

# 谷子主要育成品种在新疆的遗传多样性研究

丁银灯<sup>1</sup>, 聂石辉<sup>2</sup>, 王 仙<sup>2</sup>, 胡相伟<sup>2</sup>, 冯国郡<sup>2</sup>, 耿洪伟<sup>1</sup>, 战帅帅<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>新疆农业大学农学院, 乌鲁木齐 830052; <sup>2</sup>新疆农业科学院粮食作物研究所, 乌鲁木齐 830091)

**摘要:**以 274 份谷子种质资源为材料, 利用聚类分析和主成分分析方法, 对参试资源 16 个农艺性状的遗传多样性进行综合评价。结果表明, 参试材料的 11 个数量性状的遗传多样性指数均大于 2.000, 在新疆表现出广泛的遗传多样性。基于种质资源间形态标记的遗传差异, 将 274 份谷子种质资源聚类并划分为 6 大类群。第 I 类群(105 份材料)生育期较短, 属早熟类型, 但其他性状表现一般; 第 II 类群(19 份材料)出苗-抽穗日数最小, 全生育期最短, 早熟性明显, 穗下节间长度相对其他类群较长; 第 III 类群(10 份材料)生育期较短, 主穗长相对较长, 其余性状表现均处于较低水平; 第 IV 类群(58 份材料)主穗长、单穗重在各类群中处于较高水平, 生育期相对较短; 第 V 类群(26 份材料)生育期最长, 属晚熟类型, 除主穗长度最小外其余性状均表现突出; 第 VI 类群(56 份材料)生育期相对较长, 属中晚熟类型, 株高较低, 生物产量处于中等水平。9 个数量性状的主成分分析结果表明, 前 3 个主成分因子(单株秆重、株高、主穗直径)累计贡献率达 70.41%, 各主成分因子性状载荷值反映了育种中各性状的选择方向及潜力。综合评价谷子种质资源农艺性状, 为新疆谷子资源收集、评价和利用提供一定的科学依据。

**关键词:**谷子; 种质资源; 遗传多样性; 农艺性状; 新疆

## Genetic Diversity of Agronomic Traits of Foxtail Millet (*Setaria italica* (L.) Beauv.) Mainly Bred Varieties in Xinjiang Province, China

DING Yin-deng<sup>1</sup>, NIE Shi-hui<sup>2</sup>, WANG Xian<sup>2</sup>, HU Xiang-wei<sup>2</sup>, FENG Guo-jun<sup>2</sup>,  
GENG Hong-wei<sup>1</sup>, ZHAN Shuai-shuai<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>College of Agronomy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052;

<sup>2</sup>Institute of Cereal Crops, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091)

**Abstract:** Sixteen agronomic traits of 274 genotypes of foxtail millet (*Setaria italica* (L.) Beauv.) have been comprehensive evaluated of genetic diversity by using cluster analysis and principal component analysis. The results showed that the genetic diversity index of all the 11 quantitative traits was greater than 2.000, and test materials showed a wide range of genetic diversity in Xinjiang. Two hundreds and seventy four foxtail millet germplasm resources were clustered and classified into 6 groups based on the genetic differences of morphology markers among them. Group I contains 105 materials, has a shorter growth period, belongs to early maturity type, but the other traits perform poorly. Group II, which includes 19 materials, the growth period is shortest, so is the duration between emergence and heading stage, and the uppermost internode length of it is longer than other groups. Group III had shorter growth stage, which consists of 10 materials, the main spike length of it is relatively long, but the other traits are all at low level. Group IV, including 58 materials, is superior to other groups in main spike length and single panicle weight, and the growth stage of it is shorter. Group V had the longest growth stage, which contains 26 materials, belongs to late-maturing type, all the traits of it is better than other groups, except main spike length. Group VI includes 56 materials, has a longer growth stage, belongs to mid-late type, the plant height is low. The result of prin-

收稿日期: 2017-08-20 修回日期: 2017-09-15 网络出版日期: 2018-02-09

URL: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20180209.0902.020.html>

基金项目: 新疆维吾尔自治区公益性科研院所基本科研业务项目 (KY2015065, KYGY2016088); 新疆维吾尔自治区区域协同创新专项 (2016E02008)

第一作者研究方向为谷子遗传育种。E-mail: 1457676749@qq.com

通信作者: 冯国郡, 研究方向为谷子遗传育种与栽培。E-mail: fengguojx@126.com

耿洪伟, 研究方向为小麦遗传育种。E-mail: hw-geng@163.com

principal component analysis of 9 quantitative traits shows that the cumulative contribution rate of the first three principal components is 70.41%. The load values of each principal component trait reflect the selection potential and direction of each trait in breeding. The comprehensive analysis of agronomic traits of germplasm resources provided some scientific basis for the collection, evaluation and utilization of Xinjiang foxtail millet resources.

**Key words:** foxtail millet; germplasm resources; genetic diversity; agronomic traits; Xinjiang

谷子(*Setaria italica* (L.) Beauv.)起源于中国,是古老的栽培粟类作物之一,早在7000多年前就成为中原地区的主要栽培作物,具有耐瘠薄、适应性强等特点。谷子是中国北方地区的重要粮食和饲草作物,在东南亚和中欧一些区域也曾作为粮食广为栽培,而在拉丁美洲、澳大利亚和北非一些地区则主要作为干饲料或青贮饲料栽培。中国谷子种植面积常年维持在200万 $\text{hm}^2$ 左右,约占全球的80%,并随着农业种植结构的调整其种植面积在逐步扩大,年总产量在350万t左右<sup>[1]</sup>。中国目前拥有的谷子种质资源约2.7万余份,为全球占有量最多、研究最深入的国家。新疆种植谷子的历史较短,近几年随着作物种植结构调整及育种家们的努力,一些地区开始对谷子进行规模化种植或试种。谷子用途广泛,除了子粒外,其秸秆具有较强开发潜力,成熟后的秸秆其粗蛋白含量4.53%~5.34%,粗脂肪含量1.12%~1.36%,上述可消化成分虽低于豆科植物,但显著高于其他禾谷类作物,饲喂价值接近豆科牧草<sup>[2]</sup>,这对新疆畜牧业饲草料的补充具有重要意义。

国内有关谷子遗传多样性研究已有不少报道,王海岗等<sup>[3]</sup>选用了来自世界各地的878份谷子核心种质通过15个表型性状综合评估遗传多样性,杨慧卿等<sup>[4]</sup>选用了来自国外及国内的68份分蘖型谷子进行了表型及遗传多样性分析。国内有关谷子种质

资源的表型及农艺性状遗传多样性研究多集中在特定地区<sup>[5-6]</sup>,而且受环境的影响较大,新疆作为典型干旱半干旱大陆性气候,探索引进谷子种质资源的遗传多样性对新疆谷子育种具有重要意义。主成分分析和聚类分析是种质资源和遗传育种研究中普遍采用的分析方法,已在大豆<sup>[7]</sup>、蚕豆<sup>[8]</sup>、小麦<sup>[9-10]</sup>、红花<sup>[11]</sup>、燕麦<sup>[12]</sup>、水稻<sup>[13]</sup>、玉米<sup>[14]</sup>等多种作物种质资源中得到广泛应用。本研究利用收集的谷子种质资源,以聚类分析和主成分分析两种方法,综合评价分析谷子种质资源主要农艺性状的遗传多样性,对于鉴定特异种质,依据新疆各地区不同生产需求筛选优异种质资源,提高新疆谷子的产量、品质、抗逆性,并对新疆谷子种质资源的收集、评价和利用提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

以从全国收集及本单位保存的274份谷子种质资源作为参试材料,种质资源选择综合了育成品种、农家品种及国外品种在地理来源、多样性中心等方面的代表性,最大程度涵盖了我国谷子主要种植区品种类型。材料主要来自哈萨克斯坦及中国的河北、山西、内蒙古、陕西、河南、山东、贵州、黑龙江、甘肃、吉林。具体参试材料编号、种质名称及来源地见表1。

表1 参试材料编号及种质名称

Table 1 The code, name and origin of millet varieties used in this study

编号 No.	种质名称 Genotypes	来源地 Sources	编号 No.	种质名称 Genotypes	来源地 Sources	编号 No.	种质名称 Genotypes	来源地 Sources	编号 No.	种质名称 Genotypes	来源地 Sources
1	朝谷 58	中国山西	9	长 0302	中国山西	17	赤峰 22-23	中国内蒙古	25	太选 17 号	中国山西
2	承谷 13	中国山西	10	赤峰 22-31	中国内蒙古	18	赤峰 22-22	中国内蒙古	26	赤谷 17	中国山西
3	K34	中国山西	11	赤峰 22-30	中国内蒙古	19	赤峰 22-21	中国内蒙古	27	大同 34 号	中国山西
4	相谷一号	中国山西	12	赤峰 22-29	中国内蒙古	20	赤峰 22-20	中国内蒙古	28	大同 39 号	中国山西
5	汾杂 5 号	中国山西	13	赤峰 22-27	中国内蒙古	21	赤峰 22-19	中国内蒙古	29	晋品谷 3 号	中国山西
6	竹叶青	中国山西	14	赤峰 22-26	中国内蒙古	22	赤峰 22-17	中国内蒙古	30	晋品谷 4 号	中国山西
7	承 11-727	中国山西	15	赤峰 22-25	中国内蒙古	23	太选 15 号	中国山西	31	晋谷 14	中国山西
8	长杂 2 号	中国山西	16	赤峰 22-24	中国内蒙古	24	太选 16 号	中国山西	32	晋谷 21	中国山西

表 1(续)

编号 No.	种质名称 Genotypes	来源地 Sources	编号 No.	种质名称 Genotypes	来源地 Sources	编号 No.	种质名称 Genotypes	来源地 Sources	编号 No.	种质名称 Genotypes	来源地 Sources
33	晋谷 27	中国山西	73	鲁谷 2 号	中国山东	113	承德 11	中国河北	151	毛流沙	中国山西
34	长生 04	中国山西	74	鲁谷 1 号	中国山东	114	承德 12	中国河北	152	路保	中国山西
35	长生 06	中国山西	75	昌潍 74	中国山东	115	承德 13	中国河北	153	216	中国山西
36	长生 07	中国山西	76	昌潍 69	中国山东	116	承德 14	中国河北	154	94-80	中国山西
37	长生 10	中国山西	77	昌潍 62	中国山东	117	承德 15	中国河北	155	94-86	中国山西
38	长生 11	中国山西	78	济 8062-8	中国山东	118	承德 16	中国河北	156	化 F3-9(棒)	中国山西
39	长生 18	中国山西	79	济 8787	中国山东	119	承德 17	中国河北	157	黑米	中国山西
40	长农 40	中国山西	80	济谷 15	中国山东	120	承德 18	中国河北	158	偏关红谷	中国山西
41	长农 35	中国山西	81	济谷 14	中国山东	121	承德 19	中国河北	159	晋汾 38	中国山西
42	CN2011-3	中国山西	82	济谷 13	中国山东	122	承德 20	中国河北	160	晋中红谷	中国山西
43	CN2011-2	中国山西	83	水 514	中国北京	123	承德 21	中国河北	161	89-19	中国山西
44	14/WY034	哈萨克斯坦	84	陇谷 9 号	中国甘肃	124	承德 22	中国河北	162	长 24	中国山西
45	14/WY032	哈萨克斯坦	85	赤谷 6 号	中国内蒙古	125	承德 23	中国河北	163	晋谷 34 号	中国山西
46	14/WY031	哈萨克斯坦	86	朝 637	中国辽宁	126	承德 24	中国河北	164	晋谷 36 号	中国山西
47	14/WY030	哈萨克斯坦	87	九谷 8	中国吉林	127	承德 25	中国河北	165	晋谷 41 号	中国山西
48	14/WY029	哈萨克斯坦	88	龙谷 30	中国黑龙江	128	承德 26	中国河北	166	晋谷 42 号	中国山西
49	赤峰 21-40	中国内蒙古	89	公矮 3 号	中国吉林	129	承德 27	中国河北	167	晋谷 51 号	中国山西
50	赤峰 21-9	中国内蒙古	90	水 8	中国内蒙古	130	承德 28	中国河北	168	豫谷 1 号	中国河南
51	赤峰 22-46	中国内蒙古	91	黑谷子	中国河北	131	承德 29	中国河北	169	糯性谷子	中国山西
52	赤峰 22-45	中国内蒙古	92	野生谷	中国山西	132	承德 30	中国河北	170	晋谷 57	中国山西
53	赤峰 22-44	中国内蒙古	93	金香玉	中国内蒙古	133	承德 31	中国河北	171	晋汾 09	中国山西
54	赤峰 22-43	中国内蒙古	94	78-0625	中国黑龙江	134	W661	中国山西	172	晋汾 02	中国山西
55	赤峰 22-40	中国内蒙古	95	承谷 8 号	中国河北	135	晋汾 23	中国山西	173	长农 39	中国山西
56	聊农 3 号	中国山东	96	夏谷 2 号	中国北京	136	红早谷	中国山西	174	中谷 2 号	中国河北
57	聊农 1 号	中国山东	97	大黄谷	中国内蒙古	137	矮 20	中国山西	175	济谷 18	中国山东
58	鲁金 5 号	中国山东	98	小米	中国贵州	138	如一	中国山西	176	长农 38	中国山西
59	鲁金 3 号	中国山东	99	小红谷	中国山西	139	农大棒×铁鸡咀	中国山西	177	峰谷 12	中国内蒙古
60	鲁金 1 号	中国山东	100	红谷子	中国河北	140	黑谷青	中国山西	178	赤谷 10 号	中国内蒙古
61	冀谷 22	中国山东	101	夏谷	中国北京	141	87-151× 晋 6×大	中国山西	179	赤谷 8 号	中国内蒙古
62	冀谷 21	中国山东	102	216	中国黑龙江	142	晋谷 35	中国山西	180	济谷 12	中国山东
63	冀谷 20	中国山东	103	承德 1	中国河北	143	晋谷 35	中国山西	181	长农 44	中国山西
64	冀谷 19	中国山东	104	承德 2	中国河北	144	鹅黄谷	中国山西	182	济谷 16	中国山东
65	冀谷 18	中国山东	105	承德 3	中国河北	145	大黄谷	中国山西	183	龙 34	中国黑龙江
66	鲁谷 10	中国山东	106	承德 4	中国河北	146	晋谷 21 号	中国山西	184	龙 31	中国黑龙江
67	鲁谷 9 号	中国山东	107	承德 5	中国河北	147	黑选白	中国山西	185	龙 32	中国黑龙江
68	鲁谷 7 号	中国山东	108	承德 6	中国河北	148	尚峪红谷	中国山西	186	龙 35	中国黑龙江
69	鲁谷 6 号	中国山东	109	承德 7	中国河北	149	红软谷	中国山西	187	龙 33	中国黑龙江
70	鲁谷 5 号	中国山东	110	承德 8	中国河北	150	尺八黄	中国山西	188	龙 25	中国黑龙江
71	鲁谷 4 号	中国山东	111	承德 9	中国河北		87-151× 阴×红 2	中国山西	189	晋谷 39 号	中国山西
72	鲁谷 3 号	中国山东	112	承德 10	中国河北				190	大同 29 号	中国山西

表 1(续)

编号 No.	种质名称 Genotypes	来源地 Sources	编号 No.	种质名称 Genotypes	来源地 Sources	编号 No.	种质名称 Genotypes	来源地 Sources	编号 No.	种质名称 Genotypes	来源地 Sources
191	大同 37 号	中国山西	212	冀谷 38	中国河北	233	晋谷 28	中国山西	254	衡谷 13 号	中国河北
192	晋谷 31 号	中国山西	213	13H681	中国河北	234	九谷 14 号	中国吉林	255	延谷 12 号	中国陕西
193	安 11 - 5365	中国河南	214	13H643	中国河北	235	晋谷 20	中国山西	256	延谷 13 号	中国陕西
194	晋谷 25	中国山西	215	K2466	中国河北	236	峰谷 12	中国内蒙古	257	公谷 66 号	中国吉林
195	晋谷 33 号	中国山西	216	M1976	中国河北	237	2887609	中国吉林	258	公谷 73 号	中国吉林
196	陇谷 11 号	中国甘肃	217	13H662	中国河北	238	2P. 汾 3 - 2012	中国山西	259	公谷 74 号	中国吉林
197	陇谷 12 号	中国甘肃	218	K2905	中国河北	239	公谷 60 号	中国吉林	260	6012	中国黑龙江
198	陇谷 13 号	中国甘肃	219	13H650	中国河北	240	公谷 61 号	中国吉林	261	6013	中国黑龙江
199	香谷	中国内蒙古	220	K2652	中国河北	241	公谷 62 号	中国吉林	262	6014	中国黑龙江
200	峰红谷	中国内蒙古	221	13H616	中国河北	242	公谷 63 号	中国吉林	263	6017	中国黑龙江
201	安 13 - 5415	中国河南	222	公谷 31 号	中国吉林	243	公谷 65 号	中国吉林	264	6021	中国黑龙江
202	安 08 - 4129	中国河南	223	龙谷 31	中国黑龙江	244	公谷 67 号	中国吉林	265	6022A	中国黑龙江
203	安 8251	中国河南	224	九谷 15	中国吉林	245	公谷 68 号	中国吉林	266	6024	中国黑龙江
204	安 4240	中国河南	225	晋杂优 2 号	中国山西	246	公谷 69 号	中国吉林	267	6032	中国黑龙江
205	豫谷 16	中国河南	226	余三	中国山西	247	公谷 70 号	中国吉林	268	6033	中国黑龙江
206	豫谷 18	中国河南	227	赤谷 5 号	中国内蒙古	248	公谷 71 号	中国吉林	269	6036	中国黑龙江
207	豫谷 19	中国河南	228	晋谷 29	中国山西	249	公谷 75 号	中国吉林	270	6042	中国黑龙江
208	冀谷 31	中国河北	229	九谷 19	中国吉林	250	公谷 76 号	中国吉林	271	6043	中国黑龙江
209	冀谷 35	中国河北	230	红粘谷	中国吉林	251	公矮 5 号	中国吉林	272	6044	中国黑龙江
210	冀谷 36	中国河北	231	晋谷 13	中国山西	252	公矮 2 号	中国吉林	273	6046	中国黑龙江
211	冀谷 37	中国河北	232	九谷 20	中国吉林	253	衡谷 10 号	中国河北	274	6053	中国黑龙江

## 1.2 试验设计

试验地点位于新疆农业科学院综合试验场, 43°59'62"N, 89°45'03"E, 海拔 824.0 m; 试验年平均气温 6.7 °C, 生命周期降水量 181 mm, 日照 2832 h。试验地为水浇地, 壤土, 前茬红薯(2015 年)、玉米(2016 年), 肥力中等。

试验采取随机区组设计, 3 次重复; 每小区 2 行, 行长 2 m, 行距 40 cm, 株距 4 cm。灌溉、施肥方法采用膜下滴灌-施肥技术。

## 1.3 性状调查

田间性状调查参照《谷子种质资源描述规范和数据标准》<sup>[15]</sup> 进行, 田间观察出苗-抽穗日数、全生育期、叶鞘色、幼苗叶色、幼苗叶姿、穗茎形、花药颜色等; 灌浆期于田间测量主茎节数、株高、茎粗、主穗长、穗下节间长度、主穗直径, 成熟收获时每小区连续取 10 株调查单穗重、单株秆重、单株生物量等, 室内考种其粒色、米色等品质性状。统计分析的性状分为两类: 第 1 类是质量性状, 包含叶鞘色、幼苗色、幼苗叶姿、穗茎形、花药颜色等 5 个性状, 分析各性

状的频率分布和遗传多样性指数; 第 2 类是数量性状, 包含出苗-抽穗日数、全生育期、主茎节数、株高、茎粗、主穗长、穗下节间长度、主穗直径、单穗重、单株秆重、单株生物量等 11 个性状, 采用一般性描述统计分析和遗传多样性指数分析。

描述质量性状中各性状差别用阿拉伯数字表示, 叶鞘色: 1 = 绿色, 2 = 红色, 3 = 紫色; 幼苗叶色: 1 = 绿色, 2 = 黄绿, 3 = 紫绿。幼苗叶姿: 1 = 上举, 2 = 半上举, 3 = 平展, 4 = 下披; 穗茎形状: 1 = 直立, 2 = 中弯, 3 = 弯曲, 4 = 勾形; 花药颜色: 1 = 白色(含浅绿色), 2 = 黄色, 3 = 橙色(含浅紫色)。

## 1.4 数据处理及统计分析

采用 Microsoft Excel 2013 整理数据, 应用 SPSS 19.0 计算性状的平均值( $\bar{X}$ )、标准差( $s$ )、变异系数( $CV$ )等。根据计算结果将全部材料每个性状划分为 10 个等级, 按第 1 级 [ $X_i < (\bar{X} - 2s)$ ] 到第 10 级 [ $X_i > (\bar{X} + 2s)$ ], 每 0.5s 为 1 级, 每 1 级的相对频率( $P_i$ )用于计算多样性指数。遗传多样性指数即 Shannon-Wiener index ( $H'$ ) 信息指数<sup>[16]</sup>,



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,  $X_i$  为第  $i$  级中的数据。聚类分析和主成分分析采用 SPSS 19.0 软件, 聚类分析过程中, 为便于数量化和统计分析, 数值首先进行标准化转换 ( $Z$  分数), 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 Ward 的方法。

## 2 结果与分析

### 2.1 形态多样性分析

由表 2 可以看出, 不同材料之间存在较大差异, 不同性状在不同材料间表现出不同程度的多样性。参试材料的 5 个质量性状中, 叶鞘色以绿色为主, 占参试材料的 52.19%; 其次为红色类型; 紫色类型最少。幼苗叶色黄绿色为主, 占参试材料的 48.54%; 其次为绿色类型; 紫绿色类型最少。幼苗叶姿以平展类型最多, 占参试材料的 46.35%; 其次为半上举类型, 占 31.75%; 上举和下披类型较少, 分别占 5.84% 和 16.06%。穗茎形状以弯曲类型为主, 占 56.93%; 其次为勾形类型, 占 30.66%; 中弯和直立形较少, 分别占 11.68% 和 0.73%。花药颜色以橙色(含浅紫色)类型为主, 占 63.50%; 其次为黄色类型, 占 35.40%; 白色(含浅绿色)类型最少。5 个质量性状中遗传多样性指数最高的是幼苗叶姿(1.180),

表 3 谷子种质资源 11 个数量性状的遗传多样性分析

Table 3 Assessment on genetic diversity of 11 quantitative agronomic traits of millet genetic resources

性状 Trait	平均值 Average	最小值 Min.	最大值 Max.	标准差 SD	极差 Range	变异系数(%) CV	遗传多样性指数 $H'$
出苗-抽穗日数(d) Emergent to heading days	69.27	51.00	91.00	6.80	46.18	9.81	2.010
全生育期(d) Period of duration	124.67	108.00	148.00	8.64	74.57	6.93	2.075
主茎节数 Node numbers of main stem	13.06	9.70	15.60	1.07	1.16	8.23	2.040
株高(cm) Plant height	171.69	94.79	213.10	14.18	201.10	8.26	2.003
茎粗(cm) Diameter of main stem	0.82	0.52	1.01	0.08	0.01	9.85	2.035
主穗长(cm) Main panicle length	25.99	17.54	39.58	3.03	9.20	11.67	2.042
穗下节间长度(cm) Peduncle length	31.54	21.03	51.87	4.28	18.31	13.57	2.053
主穗直径(cm) Diameter of main panicle	2.40	1.17	3.23	0.30	0.09	12.53	2.060
单穗重(g) Spike weight per plant	23.29	9.58	32.94	3.87	14.96	16.61	2.031
单株秆重(g) Culm weight per plant	28.52	7.19	53.68	7.22	52.06	25.30	2.034
单株生物量(g) Biological yield per plant	56.40	19.70	97.67	10.59	112.21	18.78	2.016

不同材料间各性状也存在较大差异, 其中单株秆重的变异系数 25.30% 最大, 变异幅度 7.19 ~ 53.68 g;

其次是穗茎形状(0.970), 叶鞘色为第 3 位(0.935), 幼苗叶色和花药颜色的遗传多样性指数分别为 0.916 和 0.705。

表 2 谷子种质资源 5 个质量性状的遗传多样性分析

Table 2 Assessment on genetic diversity of 5 qualitative agronomic traits of millet genetic resources

性状 Trait	遗传多样性 指数 $H'$	频率分布 Ratio of distribution			
		1	2	3	4
叶鞘色 Leaf sheath color	0.935	52.19	37.96	9.85	—
幼苗叶色 Leaf color of seedling	0.916	43.43	48.54	8.03	—
幼苗叶姿 Seedling leaf attitude	1.180	5.84	31.75	46.35	16.06
穗茎形状 Peduncle shape	0.970	0.73	11.68	56.93	30.66
花药颜色 Anther color	0.705	1.09	35.40	63.50	—

对参试材料 11 个数量性状进行遗传多样性分析(表 3)的结果表明, 遗传多样性指数均大于 2.000, 其中全生育期(2.075)最高; 其次是主穗直径(2.060); 株高的遗传多样性指数最小(2.003)。遗传多样性指数排序为: 全生育期 > 主穗直径 > 穗下节间长度 > 主穗长 > 主茎节数 > 茎粗 > 单株秆重 > 单穗重 > 单株生物量 > 出苗-抽穗日数 > 株高。

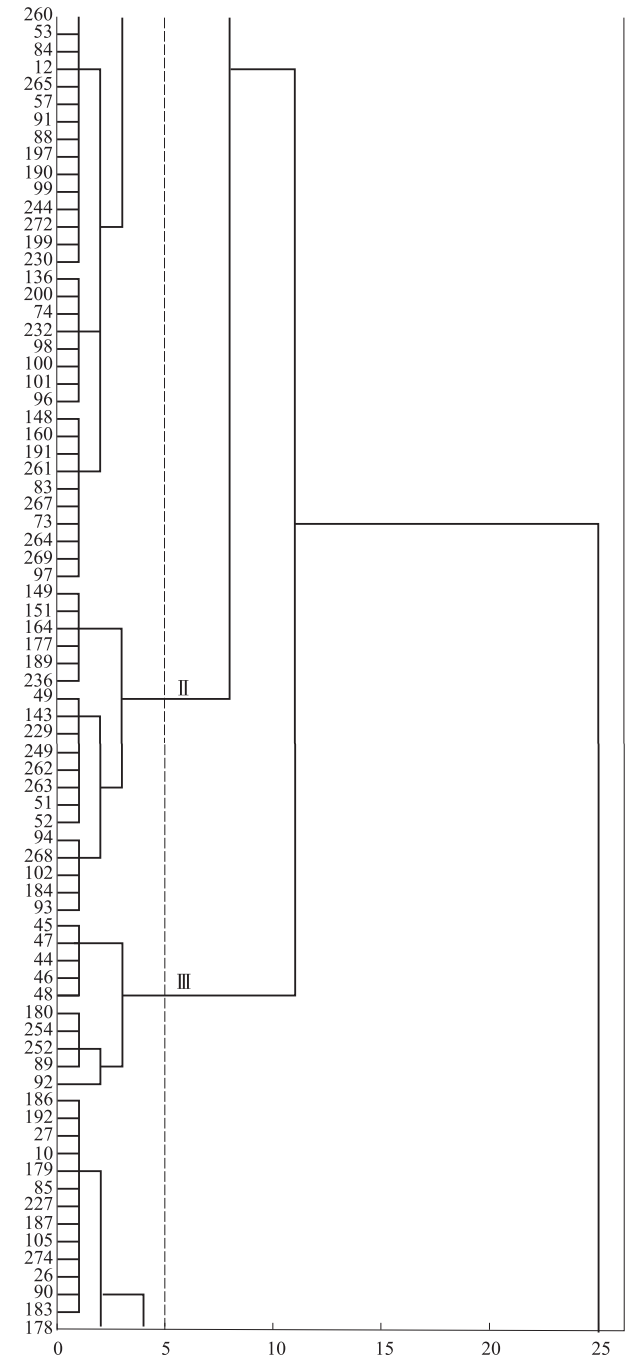
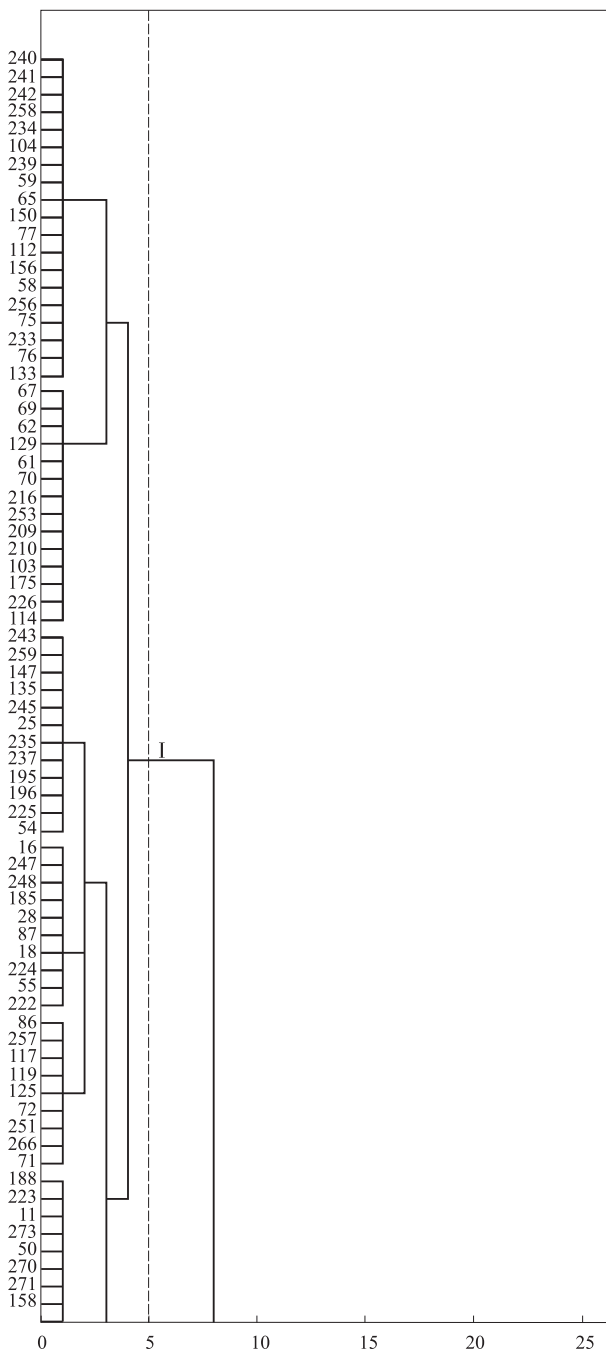
其次为单株生物量变异系数 18.78%, 变异幅度 19.70 ~ 97.67 g。其余性状依次分别为: 单穗重变

异系数 16.61% ,变异幅度 9.58 ~ 32.94 g ;穗下节间长度变异系数 13.57% ,变异幅度 21.03 ~ 51.87 cm ;主穗直径变异系数 12.53% ,变异幅度 1.17 ~ 3.23 cm ;主穗长变异系数 11.67% ,变异幅度 17.54 ~ 39.58 cm ;茎粗变异系数 9.85% ,变异幅度 0.52 ~ 1.01 cm ;出苗-抽穗日数变异系数 9.81% ,变异幅度 51.00 ~ 91.00 d ;株高变异系数 8.26% ,变异幅度 94.79 ~ 213.10 cm ;主茎节数变异系数 8.23% ,变异幅度 9.70 ~ 15.60 ;全生育期变异系数最小为 6.93% ,变异幅度 108.00 ~ 148.00 d 。由结果可知,参试谷子种质资源间各性状差异明显,

且不同性状在不同种质间也表现出丰富的遗传多样性,综合各质量性状和数量性状的统计分析结果可以看出,参试材料的遗传多样性较丰富,改良潜力较大,这可为新疆谷子新品种的选育提供优异的种质基础,对生产中株型、高产、高生物量、密植等需求具有重要实际意义。

### 2.2 基于农艺性状的聚类分析

利用 SPSS 19.0 ,对 274 份谷子种质资源的 16 个性状进行聚类分析,采用 Ward 法,在欧式距离为 5 处将参试种质分为 6 大类群(图 1),各类群性状特征见表 4。



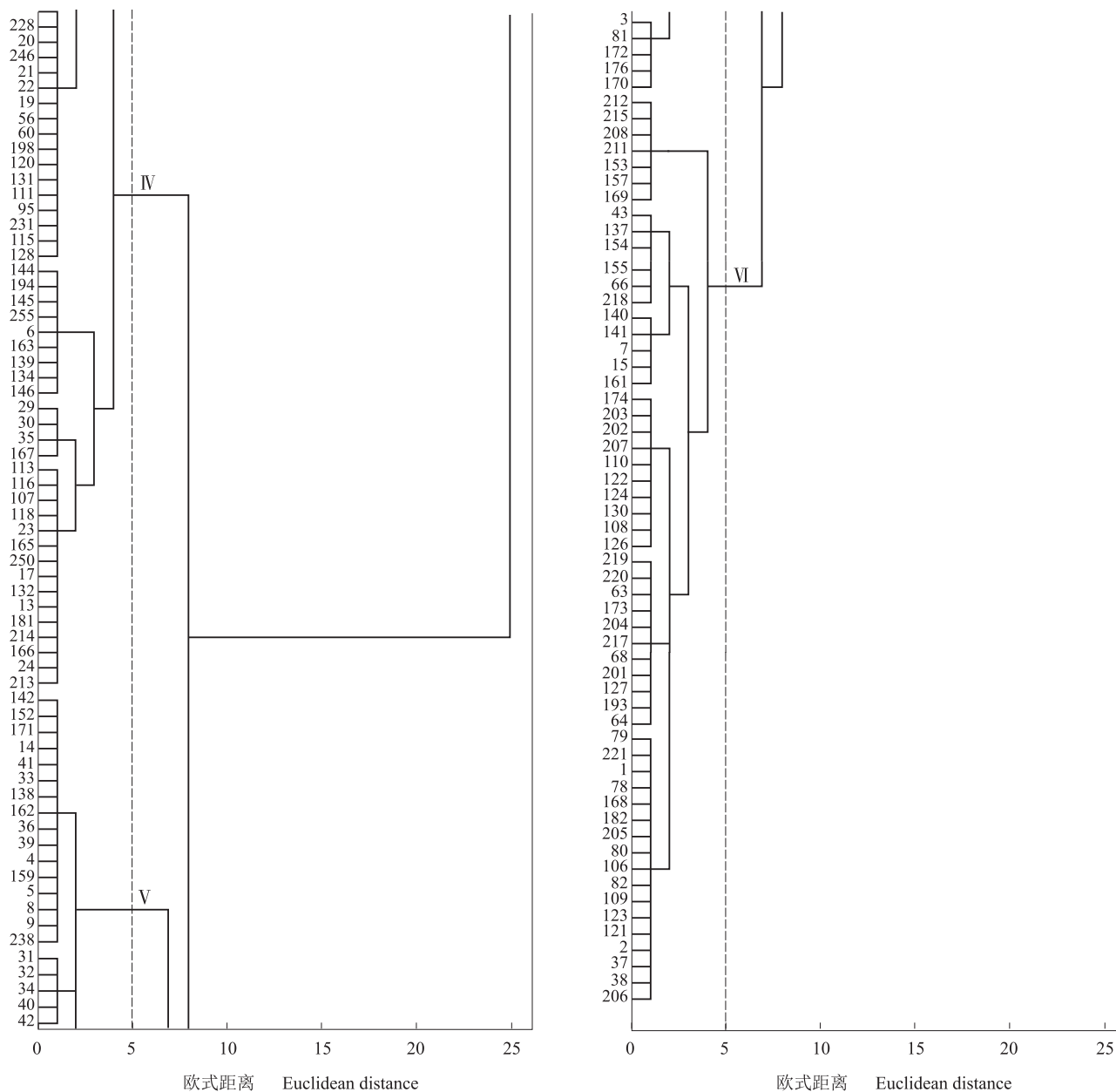


图 1 谷子种质资源基于 16 个性状的聚类图

Fig.1 Cluster dendrogram of foxtail millet genetic resources based on 16 agronomic traits

表 4 谷子种质资源各类群农艺性状特征

Table 4 Statistics of agronomic traits in different groups of millet germplasm

性状 Trait	项目 Item	种质类群 Germplasms groups					
		I	II	III	IV	V	VI
株高 (cm) Plant height	均值 $\bar{X}$	173.72	173.64	142.57	177.39	180.18	162.60
	变异系数 (%) CV	6.64	8.31	15.64	6.31	5.30	6.46
主茎节数 Node numbers of main stem	均值 $\bar{X}$	12.49	12.41	11.25	13.40	14.32	13.74
	变异系数 (%) CV	6.15	9.66	10.82	5.12	5.60	4.71
茎粗 (cm) Diameter of main stem	均值 $\bar{X}$	0.79	0.80	0.67	0.84	0.88	0.86
	变异系数 (%) CV	8.10	9.28	21.87	6.68	7.37	7.66

表 4(续)

性状 Trait	项目 Item	种质类群 Germplasms groups					
		I	II	III	IV	V	VI
主穗长(cm)	均值 $\bar{X}$	26.56	26.58	24.61	27.14	22.67	25.32
Main panicle length	变异系数(%) CV	9.49	12.27	9.19	12.37	11.27	10.09
穗下节间长度(cm)	均值 $\bar{X}$	32.97	34.04	23.51	32.80	31.50	28.13
Peduncle length	变异系数(%) CV	10.32	11.15	7.20	13.28	8.58	10.96
主穗直径(cm)	均值 $\bar{X}$	2.30	2.26	2.18	2.49	2.74	2.39
Main panicle diameter	变异系数(%) CV	10.95	9.49	10.35	10.20	10.54	13.31
单穗重(g)	均值 $\bar{X}$	22.40	23.14	14.15	26.27	25.12	22.69
Spike weight per plant	变异系数(%) CV	12.60	13.49	25.42	11.03	14.41	14.71
单株秆重(g)	均值 $\bar{X}$	24.98	27.70	13.52	32.33	38.72	29.41
Culm Weight per plant	变异系数(%) CV	18.51	21.88	37.18	15.62	19.11	15.26
单株生物产量(g)	均值 $\bar{X}$	51.10	54.44	30.44	64.28	69.79	57.26
Biological yield per plant	变异系数(%) CV	10.77	15.14	30.02	11.97	12.54	10.93
出苗-抽穗日数(d)	均值 $\bar{X}$	65.46	62.97	65.40	69.16	76.71	75.88
Emergent to heading days	变异系数(%) CV	6.59	10.65	11.32	7.47	5.30	5.96
全生育期(d)	均值 $\bar{X}$	120.08	118.74	120.75	124.97	136.13	130.36
Period of duration	变异系数(%) CV	5.06	7.22	4.19	6.66	3.31	4.91
叶鞘色		红色、绿色 紫色	紫色、红色 绿色	绿色	绿色、红色 紫色	绿色、红色 紫色	绿色、红色 紫色
Leaf sheath color							
幼苗叶色		绿色、黄绿 紫绿	紫绿、黄绿	黄绿、绿色	黄绿、绿色 紫绿	黄绿、绿色	黄绿、绿色 紫绿
Leaf color of seedling							
幼苗叶姿		平展、半上举、 下披、上举	平展、下披、 上举、半上举	半上举、下披、 平展、上举	平展、半上举、 下披、上举	平展、半上举、 下披、上举	平展、半上举、 下披、上举
Seedling leaf attitude							
穗茎形状		弯曲、勾形	勾形、弯曲、 中弯	弯曲、中弯、 勾形	弯曲、勾形、 中弯	中弯、弯曲	弯曲、中弯、 勾形、直立
Panicle shape							
花药颜色		黄色、橙色 (含浅紫色) 白色 (含浅绿色)	橙色 (含浅紫色)、 黄色	橙色 (含浅紫色)、 黄色	橙色 (含浅紫色)、 黄色、白色 (含浅绿色)	橙色 (含浅紫色)、 黄色	橙色 (含浅紫色)、 黄色
Anther color							

第 I 类群包括 105 份材料,其主要特征是叶鞘色以红色为主,紫色类型最少;幼苗叶色以绿色为主,紫绿色类型最少;幼苗叶姿以平展为主,上举、下披类型最少;穗茎形状以弯曲为主,无直立、中弯类型;花药颜色以黄色为主,橙色(含浅紫色)次之,白色(含浅绿色)类型最少。出苗-抽穗日数均值 65.46 d,变异系数 6.59%;全生育期均值 120.08 d,变异系数 5.06%。单株秆重变异系数(18.51%)最大,其次为单穗重的变异系数 12.60%。主穗长、穗下节间长度的均值分别为 26.56 cm 和 32.97 cm,在 6 大类群中分别排第 3、2 位;而单穗重、单株秆重、

单株生物产量的均值分别为 22.40 g、24.98 g、51.10 g,在 6 大类群中均处于中等靠下水平。综合分析这些性状,该类群中生育期较短,属早熟类型,但其他性状表现一般。

第 II 类群包括 19 份材料,其主要特征是叶鞘色以紫色为主,绿色最少;幼苗叶色以紫绿色为主,无绿色类型;幼苗叶姿以平展为主,半上举、上举类型最少;穗茎形状以勾形为主,中弯最少,无直立类型;花药颜色以橙色(含浅紫色)为主,无白色(含浅绿色)类型。出苗-抽穗日数均值(62.97 d)最小,变异系数 10.65%;全生育期均值 118.74 d,熟



性属早熟,变异系数 7.22%。单株秆重变异系数(21.88%)最大,其次为单株生物产量和单穗重,变异系数分别为 15.14% 和 13.49%。穗下节间长度的均值为 34.04 cm,在 6 大类群中最大。综合分析这些性状,该类群出苗-抽穗日数最小,全生育期最短,早熟性明显,穗下节间长度相对其他类群较长。

第Ⅲ类群包括 10 份材料,其中编号 44~48 等 5 份材料为本所引进的中亚谷子资源,其主要特征是叶鞘色全部为绿色,无红色、紫色类型;幼苗叶色以黄绿色为主,无紫绿色类型;幼苗叶姿以半上举、平展、下披为主,上举类型最少;穗茎形状以弯曲为主,无直立类型;花药颜色以橙色(含浅紫色)为主,无白色(含浅绿色)类型。出苗-抽穗日数均值 65.40 d,变异系数 11.32%;全生育期均值 120.75 d,熟性属早熟,变异系数(4.19%)最小。单株秆重变异系数(37.18%)最大。主茎节数、株高、主穗直径、单穗重、单株秆重、单株生物产量的均值分别为 11.25、142.57 cm、2.18 cm、14.15 g、13.52 g 和 30.44 g,这些性状在 6 大类群中处于较低水平。综合分析这些性状,该类群种质资源生育期较短,主穗长相对较长,叶鞘色均为绿色,其余性状表现均处于较低水平。

第Ⅳ类群包括 58 份材料,其主要特征是叶鞘色以绿色为主,紫色类型最少;幼苗叶色以黄绿色为主,紫绿色最少;幼苗叶姿以平展为主,上举、下披类型最少;穗茎形状以弯曲为主,无直立类型;花药颜色以橙色(含浅紫色)为主,白色(含浅绿色)类型最少。出苗-抽穗日数均值 69.16 d,变异系数 7.47%;全生育期均值 124.97 d,熟性属中早熟,变异系数 6.66%。单株秆重变异系数(15.62%)最大,其次为穗下节间长度,变异系数为 13.28%。主穗长、单穗重的均值分别为 27.14 cm 和 26.27 g,在 6 大类群中均最大,单株生物产量处于较高水平。综合分析这些性状,该类群中的材料主穗长、单穗重在各类群中处于较高水平,生育期相对较短。

第Ⅴ类群包括 26 份材料,其主要特征是叶鞘色以绿色为主,紫色类型最少;幼苗叶色以黄绿色为主,无紫绿色类型;幼苗叶姿以平展为主,上举类型最少;穗茎形状以中弯为主,无直立、勾形类型;花药颜色以橙色(含浅紫色)为主,黄色类型最少,无白色(含浅绿色)类型。出苗-抽穗日数均值(76.71 d)最高,变异系数(5.30%)最小;全生育期均值

(136.13 d)居第 1 位,熟性属晚熟,变异系数(3.31%)最小。单株秆重变异系数(19.11%)最大,其次为单穗重,变异系数为 14.41%。主茎节数、株高、茎粗、主穗直径、单株秆重、单株生物产量的均值分别为 14.32、180.18 cm、0.88 cm、2.74 cm、38.72 g 和 69.79 g,在 6 大类群中均最大;单株生物产量居第 1 位。综合分析这些性状,该类群中的材料生育期最长,属晚熟类型,仅主穗长度最小外其余性状均表现突出。

第Ⅵ类群包括 56 份材料,其主要特征是叶鞘色以绿色为主,紫色最少;幼苗叶色以黄绿色为主,紫绿色最少;幼苗叶姿以平展为主,上举类型最少;穗茎形状以弯曲为主,直立、勾形最少;花药颜色以橙色(含浅紫色)为主,无白色(含浅绿色)类型。出苗-抽穗日数均值 75.88 d 居第 2 位,变异系数 5.96%;全生育期均值 130.36 d,居第 2 位,熟性属晚熟,变异系数 4.91%。单株秆重变异系数(15.26%)最大,其次为单穗重,变异系数为 14.71%。株高、主穗直径、单株秆重、单株生物产量的均值分别为 162.60 cm、2.39 cm、29.41 g 和 57.26 g,在 6 大类群中均属中上等。综合分析这些性状,该类群生育期相对较长,属中晚熟类型,株高较低,生物产量处于中等水平。

综合分析各类群,不同类群之间差异明显,其中第Ⅳ类群的晋谷 31 号、大同 34 号和第Ⅵ类群的中谷 2 号、豫谷 18 等在品质、产量和熟性等方面都表现出较大优势,在今后育种中可将其作为亲本材料加以应用,培育出适合新疆不同气候条件种植的品种材料。

### 2.3 谷子农艺性状的主成分分析

对 9 个农艺性状利用 SPSS 19.0 软件进行主成分分析,结果见表 5 可知,在全部主成分构成中,信息集中在前 3 个主成分,其累计贡献率达 70.41%。第 1 主成分的贡献率为 39.66%,第 2、3 主成分的贡献率分别为 18.99%、11.76%。

由表 5 可知,第 1 主成分特征值为 3.569,贡献率为 39.66%。在其特征向量中,载荷较高且符号为正的性状有主茎节数、茎粗、单穗重、单株秆重、单株生物产量,特征向量值分别为 0.828、0.743、0.498、0.842 和 0.833。该类型主要反映单穗重、单株秆重和单株生物产量越高对产草量或产量越有利;其余性状中单穗重直接同产量相关而且特征向量值也较高;因第 1 主成分的贡献率最高,高产(产量或产草量)育种中第 1 主成分越大越好。

表 5 谷子种质资源主要农艺性状的主成分分析  
Table 5 The principal components of millet genetic resources by analysis of main agronomic traits

性状 Trait	因子 1 Factor 1	因子 2 Factor 2	因子 3 Factor 3
株高 Plant height	0.263	0.739	-0.221
主茎节数 Node number of main stem	0.828	-0.132	0.105
茎粗 Diameter of main stem	0.743	-0.042	0.109
主穗长 Main panicle length	0.028	0.364	-0.696
穗下节间长度 Peduncle length	-0.117	0.883	0.048
主穗直径 Main panicle diameter	0.264	0.169	0.781
单穗重 Spike weight per plant	0.498	0.493	0.398
单株秆重 Culm weight per plant	0.842	0.253	-0.013
单株生物产量 Biological yield per plant	0.833	0.344	0.188
特征值 Eigen value	3.569	1.709	1.058
贡献率(%) Contribution rate	39.66	18.99	11.76
累计贡献率(%) Accumulated contribution rate	39.66	58.65	70.41

第 2 主成分特征值为 1.709,贡献率为 18.99%。第 2 主成分特征向量中符号为正且载荷较高的为株高、穗下节间长度和单穗重,该类型主要反映株型(株高),而主茎节数和茎粗的特征向量载荷为负,此类群体易发生倒伏减产,说明株高的增加并不利于产量构成因子的增加,在育种中应控制株高。

第 3 主成分特征值为 1.058,贡献率为 11.76%。第 3 主成分主要反映主穗直径,通过其载荷数值可以看出主穗直径增加会导致主穗长下降,而且株高和单株秆重也会受到影响,而单穗重这一重要产量构成因素并未受到较大影响,因此在育种过程中,主穗直径类型的选择应适中。

### 3 讨论与结论

新疆种植谷子的历史较短,其研究也曾一度停滞,然而近些年来随着育种家不断努力及农业种植结构调整,谷子在新疆的种植区域迅速发展,近两年谷子在新疆种植的地州、县市已达 30 个,面积达 3.3 万  $\text{hm}^2$ 。因新疆的生态类型多样加之本地品种匮乏限制了谷子产业的发展,因此谷子种质资源的收集、评价和利用显得尤为重要。农

艺性状的鉴定和描述是种质资源研究的最基本的方法和途径<sup>[17]</sup>,国内外学者在不同作物中利用不同分析方法对搜集的种质资源进行综合评价、核心库构建,以提高种质的利用效率<sup>[18-22]</sup>。其中,性状变异系数最大的是单株秆重,其次是单株生物量和单穗重。

本研究结果表明 11 个数量性状的遗传多样性指数均大于 2.000,其中全生育期的遗传多样性指数最大,为 2.075。王春芳<sup>[23]</sup>对 262 份国内外谷子种质资源遗传多样性进行研究,12 个性状中遗传多样性指数最高的是株高,为 2.087,仅株高遗传多样性指数高于本研究结果,其余性状均低于本研究结果。王海岗等<sup>[3]</sup>对 874 份国内外谷子种质资源遗传多样性进行研究,表型性状遗传多样性指数中单穗重最大为 1.840,其结果均远低于本研究结果。此外,本研究结果还发现,在 16 个农艺性状中,5 个质量性状的遗传多样性指数均低于 11 个数量性状的遗传多样性指数,这与王春芳<sup>[23]</sup>的研究结果一致。

通过对 274 份谷子种质资源的 16 个农艺性状进行了聚类,将其分为 6 大类群。王春芳<sup>[23]</sup>对 262 份国内外谷子种质资源进行聚类分析,采用 UPGMA 法将所选材料分为 6 个类群,贾小平等<sup>[24]</sup>对 42 份来自河北、河南、山东等地谷子种质资源进行聚类分析,聚类采用平均联接和中心法 2 种方法,结果均将 42 份谷子种质资源聚为 2 个类群。本研究运用 Ward 法将谷子资源分为 6 大类群,这与王春芳<sup>[23]</sup>结果一致,但具体类群差异明显,与贾小平等<sup>[24]</sup>的结果差异较大,这些差异产生的原因可能为聚类方法选择的不同有关,另外可能与本试验所选用的材料及调查的农艺性状有关,本试验调查的性状比较少,许多重要的农艺性状没有进行深入的调查。第 I 类群和第 II 类群生育期都较短,早熟性明显,其他性状表现较好,此类群适合应用于南疆复播及北疆冷凉地区,其中南疆复播要求生育期短,经济效益较高。

#### 参考文献

- [1] 刁现民. 中国谷子产业与产业技术体系[M]. 北京:中国农业科学与技术出版社,2011:20-30
- [2] 智慧,牛振刚,贾冠清,等. 谷子干草饲用品质性状变异及相关性分析[J]. 作物学报,2012,38(5):800-807
- [3] 王海岗,贾冠清,刁现民,等. 谷子核心种质表型遗传多样性分析及综合评价[J]. 作物学报,2016,42(1):19-30
- [4] 杨慧卿,王军,王智兰,等. 分蘖型谷子资源的表型和遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报,2017,18(4):685-695
- [5] Diao X M, Schnable J, Bennetzen J L, et al. Initiation of *Setaria* as

- a model plant[J]. *Front Agric Sci Eng*, 2014, 1: 16-20
- [6] Jia G Q, Huang X H, Zhi H, et al. A haplotype map of genomic variations and genome-wide association studies of agronomic traits in foxtail millet (*Setaria italica*) [J]. *Nat Genet*, 2013, 45: 957-961
- [7] 张逸鸣, 李英慧, 郑桂萍, 等. 吉林省大豆育成品种的遗传多样性特点分析[J]. *植物遗传资源学报*, 2007, 8(4): 456-463
- [8] 刘玉皎, 宗绪晓. 青海蚕豆种质资源形态多样性分析[J]. *植物遗传资源学报*, 2008, 9(1): 79-83
- [9] 彭芹, 戴双, 郭骞欢, 等. 1950年以来山东省主推小麦品种的遗传多样性演变[J]. *分子植物育种*, 2012, 10(2): 228-237
- [10] 马晓岗, 李凤珍, 王晓辉, 等. 青海省小麦种质材料醇溶蛋白的遗传多样性分析[J]. *麦类作物学报*, 2012, 32(6): 1060-1065
- [11] 郭丽芬, 徐宁生, 张跃, 等. 云南红花种质资源主要农艺性状的遗传多样性分析[J]. *植物遗传资源学报*, 2012, 13(2): 219-225
- [12] 张向前, 刘景辉, 齐冰洁, 等. 燕麦种质资源主要农艺性状的遗传多样性分析[J]. *植物遗传资源学报*, 2010, 11(2): 168-174
- [13] 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
- [14] 刘志斋, 郭荣华, 石云素, 等. 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[J]. *中国农业科学*, 2008, 41(6): 1591-1602
- [15] 刁现民. 谷子种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2012: 1-16
- [16] Keylock C J. Simpson diversity and the Shannon-Wiener index as special cases of a generalized entropy[J]. *Oikos*, 2005, 109(1): 203-207
- [17] 刘金, 关建平, 徐东旭, 等. 小扁豆种质资源形态标记遗传多样性分析[J]. *植物遗传资源学报*, 2008, 9(2): 173-179
- [18] 胡建斌, 马双武, 李建吾, 等. 国外甜瓜种质资源形态性状遗传多样性分析[J]. *植物学报*, 2013, 48(1): 42-51
- [19] 邱丽娟, 李英慧, 关荣霞, 等. 大豆核心种质和微核心种质的构建、验证与研究进展[J]. *作物学报*, 2009, 35(4): 571-579
- [20] 王海飞, 关建平, 孙雪莲, 等. 世界蚕豆种质资源遗传多样性和相似性的 ISSR 分析[J]. *中国农业科学*, 2011, 44(5): 1056-1062
- [21] 王丽侠, 程须珍, 王素华, 等. 中国绿豆应用型核心样本农艺性状的遗传多样性分析[J]. *植物遗传资源学报*, 2009, 10(4): 589-593
- [22] Jia G Q, Huang X H, Zhi H, et al. A haplotype map of genomic variations and genome-wide association studies of agronomic traits in foxtail millet (*Setaria italica*) [J]. *Nat Genet*, 2013, 45: 957-961
- [23] 王春芳. 利用微卫星标记分析中国谷子地方品种的群体结构与遗传多样性[D]. 石家庄: 河北师范大学, 2011: 54-62
- [24] 贾小平, 陆平, 董志平, 等. 42个谷子品种的聚类分析[J]. *种子*, 2016, 35(1): 64-67

(上接第 231 页)

#### 参考文献

- [1] 段灿星, 王晓鸣, 宋风景, 等. 玉米抗穗腐病研究进展[J]. *中国农业科学*, 2015, 48(11): 2152-2164
- [2] Melching J S. Corn rust: type, races and destructive potential [R]. ASTA, Washington DC, 1975: 90-115
- [3] Casela C R, Renfro B L, Krattiger A F, et al. Diagnosing maize diseases in Latin America[J]. *ISAAA Briefs*, 1998, 9: 8-14
- [4] 段定仁, 何宏珍. 海南岛玉米上的多堆柄锈菌[J]. *真菌学报*, 1984, 3(2): 125-126
- [5] Rodrigues A R, Scott G E, Hennen J F. Maize yield losses caused by southern corn rust[J]. *Crop Sci*, 1980, 20: 812-814
- [6] 王晓鸣, 晋齐鸣, 石洁, 等. 玉米病害发生现状与推广品种抗性对未来病害发展的影响[J]. *植物病理学报*, 2006, 36(1): 1-11
- [7] 陈翠霞, 赵延兵, 刘保申, 等. 不同玉米自交系南方锈病的抗病性评价[J]. *作物学报*, 2004, 30(10): 1053-1055
- [8] 郭云燕, 陈茂功, 孙素丽, 等. 中国玉米南方锈病病原菌遗传多样性[J]. *中国农业科学*, 2013, 46(21): 4523-4533
- [9] 任转滩. 玉米抗锈病种质资源的筛选及应用研究[J]. *玉米科学*, 2006, 14(4): 155-157
- [10] 杜青, 唐照磊, 李石初, 等. 玉米种质资源抗南方锈病鉴定与评价[J]. *广西农业科学*, 2013, 44(5): 765-768
- [11] 江凯, 杜青, 秦子惠, 等. 玉米种质资源抗南方锈病鉴定[J]. *植物遗传资源学报*, 2013, 14(4): 711-714
- [12] 王晓鸣. 玉米抗病虫性鉴定与调查技术[J]. *作物杂志*, 2005(6): 53-55
- [13] Smith J S C, Chin E C L, Shu H, et al. An evaluation of the utility of SSR loci as molecular markers in maize (*Zea mays* L.): comparison with data from RFLPs and pedigree[J]. *Theor Appl Genet*, 1997, 95(1): 163-173
- [14] 李凤艳, 张兴华, 张仁和. 玉米优异地方种质资源的筛选与评价[J]. *植物遗传资源学报*, 2003, 4(3): 225-227
- [15] 段灿星, 王晓鸣, 武小菲, 等. 玉米种质和新品种对腐霉茎腐病和镰孢穗腐病的抗性分析[J]. *植物遗传资源学报*, 2015, 16(5): 947-954
- [16] 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(1): 2107-2138
- [17] 乔治军, 刘龙龙, 南晓洁, 等. 180 份玉米自交系资源亲缘关系的分子评价[J]. *植物遗传资源学报*, 2011, 12(2): 211-215
- [18] 段灿星, 江凯, 秦子惠, 等. 玉米抗南方锈病种质标记基因型鉴定与遗传多样性分析[J]. *植物保护学报*, 2015, 42(6): 899-907
- [19] 崔永霞, 张名昌, 白建荣, 等. 利用 SSR 分析山西省玉米地方品种的遗传多样性[J]. *植物遗传资源学报*, 2012, 13(5): 810-818
- [20] 李新海, 袁力行, 李晓辉, 等. 利用 SSR 标记划分 70 份我国玉米自交系的杂种优势群[J]. *中国农业科学*, 2003, 36(6): 622-627
- [21] 郑淑云, 王守才, 刘东占. 利用 SSR 标记划分玉米自交系杂种优势群的研究[J]. *玉米科学*, 2006, 14(5): 26-29