

# 135 份国外藜麦种质主要农艺性状的遗传多样性分析

王艳青<sup>1</sup>, 李春花<sup>1</sup>, 卢文洁<sup>1</sup>, 孙道旺<sup>1</sup>, 尹桂芳<sup>1</sup>, 陆平<sup>2</sup>, 王莉花<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>云南省农业科学院生物技术与种质资源研究所/云南省农业生物技术重点实验室/农业部西南作物基因资源与种质创制重点实验室, 昆明 650223; <sup>2</sup>中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081)

**摘要:**本研究对引自国外的 135 份藜麦种质资源的 15 个农艺性状进行了数量和质量性状的遗传多样性、主成分和聚类分析, 以及特异种质筛选。结果表明, 该批藜麦种质具有丰富的遗传多样性, 其中变异系数从大到小的 7 个数量性状依次为产量 (57.8%)、单株粒重 (57.4%)、茎粗 (27.6%)、千粒重 (22.5%)、株高 (21.9%)、主花序长 (19.4%) 和生育期 (13.9%); 遗传多样性指数从大到小的 8 个质量性状依次为主花序色 (1.44)、籽粒色 (1.43)、茎色 (1.38)、籽粒形状 (0.88)、幼苗心叶叶色 (0.79)、主花序形状 (0.78)、籽粒光泽 (0.63) 和子叶颜色 (0.08); 藜麦产量与千粒重、单株粒重呈极显著正相关, 与生育期呈极显著负相关; 主成分分析的前 5 个主成分累计贡献率达到 66.537%, 第 1 主成分主要与株型、花序型和生育期有关, 第 2 主成分主要与植株和花序颜色有关, 第 3 主成分主要与产量有关, 第 4 主成分主要与籽粒大小、形状有关, 第 5 主成分主要与籽粒颜色有关; 聚类分析在遗传距离为 7.5 时将 135 份藜麦种质划分为 6 类, 其中第 II 类群产量最高; 有 31 份特异种质具有早熟、矮秆、粗秆、大粒、长花序、结实率好和产量高等特性。

**关键词:**藜麦; 种质资源; 农艺性状; 遗传多样性

## Genetic Diversity Analysis of Major Agronomic Traits in 135 Foreign Quinoa Germplasm Accessions

WANG Yan-qing<sup>1</sup>, LI Chun-hua<sup>1</sup>, LU Wen-jie<sup>1</sup>, SUN Dao-wang<sup>1</sup>, YIN Gui-fang<sup>1</sup>, LU Ping<sup>2</sup>, WANG Li-hua<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Biotechnology and Germplasm Resources Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences/Yunnan Provincial Key Lab of Agricultural Biotechnology/Key Lab of Southwestern Crop Gene Resources and Germplasm Innovation, Ministry of Agriculture, Kunming 650223; <sup>2</sup>Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081)

**Abstract:** In this study, the genetic diversity, principal component and cluster analysis of 15 agronomic traits were conducted in 135 Quinoa germplasm accessions that were collected abroad. The results showed that this collection represented abundant genetic diversity. Seven quantitative traits showed the different levels of the genetic variation (yield, 57.8%; grain weight per plant, 57.4%; stem diameter, 27.6%; 1000-grain weight, 22.5%; plant height, 21.9%; main inflorescence length, 19.4%; growth period, 13.9%). The genetic diversity index of eight quality traits was differing (inflorescence color, 1.44; seed color, 1.43; stem color, 1.38; seed shape, 0.88; new leaf color of seedling, 0.79; main inflorescence shape, 0.78; seed lustre, 0.63; cotyledon color, 0.08). The yield positively correlated to either 1000-grain weight or grain weight per plant, and negatively correlated to the growth period. The cumulative contribution of the top 5 principal factors reached 66.537% in the principal factors analysis. The first principal factor was mainly related to the plant type, the inflorescence type and the reproductive period; The second principal factor was mainly related to the breed and the inflorescence color; The third principal factor was mainly related to the yield; The fourth principal factor was mainly related to the size and shape of the seed grains; The fifth principal factor was mainly related to the color of the seed grains. By cluster analysis, 135 quinoa germ-

收稿日期: 2018-02-09 修回日期: 2018-03-29 网络出版日期: 2018-07-05

URL: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20180705.0906.002.html>

基金项目: 云南杂粮种质繁种入库 (2014 NWB030-06-01-10); 国家农作物种质资源平台云南子平台 (NICGR2018-030)

第一作者研究方向为杂粮资源收集与研究。E-mail: yanqingw77@163.com

通信作者: 王莉花, 研究方向为荞麦新品种选育和病虫害草害防控等研究。E-mail: wanglihua70@hotmail.com

陆平, 研究方向为谷子高粱藜麦等小作物资源收集与研究。E-mail: luping@caas.cn

plasm accessions were classified into 6 groups, including the group II that showed the highest yield. Interestingly, 31 germplasm accessions with elite traits (e. g. early maturing, short stalk, coarse stem, big grain, long inflorescence, good seed setting rate and high yield) were found being useful for future breeding.

**Key words:** quinoa; germplasm resources; agronomic traits; genetic diversity

藜麦 (*Chenopodium quinoa* Willd.) 是苋科 (Amaranthaceae) 藜亚科 (Chenopodiaceae) 藜属 (*Chenopodium* L.) 一年生双子叶植物, 原产于南美洲安第斯山地区, 在当地已有约 7000 年的栽培历史<sup>[1-2]</sup>。藜麦作为单一植物即可满足人体基本营养需求的“全营养食品”, 蛋白质含量高, 氨基酸组成均衡, 矿物质和维生素丰富, 同时富含特殊的化学成分和生物活性物质, 被联合国粮农组织 (FAO) 选定为“21 世纪保证粮食安全主要作物之一”<sup>[3-7]</sup>。此外藜麦具有耐寒、耐旱、耐贫瘠、耐盐碱等特性, 种植范围极广, 从海平面到海拔 4000 m 的地区均可种植。近年来, 欧洲、北美洲、非洲和亚洲均开展了藜麦的引种和试种<sup>[8]</sup>。我国自 20 世纪 80 年代开始引入藜麦并对其进行了适应性种植以来, 部分学者对其生物学特性、栽培技术、营养成分、研究进展等进行了研究报道<sup>[9-23]</sup>。但对引种藜麦在国内种植的农艺性状遗传多样性分析的研究很少, 目前只有宋娇等<sup>[19]</sup>对 6 个在青海种植的藜麦品系的 10 个农艺性状进行了主成分分析, 黄杰等<sup>[20]</sup>对 13 个藜麦材料的产量性状做了相关性分析和聚类分析。国外种质在国内种植时, 有的会在成熟期、抗逆性、产量等方面表现较差, 有必要进行遗传多样性分析和筛选。本研究对国外引进的 135 份藜麦种质资源在云南昆明进行了 15 个农艺性状的相关性分析、主成分分析和聚类分析, 并对其综合评价, 以期为我国藜麦种质资源创新和育种利用提供参考, 同时为藜麦在云南的推广种植提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试藜麦种质材料 135 份由中国农业科学院作物科学研究所引自美国国家种质库 (引种编号为 QA001 ~ QA135), 2014-2015 年在昆明扩繁和试种鉴定。

### 1.2 方法

试验于 2014-2015 年 5-10 月在云南省农科院昆明安宁试验基地进行, 该地海拔为 1887 m, 102°25'E, 24°45'N。2 年试验方法一致, 5 月 2 日在大棚用育苗钵育苗, 5 月 7 日出苗, 7 叶时移栽于大田。每份种质种植 1 个小区, 小区面积 15 m<sup>2</sup>, 小区长 5 m、宽 3 m, 行距 1 m, 株距 0.55 m, 27 株/小区, 栽

植密度为 18000 株/hm<sup>2</sup>, 8 月上旬至 9 月下旬不同种质成熟时进行收获。

### 1.3 数据采集整理

**1.3.1 数据采集** 生长期调查子叶颜色、幼苗心叶叶色、茎色、主花序色、主花序形状。成熟期收获时每小区定点 (第 2 行中间) 选取 5 个单株进行挂牌, 测定株高、茎粗、主花序长, 待种子风干后测定千粒重、单株粒重、产量, 同时观测籽粒色、籽粒形状和籽粒光泽。藜麦农艺性状记载标准见表 1。

表 1 藜麦农艺性状的记载标准

Table 1 Guideline for scoring the agronomic traits of quinoa

性状 Traits	记载标准 Record standard
生育期 GP	出苗至成熟所历天数, 单位为 d
株高 PH	成熟期地面至植株最高处的距离, 单位为 cm
茎粗 SD	成熟期植株中部最粗处的直径, 单位为 mm
主花序长 MIL	成熟期主花序基部至顶端部的距离, 单位为 cm
千粒重 TGW	1000 粒成熟种子的风干重量, 单位为 g
单株粒重 GWPP	成熟期单株籽粒的风干重量, 单位为 g
产量 Y	成熟期籽粒的风干重量, 单位为 kg/hm <sup>2</sup>
子叶颜色 CC	绿 = 1、红绿 = 2
幼苗心叶叶色 NLCS	绿 = 1、红绿 = 2、浅红 = 3、红 = 4
茎色 SC	浅粉 = 1、浅黄 = 2、黄 = 3、橘黄 = 4、黄绿 = 5、绿 = 6、红绿 = 7、紫绿 = 8、红 = 9、紫 = 10
主花序色 MIC	黄 = 1、黄绿 = 2、绿 = 3、灰绿 = 4、红绿 = 5、粉 = 6、红 = 7、灰紫 = 8、紫 = 9、红灰 = 10、灰 = 11、多色 = 12
主花序形状 MIS	短锥形 = 1、长锥形 = 2、长筒形 = 3
籽粒色 SeCo	白 = 1、黄 = 2、粉 = 3、褐 = 4、红 = 5、黑 = 6
籽粒形状 SS	圆球形 = 1、扁球形 = 2、扁平形 = 3
籽粒光泽 SL	明亮 = 1、暗淡 = 2

GP: growth period, PH: plant height, SD: stem diameter, MIL: main inflorescence length, TGW: 1000-grain weight, GWPP: grain weight per plant, Y: yield, CC: cotyledon color, NLCS: new leaf color of seedling, SC: stem color, MIC: main inflorescence color, MIS: main inflorescence shape, SeCo: seed color, SS: seed shape, SL: seed luster, the same as below

**1.3.2 数据标准化处理及统计分析** 对子叶颜色、幼苗心叶叶色、茎色、主花序色、主花序形状、籽粒色、籽粒形状、籽粒光泽 8 个质量性状分别予以赋值(表 1),计算其频率分布和遗传多样性指数( $I$ , shannon index)<sup>[24]</sup>。试验数据经 Excel 整理后,利用 SPSS 19.0 进行描述统计、方差分析、相关性分析、主成分分析及聚类分析,其中聚类方法采用组间联接法,遗传距离为平方欧式距离<sup>[25]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 数量性状遗传多样性

表 2 结果表明,生育期、株高、茎粗、主花序长、千粒重、单株粒重和产量 7 个数量性状在不同藜麦种质资源间变异系数范围在 13.9% ~ 57.8% 之间。其中产量变异系数最大为 57.8%,单株粒重变异系数为 57.4%,茎粗变异系数为 27.6%,千粒重变异系数为 22.5%,株高变异系数为 21.9%,主花序长变异系数为 19.4%,生育期变异系数为 13.9%。一般变异系数大于 10% 表示样本间差异较大<sup>[26]</sup>,本研究中 7 个数量性状的变异系数均大于 10%,说明该批藜麦种质之间存在的差异大,资源类型丰富,有利于特异种质材料的比较和筛选。

### 2.2 质量性状遗传多样性

表 3 结果表明,该批种质的子叶颜色以绿色为主,比例为 98.5%;幼苗心叶叶色以绿色为主,比例为 73.3%,其次是红绿色,比例为 14.1%;茎色以黄绿色为主,比例为 51.1%,其次是绿色,比例为 23.0%;主花序色以绿色为主,比例为 49.6%,其次

表 2 135 份藜麦种质资源的数量性状变异

Table 2 The phenotypic variation at quantitative traits in 135 quinoa germplasm accessions

性状 Traits	变异范围 Range	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数 (%) CV
生育期(d) GP	91.0 ~ 145.0	114.0	15.8	13.9
株高(cm) PH	54.3 ~ 205.0	129.4	28.3	21.9
茎粗(mm) SD	8.6 ~ 45.4	16.6	4.6	27.6
主花序长(cm) MIL	23.3 ~ 82.0	42.4	8.2	19.4
千粒重(g) TGW	0.9 ~ 3.9	2.7	0.6	22.5
单株粒重(g) GWPP	6.2 ~ 153.7	55.7	32.0	57.4
产量(kg/hm <sup>2</sup> ) Y	112.8 ~ 2795.4	1012.2	585.4	57.8

是灰色,比例为 13.3%,黄色也较多,比例为 10.4%;主花序形状以短锥形为主,比例为 51.9%,其次是长锥形,比例为 45.9%;籽粒色以白色为主,比例为 46.7%,其次是褐色,比例为 21.5%,黄色也较多,比例为 15.6%;籽粒形状以圆球形为主,比例为 57.0%,其次是扁球形,比例为 25.6%;籽粒光泽以暗淡为主,比例为 68.1%。

该批种质 8 个质量性状的遗传多样性指数范围为 0.08 ~ 1.44,从大到小依次为:主花序色(1.44)、籽粒色(1.43)、茎色(1.38)、籽粒形状(0.88)、幼苗心叶叶色(0.79)、主花序形状(0.78)、籽粒光泽(0.63)、子叶颜色(0.08)。主花序色遗传多样性指数最高,表明该性状遗传多样性最丰富<sup>[27]</sup>,可为藜麦育种和遗传改良奠定物质基础。

表 3 藜麦种质资源质量性状频率

Table 3 The frequency distribution of accessions with phenotypic variation

性状 Traits	Shannon 遗传 多样性指数 $I$	频率(%) Frequency												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
子叶颜色 CC	0.08	98.5	1.5											
幼苗心叶叶色 NLCS	0.79	73.3	14.1	0.7	11.9									
茎色 SC	1.38	0.7	1.5	1.5	0.7	51.1	23.0	8.1	10.4	2.2	0.7			
主花序色 MIC	1.44	10.4	3.0	49.6	0.7	0.7	1.5	5.9	2.2	5.9	1.5	13.3	5.2	
主花序形状 MIS	0.78	51.9	45.9	2.2										
籽粒色 SeCo	1.43	46.7	15.6	5.2	21.5	2.2	8.5							
籽粒形状 SS	0.88	57.0	25.6	7.4										
籽粒光泽 SL	0.63	31.9	68.1											

### 2.3 农艺性状相关性分析

对 135 份藜麦种质的 15 个主要农艺性状进行

相关性分析(表 4),结果表明,产量与千粒重、单株粒重呈极显著正相关,与主花序长、籽粒光泽呈显著

表 4 藜麦主要农艺性状相关性分析

Table 4 The correlation analysis among major agronomic characters in quinoa accessions

相关系数 Correlation coefficient	产量 Y	生育期 GP	株高 PH	茎粗 SD	主花序长 MIL	千粒重 TGW	单株粒重 GWPP	子叶颜色 CC	幼苗心叶 叶色 NLCS	茎色 SC	主花序色 MIC	主花序 形状 MIS	籽粒 颜色 SeCo	籽粒 形状 SS
生育期	-0.315 **													
株高	-0.050	0.654 **												
茎粗	-0.003	0.364 **	0.362 **											
主花序长	0.182 *	0.159 *	0.434 **	0.145 *										
千粒重	0.204 **	-0.371 **	-0.206 **	-0.029	0.144 *									
单株粒重	0.995 **	-0.311 **	-0.050	0.002	0.181 *	0.207 **								
子叶颜色	-0.052	0.239 **	0.238 **	0.025	-0.061	-0.133	-0.052							
幼苗心叶叶色	-0.179 *	0.439 **	0.437 **	0.040	0.178 *	-0.369 **	-0.174 *	0.309 **						
茎色	-0.102	0.355 **	0.293 **	-0.049	0.088	-0.320 **	-0.125	0.207 **	0.551					
主花序色	-0.081	0.238 **	0.155 *	0.011	0.029	-0.152 *	-0.068	0.096	0.429	0.234 **				
主花序形状	-0.078	0.599 **	0.693 **	0.322 **	0.411 **	-0.062	-0.081	0.112	0.294	0.354 **	0.134			
籽粒色	-0.096	0.018	-0.007	-0.053	-0.138	-0.077	-0.085	-0.105	-0.171	-0.034	0.107	-0.014		
籽粒形状	0.065	-0.270 **	-0.135	-0.069	-0.031	0.289 **	0.055	-0.098	-0.223	-0.138	-0.041	-0.135	-0.047	
籽粒光泽	0.174 *	-0.196 *	-0.019	0.008	0.204 **	0.250 **	0.176 *	-0.048	0.032	-0.060	0.085	0.049	-0.021	0.269

\* 和 \*\* 分别表示在 0.05 和 0.01 水平的相关显著性

\* and \*\* represent the *P*-value of 0.05 and 0.01, respectively

正相关,与生育期呈极显著负相关,与幼苗心叶叶色呈显著负相关;生育期与株高、茎粗、子叶颜色、幼苗心叶叶色、茎色、主花序色、主花序形状呈极显著正相关,与主花序长呈显著正相关,与千粒重、单株粒重、籽粒形状呈极显著负相关,与籽粒光泽呈显著负相关;株高与茎粗、主花序长、子叶颜色、幼苗心叶叶色、茎色、主花序形状呈极显著正相关,与主花序色呈显著正相关,与千粒重呈极显著负相关;茎粗与主花序形状、主花序长分别呈极显著、显著正相关;主花序长与主花序形状、籽粒光泽呈极显著正相关,与千粒重、单株粒重、幼苗心叶叶色呈显著正相关;千粒重与单株粒重、籽粒形状、籽粒光泽呈极显著正相关,与幼苗心叶叶色、茎色呈极显著负相关,与主花序色呈显著负相关;单株粒重与籽粒光泽呈显著正相关,与幼苗心叶叶色呈显著负相关;子叶颜色与幼苗心叶叶色、茎色呈极显著正相关;茎色与主花序色、主花序形状呈极显著正相关。以上分析可以说明藜麦各农艺性状间是相互影响、相互制约的,在种

质创新、利用时应综合分析。

## 2.4 农艺性状主成分分析

利用 SPSS 19.0 软件对 135 份藜麦的 15 个农艺性状进行主成分分析,计算出各主成分的特征值和贡献率(表 5),结果表明,主要信息集中在前 5 个主成分中,累计贡献率为 66.537%。第 1 主成分特征值为 3.750,贡献率为 24.997%,株高、主花序形状、生育期、茎粗、主花序长是主要指标,此类性状主要与株型、花序型和生育期有关。第 2 主成分特征值为 2.288,贡献率为 15.253%,幼苗心叶叶色、主花序色、茎色是主要指标,此类性状主要与植株和花序颜色有关。第 3 主成分特征值为 1.498,贡献率为 9.986%,单株粒重和产量是主要指标,此类性状主要与产量有关。第 4 主成分特征值为 1.331,贡献率为 8.873%,籽粒光泽、籽粒形状、千粒重是主要指标,此类性状主要与籽粒大小、形状有关。第 5 主成分特征值为 1.114,贡献率为 7.248%,籽粒色是主要指标,此类性状主要与籽粒颜色有关。

表 5 藜麦主要农艺性状的主成分分析

Table 5 Principal component analysis of major agronomic characters in quinoa accessions

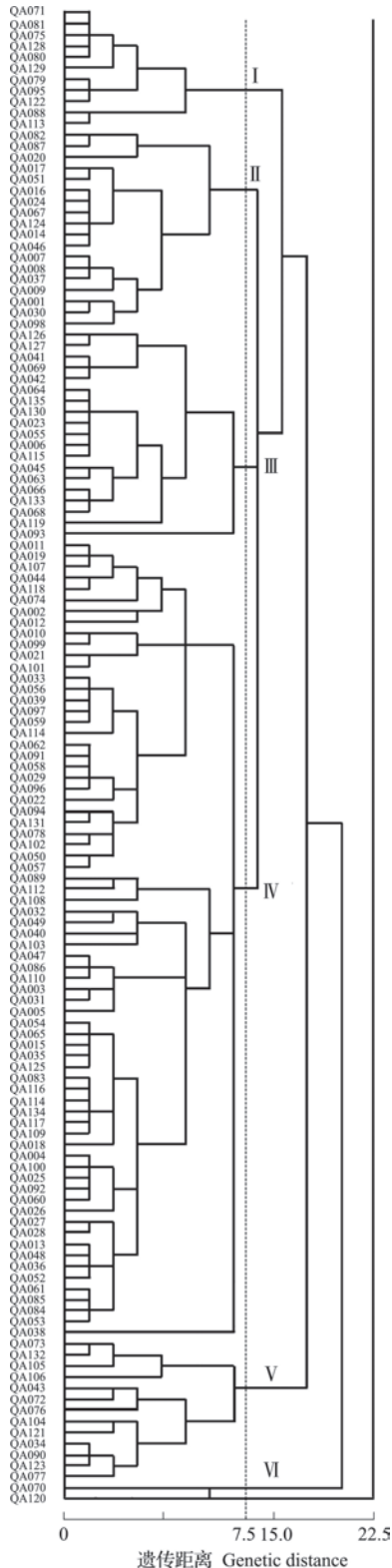
性状 Traits	因子 1 Factor 1	因子 2 Factor 2	因子 3 Factor 3	因子 4 Factor 4	因子 5 Factor 5
株高 PH	0.820	0.295	-0.010	-0.099	-0.066
主花序形状 MIS	0.820	0.227	-0.054	0.014	-0.003
生育期 GP	0.670	0.331	-0.294	-0.346	-0.022
茎粗 SD	0.644	-0.228	-0.022	-0.104	0.015
主花序长 MIL	0.603	0.065	0.250	0.316	-0.091
幼苗心叶叶色 NLCS	0.225	0.787	-0.103	-0.093	-0.273
主花序色 MIC	0.025	0.703	-0.026	0.119	0.283
茎色 SC	0.150	0.691	-0.048	-0.148	-0.160
单株粒重 GWPP	-0.021	-0.081	0.983	0.070	-0.012
产量 Y	-0.022	-0.081	0.982	0.072	-0.026
籽粒光泽 SL	0.050	0.167	0.155	0.744	0.071
籽粒形状 SS	-0.147	-0.121	-0.080	0.675	-0.025
千粒重 TGW	-0.007	-0.425	0.137	0.601	-0.043
籽粒色 SeCo	-0.034	0.065	-0.063	-0.127	0.865
子叶颜色 CC	0.044	0.339	-0.034	-0.183	-0.487
特征值 Eigenvalue	3.750	2.288	1.498	1.331	1.114
贡献率(%) Contribution rate	24.997	15.253	9.986	8.873	7.248
累计贡献率(%) Cumulative contribution rate	24.997	40.251	50.236	59.109	66.537

## 2.5 农艺性状聚类分析

对 135 份藜麦种质的 5 个主成分进行系统聚类<sup>[28]</sup>,使用平均联接(组间)的树状图,进行聚类分析得到图 1。在遗传距离为 7.5 时,135 份藜麦种质可以分为 6 类。

由图 1 和表 6 可以看出,第 I 类群包含 11 份种质,这类种质主要特征为中熟,株高较高,主花序最长,结实率较高,籽粒白色,产量较高,其中 QA079、QA095、QA113 3 份种质籽粒结实率好,产量较高,可作为高产种质进一步筛选。第 II 类群包含 18 份种





该批藜麦材料引自美国国家种质库，  
供种者没有提供种质名称，只有引种编号

The Quinoa material was derived from the National Germplasm Bank of the United States. The donor did not provide the germplasm name, but only the introduction number

图 1 藜麦种质聚类图

Fig. 1 Cluster analysis in Quinoa accessions map

质,这类种质主要特征为早熟,株高较矮,主花序较长,籽粒最大,结实率最高,产量最高,此类群子叶均为绿色,花序色大多(83.3%)为绿色,籽粒大多(83.3%)暗淡,该类群是高产种质创新和育种亲本的最佳选择。第Ⅲ类群包含19份种质,这类种质主要特征为中熟,株高较高,粗秆,主花序长度中等,结实率中等,产量中等,其中QA006、QA045、QA055、QA063、QA115 5份种质籽粒较大,综合性状较好,产量较高,可作为高产种质进一步筛选。第Ⅳ类群包含72份种质,这类种质总体特征为早熟,株高最矮,粗秆,主花序长度中等,籽粒较大,产量中等;该类群由于种质数量多,资源丰富,其中千粒重在3.0~3.9 g之间的大粒种质有31份,株高在54.0~100.0 cm的矮秆种质有18份,生育期在91~100 d之间的早熟种质有25份,可根据育种目标筛选相应的特异种质。第Ⅴ类群包含13份种质,这类种质主要特征为中晚熟,株高较高,主花序长度中等,籽粒较小,籽粒以黑色为主,产量不高,其中QA072和QA076 2份种质籽粒较大,综合性状较好,可继续观察备选。第Ⅵ类群包含2份种质,这类种质主要特征为晚熟,株高最高,主花序长度最短,籽粒小,产量低,这2份种质生育期长145 d,花序红色,花期正值云南旅游旺季7-8月,可考虑为旅游区景观植物。

2.6 特异种质筛选

根据田间表现和考种数据及相关分析,初步筛选出早熟、矮秆、粗秆、大粒、长花序、结实率好和产量高的特异种质31份(表7)。其中早熟种质10份,生育期91~96 d;矮秆种质8份,株高54.3~88.3 cm;粗秆种质2份,茎粗40.3 mm、45.4 mm;大粒种质5份,千粒重3.8~3.9 g;长花序种质1份,主花序长82.0 cm;结实率好、产量高种质11份,单株粒重111.5~153.7 g。

3 讨论

该批藜麦种质在昆明种植时,各农艺性状间差异大,7个数量性状变异系数范围为13.9%~57.8%,8个质量性状遗传多样性指数范围为0.08~1.44,说明该批种质各具特色,类型广泛,是藜麦种质创新和育种利用的理想材料。该批种质在昆明试验的最高产量为2795.4 kg/hm<sup>2</sup>,低于甘肃<sup>[21]</sup>、西藏<sup>[22]</sup>、山西<sup>[18]</sup>、青海<sup>[29]</sup>、河北<sup>[16]</sup>的最高种植产量,原因可能为本试验密度低(18000株/hm<sup>2</sup>)造成,也可能是试验点海拔高度低造成<sup>[17]</sup>。但是,本研究筛选出11份种质的单株粒重为111.5~153.7 g,具有

表 6 聚类后 6 类藜麦种质的主要农艺性状统计

Table 6 Statistics of major agronomic characters in six groups of quinoa accessions

种质类群 Germplasm group	种质数 Germplasm number	生育期(d) GP	株高(cm) PH	茎粗(mm) SD	主花序长(cm) MIL	千粒重(g) TGW	单株粒重(g) GWPP	产量(kg/hm <sup>2</sup> ) Y
I	11	126	152.6	15.6	47.4	2.1	55.6	1012.0
II	18	105	125.8	17.4	43.0	2.9	112.1	2058.8
III	19	123	137.3	20.0	40.4	2.4	47.4	862.1
IV	72	109	121.3	15.5	42.2	2.9	46.2	840.5
V	13	130	139.6	17.5	42.2	2.1	44.7	772.1
VI	2	145	184.2	17.6	38.3	2.0	42.2	764.2

表 7 31 份藜麦特异种质

Table 7 31 Quinoa accessions with elite agronomic traits

引种编号 Introduction number	特异性状 Elite traits	生育期(d) GP	株高(cm) PH	茎粗(mm) SD	主花序长(cm) MIL	千粒重(g) TGW	单株粒重(g) GWPP	产量(kg/hm <sup>2</sup> ) Y
QA083	早熟	91	101.7	14.3	36.0	2.3	39.9	725.4
QA048	早熟、大粒	91	103.3	16.5	37.7	3.9	38.5	700.4
QA085	早熟	91	108.3	13.0	39.0	2.7	40.0	726.9
QA013	早熟	91	122.7	18.6	40.3	2.8	44.6	811.1
QA039	早熟	91	159.3	21.0	44.7	2.8	28.7	522.3
QA038	早熟、矮秆	91	54.3	8.6	23.3	2.6	12.1	221.0
QA112	早熟、矮秆	92	66.0	9.5	29.3	1.6	33.0	600.3
QA026	早熟、矮秆	96	79.7	10.5	26.7	2.8	47.0	855.0
QA049	早熟、矮秆	93	85.0	14.1	32.7	2.6	42.5	772.4
QA109	早熟、矮秆	93	88.0	11.7	32.0	2.6	73.8	1341.8
QA130	矮秆	145	84.0	15.3	33.3	2.4	44.5	809.6
QA092	矮秆	127	87.0	18.5	28.0	2.9	36.0	654.9
QA005	矮秆	103	88.3	15.8	35.7	2.9	93.6	1702.1
QA093	粗秆	127	123.0	45.4	30.0	3.0	23.0	418.4
QA066	粗秆	107	92.3	40.3	39.7	1.7	52.4	952.8
QA030	大粒	108	133.3	14.7	52.0	3.9	88.5	1610.7
QA094	大粒	127	143.7	22.8	42.0	3.9	19.0	346.4
QA059	大粒	127	147.3	15.2	40.0	3.9	22.2	403.2
QA012	大粒	107	129.0	17.3	57.3	3.8	65.5	1191.2
QA101	长花序	107	139.0	26.3	82.0	3.6	82.5	1500.8
QA020	结实率好、产量高	101	121.7	18.5	35.0	2.5	153.7	2795.4
QA008	结实率好、产量高	103	146.3	16.7	42.7	3.0	143.4	2607.6
QA082	结实率好、产量高	103	139.7	17.7	45.0	2.9	135.0	2455.8
QA087	结实率好、产量高	101	123.3	16.1	36.7	3.0	131.4	2390.3
QA098	结实率好、产量高	127	151.7	24.1	43.3	3.2	125.1	2276.4
QA007	结实率好、产量高	103	137.0	17.2	49.0	2.4	121.4	2208.0
QA046	结实率好、产量高	103	106.3	15.4	36.7	3.0	120.8	2198.0
QA067	结实率好、产量高	107	117.7	18.6	39.0	2.2	119.0	2163.9
QA014	结实率好、产量高	106	123.7	15.8	51.0	2.8	113.0	2054.9
QA037	结实率好、产量高	103	125.3	20.5	48.3	2.7	112.7	2049.5
QA016	结实率好、产量高	101	132.7	16.1	35.0	2.7	111.5	2029.1

很大的增产潜力,后续应对其进行密度、播期等研究,以期获得更高产量。该批种质生育期范围 91 ~ 145 d,其中 76 份种质(占 56.3%)生育期在 108 d 以内,表现为早熟。结合云南的气候特点,在灌水设施较好地区早熟种质有望实现 1 年播种 2 季(4 月

上旬播种,7 月上旬收获;7 月中旬播种,10 月下旬收获),最大限度提高土地利用效率,实现丰收增产。

Pearson 相关分析表明,产量与千粒重呈极显著正相关( $r=0.204$ )、单株粒重与千粒重呈极显著正相关( $r=0.207$ )、株高与千粒重呈极显著负相关

( $r = -0.206$ ), 上述研究结果与宋娇等<sup>[19]</sup>研究结果一致, 但与黄杰等<sup>[20]</sup>研究结果不一致; 产量与主花序长呈显著正相关( $r = 0.182$ )、株高与主花序长呈极显著正相关( $r = 0.434$ ) 上述研究结果与黄杰等<sup>[20]</sup>研究结果一致, 但与宋娇等<sup>[19]</sup>研究结果不一致。上述现象可能与所选性状不完全相同及样本数不同有关, 在今后研究中建议增大样本数。本批种质中, 结实率好、产量高的 11 份高产种质(表 7) 的主花序长范围在 35.0 ~ 51.0 cm 之间, 集中在平均值 42.4 cm 左右, 株高集中在平均值 129.4 cm 左右, 生育期集中在 103 d 左右, 千粒重集中在 2.2 ~ 3.2 g 之间, 因此在筛选高产藜麦种质过程中, 应综合考虑各性状指标, 不能一味追求大粒、长穗。本试验中, 据田间观测发现, 藜麦结实期正值云南雨季, 高秆植株和主花序粗大植株的主茎特别容易折断导致减产, 再结合考种数据和相关分析, 初步判断株高中等、主花序体积中等、绿色花序的藜麦种质综合性状较好, 产量较高(高产的 11 份特异种质均属于此类型), 宜在云南推广种植。

主成分分析将藜麦的 15 个性状综合成 5 个主成分, 这 5 个主成分分别反映了藜麦的株型、花序型和生育期特征, 植株和花序颜色特征, 产量特征, 籽粒大小和形状特征, 籽粒颜色特征, 上述 5 个特征是造成藜麦种质表型多样化的主要因素。

聚类分析将 135 份藜麦种质划分为 6 个类群, 虽然各类群之间在各性状上有明显差异, 但每一类群内均有综合性状表现优异的种质和较差的种质, 因此在进行种质综合评价时应尽量采取多种分析方法才能保证结果的准确性<sup>[26]</sup>。

由于藜麦花小, 一般为自花授粉, 人工去雄比较困难, 因此, 国内目前生产上推广种植的品种(系)多为系统选育而成<sup>[6]</sup>。但在自然环境下, 藜麦也有一定程度的异型杂交(异花授粉), 近期的研究表明, 藜麦异型杂交可高达 17.4%<sup>[8]</sup>。本研究初步筛选出的 31 份特异种质可为藜麦育种提供丰富的亲本选择。

本试验仅对 135 份藜麦种质的农艺性状进行表型鉴定的遗传多样性分析, 而表型检测遗传变异受环境条件的影响, 具有一定的局限性。因此, 后续研究需要对其进行多年多点的试验评价, 还应结合籽粒的品质分析, 综合评价后再最终决定材料的取舍。

#### 参考文献

[1] Zurita-Silva A, Fuentes F, Zamora P, Jacobsen S E, Schwember A R. Breeding quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): potential and perspectives. *Molecular Breeding*, 2014, 34: 13-30

[2] 任贵兴, 杨修仕, 么杨. 中国藜麦产业现状. *作物杂志*, 2015 (5): 1-5

[3] Abugoch James L E. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): composition, chemistry, nutritional, and functional properties. *Advances in Food and Nutrition Research*, 2009, 58: 1-31

[4] Ruales J, Nair M. Content of fat, vitamins and minerals in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds. *Food Chemistry*, 1993, 48: 131-136

[5] Alvarez-Jubete L, Arendt E K, Gallagher E. Nutritive value and chemical composition of pseudocereals as gluten-free ingredients. *Journal of Food Sciences and Nutrition*, 2009, 60: 240-257

[6] 李娜娜, 丁汉凤, 郝俊杰, 宫永超, 蒲艳艳, 裴艳婷, 刘保民, 田茜, 郭秀秀. 藜麦在中国的适应性种植及发展展望. *中国农学通报*, 2017, 33(10): 31-36

[7] 王黎明, 马宁, 李颂, 王春玲, 刘鑫鑫. 藜麦的营养价值及其应用前景. *食品工业科技*, 2014, 35(1): 381-384, 389

[8] 博汗格瓦 A, 斯利瓦斯塔瓦 S. 藜麦生产与应用. 任贵兴, 叶全宝, 译. 北京: 科学出版社, 2014: 1-15

[9] 魏爱春, 杨修仕, 么杨, 刘浩, 秦培友, 赵德刚, 李怡, 任贵兴. 藜麦营养成分及生物活性研究进展. *食品科学*, 2015, 36(15): 272-276

[10] 胡一波, 杨修仕, 陆平, 任贵兴. 中国北部藜麦品质性状的多样性和相关性分析. *作物学报*, 2017, 43(3): 464-470

[11] 顾娴, 黄杰, 魏玉明, 金茜, 杨发荣. 藜麦研究进展及发展前景. *中国农学通报*, 2015, 31(30): 201-204

[12] 杨发荣, 黄杰, 魏玉明, 李敏权, 何学功, 郑健. 藜麦生物学特性及应用. *草业科学*, 2017, 34(3): 607-613

[13] 邓俊琳, 夏陈, 张盈娇, 陈建, 杰布, 林长彬, 李娟, 朱永清. 拉萨藜麦的营养成分分析与比较. *中国食物与营养*, 2017, 23(9): 55-58

[14] 徐天才, 和桂青, 李兆光, 赵菊, 苏泽春, 薛润光. 不同海拔藜麦的营养成分差异性研究. *中国农学通报*, 2017, 33(17): 129-133

[15] 石振兴, 杨修仕, 么杨, 任贵兴. 60 国内外藜麦材料籽粒的品质性状分析. *植物遗传资源学报*, 2017, 18(1): 88-93

[16] 周海涛, 刘浩, 么杨, 杨修仕, 高文杰, 杨才, 任贵兴. 藜麦在张家口地区试种的表现与评价. *植物遗传资源学报*, 2014, 15(1): 222-227

[17] 马维亮. 宁夏藜麦规模化发展现状及建议. *宁夏农林科技*, 2017, 58(8): 48-49, 56

[18] 刘锁荣, 范文虎. 促进山西藜麦种植规模化及产业链形成的建议. *山西农业科学*, 2011, 39(7): 767-769

[19] 宋娇, 姚有华, 刘洋, 迟得钊, 王越. 6 个藜麦品种(系)农艺性状的主成分分析. *青海大学学报*, 2017, 35(6): 6-10

[20] 黄杰, 杨发荣, 李敏权, 魏玉明, 顾娴, 漆永红. 13 个藜麦材料在甘肃临夏旱作区适应性的初步评价. *草业学报*, 2016, 25(3): 191-201

[21] 魏玉明, 黄杰, 顾娴, 金茜, 刘文瑜, 杨发荣. 甘肃省藜麦产业现状及发展思路. *作物杂志*, 2016(1): 12-15

[22] 贡布扎西, 旺姆, 张崇玺, 杨庆寿. 南美藜在西藏的生物学特性研究. *西北农业学报*, 1994, 3(4): 81-86

[23] 任永峰, 梅丽, 杨亚东, 王志敏, 赵沛义, 高宇. 播期对藜麦农艺性状及产量的影响. *中国生态农业学报*, 2018, 26(5): 643-656

[24] 李鸿雁. 扁蓿豆种质资源遗传多样性的研究. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2008

[25] 龚学臣. 试验统计方法及 SPSS 应用. 北京: 科学出版社, 2014: 215-246

[26] 孙铭, 符开欣, 范彦, 张新全, 张成林, 郭志慧, 汪霞, 马啸. 15 份多花黑麦草优良引进种质的表型变异分析. *植物遗传资源学报*, 2016, 17(4): 655-662

[27] 王艳青. 藜麦花序多样性. *植物遗传资源学报*, 2015, 16(5): 封面

[28] 陈庆富. 生物统计学. 北京: 高等教育出版社, 2011: 225-237

[29] 李成祖. 格尔木市藜麦引种栽培技术试验研究. *农业科技通讯*, 2015(6): 94-96