

外引水稻种质资源表型性状遗传多样性分析

部丽群,田 玲,赵 璐,杨治伟,赵 娜,金 润,田 蕾,张银霞,杨淑琴,李培富*
(宁夏大学 农学院/宁夏优势特色作物现代分子育种重点实验室,宁夏 银川 750021)

摘要: 为了解新疆维吾尔自治区(以下简称新疆)和其他地区、国家外引水稻种质资源间的遗传多样性水平,利用 32 个表型性状对 105 份新疆水稻种质资源和 253 份其他地区、国家外引水稻种质资源进行表型性状遗传多样性、主成分和聚类分析。结果表明:水稻种质资源数量性状的平均变异系数为 16.73%,变异系数最大的是二次枝梗数(32.22%),最小的是谷粒宽(6.82%)。新疆水稻种质资源数量性状的平均遗传多样性指数为 1.95,质量性状为 0.51;其他地区、国家水稻种质资源数量性状的平均遗传多样性指数为 2.02,质量性状为 0.40。通过主成分分析,将 16 个数量性状转换为 5 个主成分,提供的信息量分别占总信息量的 84.66%(新疆)和 84.60%(其他地区、国家)。利用 UPGMA 法,将参试材料划分为 5 类,第 1 类群包含 201 份材料,其中新疆材料 65 份,为穗粒数多的品种;第 2 类群包含 5 份材料,为高秆、大穗但结实率较低的品种;第 3 类群包含 32 份材料,为着粒密度较稀、穗粒数较少的品种;第 4 类群包含 118 份材料,其中新疆材料有 36 份,此类群的每穗总粒数和每穗实粒数少于全部材料平均值但高于第 3 类群平均值;第 5 类群只包含 2 个材料,与其他材料亲缘关系较远,遗传差异较大。新疆水稻种质资源和其他地区、国家外引水稻种质资源之间有一定的遗传差异,在育种工作中可挖掘不同地区资源的有利基因,增加遗传多样性。

关键词: 水稻;遗传多样性;表型性状;主成分分析;聚类分析

中图分类号: S511 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-3268(2018)05-0028-08

Genetic Diversity Analysis of Phenotypic Traits of Rice Germplasm Resources Introduced from Elsewhere

BU Liqun, TIAN Ling, ZHAO Lu, YANG Zhiwei, ZHAO Na, JIN Run, TIAN Lei,
ZHANG Yinxia, YANG Shuqin, LI Peifu*
(College of Agriculture, Ningxia University/Key Laboratory of Modern Molecular Breeding of Dominant Crop in Ningxia, Yinchuan 750021, China)

Abstract: In order to study the genetic diversity of rice germplasm resources introduced from Xinjiang and elsewhere, the genetic diversity, principal components and cluster analysis were studied using 32 phenotypic traits of 105 rice germplasm resources from Xinjiang and 253 rice germplasm resources from elsewhere. The results showed that the mean variation coefficient of quantitative traits was 16.73%, the range was from 6.82% (grain width) to 32.22% (number of secondary branches). The average genetic diversity index of the quantitative traits of rice germplasm resources from Xinjiang was 1.95, and which of the quality characters was 0.51; the average genetic diversity index of rice germplasm resources from elsewhere was 2.02, and which of the quality characters was 0.40. The sixteen single indexes could be converted to five principal components by the principal component analysis, which could represent 84.66% (Xinjiang) and 84.60% (elsewhere) information of the raw data. The rice germplasm resources were clustered into 5 groups using the UPGMA method. The first group contained 201 germplasm

收稿日期:2018-02-08
基金项目:国家自然科学基金(31360324);宁夏农业育种专项水稻新品种选育项目(2013NYYZ0302)
作者简介:部丽群(1992-),女,山东济南人,在读硕士研究生,研究方向:水稻遗传育种。E-mail:791577375@qq.com
* 通讯作者:李培富(1968-),男,宁夏盐池人,教授,博士,主要从事水稻遗传育种研究。E-mail:peifuli@nxu.edu.cn

resources,including 65 Xinjiang germplasm resources,which had more grain;the second group consisted of five germplasm resources,with high plant height and large ears,but low yield;in the third group,there were 32 kinds of materials,which had less grain density and less grain number;the fourth group contained 118 germplasm resources,including 36 Xinjiang germplasm resources,the total grain number of each spike and the number of real grains per ear in this group were less than the average of all materials but higher than the third group;the fifth group only contained two varieties,which were far from other materials,and had a large difference. Overall,there were certain genetic differences between rice germplasm resources from Xinjiang and elsewhere. We should exploit the beneficial genes of different regional resources to increase the genetic diversity.

Key words:Rice; Genetic diversity; Phenotypic traits; Principal component analysis; Cluster analysis

我国幅员辽阔,地形复杂多样,是世界 8 个地理多样性中心之一^[1]。水稻是第一大粮食作物,广泛分布于东南、西南、东北和西北等地,复杂的地理环境使得我国的水稻具有较高的遗传和表型多样性^[2-3]。遗传多样性又称基因多样性,是生物多样性的核心,也是物种进化的本质。遗传多样性的丧失会降低种群对环境的适应能力,进而导致种群生存力下降^[4]。宁夏回族自治区(以下简称宁夏)地处中温带,属于一年一熟耕作制度,积温相对不足,制约了农作物引种范围^[5]。宁夏引黄灌区为世界灌溉工程遗产,历史悠久,对当地农业发展具有举足轻重的作用。宁夏水稻种植正是依托在这一基础上发展起来的。水稻作为特色作物大力推广,不仅能提高当地农民的经济收入,也作为人工湿地对生态系统有一定影响^[6]。目前,宁夏水稻主要分布在北部干旱平原生态区的引黄灌区,种植面积在 8 万 hm² 左右,占全区粮食种植面积的 8% 左右;总产达到 62 万 t 左右,约占全区粮食总产的 20%^[7-8]。近年来,由于主栽品种及其亲本来源单一,导致遗传基础狭窄^[9-10]。引进外来稻种资源,尤其是具有丰富遗传背景的广适品种,才能满足日益增长的育种需求^[11]。

遗传多样性分析对有利基因的发掘及利用具有重要意义,而引进外来种质资源是拓宽遗传基础、增加遗传多样性最直接、有效的方法^[12]。研究遗传多

样性的方法有很多,表型性状能通过最直接的外观性状反映遗传多样性,与微卫星标记有很高的相似性^[13],尤其当研究群体较大时,表型性状研究最为简单、经济,应用十分广泛。胡标林等^[14]利用 14 个表型性状对 1 579 份水稻种质进行遗传多样性分析及综合评价,表明不同地区种质间遗传距离较远且表型遗传多样性较丰富。徐福荣等^[15]利用 17 个表型性状对 40 个水稻品种(系)进行遗传相似性分析发现,种内遗传差异较小,粳型品种间遗传相似性高于籼型。前人对水稻遗传多样性的分析主要集中在资源类型和地理来源 2 个方面^[14-18],对特定地理环境下,限定仅适合当地种植推广品种的研究还比较少见。本研究是基于宁夏西北干旱区特殊的地理环境,从新疆维吾尔自治区(以下简称新疆)和其他地区、国家引进 358 份粳稻材料,利用表型性状分析遗传多样性,以期为进一步拓宽宁夏水稻种质资源提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

本试验选取来自新疆和其他地区、国家的粳稻材料共 358 份,其中国内新疆 105 份、吉林省 118 份、北京市 24 份、黑龙江省 21 份、辽宁省 15 份、贵州省 8 份、山西省 7 份、天津市 5 份,国外日本 44 份、韩国 6 份、朝鲜 5 份。材料名称及编号见表 1。

表 1 外引水稻品种名称及编号

编号	材料名称	编号	材料名称	编号	材料名称	编号	材料名称
16001	T-43	16091	4360	16181	里歌	16271	田丰 810
16002	9710	16092	丰稻 508	16182	舞姬	16272	辽梗 1201
16003	新引东-5	16093	新引 1 号	16183	Seck parl	16273	V1
16004	2014-14	16094	新引 2 号	16184	青系 138	16274	V2
16005	农一师引-14	16095	新引 3 号	16185	晋 09121	16275	V3
16006	区试东-3	16096	新引 4 号	16186	吉大 11-318	16276	V4
16007	北方区试-6	16097	新引 5 号	16187	龙洋 0957	16277	V5
16008	新稻 31	16098	新引 6 号	16188	垦选 902	16278	S2-1
16009	农一师引-8	16099	新引 7 号	16189	黄稻	16279	S2-2

续表 1 外引水稻品种名称及编号

编号	材料名称	编号	材料名称	编号	材料名称	编号	材料名称
16010	新稻 10 号	16100	新引 8 号	16190	中遗 804 - 1 号	16280	S2 - 3
16011	农一师引 - 11	16101	新稻 32	16191	田丰 807	16281	S2 - 4
16012	新引东 - 13	16102	伊选 - 4	16192	辽 1101	16282	S2 - 3
16013	新引东 - 9	16103	伊粳 13 号	16193	隆优 619	16283	S2 - 6
16014	新引东 - 4	16104	新核 1 号	16194	1335	16284	S2 - 7
16015	新引东 - 3	16105	阿新 6	16195	隆粳 101	16285	S2 - 8
16016	新引东 - 1	16106	盐粳 454	16196	L1036	16286	S2 - 9
16017	新引东 - 8	16107	沈农 359	16197	吉玉粳	16287	S2 - 10
16018	新引东 - 7	16108	沈农 2 号	16198	2012C76	16288	S2 - 11
16019	阿稻 29	16109	沈农 1304	16199	松辽 11 - 838	16289	S2 - 12
16020	新引 2012 - 9	16110	一目惚	16200	吉隆 868	16290	S2 - 13
16021	08GM38	16111	龙粳 25	16201	九 2313	16291	S2 - 14
16022	新稻 11 号	16112	松粳 9 号	16202	中遗 804 - 2 号	16292	S2 - 15
16023	区试 6 - 7	16113	龙粳 8 号	16203	通禾 10 - 8019	16293	S2 - 16
16024	0841	16114	绥粳 4 号	16204	沈农 9903	16294	S3 - 1
16025	北方引 - 5	16115	龙粳 22	16205	山形 86	16295	S3 - 2
16026	区试东 - 10	16116	早稻花香	16206	朝紫	16296	S3 - 3
16027	新引东 - 10	16117	黑交 06 - 213	16207	新云峰稻	16297	S3 - 4
16028	北方引 - 4	16118	黑交 8 号	16208	云峰稻	16298	S3 - 5
16029	北方引 - 12	16119	龙粳 23	16209	大关稻	16299	S3 - 6
16030	新引东 - 11	16120	龙粳 21	16210	平北 30 号	16300	S3 - 7
16031	96 - 16	16121	上育 394	16211	雄基 3 号	16301	S3 - 8
16032	区试东 - 9	16122	越光	16212	咸南 23 号	16302	S3 - 9
16033	新引东 - 12	16123	龙粳香 1 号	16213	平壤 1 号	16303	S3 - 10
16034	北方引 - 1	16124	龙粳 13	16214	镜城 8 号	16304	S3 - 11
16035	北方引 - 13	16125	龙粳 3 号	16215	胡依姬	16305	S3 - 12
16036	08GY - 16	16126	龙粳 26	16216	上专女专	16306	S3 - 13
16037	新引东 - 6	16127	龙粳 14	16217	幸实	16307	S3 - 14
16038	· 0854	16128	五优稻 1 号	16218	北陆 153	16308	S3 - 15
16039	新引东 - 2	16129	秋田小町	16219	早丰	16309	S3 - 20
16040	0953 - 4 - 5	16130	农林 315	16220	锦丰	16310	品系 - 1
16041	7 - 2(温宿)	16131	吉 08 - 47	16221	奇丰	16311	品系 - 2
16042	高扬 14C86	16132	丰优	16222	山歌	16312	品系 - 3
16043	0819//辽/253	16133	中造 804 - 1	16223	千代锦	16313	品系 - 4
16044	新引东 - 14	16134	中造 804 - 2	16224	梁分	16314	品系 - 5
16045	23112 - 1	16135	367 - 4	16225	关东 15	16315	品系 - 6
16046	新稻 1 号	16136	159 - 1	16226	腾板 5 号	16316	品系 - 7
16047	233312 - 6	16137	H80 - 135	16227	山形 92	16317	品系 - 8
16048	20 - 64 - 6	16138	TOPOLea 58 - 76	16228	冲大利	16318	品系 - 9
16049	210 - 15	16139	安粳 698	16229	初垦	16319	珍珠稻
16050	20 - 70	16140	六粳 2 号	16230	出羽餐	16320	平粳 8
16051	高扬 14988	16141	毕粳 37 号	16231	美山锦	16321	平粳 9
16052	新稻 27 号	16142	毕粳 38 号	16232	丰锦	16322	吉农大 603
16053	99 - 16	16143	毕粳 41 号	16233	东稻 4 号	16323	通院 515
16054	20 - 16	16144	毕粳 42 号	16234	春阳	16324	通科 19
16055	新稻 36 号	16145	毕粳 44 号	16235	梦佳	16325	松粳 3 号
16056	208 - 7	16146	毕粳 45 号	16236	岁体	16326	吉农大 858
16057	新稻 46 号	16147	吉大 2009 - 8	16237	得旗	16327	佳稻 428
16058	99 - 28	16148	吉 08x1271	16238	忠光	16328	龙粳 807
16059	新稻 19 号	16149	吉 1211 - 325	16239	龙立	16329	松峰 899
16060	08GY38 - 7 - 2	16150	吉粳 512	16240	空育 131	16330	绿达 9320
16061	9901	16151	通育 255	16241	上南旱稻	16331	九稻 75
16062	新稻 34 号	16152	通科 28	16242	沈稻 529	16332	德禹 317
16063	伊选 2 - 2	16153	吉农大 878	16243	BC2013C6	16333	中亚粳稻
16064	6096(早)	16154	九稻 68	16244	BC2013F9	16334	宏科 57
16065	新稻 28 号	16155	庆林 157	16245	隆优 649	16335	宏科 59

续表 1 外引水稻品种名称及编号

编号	材料名称	编号	材料名称	编号	材料名称	编号	材料名称
16066	4368	16156	通系 927	16246	松辽 13 - 1038	16336	宏科 87
16067	粮黑 2 号	16157	吉农大 511	16247	晋 10077	16337	延粳 27
16068	粮香 5 号	16158	吉粳 809	16248	松辽 13 - 2115	16338	延粳 28
16069	伊犁系选	16159	通育 256	16249	吉洋 108	16339	通科 27
16070	新稻 43 号	16160	云浪香	16250	吉大 319	16340	通科 29
16071	粮黑稻	16161	驹舞	16251	中作 12672	16341	旭粳 6
16072	6090	16162	花东稻	16252	吉农大 823	16342	旭粳 8
16073	粮粳 16 号	16163	心待	16253	晋 11030	16343	庆林 168
16074	· 10 - 11	16164	富士光	16254	隆优 647	16344	庆林 518
16075	新稻 17 号	16165	挂桥	16255	吉农大 1041	16345	吉宏 6
16076	108 品系	16166	日立 23	16256	锦稻 104	16346	吉优 1769
16077	伊粳 12 号	16167	华想	16257	中科 804 - 4	16347	吉大 7
16078	阿稻 28	16168	睦誉	16258	中科长 6 号	16348	吉大 898
16079	恢复系	16169	华吹雪	16259	吉农大 398	16349	吉农大 809
16080	08GY12 - 7	16170	仁月稻	16260	馨稻 6 号	16350	吉农大 888
16081	粮粳 15	16171	接冠	16261	松辽 1508	16351	通育 263
16082	6089	16172	岁华	16262	吉农大 531	16352	通系 938
16083	伊选 2 号	16173	Snow parl	16263	龙稻 24	16353	通系 939
16084	粮粳 10 号	16174	奥羽 392	16264	中科发 5 号	16354	通禾 99
16085	新引东 - 15	16175	古响	16265	吉洋 100	16355	通禾 816
16086	2013 - 29 - 2	16176	大珍稻	16266	沈稻 505	16356	通禾 867
16087	6109	16177	岩手传手	16267	长选 808	16357	通禾 899
16088	6080	16178	奥羽 394	16268	中科 8043	16358	京香 2 号
16089	苏选 - 2	16179	奥羽 397	16269	WT0203		
16090	粮粳 5 号	16180	藤系 198	16270	铁 10A7		

注:16001—16105 是新疆材料,16106—16358 是其他地区、国家材料。

1.2 试验方法

1.2.1 表型性状的测定 试验于 2016—2017 年在宁夏大学水稻育种基地进行。于 4 月 15 日在塑料大棚育苗,5 月 15 日插秧定植。按编号顺序种植,3 行区,株距 0.1 m,行距 0.3 m,田间管理按常规进行。根据《稻种资源形态农艺性状鉴定方法》,共考察 32 个农艺性状,包括叶鞘色、叶片色、叶枕色、茎节色、节间色、颖尖色、芒色、芒分布、芒长、叶片早衰、落粒性、茎节包露、谷粒形状、穗类型、剑叶角度以及落粒性等 16 个质量性状和株高、穗长、每穗总粒数、每穗实粒数、结实率、着粒密度、一次枝梗数、二次枝梗数、谷粒长、谷粒宽、谷粒长宽比、籽粒总质量、千粒质量、单穗质量、穗数以及分蘖数等 16 个数量性状。抽穗期调查质量性状,成熟后每份材料随机选取 3 株考种调查数量性状。

1.2.2 数据统计与分析 对不同质量性状进行频率分布和遗传多样性指数分析。使用 Excel 2010 对不同数量性状进行极大值、极小值、极差、标准差及变异系数的统计分析,使用 SPSS 23.0 进行方差分析及标准化处理。参照赵香娜等^[19]的方法,将 16 个数量性状的数据分为 10 级,每级相差 0.58。各性状的 Shannon’s information index (H') 计算公式如下。

$$H' = - \sum_{i=1}^n P_i \ln P_i$$

其中, n 为表型分类数目, P_i 表示第 i 种变异类型出现频率。

利用 SAS 9.4 软件分别对新疆和其他地区、国家水稻资源的数量性状进行主成分分析。基于 16 个表型性状,采用 UPGMA(非加权配对算术平均)法对 358 份水稻种质资源进行聚类分析,用 MEGA 7.0 绘制聚类结果的环形图。

2 结果与分析

2.1 外引水稻种质资源不同质量性状的频率分布和遗传多样性分析

如表 2 所示,对 16 个质量性状进行频率分布和多样性指数分析发现,新疆与其他地区、国家水稻种质资源的遗传多样性指数差异最大的性状是叶片早衰,新疆资源的叶片早衰频率远高于其他地区、国家;两者的倒伏性和穗型 2 个性状的遗传多样性指数完全相同,并且倒伏性的遗传多样性指数最高,为 0.90;谷粒形状、芒长、芒分布、颖尖色、茎节包露、芒色和落粒性等 7 个性状在新疆水稻种质资源中遗传多样性指数更高,剑叶角度在其他地区、国家水稻种质资源中的遗传多样性指数更高;叶鞘色、叶片色、

叶枕色、茎节色和节间色等 5 个性状的遗传多样性指数较低,不能很好地描述材料间的差异。调查结果表明,新疆水稻种质资源各质量性状的平均遗传多样性指数是 0.51,其他地区、国家是 0.40。所有供试材料的倒伏性遗传多样性指数最高,新疆和其他地区、国家水稻种质资源在叶片早衰、芒长、芒分布、茎节包露和剑叶角度等 5 个农艺性状方面差异最明显,其他地区、国家水稻种质资源的剑叶角度更丰富。

表 2 外引水稻种质资源不同质量性状的频率分布和遗传多样性指数

性状	频率分布				遗传多样性指数	
	1	2	3	4	新疆	其他地区、国家
叶片早衰	0.12	0.88	—	—	0.62	0.15
倒伏性	0.66	0.24	0.08	0.02	0.90	0.90
穗型	0.82	0.06	0.12	—	0.59	0.59
谷粒形状	0.03	0.67	0.28	0.02	0.80	0.76
芒长	0.09	0.08	0.01	0.82	0.78	0.56
芒分布	0.12	0.04	0.02	0.82	0.77	0.56
颖尖色	0.74	0.22	0.04	—	0.74	0.66
茎节包露	0.68	0.32	—	—	0.69	0.56
芒色	0.12	0.01	0.02	0.85	0.60	0.49
落粒性	0.90	0.09	0.01	—	0.41	0.33
剑叶角度	0.58	0.38	0.04	—	0.67	0.85
叶鞘色	0.88	0.12	—	—	0.13	0
叶片色	0.99	0.01	—	—	0.13	0.03
叶枕色	0.88	0.12	—	—	0.13	0
茎节色	0.88	0.12	—	—	0.13	0
节间色	0.88	0.12	—	—	0.13	0
平均					0.51	0.40

注:叶片早衰:1.早衰,2.不早衰;倒伏性:1.直,2.斜,3.倒,4.伏;穗型:1.散穗,2.密穗,3.半直立穗;谷粒形状:1.短圆,2.阔卵,3.椭圆,4.细长;芒长:1.短芒,2.中芒,3.长芒,4.无芒;芒分布:1.稀,2.中,3.密,4.无;颖尖色:1.秆黄,2.红棕,3.紫黑;茎节包露:1.露,2.包;芒色:1.秆黄,2.红棕,3.紫黑,4.无芒;落粒性:1.难,2.中,3.易;剑叶角度:1.小,2.中,3.大;叶鞘色:1.绿,2.紫;叶片色:1.绿,2.紫;叶枕色:1.绿,2.紫;茎节色:1.绿,2.紫;节间色:1.绿,2.紫。

2.2 外引水稻种质资源不同数量性状的变异和遗传多样性分析

对新疆和其他地区、国家外引水稻种质资源 16 个数量性状的遗传变异进行分析,结果如表 3 所示。绝大多数材料株高低于 110 cm,说明已经导入矮化或半矮化基因^[20]。二次枝梗数、分蘖数、每穗总粒数和穗数变异幅度较大,标准差较大,变异程度较高。其中,变异系数最大的是二次枝梗数(32.22%),最小的是谷粒宽(6.82%),说明二次枝梗数的变异程度最大,而谷粒宽最稳定。株高、穗长、结实率、谷粒长和谷粒宽的变异系数都低于 10%,说明这些性状的离散程度较小,稳定性较高。

表 3 外引水稻种质资源不同数量性状的变异分析

性状	变异幅度	平均值	标准差	变异系数/%
株高/cm	64.63 ~ 127.60	91.21	7.65	8.39
穗长/cm	12.83 ~ 24.27	17.85	1.74	9.76
每穗总粒数	63.13 ~ 229.46	131.77	29.61	22.47
每穗实粒数	53.04 ~ 192.33	113.34	24.72	21.81
结实率/%	57.00 ~ 97.10	86.36	0.08	8.68
着粒密度/(粒/cm)	3.39 ~ 14.17	7.41	1.65	22.29
一次枝梗数/个	6.33 ~ 15.00	10.43	1.44	13.82
二次枝梗数/个	7.67 ~ 41.93	21.79	7.02	32.22
谷粒长/mm	4.74 ~ 9.36	72.38	5.96	8.24
谷粒宽/mm	2.64 ~ 4.09	33.89	2.31	6.82
谷粒长宽比	1.61 ~ 3.30	2.15	0.24	11.29
籽粒总质量/g	16.83 ~ 59.31	33.79	6.91	20.45
千粒质量/g	16.17 ~ 33.28	24.13	2.53	10.47
单穗质量/g	1.38 ~ 5.10	2.73	0.57	20.73
穗数/个	6.35 ~ 23.00	12.76	3.08	24.10
分蘖数/个	5.35 ~ 22.00	11.77	3.08	26.15

新疆和其他地区、国家外引水稻种质资源不同数量性状的遗传多样性指数,如图 1 所示。新疆水稻种质资源的遗传多样性指数为 1.76 ~ 2.08,平均为 1.95,其中谷粒宽的遗传多样性指数最高,谷粒长宽比的遗传多样性最低;其他地区、国家外引水稻种质资源的遗传多样性指数为 1.84 ~ 2.12,平均为 2.02,籽粒总质量的遗传多样性指数最高,谷粒长宽比的遗传多样性指数最低。

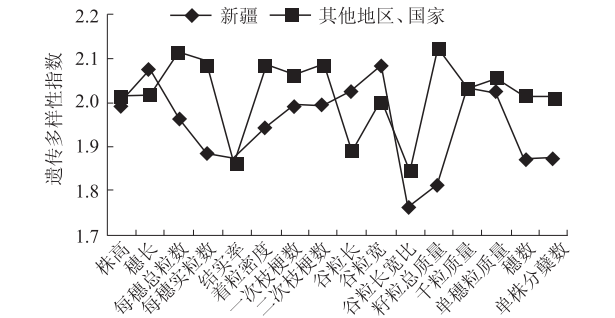


图 1 外引水稻种质资源数量性状的遗传多样性

2.3 外引水稻种质资源的主成分分析

对新疆和其他地区、国家外引水稻种质资源的 16 个数量性状分别进行主成分分析,根据 Kaiser 准则选取 5 个特征根及相应的特征向量。由表 4 可知,新疆水稻资源的主效因子为穗长、株高、千粒质量、籽粒总质量、谷粒长和单穗质量,累计贡献率达到 84.66%;其他地区、国家水稻资源的主效因子为籽粒总质量、每穗实粒数、单穗质量、穗长、株高和结实率,累计贡献率达到 84.60%,基本可以代表原始指标中绝大部分遗传信息^[21]。

表 4 外引水稻种质资源 16 个数量性状的特征向量及贡献率

项目	新疆水稻资源					其他地区、国家外引水稻资源				
	主成分 1	主成分 2	主成分 3	主成分 4	主成分 5	主成分 1	主成分 2	主成分 3	主成分 4	主成分 5
株高	0.22	0.28	0.07	0.23	0.11	0.10	-0.07	0.32	0.45	-0.10
穗长	0.16	0.39	0.24	0.15	-0.02	0.13	-0.15	0.29	0.42	0.02
每穗总粒数	0.39	-0.07	-0.07	0.05	0.20	0.40	0.11	0.04	0.00	-0.10
每穗实粒数	0.36	-0.14	0.06	0.20	-0.19	0.39	0.09	0.04	-0.02	0.24
结实率	-0.05	-0.14	0.21	0.28	-0.74	-0.07	-0.07	0.06	-0.09	0.85
着粒密度	0.31	-0.28	-0.21	-0.02	0.19	0.35	0.17	-0.10	-0.17	-0.11
一次枝梗数	0.28	-0.16	-0.11	0.05	-0.03	0.32	0.06	0.00	0.06	-0.13
二次枝梗数	0.35	-0.02	-0.10	0.05	0.26	0.38	0.09	0.04	0.02	-0.13
谷粒长	0.04	0.56	0.01	-0.04	-0.02	-0.02	-0.44	0.29	-0.13	-0.19
谷粒宽	-0.04	-0.11	0.55	-0.27	0.18	-0.15	0.17	-0.13	0.52	-0.03
谷粒长宽比	0.05	0.49	-0.35	0.20	-0.10	0.09	-0.42	0.28	-0.42	-0.13
籽粒总质量	0.00	-0.12	0.27	0.62	0.20	0.08	0.28	0.53	-0.03	0.15
千粒质量	0.00	0.21	0.48	-0.13	0.21	-0.16	-0.40	0.14	0.27	0.00
单穗质量	0.35	-0.04	0.29	0.13	-0.09	0.35	-0.12	0.13	0.11	0.27
穗数	-0.33	-0.06	-0.05	0.36	0.25	-0.23	0.36	0.38	-0.12	-0.09
分蘖数	-0.33	-0.06	-0.05	0.36	0.25	-0.23	0.36	0.38	-0.12	-0.09
特征值	6.05	2.37	2.11	1.79	1.24	5.86	2.49	2.34	1.59	1.25
贡献率/%	37.93	14.53	12.88	11.28	8.04	36.61	15.58	14.64	9.94	7.83
累计贡献率/%	37.93	52.46	65.34	76.62	84.66	36.61	52.19	66.83	76.77	84.60

第 1 主成分特征值分别为 6.05 (新疆)、5.86 (其他地区、国家),贡献率分别为 37.93% (新疆)、36.61% (其他地区、国家)。每穗总粒数、每穗实粒数以及二次枝梗数特征向量的绝对值较大,新疆分别为 0.39、0.36、0.35,其他地区、国家分别为 0.40、0.39、0.38。这些性状与籽粒数量有关,为稻谷产量因子,即第 1 主成分可作为粒数多、二次枝梗多的品种的描述指标。

第 2 主成分特征值分别为 2.37 (新疆)、2.49 (其他地区、国家),贡献率分别为 14.53% (新疆)、15.58% (其他地区、国家)。谷粒长和谷粒长宽比为主要指标,新疆特征向量分别为 0.56、0.49,其他地区、国家分别为 -0.44、-0.42,可见第 2 主成分为谷粒形状因子。但新疆水稻资源的第 2 主成分是长粒品种的描述指标,其他地区、国家资源第 2 主成分为圆粒品种的描述指标。

第 3 主成分特征值分别为 2.11 (新疆)、2.34 (其他地区、国家),贡献率分别为 12.88% (新疆)、14.64% (其他地区、国家)。新疆水稻资源的主要指标为谷粒宽(0.55)、千粒质量(0.48),其他地区、国家水稻资源的主要指标为籽粒总质量(0.53),可见第 3 主成分为粒质量因子。

第 4 主成分特征值分别为 1.79 (新疆)、1.59 (其他地区、国家),贡献率分别为 11.28% (新疆)、9.94% (其他地区、国家)。新疆水稻资源的主要指标为籽粒总质量(0.62),其他地区、国家资源的主要指标为谷粒宽(0.52)。

第 5 主成分特征值分别为 1.24 (新疆)、1.25 (其他地区、国家),贡献率分别为 8.04% (新疆)、7.83% (其他地区、国家)。结实率为主要指标,新

疆特征向量为 -0.74,其他地区、国家为 0.85。

第 1 主成分中,穗数和分蘖数在全部材料中均为负值,应提高品种的穗数和分蘖数。第 2 主成分中,其他地区、国家水稻资源千粒质量的特征向量为 -0.40,但籽粒总质量为 0.28,可见虽然千粒质量较小但因籽粒数量较多,可协调各个粒质量指标。第 5 主成分中,新疆水稻资源结实率的特征向量为 -0.74,应引起育种家的高度重视,在育种过程中应选育结实率较高的品种,以提高水稻产量。

2.4 新疆和其他地区、国家外引水稻种质资源聚类分析

利用 UPGMA 法进行聚类分析,如图 2 所示,358 份粳稻材料分为五大类群。

第 1 类群包含 201 份材料,占总材料的 56.15%。其中,新疆材料 65 份,占新疆材料总数的 61.90%。此类群的每穗总粒数(151.64 粒)和每穗实粒数(129.33 粒)高于全部材料平均值(131.77 粒和 113.34 粒),主要得益于此类群二次枝梗数(26.21 个)多于全部材料平均值(21.79 个)。此类群的特征主要是穗粒数较多、枝梗数较多。

第 2 类群包含 5 份材料,此类群的株高(115.24 cm)、穗长(20.08 cm)明显高于全部材料的平均值(91.21 cm和 17.85 cm),但结实率(65.84%)小于全部材料的平均值(86.36%)。此类群全部为高秆、大穗,但结实率较低的品种。

第 3 类群包含 32 份材料,其中新疆材料 4 份。此类群的每穗总粒数(85.05 粒)、每穗实粒数(75.34粒)、着粒密度(4.94 粒/cm)和二次枝梗数(11.19 个)均大幅度小于平均值,说明此类群着粒密度较稀、穗粒数较少。

第 4 类群包含 118 份材料, 占总材料的 32.96%。其中, 新疆材料 36 份, 占新疆材料总数的 34.29%。此类群的每穗总粒数 (110.27 粒) 和每穗实粒数

(96.69 粒) 少于全部材料平均值但高于第 3 类群。

第 5 类群包含 2 份材料, 与其他材料亲缘关系较远, 遗传差异较大。



图 2 基于 16 个数量性状的 358 份水稻材料的聚类分析

3 结论与讨论

陈小龙等^[22]利用 16 个表型性状对 60 份宁夏粳稻资源进行表型评价和遗传多样性分析发现, 遗传多样性指数变幅为 1.644 (结实率) ~ 2.092 (剑叶长), 变幅较小, 平均为 1.957, 低于本试验结果, 说明外引水稻资源遗传多样性高于宁夏粳稻资源。李振娇等^[23]利用 18 个表型性状对 269 份水稻资源进行分析发现, 二次枝梗数的变异系数最高, 谷粒宽的变异系数最低, 质量性状的平均遗传多样性指数为 0.34, 数量性状的平均遗传多样性指数为 1.99, 与本研究结果基本一致。

本试验通过对外引自新疆和其他地区、国家的 358 份水稻种质资源进行表型性状遗传多样性分析, 综合评价了外引水稻种质资源间的遗传差异。新疆和其他地区、国家水稻种质资源的二次枝梗数、每穗总粒数、每穗实粒数、单穗质量、分蘖数的变异系数、方差和标准差较大, 说明变异程度较高, 离散程度较大^[24]。新疆水稻种质资源质量性状的平均遗传多样性指数为 0.51, 其他地区、国家为 0.40。新疆水稻种质资源数量性状的遗传多样性指数为 1.76 (谷粒长宽比) ~ 2.08 (谷粒宽), 平均为 1.95;

其他地区、国家为 1.84 (谷粒长宽比) ~ 2.12 (籽粒总质量), 平均为 2.02, 其他地区、国家水稻种质资源数量性状的遗传多样性指数均高于新疆材料, 但差异不大。对数量性状进行主成分分析, 根据 Kaiser 准则新疆材料选取 5 个特征根及相应的特征向量, 主效因子为穗长、株高、千粒质量、籽粒总质量、谷粒长和单穗质量, 累计贡献率达到 84.66%, 其他地区、国家材料选取 5 个特征根及相应的特征向量, 主效因子为籽粒总质量、每穗实粒数、单穗质量、穗长、株高和结实率, 累计贡献率达到 84.60%。根据 UPGMA 聚类法, 将参试材料划分为 5 类, 新疆材料均匀分布于所有类群, 表明参试材料来自不同地区, 有一定遗传差异。以后的育种工作中应拓宽引种渠道, 大力引进外地品种, 以期丰富宁夏水稻的遗传背景。

参考文献:

- [1] 王富有. 中国作物种质资源引进与流出研究[J]. 植物遗传资源学报, 2012, 13(3): 335-342.
- [2] 魏辅文, 聂永刚, 苗海霞, 等. 生物多样性丧失机制研究进展[J]. 科学通报, 2014, 59(6): 430-437.
- [3] 邓宏中, 王彩红, 徐群, 等. 中国水稻地方品种与选育品种的遗传多样性比较分析[J]. 植物遗传资源学报, 2015, 16(3): 433-442.
- [4] Allendorf F W, England P R, Luikart G, et al. Genetic

- effects of harvest on wild animal populations[J]. Trends Ecol Evol, 2008, 23: 327-337.
- [5] 章慧,董艳,张慧芸,等. 西北旱区主要气候资源的空间变异性研究[J]. 干旱区资源与环境, 2017, 8(31): 129-135.
- [6] 李亚卉,马静,吴斌,等. 宁夏杂草稻的遗传多样性及其亲缘关系分析[J]. 植物遗传资源学报, 2016, 17(1): 32-38.
- [7] 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.
- [8] 雷金银,吴霞,王长军,等. 1980—2015年宁夏农作物种植结构时空变化特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31(12): 172-178.
- [9] Normile D. Variety spices up Chinese rice yield[J]. Science, 2000, 289: 1119-1120.
- [10] 李丹婷,农保选,夏秀忠,等. 东南亚稻种资源收集与鉴定评价[J]. 植物遗传资源学报, 2012, 13(4): 622-625.
- [11] 魏兴华,汤圣祥,余汉勇,等. 中国水稻国外引种概况及效益分析[J]. 中国水稻科学, 2010, 24(1): 5-11.
- [12] 刘百龙,石瑜敏,王威豪,等. 引进国际水稻所籼稻品系主成分及聚类分析[J]. 南方农业学报, 2011, 42(12): 1449-1453.
- [13] 齐永文,张冬玲,张洪亮,等. 中国水稻选育品种遗传多样性及其近50年变化趋势[J]. 科学通报, 2006, 51(6): 693-699.
- [14] 胡标林,万勇,李霞,等. 水稻核心种质表型性状遗传多样性分析及综合评价[J]. 作物学报, 2012, 38(5): 829-839.
- [15] 徐福荣,董超,杨文毅,等. 基于表型性状和SSR分子标记的云南省水稻主要育成品种(系)的遗传相似性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2011, 12(5): 700-708.
- [16] 赵一洲,李正茂,路洪彪,等. 辽宁省水稻骨干亲本演变及遗传多样性分析[J]. 河南农业科学, 2014, 43(12): 28-33.
- [17] 杨致荣,李润植,魏兴华. 微卫星标记对籼稻品种遗传多样性分析[J]. 山西农业科学, 2008, 36(8): 33-35.
- [18] 王兴春,杨致荣,魏兴华. 普通野生稻遗传多样性分析[J]. 山西农业科学, 2010, 38(5): 3-6.
- [19] 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.
- [20] 苏晓妹,方宇星,刘钰龙,等. 水稻矮秆多分蘖突变体 *mz3* 的遗传分析和基因定位[J]. 中国水稻科学, 2016, 30(5): 479-486.
- [21] 赵双玲,陈林,胡成成,等. 膜下滴灌栽培水稻品种农艺性状相关性与主成分分析[J]. 大麦与谷类科学, 2017, 34(3): 15-18.
- [22] 陈小龙,马利奋,李培富,等. 宁夏粳稻种质资源表型性状遗传多样性分析[J]. 中国农学通报, 2013, 29(33): 43-49.
- [23] 李振姣,马斯霜,部丽群,等. 宁夏外引水稻种质资源表型性状遗传多样性分析[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(8): 117-121.
- [24] 马斯霜,李振姣,赵璐,等. 宁夏水稻地方品种与自育品种表型性状遗传多样性分析[J]. 西北农业学报, 2017, 26(2): 216-226.

(上接第15页)

- [13] 冯颖竹,余土元,陈惠阳,等. 环境光强对糯玉米籽粒主要品质成分的影响[J]. 生态环境, 2007, 16(3): 926-930.
- [14] 佟亚屏,程延平. 玉米密度与产量关系的研究[J]. 北京农业科学, 1995(1): 23-25.
- [15] 王萌,陈国强,金海燕,等. 不同种植密度和空间布局方式对夏玉米灌浆速率和籽粒品质的影响[J]. 天津农学院学报, 2015, 22(4): 9-12.
- [16] 徐韶. 种植密度对春玉米灌浆期光合特性及产量的影响[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(11): 3216-3217, 3220.
- [17] 赵淑杰,吴华民. 玉米籽粒自然脱水速率的分析[J]. 吉林农业科学, 2002, 27(5): 24-26.
- [18] 张海艳,董树亭,高荣岐. 不同类型玉米籽粒灌浆特性分析[J]. 玉米科学, 2007, 15(3): 67-70.
- [19] 冯鹏,申晓慧,郑海燕,等. 种植密度对玉米籽粒灌浆及脱水特性的影响[J]. 中国农学通报, 2014, 30(6): 92-100.
- [20] 余利,刘正,王波,等. 行距和行向对不同密度玉米群体田间小气候和产量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(8): 938-942.
- [21] 刘开昌,张秀清,王庆成,等. 密度对玉米群体冠层内小气候的影响[J]. 植物生态学报, 2000, 24(4): 489-493.
- [22] 张玉芹,杨恒山,高聚林,等. 超高产春玉米冠层结构及其生理特性[J]. 中国农业科学, 2011, 44(21): 4367-4376.
- [23] 吕丽华,陶洪斌,夏来坤,等. 不同种植密度下的夏玉米冠层结构及光合特性[J]. 作物学报, 2008, 34(3): 447-455.
- [24] 沈秀瑛,戴俊英,胡安畅,等. 玉米群体冠层特征与光截获及产量关系的研究[J]. 作物学报, 1993, 19(3): 246-252.
- [25] 蒙成,吴雅芳,贾亚涛. 早熟玉米自交系主要农艺性状配合力分析[J]. 南方农业学报, 2018, 49(3): 424-430.
- [26] 薛吉全,鲍巨松,杨成书,等. 玉米不同株型群体冠层特性与光能截获量及产量的关系[J]. 西北农业学报, 1995, 4(1): 29-34.
- [27] 谢圣杰,邢国芳,贾亚涛,等. 氮磷施肥对玉米叶片生长及光合特性的影响[J]. 山西农业科学, 2018, 46(3): 387-391.