

网络出版时间:2024-05-29

网络出版地址:<https://link.cnki.net/urlid/61.1359.s.20240528.1513.002>

75 份青稞种质的品质性状综合评价

刘雅洁, 李茂, 李超, 李文博, 田敏, 潘佳佳, 赵辉, 余国武, 冯宗云

(四川农业大学农学院, 四川温江 611130)

摘要: 为有效利用青稞种质资源、促进专用型品种的选育, 利用主成分分析和因子分析法对 75 份青稞品种(系)在 3 个生态点的籽粒中蛋白质、 γ -氨基丁酸、总淀粉、 β -葡聚糖和花青素含量共 5 个籽粒品质性状进行分析与评价。结果显示, 基因型、生态点及生态点与基因型互作对 5 个被测性状均有显著影响, 5 个性状的变异系数为 3.88%~118.92%, 广义遗传率为 15.29%~90.13%, 其中蛋白质、 β -葡聚糖和花青素含量的广义遗传率大于 60%, 表明遗传是其含量差异的主要原因。利用主成分分析可将 5 个性状简化为 3 个公因子, 其携带总信息量的 73.73%。经过 Promax 旋转后的载荷结果显示, 3 个公因子分别反映青稞籽粒的氨基酸累积量、次生代谢物累积量和多糖累积量。加权评分后的综合排名和分层聚类结果显示, 勾芒青稞、龙中紫、2009-119、XQ0168、次玛、4TH HBSNS-57、813、长芒黑青稞、白勾芒、耐那、对芒黑青稞、褐青稞、北青 4 号、白青稞和昆仑 14 号共 15 个材料的综合品质较好; 单性状优势的统计分析结果表明, 高蛋白育种适宜选用龙中紫, 低 β -葡聚糖育种适宜选择白勾芒、对芒黑青稞和褐青稞, 高蛋白质且低 β -葡聚糖含量育种适宜选择 2009-119 和 XQ0168, 高 γ -氨基丁酸和高花青素育种适宜选择次玛, 高 γ -氨基丁酸和低葡聚糖育种适宜选择 4TH HBSNS-57。

关键词: 青稞; 综合评价; 主成分分析; 因子分析; 分层聚类

中图分类号:S512.1; S330

文献标识码: A

文章编号: 1009-1041(2024)07-0855-10

Comprehensive Evaluation on Quality Traits of 75 Highland Barley Germplasm

LIU Yajie, LI Mao, LI Chao, LI Wenbo, TIAN Min, PAN Jiajia, ZHAO Hui, YU Guowu, FENG Zongyun

(College of Agronomy, Sichuan Agricultural University, Chengdu, Sichuan 611130, China)

Abstracts: In order to effectively utilize the germplasm resources of highland barley and promote the breeding of special varieties, principal component analysis and factor analysis were used to comprehensively evaluate the five quality traits, including contents of protein, γ -aminobutyric acid, total starch, β -glucan, and anthocyanin in seeds of 75 barley resources in three ecological areas. The results showed that there were significant differences in different genotypes, ecological areas and the interaction between ecological areas and genotypes. The coefficient of variation was distributed from 3.88% to 118.92%, and the broad-sense heritability of each trait was distributed from 15.29% to 90.13%, among which the broad-sense heritability of protein, β -glucan and anthocyanins was greater than 60%, indicating that heredity was the main reason for the difference in content. Principal component analysis can be used to simplify the five quality-related indicators into three common factors, carrying 73.73% of the data information of the original index. The first three factors after Promax rotation were selected, and the results showed that the three common factors reflected the amino acid accumulation, secondary metabolite accumulation, and polysaccharide accumulation of barley grain, respectively. The comprehensive

收稿日期: 2023-10-19 修回日期: 2023-12-28

基金项目: 四川省国际科技创新/港澳台科技创新合作项目(2022YFH0056); 西南作物基因资源发掘与利用国家重点实验室“生物育种”揭榜挂帅资助项目(SKL-ZY202201); 国家产业体系项目(CARS-05)

第一作者 E-mail: liuyajie@sicau.edu.cn(刘雅洁)

通讯作者 E-mail: zyfeng49@126.com(冯宗云)

sive ranking and hierarchical clustering results after weighted scoring showed that the comprehensive quality of 15 materials, including Goumangqingke, 2009-119, XQ0168, cima, 4TH HBSNS-57, 813, Changmangheiqingke, Baiigoumang, Naina, Duimangheiqingke, Heqingke, Beiqing 4, Baiqingke and Kunlun 14, and the statistical analysis results of mono-trait content showed that Longzhongzi was suitable for high protein breeding; Baigoumang, Duimangheiqingke and Heqingke were suitable for low β -glucan breeding; 2009-119 and XQ0168 were suitable for high protein and low β -glucan content breeding; cima was suitable for high γ -aminobutyric acid and high anthocyanin breeding, and 4TH HBSNS-57 was suitable for high γ -aminobutyric acid and low glucan breeding.

Keywords: Hulless barley; Comprehensive evaluation; Principle component analysis; Factor analysis; Hierarchical clustering

青稞 (*Hordeum vulgare L. var. nudum Hooker F.*) 是中国青藏高原上种植面积最大的高原特色作物, 为禾本科大麦属, 因内外颖壳分离也被称为裸大麦、元麦和米大麦。青稞为藏区人民的传统主粮, 具有高维生素、高膳食纤维、高蛋白、低脂、低糖含量的营养品质, 富含 β -葡聚糖、 γ -氨基丁酸等生理活性物质^[1-4]。青稞常用于制作挂面、糌粑等食品, 也可作酿酒原料、饲料。优质专用品种及高附加值产品匮乏是当前青稞增产不增收、农牧民种植积极性不高的主要原因。因此, 对青稞种质进行质量评价、提升品种营养、功能、专用性成为青稞育种的重点。

青稞籽粒中淀粉、蛋白质和 β -葡聚糖含量一般为 45.40%~71.10%、8.14%~16.27%、2.40%~11.00%^[5-7]; 淀粉和蛋白质含量是影响青稞加工性能的主要组分, 受基因型和环境影响^[8-10]; β -葡聚糖可以提高人体的免疫力, 预防高血压、中风、心血管疾病和 II 型糖尿病^[11-13]。青稞是迄今报道 β -葡聚糖含量最高的谷物, 其含量平均比小麦高近 10 倍^[14], 经常食用大麦可以通过降低血液胆固醇来预防或控制心血管疾病^[15]。 β -葡聚糖含量过高可干扰淀粉水解或面筋蛋白的网络构建, 降低酒类酿造过程中的麦汁过滤速度及面制品加工品质^[16]。 γ -氨基丁酸广泛存在于哺乳动物的神经系统中, 具有抗焦虑、镇静神经、降血压、改善脑活力等生理功能^[17]。青稞富含 γ -氨基丁酸, 其含量受遗传、环境影响^[18]。花青素对人体抗炎、预防肥胖、预防慢性代谢性疾病、保护心血管及改善视力等有良好功效, 广泛存在于各种有色青稞中, 被越来越多的育种学家关注^[19-20]。

收集和鉴定青稞种质资源并对其进行综合评价, 有利于专用型青稞品种的选育, 如富含 γ -氨基丁酸功能型品种、低 β -葡聚糖酿酒专用品种

等^[6,21]。目前, 有关青稞品质的研究多集中环境对单一性状的影响, 缺乏对其综合品质的评价。本研究以来自国内外的 75 个青稞品种(系)为材料, 对其在 3 个环境下的籽粒淀粉、蛋白质、 β -葡聚糖、 γ -氨基丁酸和花青素含量进行测定, 并利用主成分分析、因子分析和分层聚类进行综合评价, 为专用型青稞品种选育提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试青稞材料 75 份(表 6), 其中 28 份来自青海, 35 份来自西藏, 4 份来自甘肃, 6 份来自四川, 2 份为国外材料, 均由四川农业大学农学院功能健康作物研究中心提供。于 2021 年 5 月种植于甘肃甘南藏族自治州合作市(北纬 35°3'18", 东经 102°31'58", 海拔 2 737 m) 和四川省甘孜藏族自治州康定市(北纬 30°7'23", 东经 101°56'2", 海拔 2 700 m), 2022 年 5 月种植于甘肃甘南藏族自治州合作市四川农业大学实验基地内, 每个品种(系)种一行, 每行 10 株, 行长 1.5 m, 行距 0.4 m, 株距 0.1 m, 水、肥、病虫草害防治等均按当地大田生产管理。将收获的成熟籽粒 80 °C 烘干、粉碎, 装进自封袋编号, 4 °C 保存备用。

1.2 测定指标与方法

参照何照花^[22]方法采用双波长法测定总淀粉含量; 参考赵健^[23]方法采用液相色谱-质谱联用仪测定 γ -氨基丁酸含量; 利用混联 β -葡聚糖检测试剂盒(Megazyme 公司) 测定 β -葡聚糖含量; 通过 pH 值-示差分光光度法测定花青素含量^[24]; 参考 GB5009.5-2016 用凯氏定氮法测定蛋白质含量。重复 3 次。

1.3 数据分析

数据分别用 SAS 的 Proc Means、Proc GLM、

Proc Princomp、Proc Factors 和 Proc Cluster 程序进行统计、混合效应模型分析、主成分分析、因子分析和分层聚类;广义遗传率计算用 R 语言 lmer4 程序包完成。

2 结果与分析

2.1 供试青稞种质品质性状分析

由表 1 可知,5 个指标在不同环境下的变异系数为 3.88%~118.92%,其中花青素含量变异系数最高,而其余性状的变异系数在 10% 左右,表明花青素含量的育种潜力较大。5 个指标的广义遗传率为 15.29%~90.13%,其中蛋白质、 β -葡聚糖和花青素含量在三个环境下的广义遗传率大于 60%,表明其在不同环境下的遗传稳定性较高; γ -氨基丁酸和总淀粉含量受环境影响较大。由表 2 可知,基因型、生态点及生态点与基因型互作对 5 个性状的影响均达到显著水平。利用线性

混合效应模型,以个体与群体的平均值差异显著为标准($P < 0.05$),筛选到 15 个品质性状较稳定的品种(系),包括 4 个高蛋白质含量材料(勾芒青稞、龙中紫、2009-119 和 XQ0168),其蛋白质含量为 17.62%~19.11%;筛选到 2 个高 γ -氨基丁酸材料(次玛、4TH HBSNS-57),其 γ -氨基丁酸含量为 0.035%~0.039%;筛选到 4 个高花青素含量材料(耐那、813、次玛、长芒黑青稞),其花青素含量为 0.005%~0.015%,粒色分别为黑、黑、蓝、黑褐色;筛选到 7 个低 β -葡聚糖材料(白勾芒、耐那、对芒黑青稞、2009-119、褐青稞、XQ0168、4TH HBSNS-57)和 3 个高 β -葡聚糖材料(北青 4 号、白青稞、昆仑 14 号)。综上,2009-119 和 XQ0168 的蛋白质含量高且 β -葡聚糖含量低,耐那的花青素含量高且 β -葡聚糖含量低,4TH HBSNS-57 的 γ -氨基丁酸含量高且 β -葡聚糖含量低,次玛的 γ -氨基丁酸和花青素含量均较高。

表 1 供试青稞品种(系)的品质性状
Table 1 Quality index of the tested barley varieties(lines)

指标 Index	环境 Environment	样品数 Number of samples	平均值 Means	中位数 Media	最小值 Minimum	最大值 Maximum	变异系数 Coefficient of variation	标准差 Standard deviation	广义遗传率 Broad sense heritability
蛋白质 Protein	HZ21	148	15.98	15.58	12.84	20.90	8.80	1.41	62.82
	HZ22	148	17.73	17.54	16.08	22.09	5.96	1.06	
	KD21	150	14.25	14.27	8.27	17.29	7.87	1.12	
	合计 Total	446	15.98	15.71	8.27	22.09	11.65	1.86	
γ -氨基丁酸 γ -aminobutyric acid	HZ21	148	0.032	0.031	0.027	0.043	7.21	0.00	47.47
	HZ22	148	0.033	0.032	0.026	0.048	12.67	0.00	
	KD21	150	0.026	0.026	0.021	0.036	7.36	0.00	
	合计 Total	446	0.030	0.03	0.021	0.048	13.85	0.00	
β -葡聚糖 β -glucan	HZ21	148	6.63	6.71	4.46	7.77	8.68	0.58	90.13
	HZ22	148	6.42	6.46	4.90	7.33	6.27	0.40	
	KD21	150	6.39	6.45	4.60	7.00	6.68	0.43	
	合计 Total	446	6.48	6.50	4.46	7.77	7.48	0.49	
总淀粉 Total Starch	HZ21	148	52.23	51.43	39.00	66.21	9.96	5.20	15.29
	HZ22	148	59.88	59.71	54.97	66.82	3.88	2.32	
	KD21	150	51.30	51.06	42.16	62.82	7.60	3.90	
	合计 Total	446	54.45	55.03	39.00	66.82	10.16	5.53	
花青素 Anthocyanin	HZ21	148	0.0024	0.0021	0.0009	0.0103	52.46	0.00	85.54
	HZ22	148	0.0024	0.0021	0.0012	0.0099	51.49	0.00	
	KD21	138	0.0026	0.0020	0.0008	0.0248	118.92	0.00	
	合计 Total	434	0.0025	0.0021	0.0008	0.0248	82.39	0.00	

HZ21、HZ22 和 KD21 分别代表 21 年合作、22 年合作和 21 年康定生态点。

HZ21, HZ22, and KD21 represent Hezuo environment in 2021, Hezuo environment in 2022, and Kangding environment in 2021, respectively.

表 2 基于混合线性模型的统计分析

Table 2 Statistical analysis based on mixed linear models

指标 Index	源 Source	自由度 Freedom degree	Ⅲ型 SS Type III SS	均方 Meansquare	F 值 F value
蛋白质 Protein	基因型 Genotype	73	3.52E+02	4.83E+00	47.74 **
	生态点 Environment	2	8.94E+02	4.47E+02	3124.24 **
	生态点×基因型 Environment×Genotype	146	2.61E+02	1.79E+00	12.48 **
γ -氨基丁酸 γ -aminobutyric acid	基因型 Genotype	73	1.78E-03	2.44E-05	27.92 **
	生态点 Environment	2	3.84E-03	1.92E-03	2174.31 **
	生态点×基因型 Environment×Genotype	146	1.87E-03	1.28E-05	14.48 **
β -葡聚糖 β -glucan	基因型 Genotype	73	8.08E+01	1.11E+00	85.47 **
	生态点 Environment	2	4.84E+00	2.42E+00	212.83 **
	生态点×基因型 Environment×Genotype	146	1.59E+01	1.09E-01	9.56 **
总淀粉 Total starch	基因型 Genotype	73	2.36E+03	3.24E+01	12.57 **
	生态点 Environment	2	6.55E+03	3.27E+03	1015.85 **
	生态点×基因型 Environment×Genotype	146	4.00E+03	2.74E+01	8.50 **
花青素 Anthocyanin	基因型 Genotype	67	1.35E-03	2.01E-05	257.90 **
	生态点 Environment	2	4.37E-06	2.19E-06	151.16 **
	生态点×基因型 Environment×Genotype	134	4.07E-04	3.04E-06	210.08 **

2.2 不同青稞种质籽粒品质综合评价

2.2.1 青稞资源品质性状的相关性分析

对 75 份青稞材料籽粒在 3 个生态环境下 5 个品质指标进行相关性分析可知(表 3), 蛋白质含量与 γ -氨基丁酸含量、总淀粉含量间呈极显著正相关, 与葡聚糖含量呈极显著负相关; γ -氨基丁酸含量与葡聚糖含量极显著负相关, 与总淀粉含量极显著正相关; 葡聚糖含量与花青素含量呈显著负相关; 其余指标间相关性均不显著。

2.2.2 青稞种质品质性状的因子分析

基于特征值大于 1, 累计贡献率大于 60% 的原则提取主成分个数, 前三个主成分的相关矩阵特征值分别为 1.61、1.08 和 1.00, 方差贡献率分别为 32.20%、21.57% 和 19.96%, 累计贡献率达 73.73%, 能解释大部分的原始信息(表 4)。第一主成分中蛋白质和 γ -氨基丁酸载荷值较大, 第二主成分中总淀粉和总花青素含量载荷值较大, 第三主成分中蛋白质和总淀粉含量载荷值较大。

表 3 青稞资源品质性状的相关性分析

Table 3 Correlation analysis of quality traits of highland barley resources

	蛋白质 Protein	γ -氨基丁酸 γ -aminobutyric acid	β -葡聚糖 β -glucan	总淀粉 Total Starch	花青素 Anthocyanin
蛋白质 Protein	1				
γ -氨基丁酸 γ -aminobutyric acid	0.568 1 **	1			
β -葡聚糖 β -glucan	-0.115 3 *	-0.159 4 **	1		
总淀粉 Total starch	0.504 8 **	0.337 6 **	-0.044 0	1	
花青素 Anthocyanin	-0.046 9	-0.075 8	-0.097 8 *	-0.006 3	1

* : $P < 0.05$; ** : $P < 0.01$

表 4 主成分在各品质指标上的因子载荷矩阵

Table 4 Factor loading matrix of principal components on each quality index

特征向量 Eigenvector	主成分 1 Principal component 1	主成分 2 Principal component 2	主成分 3 Principal component 3	主成分 4 Principal component 4	主成分 5 Principal component 5
蛋白质 Protein	0.470 5	-0.024 4	0.392 5	0.775 8	0.148 7
γ -氨基丁酸 γ -aminobutyric acid	0.605 0	-0.177 3	-0.014 5	-0.481 7	0.608 5
β -葡聚糖 β -glucan	-0.639 2	-0.130 5	0.202 9	0.143 6	0.716 0
总淀粉 Total starch	-0.021 6	0.571 8	0.746 2	-0.335 0	-0.059 3
花青素 Anthocyanin	0.060 3	0.789 9	-0.497 7	0.182 1	0.302 4
特征值 Eigen value	1.609 8	1.078 6	0.997 9	0.793 9	0.519 8
贡献率 Contribution rate/%	0.322 0	0.215 7	0.199 6	0.158 8	0.104 0
累积贡献率 Cumulative contribution rate/%	0.322 0	0.537 7	0.737 3	0.896 0	1

由于总淀粉和蛋白质含量在多个主成分上均有较高载荷,不利于主成分分析,故用 Promax 旋转后对其评价,选择标准化评分系数大于 0.1 的性状进行分析,结果(表 5)显示,第一公共因子中蛋白质和 γ -氨基丁酸含量的标准化评分系数最高,代表该因子能反映青稞籽粒的氨基酸累积极量;第二公共因子中花青素含量的标准化评分系数最高,该因子能反映青稞籽粒的次生代谢物累积极量;第三公共因子中总淀粉和 β -葡聚糖含量的标准化评分系数最高,该因子能反映青稞籽粒的多糖累积极量。

按特征值贡献率和标准化评分系数加权后对 75 个青稞材料进行单个公共因子排名和综合排

名,结果(表 6)显示,利用公共因子 1 和因子 2 的排名与综合排名较一致,因子 3 排名与综合排名差异较大。依据综合排名和因子 1 排名,4TH HBSNS-57、2009-119、对芒黑青稞、白勾芒、褐青稞、XQ0168、次玛、乃木柴、龙中紫、紫青稞综合品质位于前 10 位,其中 8 个材料与 2.1 中筛选出的 15 个单性状稳定的材料相同。综合统计分析结果,在品质育种的亲本选择时,高蛋白育种推荐用龙中紫,低 β -葡聚糖育种推荐选择白勾芒、对芒黑青稞、褐青稞,高蛋白质且低 β -葡聚糖含量育种可选择 2009-119 和 XQ0168,高 γ -氨基丁酸和高花青素含量育种可选择次玛,高 γ -氨基丁酸和低葡聚糖含量育种可选择 4TH HBSNS-57。

表 5 旋转后因子载荷矩阵
Table 5 Factor loading matrix after rotation

		因子 1 Factor 1	因子 2 Factor 2	因子 3 Factor 3
蛋白质 Protein		0.198 5	0.012 6	-0.020 1
γ -氨基丁酸 γ -aminobutyric acid		0.343 4	0.029 0	-0.227 4
β -葡聚糖 β -glucan		-0.399 1	-0.256 4	0.197 2
总淀粉 Total starch		-0.007 9	0.067 4	0.164 3
花青素 Anthocyanin		0.012 9	0.268 9	0.063 4
特征值 Eigen value		0.808 6	0.129 8	0.039 4
贡献率 Contribution rate/%		136.89	21.98	6.68
累积贡献率 Cumulative contribution rate/%		136.89	158.87	165.55

表 6 供试青稞材料基于因子分析的综合排名
Table 6 Comprehensive ranking of the tested highland barley materials based on factor analysis

序号 No.	品种(系) Variety(line)	来源 Origin	因子 1 排名 Factor 1 Order	因子 2 排名 Factor 2 Order	因子 3 排名 Factor 3 Order	综合排名 Rank
1	列旺色列 Liewangselie	西藏拉萨曲水 Lhasa Qushui, Tibet	50	37	20	49
2	地方 Difang	西藏日喀则定日 Shigatse Dingri, Tibet	25	28	43	25
3	青稞 1 Qingke 1	西藏山南乃东 Shannan Naidong, Tibet	31	16	49	30
4	青稞 2 Qingke 2	西藏山南曲松 Shannan Qusong, Tibet	56	45	15	56
5	白勾芒 Baigoumang	西藏昌都芒康 Changdu Mangkang, Tibet	3	8	72	4
6	耐那 Naina	西藏拉萨堆龙德庆 Lhasa Duilongdeqing, Tibet	12	2	56	11
7	贡嘎嘎穷 Gonggagaqiong	西藏拉萨曲水 Lhasa Qushui, Tibet	35	13	28	32
8	白青稞 TB Baiqingke TB	西藏拉萨 Lhasa, Tibet	22	35	69	22
9	拉萨勾芒 Lasagoumang	西藏拉萨 Lhasa, Tibet	18	30	61	19
10	紫青稞 SN Ziqingke SN	西藏山南错那 Shannan Cuona, Tibet	10	15	64	10
11	乃木柴 Naimuchai	西藏日喀则仁布 Shigatse Renbu, Tibet	7	24	70	8

(续表 6 Continued table 6)

序号 No.	品种(系) Variety(line)	来源 Origin	因子 1 排名 Factor 1 Order	因子 2 排名 Factor 2 Order	因子 3 排名 Factor 3 Order	综合排名 Rank
12	巴西巴塞 Baxibasai	西藏昌都类乌齐 Changdu Leiwuqi, Tibet	51	58	32	51
13	巴金嘎母 Bajingamu	西藏日喀则白朗 Shigatse Bailang, Tibet	70	70	18	71
14	比芒玛 Bimangma	西藏林芝 Linzhi, Tibet	61	51	17	61
15	四棱白青稞 Silengbaiqingke	西藏拉萨堆龙德庆 Lhasa Duilongdeqiang, Tibet	24	52	62	28
16	扎尼嘎布 Zhanigabu	西藏林芝朗县 Nyingchi Langxian, Tibet	23	46	38	23
17	对芒黑青稞 Duimangheiqingke	西藏林芝波密 Nyingchi Bomi, Tibet	4	5	74	3
18	黑青稞 Heiqingke	四川 Sichuan	59	31	7	59
19	813	四川 Sichuan	46	1	1	27
20	乾宁青稞-选 1 Qianningqingke-xuan 1	四川甘孜州道孚 Ganzi Daofu, Sichuan	55	32	21	55
21	阿青 5 号-选 1 Aqing 5-xuan 1	四川阿坝州马尔康 Aba Malcolm, Sichuan	38	26	52	37
22	甘青 2 号 Ganqing 2	甘肃甘南合作 Gannan, Gansu	28	9	23	26
23	肚里黄 Dulihuang	甘肃甘南合作 Gannan, Gansu	45	57	42	46
24	山青 7 号-选 1 Shanqing 7-xuan 1	西藏山南乃东区 Shannan Naidong, Tibet	64	61	16	63
25	北青 1 号 Beiqing 1	青海海北门源 Haibei Beimenyuan, Qinghai	52	47	27	52
26	北青 3 号 Beiqing 3	青海海北门源 Haibei Beimenyuan, Qinghai	73	68	9	73
27	北青 4 号 Beiqing 4	青海海北门源 Haibei Beimenyuan, Qinghai	75	72	3	75
28	北青 5 号 Beiqing 5	青海海北门源 Haibei Beimenyuan, Qinghai	42	36	31	39
29	昆仑 12 号 Kunlun 12	青海西宁 Xining, Qinghai	72	55	13	72
30	莫多吉 1 号 Moduocha 1	青海 Qinghai	60	62	8	60
31	南繁 3 号 Nanfan 3	青海 Qinghai	65	69	14	66
32	矮秆齐-选 1 Aiganqi-xuan 1	青海 Qinghai	54	49	29	54
33	北青 2 号 Beiqing 2	青海海北海晏 Haibei Beihaiyan, Qinghai	57	42	6	58
34	ICNBF8-588SEL.1AP	美国 America	71	64	5	70
35	2009-119	青海 Qinghai	2	4	58	2
36	861918	青海 Qinghai	15	34	37	16
37	矮秆齐-选 2 Aiganqi-xuan 2	青海 Qinghai	66	53	19	65
38	湟中六棱青稞 Huangzhongliu-lengqingke	青海西宁湟中 Xining Huangzhong, Qinghai	29	27	46	29
39	互助白长芒 Huzhubaichangmang	青海海东互作 Haidong, Qinghai	40	48	57	42
40	六棱头 Liulengtou	青海 Qinghai	49	23	24	48
41	褐青稞 Heqingke	青海 Qinghai	5	11	73	5
42	蓝青稞 Lanqingke	青海 Qinghai	36	71	54	41
43	紫青稞 QH Ziqingke QH	青海 Qinghai	32	20	25	34

(续表6 Continued table 6)

序号 No.	品种(系) Variety(line)	来源 Origin	因子1排名 Factor 1 Order	因子2排名 Factor 2 Order	因子3排名 Factor 3 Order	综合排名 Rank
44	甘青4号-选2 Ganqing 4-xuan 2	甘肃甘南合作 Gansu, Gannan	27	65	66	33
45	北青8号 Beiqing 8	青海海北海晏 Haibei, Qinghai	20	38	67	21
46	黑老鸦 Heilaoya	青海海北门源 Haibei, Qinghai	17	22	60	17
47	鉴34 Jian 34	青海 Qinghai	39	56	33	40
48	繁29 Fan 29	青海 Qinghai	44	21	4	44
49	86024	西藏林芝工布江达 Nyingchi Gongbujiangda, Tibet	48	60	48	50
50	长芒紫青稞 Changmangziqingke	青海 Qinghai	47	25	41	47
51	白青稞QH Baiqingke QH	青海 Qinghai	74	75	12	74
52	青稞QH Qingke QH	青海 Qinghai	19	33	55	20
53	康青7号 Kangqing 7	四川甘孜州康定 Ganzi Kangding, Sichuan	16	41	40	18
54	9823	四川 Sichuan	41	54	47	43
55	XQ0168	西藏 Tibet	6	10	63	6
56	XQ0280	西藏 Tibet	33	50	53	36
57	XQ0346	西藏 Tibet	26	18	30	24
58	XQ0383	西藏 Tibet	69	40	34	68
59	昆仑14号 Kunlun 14	青海西宁 Xining, Qinghai	62	67	2	62
60	山青7号-选2 Shanqing 7-xuan 2	西藏山南 Shannan, Tibet	37	44	39	38
61	格科66 Geke 66	青海格尔木 Golmud, Qinghai	68	73	26	69
62	耳南Ernan	西藏 Tibet	67	66	11	67
63	北青6号 Beiqing 6	青海海北门源 Haibei Beimenyuan, Qinghai	63	74	36	64
64	甘青4号-选1 Ganqing 4-xuan 1	甘肃甘南合作 Gannan, Gansu	53	63	35	53
65	藏青3179 Zangqing 3179	西藏拉萨 Lhasa, Tibet	58	12	10	57
66	勾芒青稞 Goumangqingke	西藏拉萨达孜 Lhasa Dazi, Tibet	14	59	50	14
67	白浪兰 Bailanglan	西藏日喀则仁布 Shigatse Renbu, Tibet	30	29	22	31
68	阿曼都 Amandu	西藏昌都卡若 Changdu, Tibet	11	19	68	12
69	次玛 Cima	西藏昌都卡若 Changdu, Tibet	8	7	65	7
70	生次 Shengci	西藏昌都丁青 Changdu, Tibet	13	17	71	13
71	长芒黑青稞 Changmangheiqingke	西藏山南桑日 Shannan Sangri, Tibet	21	6	44	15
72	对芒紫青稞 Duimangziqingke	西藏山南乃东 Shannan Naidong, Tibet	43	43	51	45
73	4TH HBSNS-57	墨西哥 Mexico	1	3	75	1
74	扁圆穗灰 Bianyuansuihui	西藏日喀则市江孜 Shigatse Jiangzi, Tibet	34	39	45	35
75	龙中紫 Longzhongzi	西藏 Tibet	9	14	59	9

2.2.3 分层聚类分析

以 5 个品质性状为指标进行分层聚类分析, 在半偏 R^2 为 0.09 处, 75 个青稞材料被分为 I ~ IV 共 4 类(图 1), 分别包含 1、14、23 和 29 份材料, 其中 I 类仅有材料 813, 其花青素含量最高, 蛋白质、总淀粉和 β -葡聚糖含量中等, γ -氨基丁酸含量较低; II 类材料的 γ -氨基丁酸和蛋白质含量较

高, 淀粉含量中等, 花青素和 β -葡聚糖含量偏低; III 类材料的蛋白质和 γ -氨基丁酸含量较高, 其余各性状均为中等水平; IV 类材料的淀粉和 β -葡聚糖含量较高, 但其余品质性状较差。因子分析结果中, 8 个综合品质优的材料分别分布在 II 类(白勾芒、对芒黑青稞、2009-119、褐青稞、XQ0168、次玛)和 III 类(4TH HBSNS-57、龙中紫)中。

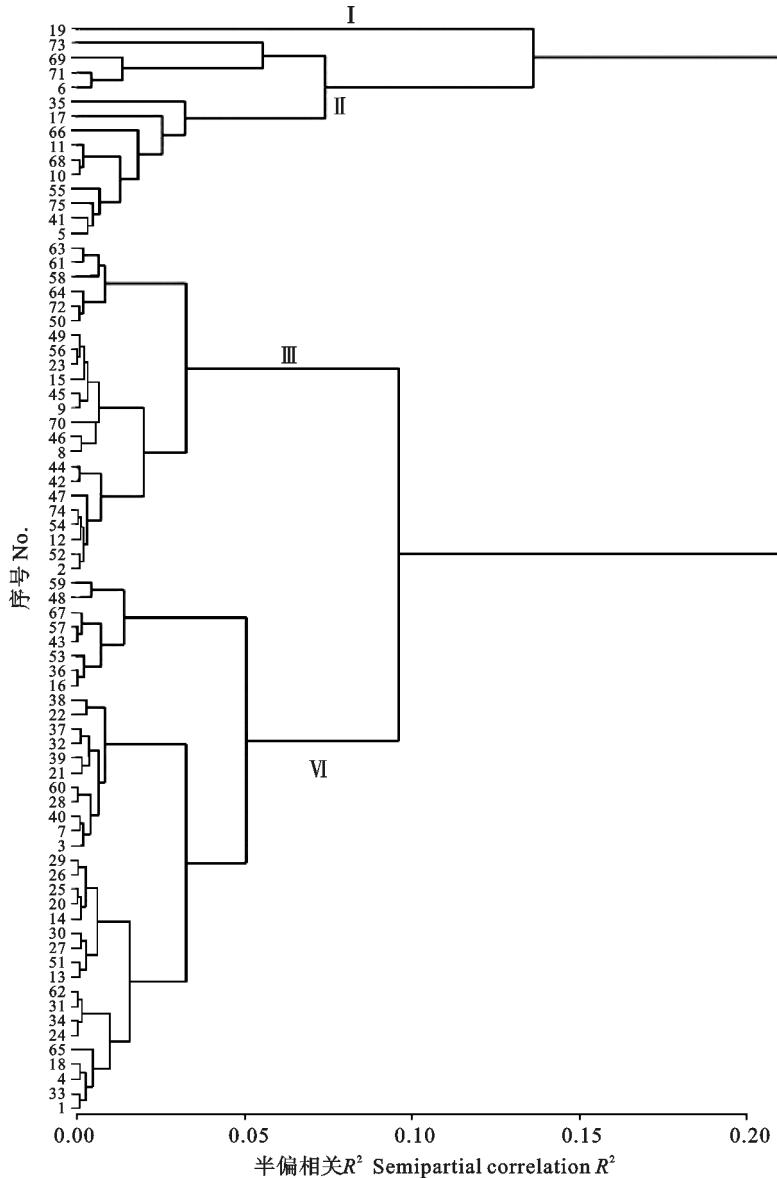


图 1 75 份青稞材料品质性状的分层聚类

Fig. 1 Hierarchical clustering of quality traits of the 75 barley materials

3 讨论

青稞是藏区人民的传统主粮、饲料来源及酿造原料, 提升青稞营养和功能性品质, 选育专用性青稞品种是青稞育种及其产业发展的新趋势。前

人研究表明, 品种对青稞的蛋白质、 γ -氨基丁酸、 β -葡聚糖、总淀粉和花青素含量有显著效应, 其含量一般为 8.14%~16.27%、0.018%~0.042%、2.40%~11.00%、45.40%~71.10%、0.020%~0.026%, 本研究结果与其基本一致, 蛋白

质、 γ -氨基丁酸、 β -葡聚糖、总淀粉和花青素含量分别为 8.27%~22.09%、0.021%~0.048%、4.46%~7.77%、39%~66.82% 和 0.000 8%~0.024 8%。但蛋白质含量分布上限高于已有报道,且平均蛋白质含量较高(15.98%)。表明本研究所用群体的蛋白质含量较高,后续应挑选高蛋白质含量的种质,对其蛋白质组成进行进一步分析,并揭示其遗传机制。

青稞籽粒品质受品种和生态环境共同影响,而不同品质性状受生态环境影响程度不同。前人研究表明,籽粒花色苷和 γ -氨基丁酸含量变异系数在 20%~30% 之间,而粗蛋白、 β -葡聚糖含量的变异系数相对较小,分布在 10%~20% 之间,淀粉的变异系数最小(低于 10%)^[26]。本研究中,75 份青稞品种(系)籽粒中除花青素变异系数为 51.49%~118.92% 外,蛋白质、 γ -氨基丁酸、 β -葡聚糖、总淀粉含量在不同生态点的变异系数均在 10% 左右,与前人结果相近,表明环境对青稞品质性状的影响较小,品质育种的重点是遗传基础。本研究中不同基因型、生态点及生态点与基因型互作均显著影响 5 个品质性状,其中蛋白质、 β -葡聚糖和花青素含量的广义遗传率大于 60%,表明这三个性状受遗传影响较大;总淀粉含量的广义遗传率只有 15.29%,低于前人的研究结果^[28-30],可能与供试材料组成及环境有关。 β -葡聚糖的广义遗传率超过 90%,表明环境对其含量影响较小,在后续进行 β -葡聚糖含量相关的品种改良时,应着重进行基因型选择。

多个性状的综合质量评价常用因子和主成分法浓缩数据信息,依据方差解释率进行权重计算,在种质资源评价中应用较为广泛,其结果结合层次聚类分析能更有效的进行综合评价^[31-33]。本研究利用线性混合效应模型对 75 份资源材料的 5 个品质性状进行综合评价,鉴定出 15 个在多环境下单个或者多个品质性状含量突出的种质,其中包括 4 份高蛋白质含量材料(勾芒青稞、龙中紫、2009-119 和 XQ0168),2 份高 γ -氨基丁酸材料(次玛、4TH HBSNS-57),4 份高花青素含量材料(耐那、813、次玛、长芒黑青稞),7 份低 β -葡聚糖材料(白勾芒、耐那、对芒黑青稞、2009-119、褐青稞、XQ0168、4TH HBSNS-57),3 份高 β -葡聚糖材料(北青 4 号、白青稞、昆仑 14 号),其中 5 份材料具备 2 个稳定品质性状特征。对其进行主成分分析、因子分析、综合分析,从中挑选出高蛋白含

量材料 1 份(龙中紫),低 β -葡聚糖含量 3 份(白勾芒、对芒黑青稞、褐青稞),高蛋白质且低 β -葡聚糖含量育种材料 2 份(2009-119 和 XQ0168),高 γ -氨基丁酸和高花青素材料 1 份(次玛),高 γ -氨基丁酸和低葡聚糖材料 1 份(4TH HBSNS-57)。推荐利用这些材料作为杂交亲本进行遗传群体构建,或用于优异品质青稞种质的创建及遗传改良。

参考文献:

- [1]OBADI M,SUN J,XU B. Highland barley: Chemical composition, bioactive compounds, health effects, and applications [J]. *Food Research International*, 2021, 140: 110065.
- [2]SAKELLARIOU M,MYLONA P V. New uses for traditional crops: The case of barley biofortification [J]. *Agronomy*, 2020, 10(12): 1964.
- [3]PEJCZ E,CZAJA A,WOJCIECHOWICZ-BUDZISZ A,*et al.* The potential of naked barley sourdough to improve the quality and dietary fibre content of barley enriched wheat bread [J]. *Journal of Cereal Science*, 2017, 77: 97.
- [4]ŠTERNA V,ZUTE S,JANSONE I,*et al.* Chemical composition of covered and naked spring barley varieties and their potential for food production [J]. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 2017, 67(2): 151.
- [5]曾兴权,王玉林,徐其君,*等*. 青稞品种籽粒品质性状研究 [J]. 西藏农业科技,2018,40(S1): 7.
- ZENG X Q,WANG Y L,XU Q J,*et al.* Study on quality properties of hullless barley [J]. *Tibet Journal of Agricultural Sciences*, 2018, 40(S1): 7.
- [6]徐菲,党斌,杨希娟,*等*. 不同青稞品种的营养品质评价[J]. 麦类作物学报,2016,36(9): 1249.
- XU F,DANG B,YANG X J,*et al.* Evaluation of nutritional quality of different hullless barleys [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2016, 36(9): 1249.
- [7]ZENG Y,PU X,DU J,*et al.* Molecular mechanism of functional ingredients in barley to combat human chronic diseases [J]. *Oxid Med Cell Longev.*, 2020, 2020: 3836172.
- [8]钟志明,王建林,冯西博,*等*. 农艺与气候因素对青藏高原栽培大麦淀粉含量空间分布的影响 [J]. 生态学报,2017,37(21): 7197.
- ZHONG Z M,WANG J L,FENG X B,*et al.* Effects of agro-ecological and climatic factors on the spatial distribution of starch concentration in barley cultivated on the Qinghai-Tibet Plateau [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(21): 7197.
- [9]ZALE J,CLANCY J,ULLRICH S,*et al.* Summary of barley malting quality QTLs mapped in various populations [J]. *Barley Genetics Newsletter*, 2000, 30: 44.
- [10]QI J C,ZHANG G P,ZHOU M X. Protein and hordein content in barley seeds as affected by nitrogen level and their relationship to beta-amylase activity [J]. *Journal of Cereal Science*, 2006, 43(1): 102.
- [11]MAHESHWARI G,SOWRIAJAN S,JOSEPH B. β -glucan, a dietary fiber in effective prevention of lifestyle diseases: An insight [J]. *Bioactive Carbohydrates and Dietary*

- Fibre*, 2019, 19: 100187.
- [12] TOSH S M, BORDENAVE N. Emerging science on benefits of whole grain oat and barley and their soluble dietary fibers for heart health, glycemic response, and gut microbiota [J]. *Nutrition Reviews*, 2020, 78(S1): 13.
- [13] 冯格格, 余永新, 洪思慧, 等. 青稞中主要功效成分最新研究进展 [J]. 农产品质量与安全, 2020(2): 82.
- FENG G G, SHE Y X, HONG S H, et al. The latest research progress of bioactive components in hullless barley [J]. *Quality and Safety of Agro-Products*, 2020(2): 82.
- [14] GENG L, LI M, XIE S, et al. Identification of genetic loci and candidate genes related to β -glucan content in barley grain by genome-wide association study in International Barley Core Selected Collection [J]. *Molecular Breeding*, 2021, 41(1): 6.
- [15] FDA (The Food and Drug Administration, USA). Health claim for barley products [Online]. 2006, https://permanent.access.gpo.gov/lps1609/www.fda.gov/fdac/departs/2006/406_upd.html#barley.
- [16] RIEDER A, HOLTEKJØLEN A K, SAHLSTRØM S, et al. Effect of barley and oat flour types and sourdoughs on dough rheology and bread quality of composite wheat bread [J]. *Journal of Cereal Science*, 2012, 55(1): 44.
- [17] KINNERSLEY A M, TURANO F J. Gamma aminobutyric acid (GABA) and plant responses to stress [J]. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 2000, 19(6): 479.
- [18] BOUCHÉN, FROMM H. GABA in plants: Just a metabolite? [J]. *Trends in Plant Science*, 2004, 9(3): 110.
- [19] 辛宇, 孙敬蒙, 张炜煜. 花青素生物活性及制剂的研究进展 [J]. 食品工业科技, 2021, 42(17): 413.
- XIN Y, SUN J M, ZHANG W Y. Research progress of physiological activity and preparations of anthocyanins [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(17): 413.
- [20] 王姗姗, 刘小娇, 胡赟, 等. 西藏地区不同粒色青稞多酚及花青素含量分析 [J]. 现代农业科技, 2020(19): 217.
- WANG S S, LIU X J, HU Y, et al. Analysis of contents of polyphenols and anthocyanins among different seed color highland barley cultivars from Tibet area [J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2020(19): 217.
- [21] 谭大明, 谭海运, 刘国一, 等. 西藏不同黑青稞品种的农艺性状和营养品质分析 [J]. 麦类作物学报, 2018, 38(2): 142.
- TAN D M, TAN H Y, LIU G Y, et al. Analysis of agronomic characters and nutritional quality of different black highland barley varieties in Tibet [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2018, 38(2): 142.
- [22] 何照花. 谷物中直、支链及总淀粉的双波长测定法 [J]. 生物化学与生物物理进展, 1981, 8(1): 70.
- HE Z H. Dual-wavelength determination of straight, branched-chain and total starch in cereals [J]. *Progress in biochemistry and biophysics*, 1981, 8(1): 70.
- [23] 赵健, 李凤华, 杨丽, 等. 超高效液相色谱-质谱联用法测定泰山白首乌中 γ -氨基丁酸含量及其相关药效分析 [J]. 世界科学技术(中医药现代化), 2012, 14(5): 2029.
- ZHAO J, LI F H, YANG L, et al. Determination of γ -aminobutyric acid in roots of *Cynanchum bungei* decne using ultra-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *World Science and Technology (Modernization of Traditional Chinese Medicine and Materia Medica)*, 2012, 14(5): 2029.
- [24] KIM M J, HYUN J N, KIM J A, et al. Relationship between phenolic compounds, anthocyanins content and antioxidant activity in colored barley germplasm [J]. *J. Agric. Food Chem.*, 2007, 55: 4802.
- [25] 白婷, 靳玉龙, 朱明霞, 等. 56 份青藏高原不同区域青稞籽粒营养品质综合评价 [J]. 食品工业科技, 2018, 39(23): 318.
- BAI T, JIN Y L, ZHU M X, et al. Comprehensive evaluation of quality of 56 highland barleys (*Hordeum vulgare Linn.*) in different regions of Tibet plateau [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2018, 39(23): 318.
- [26] 陈鲁鹏, 姚晓华, 姚有华, 等. 青藏高原青稞品质评价体系构建及生态区划分析 [J]. 西北植物学报, 2023, 43(4): 667.
- CHEN L P, YAO X H, YAO Y H, et al. Construction of quality evaluation system and analysis of ecological regionalization of Qinghai-Tibet plateau hullless barley [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalis Sinica*, 2023, 43(4): 667.
- [27] 王显萍. 青稞 β -葡聚糖含量的基因型差异及优质种质的筛选 [J]. 麦类作物学报, 2013, 33(1): 185.
- WANG X P. Genotypic difference of beta-glucan content in hull-less barley and identification of elite germplasm [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2013, 33(1): 185.
- [28] OLIVEIRA A B, RASMUSSEN D C, FULCHER R G. Genetic aspects of starch granule traits in barley [J]. *Crop Science*, 1994, 34(5): 1176.
- [29] 赵理清, 黄培忠, 黄志仁, 等. 大麦育种 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1996.
- ZHAO L Q, HUANG P Z, HUANG Z R, et al. Barley breeding [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1996.
- [30] 杨晓梦, 曾亚文, 普晓英, 等. 大麦籽粒功能成分含量的遗传效应分析 [J]. 麦类作物学报, 2013, 33(4): 635.
- YANG X M, ZENG Y W, PU X Y, et al. Inheritance analysis of functional components in barley grains [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2013, 33(4): 635.
- [31] 靳玉龙, 白婷, 朱明霞, 等. 利用因子分析综合评价 9 个西藏农家青稞品种的品质 [J]. 作物杂志, 2019(4): 6.
- JIN Y L, BAI T, ZHU M X, et al. Comprehensive evaluation of quality of nine Tibetan barley landraces by factor analysis [J]. *Crops*, 2019(4): 6.
- [32] 白羿雄, 郑雪晴, 姚有华, 等. 青稞种质资源表型性状的遗传多样性分析及综合评价 [J]. 中国农业科学, 2019, 52(23): 4201.
- BAI Y X, ZHENG X Q, YAO Y H, et al. Genetic diversity analysis and comprehensive evaluation of phenotypic traits in hullless barley germplasm resources [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2019, 52(23): 4201.
- [33] 金彦龙, 吴文雪, 叶正荣, 等. 青稞品种的专用化鉴定与综合评价 [J]. 植物遗传资源学报, 2023, 24(2): 483.
- JIN Y L, WU W X, YE Z R, et al. Specialized identification and comprehensive evaluation of hullless barley varieties [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2023, 24(2): 483.