位与气候特性,形成了多样的小气候环境,从而导致玉米在长期种植过程中形成了多样的地方品种。这种相对独立的地理隔离与早

期相对闭塞的交通条件,在很大程度上阻隔了该地区玉米地方品种与外界资源之间的基因交流,进而促进了该地区玉米地方品种资源多样性的维系与保持。

3.2 重庆玉米地方品种类群与中国玉米种族比较

前人的研究对我国的玉米地方品种资源进行了种族划分,其结果对于了解中国玉米地方品种具有参考和指导意义。本研究收集的地方品种资源涵盖了重庆的 38 个区县,利用这些品种将重庆玉米地方品种划分为 3 个类群,可以全面反映重庆玉米地方品种特征。

类群 I 主要表现为早熟型,主要类型是糯玉米(表 6)。该类群的地方品种生育期早、产量较低、籽粒小而且为圆形,种皮薄,食味口感好,主要分布于中海拔的丘陵和中山地区(海拔 500~1500 m,表 6)。该类群玉米地方品种的表型特性与当地农民传统的饮食习惯密切相关,当地农民普遍喜欢利用这类资源酿酒、作苞谷饭、烧烤和磨面加工^[15]。从综合的表型特性来看,该类群与我国玉米地方品种的南方糯质种族相似^[9-10]。

类群 II 包括的资源主要分布于中高海拔的中高山区(海拔 1000~2000 m)。该类群地方品种在熟期、株高、穗位高、叶片数、粒色、轴色等表型上,与我国西南白色硬粒种族较为类似^[9-10]。该类群资源收集地多分布在偏瘠薄冷凉区域,有可能蕴藏着玉米养分高效利用及耐低温等方向的优异遗传变异。

类群 III 属中熟高秆型,主要分布于中低海拔的山区(海拔 500~1500 m)。该类群中的贵州白马牙、大白苞谷、扁玉米等资源与我国玉米的西南马齿种族极为类似,表现为中熟、粒白色、马齿型,这类资源植株高大、叶片宽大、具有较高的籽粒和生物产量,有可能蕴藏着适合选育青贮玉米的优异变异^[10]。该类群中的金黄早、贵州黄苞谷、小籽黄等资源与曹镇北等^[9]研究的中晚熟硬粒种族、刘志斋等^[10]研究确

定的西南黄色硬粒种族极为类似,表现为中晚熟,植株高大,粒黄色,轴白色。类群Ⅲ地方品种最多,资源类型丰富,涵盖了前人报道的西南黄色硬粒种族和西南马齿种族,可能还含有一些衍生种族。

本研究基于全面的资源收集,首次系统揭示了重庆地区玉米地方品种资源的表型特性及其多样性水平。研究结果显示,重庆玉米地方品种在品质、适应性以及特定气候条件的耐受性方面,表现出了较高水平的多样性。本研究为基于这些资源的基因组评价,以及后续的优异资源发掘,奠定了良好的基础。

参考文献

- [1] 石云素. 国家库玉米种质资源的保护与利用. 植物遗传资源学报, 2011, 12(3): 322
Shi Y S. Conservation and utilization of maize germplasm resources in Chinese National Genebank. Journal of Plant Genetic Resource, 2011, 12(3): 322
- [2] 李永祥, 石云素, 宋燕春, 黎裕, 王天宇. 中国玉米品种改良及其种质基础分析. 中国农业科技导报, 2013, 15(3): 30-35
Li Y Y, Shi Y S, Song Y C, Li Y, Wang T Y. Improvement of maize hybrids and the analysis of basal germplasm in China. Journal of Agricultural Science and Technology, 2013, 15(3): 30-35
- [3] 顾万春. 统计遗传学. 北京: 科学出版社, 2004: 1-422
Gu W C. Statistical Genetics. Beijing: Science Press, 2004: 1-442
- [4] 张丛卓, 白建荣, 常利芳, 张效梅, 李锐, 杨瑞娟. 山西甜玉米地方品种的表型多样性分析. 山西农业科学, 2017, 45(12): 1907-1911
Zhang C Z, Bai J R, Chang L F, Zhang X M, Li R, Yang R J. Analysis of phenotypic diversity of sweet corn landraces in Shanxi. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2017, 45(12): 1907-1911
- [5] Li Y, Shi Y S, Cao Y S, Wang T Y. A phenotypic diversity analysis of maize germplasm preserved in China. Maydica, 2002, 47: 107-114
- [6] 刘志斋, 郭荣华, 石云素, 蔡一林, 曹墨菊, 宋燕春, 王天宇, 黎裕. 中国玉米地方品种核心种质花期相关性状的表型多样性研究. 中国农业科学, 2008, 41(6): 1591-1602
Liu Z Z, Guo R H, Shi Y S, Cai Y L, Cao M J, Song Y C, Wang T Y, Li Y. Phenotypic diversity of flowering-related traits of maize landraces from the core collection preserved in China National Genebank. Scientia Agricultura Sinica, 2008, 41(6): 1591-1602
- [7] 蔡一林, 刘志斋, 王天宇, 黎裕, 覃鸿妮, 王国强, 孙海艳, 王久光. 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. 植物遗传资源学报, 2011, 12(1): 31-36
Cai Y L, Liu Z Z, Wang T Y, Li Y, Qin H N, Wang G Q, Sun H Y, Wang J G. Phenotypic diversity analysis of quality and agronomy traits of maize landraces selected from the collection of China National Genebank. Journal of Plant Genetic Resources, 2011, 12(1): 31-36
- [8] 姚启伦, 许江, 许冬梅, 陈秀娟. 四川及重庆玉米地方品种遗传多样性的比较分析. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2008, 34(1): 6-12
Yao Q L, Xu J, Xu D M, Chen X J. Comparative analysis of genetic diversity in landraces of maize (*Zea mays* L.) from Sichuan and Chongqing. Journal of Hunan Agricultural University: Natural Sciences Edition, 2008, 34(1): 6-12
- [9] 曹镇北, 徐文伟. 有关玉米族 (race) 的几个问题. 中国种业, 1990(4): 7-9, 22
Cao Z B, Xu W W. Some questions of maize races. China Seed Industry, 1990(4): 7-9, 22
- [10] 刘志斋, 宋燕春, 石云素, 蔡一林, 程伟东, 覃兰秋, 黎裕, 王天宇. 中国玉米地方品种的种族划分及其特点. 中国农业科学, 2010, 43(5): 899-910
Liu Z Z, Song Y C, Shi Y S, Cai Y L, Cheng W D, Qin L Q, Li Y, Wang T Y. Racial classification and characterization of maize landraces in China. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(5): 899-910
- [11] 蒙祖庆, 宋丰萍. 西藏玉米地方品种表型多样性分析及类群划分. 中国农业大学学报: 自然科学版, 2017, 22(7): 10-23
Meng Z Q, Song F P. Phenotypic diversity and group classification of maize landraces in Tibet. Journal of China Agricultural University: Natural Sciences Edition, 2017, 22(7): 10-23
- [12] 王利锋, 李会勇, 唐保军, 程泽强, 王振华, 铁双贵. 利用表型和 SSR 标记分析河南省玉米地方品种的遗传多样性. 中国农业科学, 2009, 42(4): 1136-1144
Wang L F, Li H Y, Tang B J, Cheng Z Q, Wang Z H, Tie S G. Genetic diversity analysis of Henan maize landrace by phenotype and simple sequence repeat (SSR) markers. Scientia Agricultura Sinica, 2009, 42(4): 1136-1144
- [13] 张燕. 西南高原生态区玉米地方种质表型多样性分析. 河南农业科学, 2012, 41(7): 17-20
Zhang Y. Analysis on phenotypic characteristics of maize landraces from Southwest China. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2012, 41(7): 17-20
- [14] 姚启伦, 方平, 陈发波. 西南地区玉米地方种质的表型特性分析. 玉米科学, 2013, 21(2): 36-41, 46
Yao Q L, Fang P, Chen F B. Analysis on phenotypic characteristics of maize landraces from Southwest China. Journal of Maize Sciences, 2013, 21(2): 36-41, 46
- [15] 董昕, 刘剑飞, 杨华, 张晓春, 张丕辉, 官玲, 余雪源, 杨明, 张继君, 张谊模, 张云贵, 范彦, 李淑君. 重庆地区玉米种质资源调查与收集. 植物遗传资源学报, 2018, 19(2): 203-211
Dong X, Liu J F, Yang H, Zhang X C, Zhang P H, Guan L, Yu X Y, Yang M, Zhang J J, Zhang Y M, Zhang Y G, Fan Y, Li S J. Field survey and collection of maize germplasm resources in Chongqing, China. Journal of Plant Genetic Resource, 2018, 19(2): 203-211
- [16] 石云素, 黎裕, 王天宇, 宋燕春. 玉米种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社, 2006: 10-51
Shi Y S, Li Y, Wang T Y, Song Y C. Description and data standard for maize (*Zea mays* L.). Beijing: China Agriculture Press, 2006: 10-51
- [17] 刘志斋. 中国玉米地方品种的多样性研究与种族划分. 重庆: 西南大学, 2008
Liu Z Z. Diversity analysis and racial classification of maize landraces in China. Chongqing: Southwest University, 2008
- [18] 佟屏亚. 试论玉米传入我国的途径及其发展. 古今农业, 1989(1): 41-48
Tong P Y. Try to talk about ways of maize was introduced into China and its development. Ancient and Modern Agriculture, 1989(1): 41-48