

58 份青稞种质资源遗传多样性评价

卢晶¹ 余波¹ 江谧² 彭镰心¹ 任远航¹ 吴琪¹

(¹成都大学食品与生物工程学院/农业农村部杂粮加工重点实验室, 610000, 四川成都;

²四川省甘孜藏族自治州农业科学研究所, 626700, 四川甘孜)

摘要 为明确四川甘孜州青稞种质资源的遗传多样性, 筛选优异种质, 对在甘孜州收集的 58 份青稞种质资源的 16 个农艺性状进行遗传多样性、相关性、主成分、聚类分析和综合评价。结果表明, 58 份青稞材料具有丰富的遗传多样性, 变异系数介于 12%~64%。粒长和节间数变异系数最小, 均为 12%, 种皮颜色最大, 为 64%, 平均变异系数为 26%。遗传多样性指数介于 1.166~2.707, 卷叶多样性指数最小, 为 1.166, 种皮颜色多样性指数最大, 为 2.707。相关性分析结果表明, 穗长、穗宽、单株穗数、千粒重和节间数在育种工作中可作为评价青稞种质资源遗传多样性的重要指标。主成分分析结果表明, 提取到的 6 个主成分累计贡献率为 73.062%。穗下节间长、单株穗数、旗叶长、株高为主要指标。通过隶属函数值计算综合得分值 (F 值), 初步筛选出排名前 3 的种质依次为 CDU22、CDU19T、CDU57S。聚类分析将 58 份种质分为 4 类, 在遗传距离为 8 时, 类群 I 所包含的 12 份种质综合特征值较高, 此类材料可作为亲本来选育高产品种。

关键词 青稞; 种质资源; 农艺性状; 遗传多样性分析; 综合评价

青稞 (*Hordeum vulgare* var. *nudum* Hook f.) 属禾本科大麦属作物, 因其内外稃与颖果分离籽粒裸露, 故又称裸大麦, 是栽培大麦变种^[1]。青稞具有耐寒、耐旱和抗逆性强等特点^[2], 主要分布在我国西藏、青海、四川、云南和甘肃 5 个省 (区), 是藏族地区的主粮^[3]。青稞富含蛋白质、膳食纤维和多酚类物质, 是开发健康食品的重要原料^[3]。在我国, 青藏高原是我国青稞的主产区 and 适应区, 占全国青稞种植面积的 98% 以上^[4]。青海省青稞的播种面积占粮食播种面积的 28%^[4], 四川省甘孜州和阿坝州青稞播种面积占粮食播种面积的 10%~20%^[4]。在农业生产中, 青稞农艺性状易受环境因素影响, 导致产量不稳定, 亟需高产优质新品种。近年来, 各地农业院所已经选育出了一些新品种, 但由于青稞研究起步较晚, 遗传本底不清楚, 导致育种效率较低, 优异品种缺乏^[4]。遗传多样性分析不仅为明确不同材料遗传背景和优异资源筛选提供帮助, 也可为优良品种的选育提供便利^[5]。近年来, 通过形态标记^[6]、生化标记和分子标记等手段对不同作物种质资源农艺性状和遗传多样性进行了综合评价^[7-10], 但青稞相关研究报道较少。农艺性状和分子标记是了解不同青稞资源遗传多样

性的主要手段^[11-13]。全面调查青稞重要农艺性状对种质资源遗传多样性研究和资源综合评价与利用有重要意义^[14-15]。本研究对收集的 58 份青稞种质的 16 个农艺性状进行了统计分析, 通过遗传多样性分析、相关性分析、主成分分析、聚类分析和逐步线性回归分析, 了解这些种质资源的群体结构, 构建优异种质评价体系, 为青稞新品种创制提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

58 份供试青稞品种 (系) 来自成都大学农业农村部杂粮加工重点实验室种质资源库。

1.2 试验地概况及试验设计

2022 年 10 月底在四川简阳新市镇垣坝村成都大学试验基地播种。试验基地年平均气温 17 °C, 无霜期 300 d 左右。试验采用条播, 每行播种 1 份材料, 每行 10 株, 行距 25 cm, 株距 20 cm, 采用随机区组设计, 重复 2 次, 田间常规管理。

1.3 农艺性状调查方法

成熟期每份材料随机取 5 株调查农艺性状, 调查方法参考《大麦种质资源描述规范和数据处

作者简介: 卢晶, 主要从事藜麦种质资源筛选研究, E-mail: 2169466587@qq.com; 余波为共同第一作者, 主要从事天然产物化学研究, E-mail: 1799614200@qq.com

吴琪为通信作者, 主要从事杂粮种质资源鉴定与筛选研究, E-mail: jerviswuqi@126.com

基金项目: 四川省甘孜州科技计划项目“青稞高效育种体系构建与新种质创制 (220015)”

收稿日期: 2024-02-03; 修回日期: 2024-05-11; 网络出版日期: 2024-08-08

理标准》^[15]。16 个农艺性状包括节间数（NI）、旗叶长（FLL）、旗叶宽（FLW）、旗叶角（FLA）、卷叶（LR）、单株穗数（NSPP）、穗长（SL）、穗宽（SW）、芒长（AL）、株高（PH）、种皮颜色（SCC）、千粒重（TKW）、籽粒长（GL）、籽粒宽（GW）、茎秆直径（SD）和穗下节间长（UIL）。农艺性状记载标准见表 1。

表 1 青稞农艺性状及统计标准
Table 1 Phenotypic traits and statistical standards of highland barley

性状 Trait	记载标准 Record standard
株高 Plant height	成熟时地表到主穗顶部的距离
茎秆直径 Stem diameter	主茎地上部第二节间中部的直径
旗叶长 Flag leaf length	茎秆最顶端穗下第一片叶子的长度
旗叶宽 Flag leaf width	茎秆最顶端穗下第一片叶子的宽度
旗叶角 Flag leaf angle	茎秆最顶端穗下第一片叶子与茎秆之间的夹角
穗长 Panicle length	穗轴基部至穗顶部的长度（不包括芒）
穗宽 Panicle width	主穗中部的宽度
芒长 Awn length	植株成熟后其穗部顶尖芒的长度
单株穗数 Number of panicles per plant	青稞种质的单株平均穗数
穗下节间长 Uppest internode length	主穗下部第一个节间的长度
节间数 Number of internodes	主茎茎秆上的节间数
千粒重 1000-grain weight	成熟籽粒烘干后 1000 粒的重量
粒宽 Grain width	种子成熟后其表面的宽度
粒长 Grain length	种子成熟后其表面的长度
卷叶 Leaf roll	1=否, 2=是
种皮颜色 Seed coat color	1=黄, 2=紫, 3=黑, 4=黄褐, 5=褐, 6=黑紫, 7=绿

表 2 58 份青稞种质资源遗传多样性分析
Table 2 Analysis of the genetic diversity of 58 highland barley germplasm resources

性状 Trait	最小值 Minimum value	最大值 Maximum value	平均值 Mean	标准差 SD	方差 Variance	变异系数 CV (%)	<i>H'</i>
节间数 Number of internodes	3.60	6.40	5.34	0.61	0.37	12	2.438
旗叶长 Flag leaf length (cm)	6.54	26.18	14.38	4.00	15.99	24	2.582
旗叶宽 Flag leaf width (cm)	1.14	2.56	1.87	0.32	0.10	30	2.596
旗叶角 Flag leaf angle (°)	21.20	72.00	36.93	8.90	79.20	22	2.407
卷叶 Leaf roll	1.00	2.00	1.07	0.26	0.07	32	1.166
穗下节间长 Uppest internode length (cm)	4.72	36.70	19.32	9.54	91.00	49	2.359
单株穗数 Number of panicles per plant	3.40	25.20	10.04	3.64	13.28	36	2.428
穗长 Panicle length (cm)	5.22	11.82	8.20	1.29	1.67	16	2.575
穗宽 Panicle width (cm)	1.02	1.64	1.33	0.13	0.02	21	2.533
芒长 Awn length (cm)	9.16	23.90	18.05	2.63	6.90	14	2.252
粒长 Grain length (mm)	4.60	8.40	6.62	0.77	0.59	12	2.468
粒宽 Grain width (mm)	2.40	4.00	3.21	1.44	2.09	45	2.516
千粒重 1000-grain weight (g)	23.20	52.90	39.07	6.49	42.17	16	2.390
种皮颜色 Seed coat color	1.00	5.00	2.29	1.44	2.07	64	2.707
茎秆直径 Stem diameter (cm)	0.35	0.70	0.56	0.07	0.01	13	2.539
株高 Plant height (cm)	49.68	113.20	94.78	12.18	148.36	13	2.400

1.4 数据处理

运用 SPSS 27.0 软件分析各农艺性状的极差和平均值，并完成逐步线性回归分析、主成分分析、聚类分析和相关性分析。使用 Excel 2010 计算变异系数和遗传多样性指数。将 16 个农艺性状分为 10 级，从第 1 级 [$X_i < (X - 2\sigma)$] 到第 10 级 [$(X_i > (X + 2\sigma))$]，每 0.5σ 为 1 级，每级的相对频率用于计算 Shannon 遗传多样性指数 (H')， $H' = -\sum P_i \times \ln P_i$ ($i=1, 2, 3, \dots, n$)，式中， P_i 表示某性状第 i 级别内材料份数占总份数的百分比^[16]。隶属函数值计算公式为 $\mu(X_i) = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$ ($i=1, 2, 3, \dots, n$)，式中， $\mu(X_i)$ 为各材料第 i 个性状的隶属函数值， i 为各材料第 i 个性状值， X_{\max} 和 X_{\min} 分别为所有参试材料中第 i 个性状的最大值和最小值^[17]。使用 Origin 绘制箱线图和饼图。

2 结果与分析

2.1 供试材料遗传多样性分析

首先，对卷叶和种皮颜色 2 个性状进行赋值（赋值标准见表 1）。运用 SPSS 27.0 软件统计各性状值，并进行主成分分析、相关性分析和聚类分析和逐步线性回归分析，聚类方法采用 Ward 法，遗传距离为欧式平方距离。如表 2 所示，58 份青稞材料 16 个农艺性状的变异系数介于 12%~64%。种皮颜色变异系数最大（64%），穗下节间长次之（49%），节间数和粒长最小（12%）。遗传多样性指数介于 1.166~2.707，种皮颜色遗传多样性指

数最高，为 2.707，说明种皮颜色遗传多样性较丰富，可作为青稞种质资源评价的指标之一。

按照遗传多样性指数分级标准分析各农艺性状的分布情况，结果如表 3 所示。其中芒长在 10 个等级上均有分布，节间数、粒长、茎秆直径、株高等 4 个性状分布在 1 到 9 级（节间数分布在 3.82~6.56，粒长分布在 4.70~8.16 mm，茎秆直径分布在 0.39~0.70 cm，株高分布在 64.33~

119.14 cm）。旗叶长、旗叶角、旗叶宽、单株穗数、穗长、穗宽和千粒重分布在 2 到 10 级（即旗叶长分布在 6.38~24.38 cm，旗叶角主要分布在 19.13°~59.18°，单株穗数主要分布在 2.76~19.14，旗叶宽分布在 1.23~2.67 cm，穗长分布在 5.62~11.43 cm，穗宽分布在 1.07~1.59 cm，千粒重分布在 26.09~55.30 g）。粒宽分布在 1~10 级之间（分布在 2.16~3.96 mm），穗下节间长分布在 3~9 级

表 3 58 份青稞种质资源 14 个农艺性状主要分布情况
Table 3 Main distribution of 14 agronomic traits of 58 highland barley germplasm resources

性状 Trait	级别 Grade									
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
株高 Plant height (cm)	64.33	70.42	76.51	82.6	88.69	100.87	106.96	113.05	119.14	125.23
分布频率 Distribution frequency (%)	1.70	1.70	1.70	17.20	5.20	41.40	15.50	13.80	1.70	0.00
单株穗数 Number of panicles per plant	0.94	2.76	4.58	6.40	8.22	11.86	13.68	15.50	17.32	19.14
分布频率 Distribution frequency (%)	0.00	1.70	10.30	17.20	44.80	5.20	8.60	8.60	1.70	1.70
茎秆直径 Stem diameter (cm)	0.39	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60	0.63	0.67	0.70	0.74
分布频率 Distribution frequency (%)	1.70	1.70	5.25	5.20	13.80	43.10	12.10	8.60	8.60	0.00
节间数 Number of internodes	3.82	4.12	4.43	4.73	5.04	5.65	5.95	6.26	6.56	6.87
分布频率 Distribution frequency (%)	1.70	1.70	6.90	3.40	15.50	44.80	8.60	13.80	3.40	0.00
旗叶长 Flag leaf length (cm)	4.38	6.38	8.38	10.38	12.38	16.38	18.38	20.38	22.38	24.38
分布频率 Distribution frequency (%)	0.00	5.20	17.20	6.90	36.20	20.70	3.40	3.40	1.70	5.20
旗叶宽 Flag leaf width (cm)	1.07	1.23	1.39	1.55	1.71	2.03	2.19	2.35	2.51	2.67
分布频率 Distribution frequency (%)	0.00	3.40	6.90	3.40	12.10	37.90	20.70	8.60	5.20	1.70
旗叶角 Flag leaf angle (°)	14.68	19.13	23.58	28.03	32.48	41.38	45.83	50.28	54.73	59.18
分布频率 Distribution frequency (%)	0.00	1.70	10.30	20.70	43.10	10.30	6.90	3.40	1.70	1.70
穗下节间长 Uppest internode length (cm)	-4.53	0.24	5.01	9.78	14.55	24.09	28.86	33.63	38.40	43.17
分布频率 Distribution frequency (%)	0.00	0.00	1.70	12.10	37.90	5.20	24.10	8.60	10.30	0.00
穗长 Panicle length (cm)	4.98	5.62	6.27	6.91	7.56	8.85	9.49	10.14	10.78	11.43
分布频率 Distribution frequency (%)	0.00	3.50	5.30	5.30	14.00	38.60	19.30	7.00	5.30	1.70
穗宽 Panicle width (cm)	1.01	1.07	1.14	1.20	1.27	1.40	1.46	1.53	1.59	1.66
分布频率 Distribution frequency (%)	0.00	1.70	1.70	12.10	19.00	32.80	19.00	8.60	5.20	0.00
芒长 Awn length (cm)	11.48	12.79	14.11	15.42	16.74	19.37	20.68	22.00	23.31	24.63
分布频率 Distribution frequency (%)	1.70	1.70	5.20	3.40	13.80	55.20	8.60	3.40	5.20	1.70
粒长 Grain length (mm)	4.70	5.08	5.47	5.85	6.24	7.01	7.39	7.78	8.16	8.55
分布频率 Distribution frequency (%)	1.70	3.40	3.40	6.90	12.10	44.80	17.20	5.20	5.20	0.00
粒宽 Grain width (mm)	2.16	2.34	2.52	2.70	2.88	3.24	3.42	3.60	3.78	3.96
分布频率 Distribution frequency (%)	3.40	13.80	15.50	1.70	36.20	20.70	3.40	3.40	3.40	1.70
千粒重 1000-grain weight (g)	22.85	26.09	29.34	32.58	35.83	42.32	45.56	48.81	52.05	55.30
分布频率 Distribution frequency (%)	0.00	3.40	5.20	10.30	48.30	13.80	10.30	1.70	1.70	1.70

（主要分布在 5.01~38.40 cm）。

2.2 供试材料农艺性状的相关性分析

运用 SPSS 27.0 对 58 份供试种质资源的 14 个数量性状进行相关性分析（表 4）。各农艺性状间，旗叶宽与旗叶长呈显著正相关（ $r=0.314$ ）；穗下

节间长与节间数呈极显著负相关（ $r=-0.347$ ），与旗叶宽呈显著负相关（ $r=-0.311$ ），与旗叶角呈极显著负相关（ $r=-0.636$ ）；单株穗数与节间数呈极显著正相关（ $r=0.371$ ），与旗叶角呈显著正相关（ $r=0.306$ ），与穗下节间长呈极显著负相关（ $r=-$

-0.464)；穗宽与旗叶长呈极显著正相关 ($r=0.386$)，与旗叶宽呈极显著正相关 ($r=0.352$)；穗宽与穗长呈极显著正相关 ($r=0.417$)；芒长与穗长呈极显著正相关 ($r=0.590$)；粒长与穗宽呈显著正相关 ($r=0.311$)；粒宽与粒长呈极显著正相关 ($r=0.449$)；千粒重与穗宽呈极显著正相关 ($r=0.404$)，与粒宽呈显著正相关 ($r=0.279$)。茎秆直径与旗叶角呈极显著正相关 ($r=0.462$)，与穗下节间长呈极显著负相关 ($r=-0.511$)，与千粒重呈显著正相关 ($r=0.298$)。株高与茎秆直径呈显著正相关 ($r=0.268$)。结果表明，青稞不同性状之间有一定的相关性，种质资源利用时需要

表 4 青稞种质资源农艺性状相关性分析
Table 4 Correlationship analysis between the agronomic traits of highland barley germplasm resources

性状 Trait	节间数 NI	旗叶长 FLL	旗叶宽 FLW	旗叶角 FLA	穗下节间长 UIL	单株穗数 NSPP	穗长 SL	穗宽 SW	芒长 AL	粒长 GL	粒宽 GW	千粒重 TGW	茎秆直径 SD	株高 PH
节间数 NI	1.000													
旗叶长 FLL	-0.038	1.000												
旗叶宽 FLW	-0.092	0.314*	1.000											
旗叶角 FLA	0.204	0.007	0.199	1.000										
穗下节间长 UIL	-0.347**	-0.058	-0.311*	-0.636**	1.000									
单株穗数 NSPP	0.371**	0.141	0.043	0.306*	-0.464**	1.000								
穗长 SL	0.013	0.151	0.120	-0.002	-0.113	0.034	1.000							
穗宽 SW	0.070	0.386**	0.352**	0.136	-0.194	0.215	0.417**	1.000						
芒长 AL	-0.199	0.115	-0.031	0.055	-0.109	0.011	0.590**	0.207	1.000					
粒长 GL	0.173	0.061	-0.209	-0.109	0.208	-0.002	0.233	0.311*	0.055	1.000				
粒宽 GW	0.018	0.048	-0.083	0.086	-0.109	0.168	0.132	0.188	-0.019	0.449**	1.000			
千粒重 TGW	0.142	0.180	0.026	-0.046	-0.043	0.268*	0.029	0.404**	0.089	0.232	0.279*	1.000		
茎秆直径 SD	0.232	-0.092	0.243	0.462**	-0.511**	0.137	-0.049	0.075	-0.054	-0.079	0.107	0.298*	1.000	
株高 PH	0.192	-0.090	-0.013	0.206	-0.246	0.501**	-0.065	-0.012	-0.014	0.003	0.128	0.191	0.268*	1.000

“*” 和 “**” 分别表示在 0.05 和 0.01 水平显著相关，下同。
“*” and “**” indicate significant correlations at the 0.05 and 0.01 levels, respectively, the same below.

综合考虑各性状。

2.3 供试材料农艺性状主成分分析

运用 SPSS 27.0 对 58 份供试种质资源的 16 个农艺性状进行主成分 (PCA) 分析 (表 5)。6 个 PCA 累计贡献率达到 73.062%。PCA1 的贡献率为 18.166%，特征值为 2.907，主要性状包括旗叶长 (0.562) 和单株穗数 (0.537)，此类性状与株型和产量相关，单株穗数增多不利于主穗粒数的增加，所以 PCA1 不宜过高。PCA2 的贡献率为 15.912%，特征值为 2.546，主要性状为穗下节间长 (0.754)，此类性状与产量相关，穗下节间过长导致穗位过高是引起倒伏的重要原因，因此

PCA2 不宜过高。PCA3 的贡献率为 12.697%，特征值为 2.032，主要性状为穗长 (0.622)，此类性状与产量相关，适当长穗有利于产量增加，因此 PCA3 应适当偏大。PCA4 的贡献率为 10.378%，特征值为 1.660，主要性状为千粒重 (0.694)，此类性状与产量相关，千粒重增加有利于产量增加，因此 PCA4 应偏大。PCA5 的贡献率为 9.152%，特征值为 1.464。主要性状为粒宽 (0.407)，此类性状与产量相关，粒宽的增加有利于千粒重的增加，因此 PCA5 应偏大。PCA6 的贡献率为 6.757%，特征值为 1.081，主要性状为旗叶宽 (0.517)，此类性状与植株叶型相关。

表 5 青稞种质资源农艺性状主成分分析
Table 5 Principal component analysis the agronomic traits of 58 highland barley germplasm resources

性状 Trait	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
节间数 NI	-0.693	0.492	-0.053	-0.120	-0.109	0.241
旗叶长 FLL	0.562	-0.444	0.150	-0.088	0.150	-0.285
旗叶宽 FLW	0.527	0.211	0.003	0.014	-0.432	0.517
旗叶角 FLA	0.490	0.406	-0.347	-0.075	-0.041	-0.238
卷叶 LR	0.469	0.114	0.317	-0.395	-0.068	-0.339

续表 5 Table 5 (continued)

性状 Trait	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
穗下节间长 UIL	0.336	0.754	0.013	-0.006	-0.283	-0.173
单株穗数 NSPP	0.537	-0.609	-0.038	0.037	-0.249	-0.070
穗长 SL	-0.189	0.453	0.622	-0.154	0.366	-0.100
穗宽 SW	0.453	0.183	0.591	-0.227	0.357	0.208
芒长 AL	0.224	-0.409	-0.565	-0.349	0.200	0.244
粒长 GL	0.433	-0.070	0.452	0.211	0.230	0.353
粒宽 GW	0.212	0.287	-0.256	0.631	0.407	0.091
千粒重 TGW	-0.019	-0.386	0.423	0.694	-0.126	0.098
种皮颜色 SCC	0.334	0.350	-0.400	0.442	0.369	-0.258
茎秆直径 SD	0.465	0.387	0.024	0.147	-0.513	0.100
株高 PH	0.346	0.173	-0.346	-0.370	0.399	0.370
特征值 Eigenvalue	2.907	2.546	2.032	1.660	1.464	1.081
贡献率 Contribution rate (%)	18.166	15.912	12.697	10.378	9.152	6.757
累计贡献率 Accumulative contribution rate (%)	18.166	34.078	46.775	57.152	66.305	73.062

2.4 供试材料农艺性状的综合评价

通过隶属函数对 58 份青稞种质资源的 16 个农艺性状值进行标准化处理，处理结果代入 6 个 PCA 得分值中，求得各种质 6 个 PCA 得分值，PCA1 的得分 $F_1=-0.693X_1+0.562X_2+0.527X_3+0.49X_4+0.469X_5+0.336X_6+0.537X_7+0.189X_8+0.453X_9+0.224X_{10}+0.433X_{11}+0.0212X_{12}+0.0019X_{13}+0.334X_{14}+0.465X_{15}+0.346X_{16}$ ，式中， X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 、 X_6 、 X_7 、 X_8 、 X_9 、 X_{10} 、 X_{11} 、 X_{12} 、 X_{13} 、 X_{14} 、 X_{15} 、 X_{16} 分别代表粒长、穗宽、粒宽、千粒重、茎秆直径、旗叶长、种皮颜色、穗下节间长、旗叶宽、株高、芒长、旗叶角、节间数、穗长、分蘖数、卷叶。利用 6 个 PCA 的贡献率权重（0.248、0.217、0.173、0.142、1.252、0.924）建立用于筛选优异种质的综合值（ F 值）， $F=0.248F_1+0.217F_2+0.173F_3+0.142F_4+1.252F_5+0.924F_6$ 。58 份青稞种质资源的综合得分值范围为 -0.01~1.34，排名前 3 的资源分别为 CDU22、CDU19T、CDU57S。综上表明， F 值越高，种质综合性状越具有代表性。

为筛选优异种质，以 58 份供试材料农艺性状及 F 值进行逐步线性回归分析。构建回归方程： $F=-4.391+0.178X_1+0.497X_2+0.346X_3+0.0075X_4+0.943X_5+0.018X_6+0.057X_7+0.008X_8+0.009X_9+0.004X_{10}-0.025X_{11}+0.002X_{12}-0.051X_{13}+0.027X_{14}-0.007X_{15}+0.059X_{16}$ ，该回归方程的决定系数 $R^2=1$ 。式中， F 为综合得分值。相关性分析（表 6）表明，综合得分值与穗宽、粒长、粒宽、千粒重呈极显著正相关，与旗叶长呈显著正相关，该方程

可用于 58 份供试材料的综合评价。

表 6 青稞 16 个农艺性状与表型综合值（ F ）间的相关系数

Table 6 Correlation coefficients between 16 agronomic traits and phenotype synthesis (F -value) of highland barley			
性状 Trait	F 值 F -value	性状 Trait	F 值 F -value
节间数 NI	0.142	穗宽 SW	0.707**
卷叶 LR	-0.078	芒长 AL	0.087
旗叶长 FLL	0.288*	粒长 GL	0.730**
旗叶宽 FLW	0.049	粒宽 GW	0.696**
旗叶角 FLA	0.110	千粒重 TGW	0.558**
穗下节间长 UIL	-0.110	种皮颜色 SCC	-0.101
单株穗数 NSPP	0.133	茎秆直径 SD	0.179
穗长 SL	0.230	株高 PH	0.227

2.5 供试材料表型性状的聚类分析

运用 SPSS 27.0 对 58 份供试种质资源的 16 个农艺性状进行聚类分析，采用 Ward 法绘制聚类树（图 1）。由图 1、表 7 和图 2 可知，类群 I 包含 12 份种质，这类种质的主要特征为穗宽最大，千粒重最大，种皮颜色最丰富，株高最高。其中，CDU20 和 CDU40 株高较高，CDU19T 和 CDU22 穗宽特征值较大，CDU8 和 CDU22 千粒重最高，此类种质为高产型，综合性状较好。类群 II 包含 13 份种质，此类种质为多穗型，主要特征为节间数最大，旗叶长、旗叶宽、旗叶角最大，穗下节间长最小，单株穗数、粒宽最大，粒长、千粒重、株高居中，茎秆直径最大。类群 II 中，CDU57S 节间数最大，CDU57S、CDU55 旗叶长最长，CDU55、CDU57S 旗叶宽最大，CDU11、CDU12 旗叶角

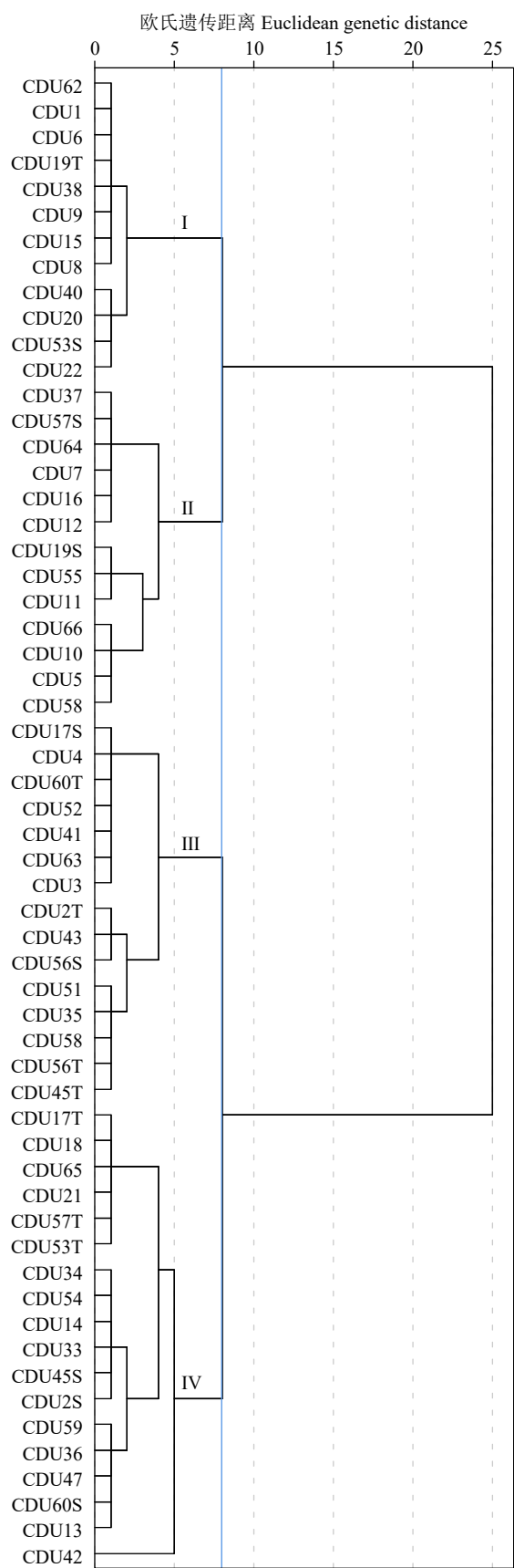


图1 58份青稞种质资源聚类分析
Fig.1 Clustering analysis of 58 highland
barley germplasm resources

最大，CDU7、CDU64 单株穗数最大，CDU16、CDU64 粒宽最大。类群Ⅲ包含 15 份种质，此类种质综合性状表现一般，主要特征为穗下节间长最长，粒长居中，粒宽、千粒重最小。类群Ⅲ中，CDU35、CDU51 穗下节间最长。类群Ⅳ包含 18 份种质，此类群种质为长穗型，主要特征为穗长、芒长、粒长最长，粒宽最大，千粒重居中。类群Ⅳ中，CDU21 和 CDU57T 穗长最长，CDU21 和 CDU14 芒长最长，CDU2S 和 CDU53T 粒长最长，CDU34 和 CDU60S 粒宽最大，CDU60S 和 CDU47 千粒重居中。

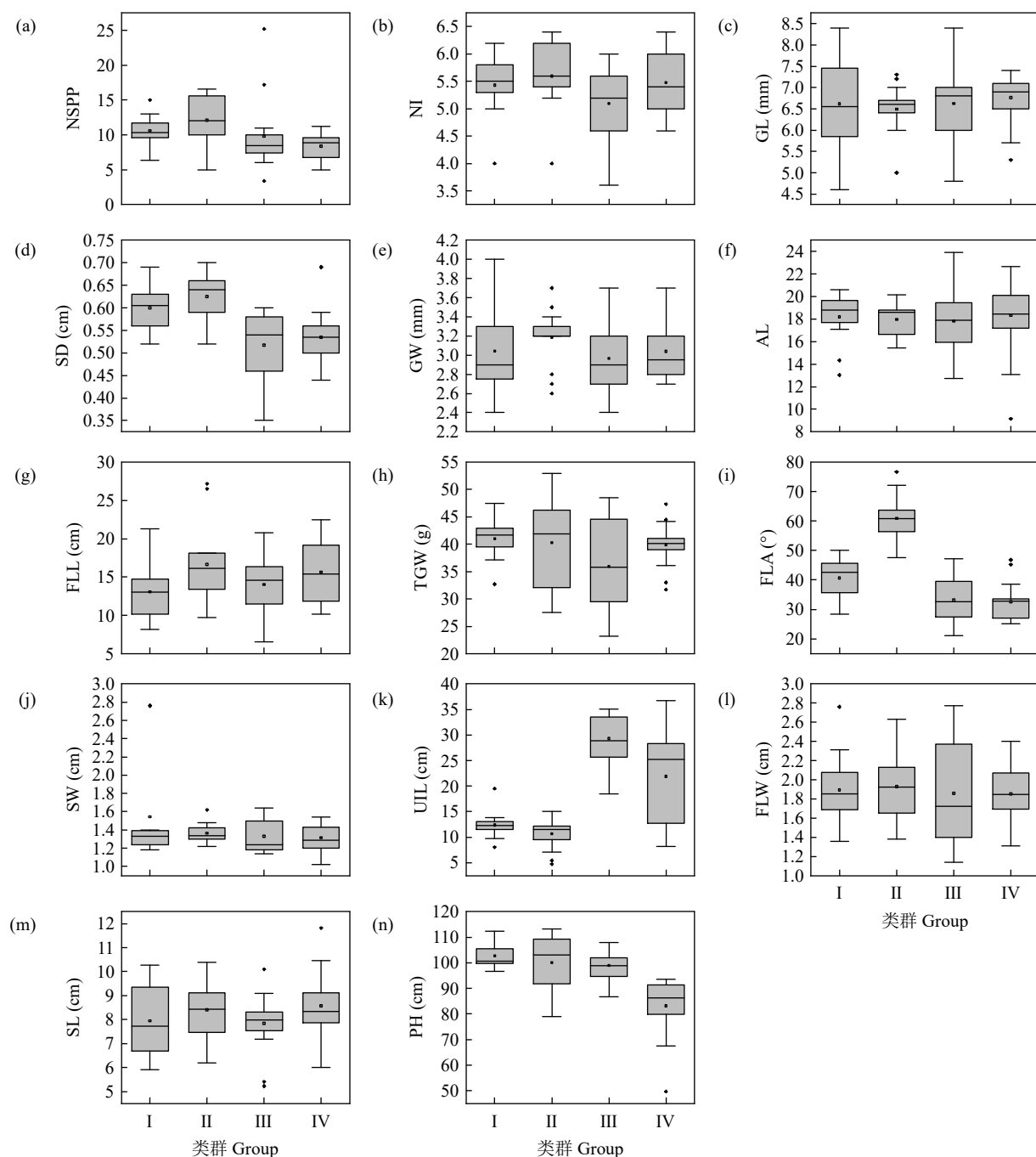
表 7 4 类青稞种质资源的农艺性状统计分析						
Table 7 Statistical analysis of the agronomic traits in four clusters of highland barley germplasm resources						
类群 Group	数量 Number	NI	LR	FLL (cm)	FLW (cm)	FLA (°)
I	12	5.43	1.17	13.04	1.85	40.71
II	13	5.60	1.00	16.64	1.93	60.91
III	15	5.09	1.20	14.03	1.86	33.16
IV	18	5.48	1.00	15.64	1.85	32.59
类群 Group	UIL (cm)	NSPP	SL (cm)	SW (cm)	AL (cm)	GL (mm)
I	11.71	10.60	7.94	1.54	18.19	6.62
II	10.68	12.12	8.40	1.36	17.96	6.49
III	29.31	9.81	7.84	1.33	17.82	6.62
IV	21.87	8.37	8.57	1.32	18.32	6.76
类群 Group	GW (mm)	TGW (g)	SCC	SD (cm)	PH (cm)	
I	3.04	41.00	3.42	0.60	102.71	
II	3.18	40.27	2.23	0.62	100.07	
III	2.97	35.93	1.80	0.52	98.94	
IV	3.04	39.92	1.83	0.54	83.17	

3 讨论

3.1 青稞种质资源的遗传多样性

种质资源的筛选、评价是保护及开发利用优异青稞新品种的基础，有助于挖掘青稞种质特异材料，充分利用其优良基因进行遗传改良^[18]。基于 16 个农艺性状分析青稞遗传多样性，可以了解种质资源在同一性状之间的差异性，有助于育种工作者筛选出优异种质，为青稞种质资源鉴定及育种改良提供依据。

本研究中 16 个农艺性状的变异系数为 12%~64%，平均变异系数为 26%，其中种皮颜色变异系数最大，为 64%，粒长和节间数变异系数最小，均为 12%。其余农艺性状的变异系数均处在 30%~



盒图两端表示性状的极值范围，◆表示个别极值。

The ends of the box represent the extreme values of the trait, ◆ indicates individual extremum.

图2 4个类群58份青稞种质资源14个农艺性状的箱线图

Fig.2 Box plots of 14 agronomic traits of 58 highland barley germplasm resources in four groups

40%之间。李赢等^[16]和吕伟等^[18]认为，当某一性状变异系数大于10%时，表明样本间差异显著，供试种质遗传变异性丰富。Shannon 遗传多样性指数能较好地反映供试种质资源的遗传多样性，58份供试种质的遗传多样性指数范围为1.166~2.707。其中，卷叶遗传多样性指数最低，为1.166，种皮颜色遗传多样性指数最高，为2.707。遗传多

样性指数越高，表明性状多样性程度越丰富。

3.2 青稞种质资源的相关性和聚类分析

本研究对58份青稞种质的14个数量性状进行相关性分析，结果表明，千粒重与穗宽呈极显著正相关，与粒宽呈显著正相关，这与李赢等^[16]研究结果相同。夏腾飞等^[2]认为株高与穗长、体积质量和千粒重等性状间大部分存在显著或极显

著正相关或负相关。白羿雄等^[11]认为青稞根系、茎秆和穗部组织内各指标间存在显著相关性。本研究还发现单株穗数与节间数及穗下节间长呈极显著正相关，穗宽与旗叶长、旗叶宽呈极显著正相关。在后期育种中，应尽量选择穗宽、节间数、穗下节间长及千粒重等性状综合表现较好的材料作为亲本材料。

聚类分析是研究作物种质资源亲缘关系及起源的常用手段，可直观体现种质个体间相关性的分类^[19]。本研究采用系统分类法将 58 份供试材料分为 4 个类群，分类结果与李赢等^[16]、徐肖等^[20]和夏腾飞等^[2]大致相同。类群 I 的主要特征为穗宽，千粒重，株高均最大，属于高产型，综合性状表现较好，可作为选育高产型品种的亲本供育种者选择。类群 II 的主要特征为旗叶长、旗叶宽、单株穗数、粒宽、茎秆直径最大，此类种质属于多穗型，可作为选育多穗型品种的亲本材料。类群 III 的主要特征为穗下节间长最长，粒长居中，粒宽、千粒重最小，此类种质不建议作为育种材料进行选择，可作为备选材料。类群 IV 的主要特征为穗长、芒长、粒长最长，粒宽最大，千粒重居中，此类种质属于长穗型，可作为选育长穗型品种的亲本材料。

3.3 青稞种质资源性状综合评价

前人^[21-22]在进行作物农艺性状的综合评价时，常将主成分分析与隶属函数相结合，以提高评价结果的准确性。为筛选出优异种质，本研究在前人研究结果的基础上，通过结合主成分分析结果，计算综合得分值（ F 值），并依据计算结果对供试种质资源进行排序。经分析，综合得分值排名前 3 的材料为 CDU22、CDU19T、CDU57S。综合得分值越高，表明供试种质资源越具有代表性。

本研究基于主成分得分值和综合得分值，建立了逐步回归方程，其决定系数 $R^2=1$ ，表明回归模型的拟合度较好，可用于青稞种质资源遗传多样性的评价。构建回归方程有助于育种者获得种质资源的综合得分从而进行综合评价，对于青稞种质资源的评价具有一定的参考价值^[1]。

4 结论

本研究中 58 份青稞材料 16 个农艺性状的变

异系数在 12%~64% 之间，平均变异系数为 26%，供试材料之间变异广泛，遗传多样性丰富。初步筛选出 CDU22、CDU19T、CDU57S 等综合性状较好的材料，可作为后续青稞品种选育的亲本材料。

参考文献

- [1] 矫晓丽, 迟晓峰, 董琦, 等. 青海地区不同品种青稞中 B 族维生素含量分布. 氨基酸和生物资源, 2011, 33(2): 13-16.
- [2] 夏腾飞, 王蕾, 徐金青, 等. 267 份青藏高原青稞种质材料的表型多样性分析. 西北农业学报, 2018, 27(2): 182-193.
- [3] 吕远平, 熊莱君, 贾利蓉, 等. 青稞特性及在食品中的应用. 食品科学, 2005, 26(7): 245-249.
- [4] 次潘. 西藏地区青稞育种的现状及其发展思路. 种子科技, 2020, 38(19): 115-116.
- [5] 拾方坚. 中国栽培裸大麦的品种特性及其应用价值. 麦类作物学报, 1992(3): 41-43.
- [6] 刘小娇, 王姗姗, 白婷, 等. 青稞营养及其制品研究进展. 粮食与食品工业, 2019(1): 43-47.
- [7] Yin Y Q, Ma D Q, Ding Y, et al. Analysis of genetic diversity of hordein in wild close relatives of barley from Tibet. Theoretical and Applied Genetics, 2003, 107(5): 837-842.
- [8] Würschum T, Langer S M, Longin C F H, et al. Population structure, genetic diversity and linkage disequilibrium in elite winter wheat assessed with SNP and SSR markers. Theoretical and Applied Genetics, 2013, 126(6): 1477-1486.
- [9] 卓嘎, 伦珠朗杰, 张旭辉, 等. 西藏青稞地方品种主要农艺性状的遗传多样性. 西北农林科技大学学报, 2023, 51(6): 48-57, 65.
- [10] 张万霞, 张京, 孙立军, 等. 大麦优异种质农艺性状鉴定和适应性分析. 植物遗传资源科学, 2012, 32(2): 215-222.
- [11] 白羿雄, 姚晓华, 姚有华, 等. 青稞抗倒伏性状的基因型差异. 中国农业科学, 2019, 52(2): 228-238.
- [12] Zhou R, Wu Z, Cao X, et al. Genetic diversity of cultivated and wild tomatoes revealed by morphological traits and SSR marker. Genetics and Molecular Research, 2015, 14(4): 13868-13879.
- [13] 蒋莹, 常蕾, 王安, 等. 143 份大麦种质资源主要农艺性状遗传多样性分析. 江苏农业科学, 2020, 48(14): 94-98.
- [14] 白婷, 周珠扬, 靳玉龙, 等. 二棱青稞品系群体动态及农艺性状分析. 河南农业科学, 2019, 48(2): 35-39.
- [15] 张京, 刘旭. 大麦种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- [16] 李赢, 刘海翠, 石晓旭, 等. 398 份裸大麦种质资源表型性状遗传多样性分析. 植物遗传资源学报, 2023, 24(5): 1311-1320.
- [17] 董昕, 李淑君, 杨华, 等. 重庆玉米地方品种表型多样性分析. 植物遗传资源学报, 2019, 20(4): 861-870.
- [18] 吕伟, 韩俊梅, 文飞, 等. 不同来源芝麻种质资源的表型多样性分析. 植物遗传资源学报, 2020, 21(1): 234-242.
- [19] 李颖, 张树航, 郭燕, 等. 211 份板栗种质资源花序表型多样性和聚类分析. 中国农业科学, 2020, 53(22): 4667-4682.
- [20] 徐肖, 栾海业, 张英虎, 等. 青藏高原裸大麦种质资源形态多样性分析. 浙江农业学报, 2019, 31(7): 1037-1044.
- [21] 李健. 青稞种质资源遗传多样性研究现状. 南方农业, 2021, 15(2): 231-232.
- [22] 王晓鸣, 邱丽娟, 景蕊莲, 等. 作物种质资源表型性状鉴定评价: 现状与趋势. 植物遗传资源学报, 2022, 23(1): 12-20.

Assessment of Genetic Diversity in 58 Germplasm Resources of Highland Barley

Lu Jing¹, Yu Bo¹, Jiang Mi², Peng Lianxin¹, Ren Yuanhang¹, Wu Qi¹

(¹College of Food and Biological Engineering, Chengdu University/Key Laboratory of Cereal Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Chengdu 610000, Sichuan, China; ²Institute of Agricultural Sciences, Ganzi Tibetan Autonomous Prefecture, Ganzi 626700, Sichuan, China)

Abstract In order to clarify the genetic diversity of highland barley germplasm resources in Ganzi prefecture and screen out excellent germplasms, 58 highland barley germplasm resources collected in Ganzi prefecture were thoroughly examined for genetic diversity, correlation analysis, principal component analysis, and clustering on 16 agronomic traits. The results showed that the 58 highland barley germplasms had abundant genetic diversity with coefficients variation (*CV*) ranging from 12% to 64%. The minimum *CV* were those of grain length and internode number (12%), the maximum *CV* was that of seed coat color, reaching 64%, and the average *CV* was 26%. The index of genetic diversity ranged from 1.166 to 2.707, the diversity index of leaf roll was the minimum (1.166), and the diversity index of seed coat color was the maximum (2.707). Correlation analysis results showed that panicle length, panicle width, panicle number per plant, 1000-grain weight and internode number could be used as important indicators to evaluate genetic diversity of highland barley germplasm resources for breeding. The results of principal component analysis showed that the accumulative contribution rate of the six principal components had reached 73.062%. The main indexes were uppermost internode length, panicle number per plant, flag leaf length and plant height. According to the comprehensive score (*F*-value) through membership function values, CDU22, CDU19T and CDU57S were selected as the top three germplasms. Clustering analysis classified the 58 germplasms into four groups, when the genetic distance was eight, the 12 germplasms of group I had the highest comprehensive eigenvalue, and those germplasms could be selected as parent materials for breeding of high-yield varieties.

Key words Highland barley; Germplasm resources; Agronomic traits; Genetic diversity analysis; Comprehensive evaluation