

不同地理来源饭豆种质生态适应性及表型分析

张金涛^{1,2}, 李建领^{2,3}, 王素华², 陈红霖², 程须珍², 沙爱华¹, 王丽侠²

(¹ 长江大学农学院, 荆州 434025; ² 中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081; ³ 长江大学生命科学学院, 荆州 434025)

摘要: 本研究分别在北京和海南对不同来源的 276 份饭豆种质资源进行了农艺性状的鉴定评价, 以期优异基因发掘及利用提供参考。结果表明, 饭豆种质资源有较强的光温敏感性。276 份种质资源中在北京能够开花结荚的有 188 份, 在海南有 271 份; 幼茎以紫色为主 (91.67%), 籽粒以黄白色 (44.57%) 和红色 (32.97%) 为主; 大部分资源在北京蔓生 (77.54%), 在海南则半蔓生 (63.77%)。数量性状在南北两地的比较分析发现, 平均生育期、平均主茎分枝数、平均百粒重均以北京大于海南, 而荚长和单荚粒数则相反。各性状在两地的平均变异系数由大到小依次为主茎分枝数 (25.84%)、百粒重 (25.34%)、荚长 (16.78%)、单荚粒数 (14.23%)、生育期 (9.35%)。同一种质在低纬度种植时, 生育期比在高纬度时短, 主茎分枝数也会减少, 而荚长、单荚粒数、百粒重等的分布并无显著的地理相关性。根据上述结果, 分别筛选出 47 份早熟、直立、长荚、大粒的优异资源。本研究结果将为饭豆资源的研究利用提供参考, 优异种质筛选则有助于饭豆种质创新及品种选育。

关键词: 饭豆; 种质资源; 生态适应性; 表型分析

Analysis of Ecological Adaptability and Phenotypes of Rice Bean Germplasm Resources from Different Geographical Sources

ZHANG Jin-tao^{1,2}, LI Jian-ling^{2,3}, WANG Su-hua², CHEN Hong-lin²,

CHENG Xu-zhen², SHA Ai-hua¹, WANG Li-xia²

(¹ College of Agriculture, Yangtze University, Jingzhou 434025; ² Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081; ³ College of Life Science, Yangtze University, Jingzhou 434025)

Abstract: Agronomic traits of 276 rice bean (*Vigna umbellata* (Thunb.) Ohwi & H. Ohashi) germplasm resources were evaluated in Beijing and Hainan, to provide information for new gene mining and utilization. The results showed that rice bean germplasm resources were highly sensitive to light and temperature. Among the 276 rice bean germplasms, 188 flowered and set seed in Beijing, while 271 flowered and set seed in Hainan. Young stems of most of the rice beans were purple (91.67%). The seeds were mainly yellow (44.57%) or red (32.97%). A large part of the germplasms were twining in Beijing (77.54%) but semi-twining in Hainan (63.77%). Comparative analysis of quantitative traits showed that the growth period, number of branches on the main stem, and 100-seed weight were greater in Beijing than in Hainan, while pod length and number of seeds per pod were in reverse. The average coefficient of variation for each trait of the rice beans growing in the two locations, in decreasing order, was number of branches on main stem (25.84%), 100-seed weight (25.34%), pod length (16.78%), number of seeds per pod (14.23%), and growth period (9.35%). The growth period and the number of branches on main stem of the same germplasm resources were less in lower latitude than in the higher latitude, while the length of pod, the number of seeds per pod and the 100-seed weight were not notably correlated.

收稿日期: 2020-10-23 修回日期: 2020-11-13 网络出版日期: 2020-12-11

URL: <http://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20201023002>

第一作者研究方向为食用豆类种质资源, E-mail: 1342570173@qq.com

通信作者: 沙爱华, 研究方向为分子育种, E-mail: aihuasha@163.com

王丽侠, 研究方向为食用豆种质资源评价鉴定及创新利用, E-mail: wanglixia03@caas.cn

基金项目: 现代农业产业技术体系 (CARS-08)

Foundation project: China Agriculture Research System (CARS-08)

with the geographical locations. Finally, 47 elite germplasms with early maturity, erect stems, long pod, or large seed were selected. The present study would provide information for further study on new gene mining and their application in breeding.

Key words: rice bean; germplasm resources; ecological adaptability; phenotype analysis

饭豆 (*Vigna umbellata* (Thunb.) Ohwi& H. Ohashi), 又名赤小豆、米豆、爬山豆、竹豆和精米豆等, 属于豆科 (Leguminosae) 蝶形花亚科 (Papilionoideae) 豇豆属 (*Vigna* Savi) 中的一年生热季豆类作物。饭豆起源于喜马拉雅山到斯里兰卡的热带地区^[1], 与绿豆、小豆等相似, 栽培区域相对狭窄, 主要分布于中国、东亚及东南亚各国^[2-3]。饭豆富含蛋白质、淀粉、膳食纤维等营养物质^[4-6]及多酚等生理活性物质^[7-8], 是典型的医食两用作物。此外, 饭豆还具抗病虫、耐旱、耐高温、耐贫瘠等特性^[9-10], 尤其适于干旱、少雨等生态条件较差的地区种植。饭豆除了收获干豆外, 亦可作为饲料或绿肥^[11]。然而, 饭豆作为尚未开发利用的小宗豆类作物, 多零星种植, 整体研究水平较落后。生产上多为高秧蔓生的地方品种, 缺乏矮秆、直立、抗倒品种。开展饭豆种质资源的表型鉴定评价及生态适应性分析, 发掘早熟直立饭豆种质资源, 对推动饭豆现代化品种的选育和应用具有重要意义。

目前, 我国国家种质库中保存的饭豆资源共 1194 份^[12], 但尚未对其进行深度评价利用。李莉等^[13]和王艳兰等^[14]分别对湖北和湖南地方饭豆资

源进行过遗传多样性及表型鉴定, 因资源数量有限, 代表性不强; 王丽侠等^[15]基于我国现有库存饭豆种质资源, 率先构建了我国饭豆核心种质, 并进行了表型多样性研究, 但并未开展生态适应性等后续研究, 资源的利用价值不明晰。本研究基于我国构建的饭豆核心种质及近年来新收集的资源, 选出不同地理来源和具有生态代表性的种质资源 276 份, 分别在北京、海南 2 个不同的生态区进行主要农艺性状的表型分析和生态适应性鉴定, 进一步深入解析饭豆主要质量性状和数量性状的遗传多样性及在不同生态区的表现, 旨在为我国饭豆种质资源的有效利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

276 份饭豆种质资源来自于 18 个国家, 其中中国 178 份; 国外引进 98 份, 包括缅甸 24 份, 尼泊尔 15 份, 印度和日本各 10 份, 泰国 7 份, 老挝 6 份, 古巴 5 份, 越南 4 份, 美国和东帝汶各 3 份, 朝鲜、韩国、葡萄牙和菲律宾各 2 份, 捷克、斯里兰卡和印度尼西亚各 1 份 (表 1)。

表 1 不同国家 276 份饭豆种质资源基本信息
Table 1 Basic information of 276 rice bean germplasm resources from different sources

序号 Number	原编号* Original number*	来源 Source	序号 Number	原编号* Original number*	来源 Source	序号 Number	原编号* Original number*	来源 Source
1	D0013	中国山西	13	D0265	中国云南	25	D0424	中国山西
2	D0076	中国辽宁	14	D0266	中国广西	26	D0451	中国山西
3	D0077	中国辽宁	15	D0294	中国云南	27	D0458	中国安徽
4	D0078	中国内蒙古	16	D0318	中国云南	28	D0463	中国安徽
5	D0079	中国吉林	17	D0329	中国陕西	29	D0468	中国安徽
6	D0080	中国吉林	18	D0333	中国陕西	30	D0473	中国安徽
7	D0081	中国辽宁	19	D0334	中国陕西	31	D0475	中国安徽
8	D0082	中国辽宁	20	D0339	中国陕西	32	D0533	中国湖南
9	D0115	中国山东	21	D0343	中国陕西	33	D0577	中国广西
10	D0164	中国湖北	22	D0346	中国陕西	34	D0667	中国广西
11	D0179	中国湖北	23	D0347	中国陕西	35	D0669	中国广西
12	D0240	中国湖北	24	D0386	中国山西	36	D0672	中国广西

表 1(续)

序号 Number	原编号* Original number*	来源 Source	序号 Number	原编号* Original number*	来源 Source	序号 Number	原编号* Original number*	来源 Source
37	D0679	中国贵州	78	D0963	中国广西	119	D1294	中国湖北
38	D0680	中国贵州	79	D0970	中国河北	120	D1319	中国湖北
39	D0693	中国贵州	80	D0972	中国河北	121	D1352	中国北京
40	D0708	中国贵州	81	D0973	中国河北	122	D1353	中国北京
41	D0822	中国甘肃	82	D0974	中国河北	123	D1358	中国湖北
42	D0823	中国甘肃	83	D0980	中国安徽	124	D1432	中国贵州
43	D0825	中国甘肃	84	D0999	中国安徽	125	WVuC053	尼泊尔
44	D0826	中国甘肃	85	D1009	中国安徽	126	WVuW007	韩国
45	D0827	中国甘肃	86	D1011	中国湖南	127	WVuC035	泰国
46	D0828	中国甘肃	87	D1064	中国广西	128	WVuW010	中国
47	D0829	中国甘肃	88	D1068	中国广西	129	WVuC055	尼泊尔
48	D0830	中国甘肃	89	D1082	中国广西	130	WVuW001	日本
49	D0831	中国甘肃	90	D1083	中国广西	131	WVuC003	日本
50	D0833	中国甘肃	91	D1085	中国广西	132	WVuC034	泰国
51	D0834	中国甘肃	92	D1086	中国广西	133	WVuC051	尼泊尔
52	D0868	中国河南	93	D1131	中国重庆	134	WVuC009	中国
53	D0869	中国河南	94	D1132	中国重庆	135	WVuC009a	中国
54	D0874	中国河南	95	D1133	中国重庆	136	WVuC047	斯里兰卡
55	D0884	中国河南	96	D1134	中国重庆	137	WVuC042a	缅甸
56	D0902	中国河南	97	D1135	中国重庆	138	WVuC042	缅甸
57	D0903	中国河南	98	D1139	中国重庆	139	WVuC044	缅甸
58	D0906	中国河南	99	D1141	中国重庆	140	WVuW009	中国
59	D0907	中国河南	100	D1142	中国重庆	141	WVuC043	缅甸
60	D0908	中国河南	101	D1144	中国重庆	142	WVuC043a	缅甸
61	D0909	中国河南	102	D1147	中国重庆	143	WVuC017	菲律宾
62	D0923	中国河南	103	D1149	中国重庆	144	WVuC017a	菲律宾
63	D0928	中国河南	104	D1152	中国贵州	145	WVuC058	尼泊尔
64	D0929	中国河南	105	D1155	中国贵州	146	WVuC011	中国
65	D0935	中国河南	106	D1159	中国贵州	147	WVuC007	韩国
66	D0936	中国河南	107	D1166	中国贵州	148	WVuC059	尼泊尔
67	D0938	中国河南	108	D1178	中国贵州	149	WVuC065	尼泊尔
68	D0939	中国河南	109	D1199	中国河北	150	WVuC027	老挝
69	D0941	中国河南	110	D1201	中国河北	151	WVuC052	尼泊尔
70	D0944	中国河南	111	D1202	中国河北	152	WVuW008	中国
71	D0950	中国广西	112	D1235	中国湖北	153	WVuC072	印度
72	D0952	中国广西	113	D1243	中国湖北	154	WVuC010	中国
73	D0953	中国广西	114	D1249	中国湖北	155	WVuC018	中国河南
74	D0954	中国广西	115	D1250	中国湖北	156	WVuC071	印度
75	D0955	中国广西	116	D1288	中国湖北	157	WVuC071a	印度
76	D0956	中国广西	117	D1292	中国湖北	158	WVuC006	朝鲜
77	D0959	中国广西	118	D1293	中国湖北	159	WVuC039	缅甸

表 1(续)

序号 Number	原编号* Original number*	来源 Source	序号 Number	原编号* Original number*	来源 Source	序号 Number	原编号* Original number*	来源 Source
160	WVuC039a	缅甸	199	WVuC048	缅甸	238	缅 201804	缅甸
161	WVuC056	尼泊尔	200	WVuC023	越南	239	缅 201805	缅甸
162	WVuC021	越南	201	WVuW012	中国	240	缅 201806	缅甸
163	WVuC025	老挝	202	WVuC030	老挝	241	FD268	中国
164	WVuC041	缅甸	203	WVuC008	中国	242	俄 1800	美国
165	WVuC068	印度	204	WVuC004	日本	243	俄 3320	葡萄牙
166	WVuC028	老挝	205	WVuC004a	日本	244	俄 5897	印度
167	WVuC069	印度	206	WVuW011	中国	245	俄 6077	美国
168	WVuC066	印度	207	FD228	中国	246	俄 7836	美国
169	WVuC064	尼泊尔	208	湖南 10	中国湖南	247	俄 8977	朝鲜
170	WVuC060	尼泊尔	209	湖南 10	中国湖南	248	俄 10311	中国
171	WVuC020	东帝汶	210	湖南 18	中国湖南	249	俄 10314	中国
172	WVuC020a	东帝汶	211	湖南 19	中国湖南	250	俄 10738	印度
173	WVuC047a	缅甸	212	湖南 21	中国湖南	251	俄 10754	中国
174	WVuC001#	日本	213	湖南 22	中国湖南	252	俄 10755	中国
175	WVuC001	日本	214	湖南 22	中国湖南	253	俄 10762	中国
176	WVuC050	尼泊尔	215	湖南 39	中国湖南	254	俄 10979	中国
177	WVuC036	缅甸	216	湖南 41	中国湖南	255	俄 10986	中国
178	WVuC033	泰国	217	湖南 41	中国湖南	256	俄 11221	中国
179	WVuC032a	泰国	218	湖南 71	中国广西	257	俄 11222	中国
180	WVuC045	缅甸	219	湖南 72	中国广西	258	俄 11681	印度尼西亚
181	WVuW014	中国	220	FF10	中国广西	259	俄 11875	日本
182	WVuC067	印度	221	FF3	中国广西	260	俄 12403	葡萄牙
183	WVuC015	中国	222	FF14	中国广西	261	俄 12807	古巴
184	WVuC015a	中国	223	SB330	中国广西	262	俄 12809	古巴
185	WVuC024	越南	224	FD245	中国广西	263	俄 12811	古巴
186	WVuC013	中国	225	FD246	中国广西	264	俄 12812	古巴
187	WVuC022	越南	226	FD247	中国广西	265	俄 12813	古巴
188	WVuC054	尼泊尔	227	FF2	中国广西	266	俄 13652	捷克
189	WVuC070	印度	228	FF22	中国广西	267	WVuC032	泰国
190	WVuC046	缅甸	229	FF25	中国广西	268	WVuC049	尼泊尔
191	WVuC061	尼泊尔	230	FD251	中国广西	269	WVuC004b	日本
192	WVuC061a	尼泊尔	231	TL15-117	中国广西	270	WVuC001a	日本
193	WVuC013a	中国	232	FD253	中国广西	271	WVuC012	中国
194	WVuC038	缅甸	233	WVuC072a	印度	272	WVuC040	缅甸
195	WVuW006	泰国	234	WVuC031	泰国	273	WVuC005	日本
196	WVuC029a	老挝	235	缅 201801	缅甸	274	缅 201810	缅甸
197	WVuC029	老挝	236	缅 201802	缅甸	275	缅 201807	缅甸
198	WVuC019	东帝汶	237	缅 201803	缅甸	276	缅 201808	缅甸

* 原编号包括统一编号(已编目)和引进编号(尚未编目)

*Original numbers are either unified numbers (catalogued) or introduction numbers (uncatalogued)

1.2 试验方法

276 份饭豆资源分别于 2019 年夏季在北京中国农业科学院顺义基地(40° 23' N, 116° 56' E)和冬季在海南三亚南滨农场(18° 37' N, 109° 19' E)种植。播种方式为地膜覆盖,双行垄作,单粒点播,株距 20 cm,行距 60 cm。出苗至收获陆续调查幼茎色、主茎分枝数、生长习性、生育期、荚长、单荚粒数、百粒重、粒色等性状。各性状的调查主要参考《饭豆种质资源描述规范和数据标准》^[2]。

1.3 数据处理和分析

利用 Excel 2010 和 SPSS 25.0 软件计算各性状平均值、标准差、变异系数及性状间的相关分析。用 Shannon 指数评价多样性,其中数量性状根据各性状平均值和标准差分为 10 级,1 级 < (X-2S), 10 级 ≥ (X+2S),每 0.5 S 为一级,X 为平均值,S 为标准差,统计各级分布频率 P_i ,多样性指数 $H'=-\sum P_i \ln P_i$ 。

2 结果与分析

2.1 276 份饭豆种质资源生态适应性评价

276 份资源于 2019 年夏季在北京种植,188 份能够正常成熟;冬季在三亚种植,有 271 份能够开花结荚并收获到种子。其中仅在北京不开花结荚的 83 份资源包括中国 22 份,占 26.51%,主要为广西和云南的种质;缅甸 18 份,占 21.69%;尼泊尔 13 份,占 15.66%;以及印度、泰国各 7 份,均占 8.43%;此外,还有老挝、越南、菲律宾、斯里兰卡等国家的资源。

表 2 188 份饭豆种质资源在不同试点的 5 个数量性状分析

Table 2 Analysis of five quantitative traits of 188 rice bean germplasm resources in different locations

地点 Location	性状 Trait	最大值 Max.	最小值 Min.	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数(%) CV	Shannon 多样性 指数 H'
北京 Beijing	生育期(d)	140.0	91.0	121.1	14.0	11.56	1.64
	主茎分枝数	11.0	2.0	5.7	1.2	21.10	1.55
	荚长(cm)	15.2	4.5	9.1	2.0	22.25	2.01
	单荚粒数	10.0	5.0	8.1	1.1	13.60	1.93
	百粒重(g)	11.8	1.2	6.9	1.7	25.17	1.99
三亚 Sanya	生育期(d)	103.0	80.0	89.3	6.4	7.13	1.64
	主茎分枝数	8.0	1.0	4.2	1.3	30.58	1.64
	荚长(cm)	13.8	7.4	9.6	1.1	11.32	2.00
	单荚粒数	12.0	6.0	8.5	1.3	14.86	2.04
	百粒重(g)	11.9	2.9	5.9	1.5	25.51	1.97

主茎分枝数在北京和三亚均表现为正态分布(图 2)。其中,在北京主茎分枝数的变异范围为

2.2 质量性状表型变异分析

276 份饭豆资源幼茎色紫色占 91.67%,绿色占 8.3%。生长习性以蔓生居多,但南北差异较大,其中在北京顺义表现蔓生的有 214 份,占 77.54%,半蔓生占 15.58%,直立生长的资源共 19 份,仅占 6.88%。在海南三亚以半蔓生为主(63.77%),直立和蔓生资源均占 18.12%。籽粒以黄白色(44.57%)和红色(32.97%)为主;此外,狸花种皮占 13.04%,绿白色占 7.61%,还有 3 份黑色种皮、1 份黑红和 1 份棕色资源。其中黄白色和红色来源比较广泛,狸花和绿白色资源主要来自中国华南地区及东南亚各国,而黑色、黑红及棕色资源分别来自越南(2 份)、尼泊尔(1 份)、泰国(1 份)和日本(1 份)。

2.3 数量性状表型变异分析及多样性分析

以在北京和三亚都能正常成熟的 188 份资源为主,对其生育期、主茎分枝数等数量性状在 2 个生态区的表型变异分析(表 2)表明,北京生态区各饭豆生育期明显长于三亚。其中北京最短 91.0 d,最长 140.0 d 以上,平均为 121.1 d;在三亚最短 80.0 d,最长 103.0 d 以上,平均为 89.3 d(图 1)。在北京呈现早熟(短于 95 d)的资源共有 8 份,这些资源来自中国东北和华北地区(辽宁 3 份、吉林 2 份和内蒙古 1 份)及广西(2 份)。在三亚表现早熟(短于等于 80 d)的资源有 6 份,主要来自甘肃(4 份)、吉林(1 份)和山西(1 份)。进一步分析显示,大部分在北京表现早熟的资源在三亚也早熟。

2.0~11.0 个,平均值为 5.7 个;三亚主茎分枝数范围为 1.0~8.0 个,平均为 4.2 个。进一步分析发现,有

5.32% 的资源在北京的主茎分枝数超过 7 个,而在三亚仅有 0.53% 的资源超过 7 个。相关分析显示,主茎分枝数与生育期 ($R=0.209$, $P=0.01$)、单株荚数 ($R=0.410$, $P=0.01$) 有一定正相关。

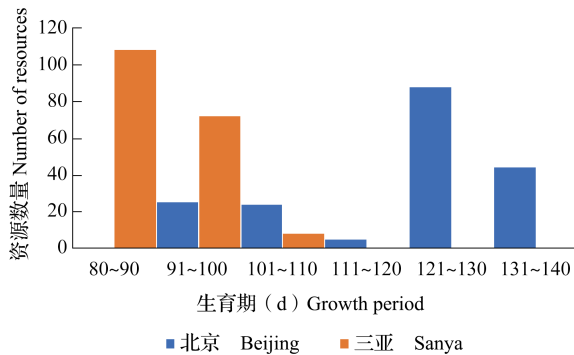


图 1 生育期频率分布图

Fig. 1 Frequency distribution of growth period

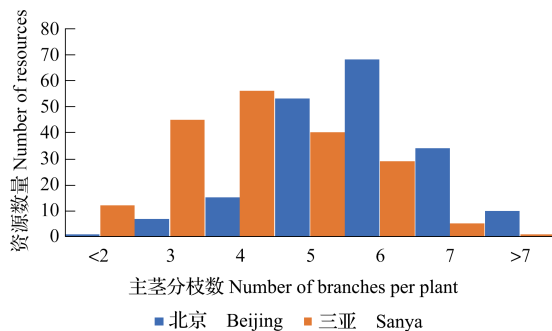


图 2 主茎分枝数频率分布图

Fig. 2 Frequency distribution of main stem branches

北京和三亚的荚长范围分别为 4.5~15.2 cm 和 7.4~13.8 cm (图 3)。其中在北京的平均荚长 (9.1 cm) 稍小于三亚 (9.6 cm)。进一步分析发现,长荚 (大于 12.0 cm) 材料主要来自中国。南北两地荚长呈一定正相关 ($R=0.257$), 而荚长与生育期 ($R=-0.146$, $P=0.05$) 则呈一定负相关。

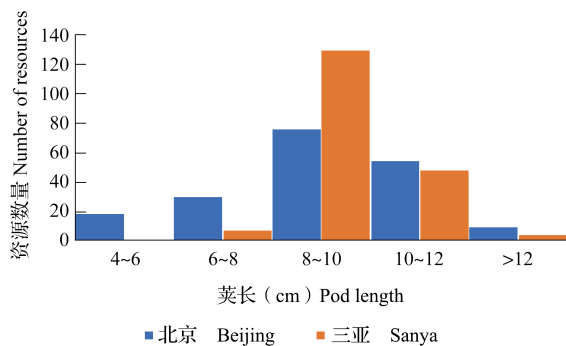


图 3 荚长频率分布图

Fig. 3 Frequency distribution of pod length

单荚粒数在南北两地也表现为正态分布 (图 4), 其中在北京的变异范围为 5.0~10.0 粒, 平均为 8.1 粒;

三亚的变异范围为 6.0~12.0 粒, 平均为 8.5 粒。相关性表明单荚粒数与荚长极显著正相关 ($R=0.460$, $P=0.01$), 与生育期、百粒重等性状无明显相关性。

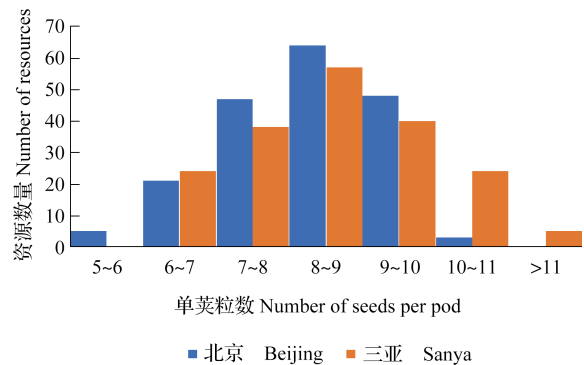


图 4 单荚粒数频率分布图

Fig. 4 Frequency distribution diagram of number of per pod

百粒重在南北两地均表现为近正态分布 (图 5)。其中在北京的变异范围为 1.2~11.8 g, 平均为 6.9 g, 其中百粒重小于 3.0 g 的有 7 份, 包括中国广西 4 份、尼泊尔 2 份和日本 1 份, 大于 11.0 g 的有 5 份, 分别来自中国山西、中国安徽、古巴、东帝汶和老挝等; 而在三亚百粒重的变异范围为 2.9~11.9 g, 平均为 5.9 g, 其中小于 3.0 g (山西) 和大于 11.0 g (安徽) 均只有 1 份材料。相关分析显示, 百粒重与荚长 ($R=0.554$, $P=0.01$)、生育期 ($R=0.434$, $P=0.01$) 均呈正相关, 而与单荚粒数、主茎分枝数等无明显相关性。

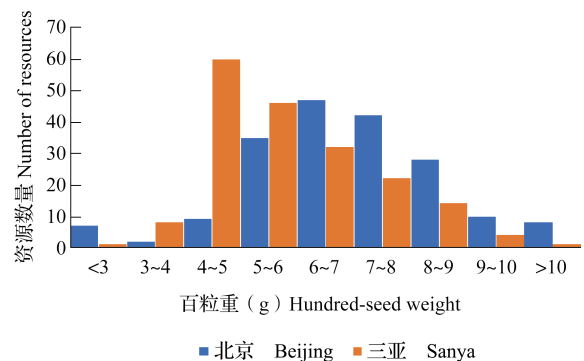


图 5 饭豆百粒重频率分布图

Fig. 5 Frequency distribution of 100-seed weight

2.4 不同来源种质表型变异分析

由于不同来源的资源数量差异较大, 因此, 将来自中国的资源按照生态区进行划分, 将来自不同国家的资源按大洲归类后分析。在北京及三亚均可正常成熟收获的材料有 188 份, 其中来自中国的 153 份资源中除了 15 份详细来源不明外, 剩余 138 份可分为东北、西北、华北、华中、华南 5 个生态区 (表 3), 其中中华和海南的饭豆资源占 71.74%。

表 3 不同地区饭豆种质性状差异分析
Table 3 Analysis on the difference of traits of rice bean germplasms from different regions

地区 Region	数量 No.	均值 / 范围 Mean/Range	生育期 (d) GP			主茎分枝数 BPP			荚长 (cm) PDL			单荚粒数 SPP			百粒重 (g) HSW		
			北京 Beijing	三亚 Sanya		北京 Beijing	三亚 Sanya		北京 Beijing	三亚 Sanya		北京 Beijing	三亚 Sanya		北京 Beijing	三亚 Sanya	
中国* China*	15	平均值 变异范围	123.4 91.0~140.0	92.8 83.0~103.0		6.2 4.0~8.0	4.5 2.0~7.0		9.61 4.76~15.21	9.70 7.74~13.82		7.96 6.33~9.67	8.21 6.00~9.67		7.11 5.06~10.20	6.50 3.39~8.53	
中国东北 Northeast China	7	平均值 变异范围	93.1 91.0~106.0	83.0 80.0~91.0		5.4 4.0~7.0	3.4 3.0~5.0		6.62 4.51~9.50	9.19 8.32~10.20		7.95 7.00~9.67	7.67 6.67~8.67		7.37 5.82~9.12	4.96 3.21~6.32	
中国西北 Northwest China	18	平均值 变异范围	119.2 100.0~124.0	85.3 80.0~90.0		5.7 3.0~8.0	4.4 1.0~6.0		8.69 4.81~12.0	9.46 7.43~12.95		8.25 6.33~10.00	9.18 6.33~12.00		6.41 4.99~8.09	5.51 3.87~9.01	
中国华北 North China	14	平均值 变异范围	118.6 96.0~130.0	87.4 80.0~91.0		5.6 2.0~8.0	4.2 1.0~6.0		8.80 5.13~12.40	9.57 8.89~10.34		8.24 7.67~9.67	8.64 6.67~10.33		5.69 5.43~11.57	6.64 2.85~7.42	
中国华中 Central China	52	平均值 变异范围	121.0 100.0~139.0	88.8 81.0~97.0		5.7 3.0~11.0	4.3 2.0~8.0		9.15 4.47~12.73	9.66 7.36~11.45		8.21 6.00~9.67	8.63 6.33~10.67		6.64 3.64~11.63	5.84 3.62~11.92	
中国华南 South China	47	平均值 变异范围	121.2 91.0~139.0	89.6 82.0~103.0		5.8 3.0~8.0	4.3 2.0~7.0		9.10 4.89~12.20	9.63 8.11~13.13		8.14 5.00~10.00	8.62 6.33~11.00		6.70 1.24~9.09	5.91 3.85~9.41	
东亚 East Asia	11	平均值 变异范围	126.3 102.0~140.0	91.6 83.0~98.0		5.9 4.0~8.0	4.2 1.0~7.0		9.47 7.20~11.60	9.08 8.02~10.83		8.00 6.00~9.67	8.00 6.33~9.67		6.61 2.31~10.72	5.15 4.08~7.52	
南亚 South Asia	5	平均值 变异范围	133.0 124.0~140.0	88.8 84.0~100.0		5.6 4.0~7.0	4.4 4.0~5.0		9.41 7.67~11.10	9.55 8.16~11.48		8.20 7.33~9.00	8.13 6.33~10.00		4.76 2.50~6.70	5.88 4.06~8.56	
东南亚 Southeast Asia	8	平均值 变异范围	126.6 124.0~140.0	97.1 84.0~103.0		6.1 5.0~7.0	4.6 3.0~6.0		9.69 7.90~11.87	9.79 8.76~11.02		7.13 5.67~8.67	8.46 7.67~10.33		8.99 7.14~11.75	6.30 4.48~8.82	
北美洲 North America	8	平均值 变异范围	124.5 123.0~125.0	87.0 84.0~95.0		5.0 3.0~6.0	3.0 2.0~4.0		9.93 7.30~12.70	9.51 8.06~10.87		7.50 6.00~9.00	7.33 6.00~8.33		8.63 6.67~11.05	6.34 5.76~7.00	
欧洲 Europe	3	平均值 变异范围	116.3 99.0~125.0	88.3 84.0~93.0		6.3 5.0~7.0	4.3 4.0~5.0		9.04 6.40~11.33	9.50 8.64~10.27		7.78 6.00~9.67	8.44 7.00~9.67		7.75 6.96~8.49	6.03 5.09~7.03	

* 仅确定中国材料,更确切的来源不可知
*Chinese materials without more detailed information of source. GP : Growth period, BPP: Number of branches per plant, PDL: Pod length, SPP: Number of seeds per pod, HSW: 100-seed weight

188 份饭豆的生育期均值在低纬度种植时比在高纬度种植时短,北京和三亚相差 31.8 d。与生育期类似,与高纬度相比,饭豆主茎分枝数在低纬度时较少。荚长变异范围最广的是华中地区的资源。而单荚粒数最多的则是来自西北的资源,故筛选多粒种质时可优先从中国西北种质中筛选。在北京种植,东北的资源百粒重最大(7.37 g),而在三亚百粒重最大的资源来自华北(6.64 g),东北资源在三亚的平均百粒重仅为 4.96 g。

国外饭豆资源根据地理位置分成东亚、南亚、东南亚、北美洲、欧洲 5 个地区。在北京平均生育期最长的是南亚资源,其次是东南亚;在三亚最长是东南亚,其次是东亚;而东南亚种质在北京生育期平均值是 126.6 d,在三亚 97.1 d,其中东南亚国家中东帝汶的 1 份资源在北京生育期达 140.0 d 以上,所有材料中生育期最长,即使在三亚也需要 100.0 d。南北两地平均主茎分枝数最小的是北美洲资源;在北京主茎分枝数均值最多的是欧洲资源,在三亚则是东南亚资源。东亚和北美洲资源的荚长均值在北

京的表现明显大于三亚,东南亚、南亚及欧洲的资源荚长均值在三亚的表现胜于北京,特别是欧洲资源较为显著。各生态区单荚粒数均值在北京及三亚总的变异范围在 7.13~9.18 之间。其中东亚资源的平均单荚粒数在南北两地相等;南亚和北美洲的平均单荚粒数在北方大于南方,而东南亚和欧洲则相反。在北京,平均百粒重变异范围为 4.76~8.99 g,在三亚为 5.15~6.34 g。此外,只有南亚的平均百粒重北京和三亚两地相比是增加的,其余 4 个地区的平均百粒重北京和三亚相比是减少的;这 4 个地区资源的百粒重均值在北京、三亚两地差异依次为东南亚(29.92%)>北美洲(26.54%)>欧洲(22.19%)>东亚(22.09%)。

2.5 优异种质资源筛选

根据饭豆农艺性状鉴定结果,初步筛选出直立、生育期短(北京 ≤ 91 d,三亚 ≤ 80 d)、大粒(≥ 10 g)、单荚粒数多(≥ 11 粒)、长荚(≥ 12 cm)等性状的优异资源 47 份。得益于中国饭豆资源的丰富性,筛选出的资源多数来自中国(41 份),其余则来自古巴、东帝汶、老挝和日本(表 4)。

表 4 47 份饭豆特异种质资源
Table 4 47 elite germplasm resources of rice beans

序号 Number	原编号 Original number	特异性状 Elite traits	序号 Number	原编号 Original number	特异性状 Elite traits
1	D0013	大粒、直立*、早熟	117	D1292	直立
2	D0076	早熟*	119	D1294	长荚
3	D0077	早熟*	120	D1319	直立
4	D0078	早熟*	121	D1352	直立*
5	D0079	早熟	134	WVuC009	长荚
6	D0080	早熟	154	WVuC010	早熟*
7	D0081	早熟	172	WVuC020a	大粒
18	D0329	多粒*、长荚*	183	WVuC015	长荚
20	D0334	多粒*、长荚	197	WVuC029	大粒
27	D0451	早熟*	209	湖南 10	长荚
28	D0458	大粒	210	湖南 18	直立
48	D0822	早熟*	212	湖南 21	直立
49	D0823	早熟*、多粒	213	湖南 22	直立、粒多
50	D0825	早熟*	215	湖南 39	长荚
51	D0826	早熟*	218	湖南 71	直立
56	D0831	多粒*	219	湖南 72	直立
72	D0952	长荚*	221	FF3	直立
74	D0954	早熟	224	FD245	粒多*
75	D0955	早熟	249	俄 10314	大粒
101	D1152	直立	259	俄 11875	大粒
112	D1235	直立	261	俄 12807	大粒、长荚
113	D1243	直立	262	俄 12809	大粒
114	D1249	直立	264	俄 12812	长荚
115	D1250	直立			

*表示仅在三亚具备该特性
*trait exhibited in Sanya

3 讨论

开展饭豆生态适应性和表型多样性研究,对饭豆的引种及品种选育具有重要意义。饭豆属于短日照作物,其生长习性受环境因素如光照、温度、降雨量等诸多因子影响较大,在我国多表现为蔓生(75%以上)^[13-15]。本研究发现,虽然 276 份资源有 77.54% 在北京表现为蔓生,在三亚有 63.77% 为半蔓生;饭豆在北京的平均株高 2.5 m,但在三亚仅 0.75 m。

饭豆的光温敏感性对生育期影响较大。本研究发现,不同材料的光温敏感性强弱程度不同,如中国华南地区种质在北京和三亚生育期变异范围最广,变异幅度分别为 91.0~139.0 d 和 82.0~103.0 d,两地生育期变异范围最小的是东北和西北,分别为 91.0~106.0 d 和 80.0~90.0 d。而国外资源在北京生育期比三亚生育期多 28.0~44.2 d 不等。其中东亚 11 份资源在北京平均生育期为 126.3 d,在三亚为 91.6 d,而 8 份来自日本的饭豆在北京平均生育期为 132.1 d,在三亚为 91.3 d 可成熟,生育期缩短 1 个月以上。总的来说,受光温敏感性的影响,纬度越低,饭豆生育期相对越短。除了生育期的影响,饭豆的初花期和花期持续时间也有很大差异。本研究中的 188 份饭豆在北京从播种到初花平均要 71.3 d,在三亚平均需 45.5 d。但是,在北京饭豆平均花期持续时间超过 30.0 d,而在三亚平均仅 26.4 d;这与生长习性是一致的,因为蔓生的资源多为无限结荚习性,需要分批次收获。

不同来源饭豆的其他数量性状也表现各异。尤其是除朝鲜以外其他国家饭豆资源在北京的平均主茎分枝数均高于三亚,其中韩国资源在两地的差异最显著,而中国及其他 5 个国家(缅甸、印度、印度尼西亚、尼泊尔、东帝汶)饭豆资源的平均主茎分枝数在南北差异较小。就荚长来看,仅东亚和北美洲在北京的平均值高于三亚,其余区域则相反;且北美洲荚长在北京变异范围最广,南亚荚长在三亚变异范围最广。中国西北的饭豆在北京和三亚的单荚粒数均为最大,而国外资源中在北京的单荚粒数以南亚最多(8.20),在三亚以东南亚最多(8.46)。以上说明,来自中国西北、南亚和东南亚等地的饭豆资源中更能发掘到长荚基因资源。

前人对绿豆农艺性状的研究表明,绿豆的荚长和百粒重具有较稳定的遗传,而生育期、株高和主茎分枝数在不同环境下的变异幅度较大^[16]。本研究

中发现饭豆以主茎分枝数、百粒重等变异系数较高,而生育期和单荚粒数等变异系数较低,除此之外荚长的变异系数在两地波动较大。从遗传多样性指数看,荚长、单荚粒数和百粒重的多样性较高,主茎分枝数和生育期则相对较低,可见变异系数和多样性指数的结果并不一致,这在绿豆中也报道过^[17],主要因为变异系数反应离散程度,而多样性指数反映了数据的丰富性和均匀性,可根据需要选取合适的评价参数。

蔓生饭豆用作绿肥时有助于扩大生物量,然而作为粮食作物,则难以大规模发展,仅能与部分高秆作物间作套种利用。因此,为了促进饭豆直立品种的选育,本研究基于表型性状的分析,筛选出 47 份早熟、直立、大粒、甚至长荚的饭豆资源,以期在饭豆优良品种选育中有效利用。这些优异资源主要来自中国中南部地区,这也为饭豆种质资源的进一步考察收集提供了参考价值。

参考文献

- [1] Tomooka N, Vaughan D, Moss H, Maxted N. The Asian *Vigna*: genus *Vigna* subgenus *Ceratotropis* genetic resources. London: Kluwer Academic Publishers, 2002: 108
- [2] 程须珍,王素华,王丽侠. 饭豆种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社, 2006
Cheng X Z, Wang S H, Wang L X. Descriptors and data standard for rice bean [*Vigna umbellata* (Thunb.) Ohwi & Ohashi]. Beijing: China Agriculture Press, 2006
- [3] 程须珍,王述民. 中国食用豆类品种志. 北京: 中国农业科技出版社, 2009: 400
Cheng X Z, Wang S M. History of Chinese edible bean varieties. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2009: 400
- [4] Katoch R. Nutritional potential of rice bean (*Vigna umbellata*): an underutilized legume. Journal of Food Science, 2013, 78(1): C8-C16
- [5] Ashogbon A O, Akintayo E T. Isolation and characterization of starches from two cowpea (*Vigna unguiculata*) cultivars. International Food Research Journal, 2013, 20(6): 3093-3100
- [6] Sadana B, Hira C K, Singla N, Grewal H. Nutritional evaluation of rice bean (*Vigna umbellata*) strains. Journal of Food Science and Technology - Mysore, 2006, 43: 516-518
- [7] Farinu G O, Ingrao G. Gross composition, amino-acid, phytic acid and trace-element contents of 13 cowpea cultivars and their nutritional significance. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1991, 55: 401-410
- [8] Yao Y, Cheng X Z, Wang L X, Wang S H, Ren G X. Major phenolic compounds, antioxidant capacity and antidiabetic potential of rice bean (*Vigna umbellata* L.) in China. International Journal of Molecular Sciences, 2012, 13(3): 2707-2716
- [9] Hall A E. Phenotyping cowpeas for adaptation to drought. Frontiers in Physiology, 2012, 3: 1-8

- [10] Kashiwaba K, Tomooka N, Kaga A, Han O K, Vaughan D A. Characterization of resistance to three bruchid species (*Callosobruchus* spp., *Coleoptera*, *Bruchidae*) in cultivated rice bean (*Vigna umbellata*). *Journal of Economic Entomology*, 2003, 96 (1): 207-213
- [11] Pattanayak A, Roy S, Sood S, Ilangrai B, Banerjee A, Gupta S, Joshi D C. Rice bean: a lesser known pulse with well-recognized potential. *Planta*, 2019, 250: 873-890
- [12] 胡家蓬, 程须珍, 王佩芝. 中国食用豆类品种资源目录. 北京: 中国农业出版社, 1996: 134
Hu J P, Cheng X Z, Wang P Z. Catalogues of chinese food legumes germplasm and resources III. Beijing: China Agriculture Press, 1996: 134
- [13] 李莉, 万正煌, 陈宏伟, 仲建锋, 伍广洪. 湖北省饭豆地方种质资源鉴定与评价. *园艺与种苗*, 2012 (11): 33-36
Li L, Wan Z H, Chen H W, Zhong J F, Wu G H. Identification and evaluation of local rice bean germplasm in Hubei province. *Horticulture & Seed*, 2012 (11): 33-36
- [14] 王艳兰, 李基光, 王利群, 邓晶, 汤睿, 余应弘. 湖南省饭豆地方种质资源表型多样性评价. *植物遗传资源学报*, 2021, 22 (2): 317-327
Wang Y L, Li J G, Wang L Q, Deng J, Tang R, Yu Y H. Evaluation on phenotypic variation of rice bean germplasm collected from Hunan province. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2021, 22 (2): 317-327
- [15] 王丽侠, 程须珍, 王素华. 中国饭豆种质资源遗传多样性及核心种质构建. *植物遗传资源学报*, 2014, 15 (2): 242-247
Wang L X, Cheng X Z, Wang S H. Genetic diversity analysis and a core collection construction of rice bean (*Vigna umbellata*) in China. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2014, 15 (2): 242-247
- [16] 王丽侠, 程须珍, 王素华, 朱旭, 刘振兴. 中国绿豆核心种质资源在不同环境下的表型变异及生态适应性评价. *作物学报*, 2014, 40 (4): 739-744
Wang L X, Cheng X Z, Wang S H, Zhu X, Liu Z X. Adaptability and phenotypic variation of agronomic traits in mungbean core collection under different environments in China. *Acta Agronomica Sinica*, 2014, 40 (4): 739-744
- [17] 陈红霖, 胡亮亮, 杨勇, 郝曦煜, 李姝彤, 王素华, 王丽侠, 程须珍. 481 份国内外绿豆种质农艺性状及豆象抗性鉴定评价及遗传多样性分析. *植物遗传资源学报*, 2020, 21 (3): 549-559
Chen H L, Hu L L, Yang Y, Hao X Y, Li S T, Wang S H, Wang L X, Cheng X Z. Evaluation and genetic diversity analysis of agronomic traits and bruchid resistance using 481 worldwide mungbean germplasms. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2020, 21 (3): 549-559