

青藏高原青稞品质评价体系构建 及生态区划分析

陈鲁鹏^{1,2,3}, 姚晓华^{1,2,3}, 姚有华^{1,2,3}, 李新^{1,2,3}, 吴昆仑^{1,2,3*}

(1 青海大学, 西宁 810016; 2 青海省农林科学院, 西宁 810016; 3 青海省青稞遗传育种重点实验室/国家麦类改良中心青海青稞分中心 青藏高原种质资源研究与利用实验室, 西宁 810016)

摘要:为探究青藏高原地区青稞(*Hordeum vulgare* L. var. *nudum* Hook. f.)品种品质间的差异,建立青稞品质评价指标体系,对青稞品质生态适应性进行区划。该研究以15个青藏高原主栽青稞品种为试验材料,连续两年种植于青藏高原具有代表性的8个生态区,测定了籽粒总淀粉、粗蛋白、粗脂肪、 β -葡聚糖等13个品质指标,并利用单因素方差分析、相关性分析、主成分分析和聚类分析方法对被测指标进行分析排序。结果表明:(1)13个品质指标中有11个指标在15个参试品种间存在显著差异,有12个指标在8个种植区间存在显著差异;品质指标总黄酮含量与总多酚含量具有显著正相关关系,与 β -葡聚糖含量存在极显著正相关关系;结合不同品种在不同生态区的表现,确定支链淀粉、直链淀粉、总黄酮、 β -葡聚糖和总多酚含量为对青稞综合品质影响最大的指标。(2)聚类分析将15个参试品种分成4类,将8个种植地区聚类成3个生态区,各生态区品质表现较好的品种为‘昆仑18号’、‘昆仑19号’、‘昆仑15号’、‘甘青8号’和‘甘青4号’。(3)对所测品质指标在品种水平和地区水平上进行主成分分析发现,将13个品质指标均划分为5个主成分,累计方差贡献率分别为85.16%和94.40%;籽粒品质综合评价得分最高的品种为‘昆仑18号’,品质最优生态地区为青海省贵南县。

关键词:青稞;品质指标;品质评价;生态区划

中图分类号:Q945.79;S512.3 文献标志码:A

Construction of Quality Evaluation System and Analysis of Ecological Regionalization of Qinghai-Tibet Plateau Hulless Barley

CHEN Lupeng^{1,2,3}, YAO Xiaohua^{1,2,3}, YAO Youhua^{1,2,3}, LI Xin^{1,2,3}, WU Kunlun^{1,2,3*}

(1 Qinghai University, Xining 810016, China; 2 Qinghai Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Xining 810016, China; 3 Qinghai Key Laboratory of Hulless Barley Genetics and Breeding/Qinghai Hulless Barley Sub-Center, National Barley Improvement Center, Laboratory for Research and Utilization of Qinghai-Tibet Plateau Germplasm Resources, Xining 810016, China)

Abstract: In order to explore the differences in the quality of hulless barley (*Hordeum vulgare* L. var. *nudum* Hook. f.) varieties in the Qinghai-Tibet Plateau, establish the quality evaluation index system of hulless barley, and regionalize the ecological adaptability of hulless barley quality, we used 15 main hulless barley varieties in the Qinghai-Tibet Plateau as experimental materials and measured thirteen quality indexes such as total starch, crude protein, ether extract and β -glucan. One-way analysis of variance, correla-

收稿日期:2022-08-12;修改稿收到日期:2023-01-19

基金项目:国家重点研发计划项目(2019YFD1001701-4);国家大麦产业技术体系(CARS-05);青海省自然科学基金计划-创新团队(2022-ZJ-902)

作者简介:陈鲁鹏(1996-),男,在读硕士研究生,主要从事青稞遗传育种相关研究。E-mail:clp0206@126.com

*通信作者:吴昆仑,研究员,博士生导师,主要从事青稞遗传育种相关研究。E-mail:wklqaaf@163.com

tion analysis, principal component analysis and cluster analysis were used to analyze the measured indexes. The results showed that: (1) among the 13 quality indexes, 11 indexes had significant differences among the 15 tested varieties, and 12 indexes had significant differences in the 8 planting zones. There was a significant positive correlation between the total flavonoid content and the total polyphenol content, and the β -glucan content. Based on the performance of different varieties in different ecological regions, the contents of amylopectin, amylose, total flavonoids, β -glucan and total polyphenols were the greatest influence on the comprehensive quality of hullless barley. (2) The 15 tested varieties were divided into 4 categories by cluster analysis, and the 8 regions were divided into 3 ecological zones. The varieties with better quality in each ecological zone were Kunlun 18, Kunlun 19, Kunlun 15, Ganqing 8 and Ganqing 4. (3) These results showed that 13 indicators could be converted into 5 principal components, and the cumulative variance contribution rates were 85.16% and 94.40%, respectively. The variety with the highest comprehensive evaluation score was Kunlun 18, and the area with the best quality was Guinan, Qinghai province.

Key words: hullless barley; quality index; quality evaluation; ecological regionalization

品质是衡量作物优质程度的指标,是作物各种品质特性的总称。作物品质的优劣直接决定其市场价值和利用价值^[1]。青稞(*Hordeum vulgare* L. var. *nudum* Hook. f.)是青藏高原最具特色的农作物,在食用和饲用方面都对藏区人民有着极为重要的作用^[2]。在植物学分类上,青稞属于大麦的一个变种^[3]。青稞作为青藏高原的主要粮食作物,随着人民生活水平逐步提高,饮食需求从温饱转向健康,其食用价值也倍受关注^[4]。青稞富含丰富蛋白质,包含人体必需的大部分氨基酸,同时青稞具有比其他作物更多的膳食纤维和更少的脂肪;其 β -葡聚糖含量是大麦属作物中最高的^[5]。另外,青稞还含有丰富的酚类物质和花色苷,这些物质在抗衰老和癌症方面发挥重要作用^[6]。

由于青稞的品质指标繁多,筛选优质青稞种质资源较为复杂。因此,建立青稞品质综合评价体系尤为重要。主成分分析^[7]和聚类分析^[8]已被广泛运用在多指标评价体系和三大主粮作物性状研究中^[9],陈婷婷等^[10]利用主成分分析将17个花生性状指标综合为5个主成分,利用聚类分析将81份花生种质聚为4类;隋勇等^[11]通过主成分分析和聚类分析,将13个小麦次粉品质指标综合为4个主成分,将14个不同通路小麦次粉聚类为4类。研究青稞品质不仅对设计育种有启发和指导作用,还对青稞产品深加工提供科学参考^[12]。可见,主成分分析和聚类分析是一种简单、有效的品质分析方法,我们可以利用这些方法建立青稞品质综合评价体系。

生态环境适应性是影响作物生长的重要因素,适宜的生态环境可以使作物发挥其最大生产性能^[13]。根据不同地区的独特环境条件和当地主栽作物生态适应性情况进行及时有效的综合评价,有

针对性地划分不同的生态区域,这对今后作物品种改良和当地农业发展具有指导意义^[14]。在玉米(*Zea mays* L.)^[15]、小麦(*Triticum aestivum* L.)^[16]、水稻(*Oryza sativa* L.)^[17]等主要农作物中,前人已经进行了详细的生态区划分。青稞种植分布在西藏、青海全省区以及甘肃、四川、云南等省的局部高海拔地区,种植面积广泛^[18],目前有关青稞生态区划的研究极少,且传统上生态区划分是根据不同气候因素进行的,并不能准确反映作物生长和品质的实际情况^[19-20]。本研究以青藏高原15个青稞主栽品种为试验材料,分别种植于四川、青海、西藏3省区的8个具有代表性的生态区,连续种植两年,测定了13个主要品质指标。通过比较不同品种之间品质差异和不同地区品质差异,利用主成分分析和聚类分析对青稞品质进行综合评价,建立青稞品质评价指标体系,筛选出品质表现较好的青稞品种以及青稞优质种植区域,为青藏高原地区青稞品质评价体系构建及生态适应性区域划分提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与试验地区

试验材料选用青藏高原地区主栽的15个青稞品种,连续两年种植于四川、西藏、青海3省区中较具代表性的8个地区并连续两年采样。15个品种中,‘藏青2000’、‘藏青22’、‘藏青23’、‘藏青17’来自西藏拉萨,由西藏农科院选育;‘喜玛拉22’来自西藏日喀则,由日喀则农科所选育;‘昆仑14’、‘昆仑15’、‘昆仑16’、‘昆仑18’、‘昆仑19’来自青海西宁,由青海省农科院选育;‘康青7号’、‘康青9号’来自四川甘孜,由甘孜州农科所选育;‘甘青4号’、‘甘青8号’、‘甘青9号’来自甘肃甘南,由甘南藏族

自治州农科所选育。

8个试验地分别为昌都(E97.17°,N31.14°,海拔3398m)、西宁(E101.77°,N36.62°,海拔2261m)、德令哈(E97.33°,N38.52°,海拔2981m)、门源(E101.62°,N37.38°,海拔3242m)、贵南(E100.74°,N35.59°,海拔3353m)、共和(E100.62°,N36.28°,海拔2963m)、炉霍(E100.68°,N31.39°,海拔3860m)、道孚(E101.13°,N30.98°,海拔3245m)。

1.2 试验设计和样品采集

试验均采用随机区组设计,3次重复,小区面积10m²。行距20cm,小区间空1行,重复间留走道0.5m。田间管理按照主要农作物品种中间试验标准管理。在籽粒完熟后对每个小区进行随机取样,样品晾干后,按照不同品质指标所需样品量进行分装。

1.3 测定指标及方法

籽粒蛋白含量根据侯维海等^[21]的方法测定;粗脂肪含量测定参照GB/T 6433—2006;降落指数含量测定参照GB/T 10361—2008《小麦、黑麦及其面粉,杜伦麦及其粗粒粉降落数值的测定 Hagberg-Perten法》;γ-氨基丁酸含量测定采用比色法^[22];淀粉(包括直链淀粉和支链淀粉)和维生素E含量采用试剂盒微量法(上海优选生物科技有限公司,中国)进行测定;β-葡聚糖含量测定采用Megazyme交联β-葡聚糖含量试剂盒AACC32-23方法(上海金畔生物科技有限公司,中国);总黄酮含量的测定参照Wang等^[23]的方法;总多酚含量测定参照Shen等^[24]的方法;花色苷含量测定参照杨希娟等^[25]的方法。样本量均按照上述方法标准量进行测定,每个样本3个技术重复。

1.4 数据统计与分析

试验数据使用Excel进行汇总计算,数据分析使用DPS 7.05和SPSS 23.0软件进行。使用SPSS 23.0软件对原始数据进行标准化处理。以主成分方差贡献率作为权数,利用主成分得分与其所对应的权数 α 相乘求和建立青稞主要品质评价方程 $H = \alpha_1 F_1 + \alpha_2 F_2 + \alpha_3 F_3 + \alpha_4 F_4 + \alpha_5 F_5$,根据主成分综合评价模型,计算并得出青稞主要品质性状的综合得分和青稞品种排名。

2 结果与分析

2.1 青稞籽粒品质在品种间和种植区间比较

2.1.1 籽粒品质在品种间差异 由表1可知,参试青稞品种籽粒总多酚、清蛋白和γ-氨基丁酸含量的

变异系数均在40%以上,在品种间差异最大;总黄酮和花色苷含量变异系数在20%~30%之间,在品种间差异较大;粗蛋白、淀粉、β-葡聚糖、直链淀粉、支链淀粉含量的变异系数在10%~20%之间,在品种间差异较小;维生素E、粗脂肪含量和降落指数的变异系数均在10%以下,在品种间基本保持稳定。

其中,参试品种籽粒总多酚、清蛋白和γ-氨基丁酸含量平均含量分别为0.88mg/g(0.72~1.04mg/g)、31.90mg/g(23.16~42.11mg/g)和261.69μg/g(177.82~419.72μg/g),分别以‘甘青4号’、‘藏青23’和‘藏青17’最高,‘康青9号’、‘甘青8号’和‘昆仑15号’最低。籽粒总黄酮和花色苷含量平均值分别为1.70mg/g(1.53~1.95mg/g)和231.97μg/g(203.32~258.98μg/g),分别以‘昆仑14号’和‘昆仑18号’最高,‘康青9号’和‘康青9号’最低。籽粒粗蛋白、淀粉、β-葡聚糖、直链淀粉、支链淀粉含量平均值分别为12.62%、500.24mg/g、58.69mg/g、166.61mg/g和332.11mg/g,变幅分别在11.62%~14.01%、464.50~583.77mg/g、55.46~63.93mg/g、155.00~194.53mg/g和301.77~392.98mg/g之间,粗蛋白和β-葡聚糖含量分别以‘昆仑18号’、‘昆仑14号’最高,以‘藏青17’和‘康青9号’最低,淀粉、直链淀粉、支链淀粉含量均以‘昆仑18号’最高,‘藏青22’最低。籽粒维生素E、粗脂肪含量和降落指数平均值分别为8.37μg/g(8.36~8.39μg/g)、1.57%(1.56%~1.58%)和334.08s(309.50~353.38s),分别以‘昆仑16号’、‘昆仑19号’和‘昆仑14号’最高,‘甘青8号’、‘甘青9号’和‘藏青17’最低。

2.1.2 籽粒品质在种植区间差异 由表2可知,各种植区青稞籽粒总多酚含量的变异系数在40%以上,在种植区间差异最大;籽粒花色苷、清蛋白和γ-氨基丁酸含量变异系数在20%~30%之间,在品种间差异较大;粗蛋白、总黄酮、β-葡聚糖含量的变异系数在10%~20%之间,在种植区间差异较小;维生素E、淀粉、粗脂肪、直链淀粉、支链淀粉和降落指数的变异系数均在10%以下,在种植区间基本保持稳定。

其中,各种植区籽粒总多酚平均含量为0.88mg/g(0.58~1.50mg/g),以贵南最高,门源最低。籽粒花色苷、清蛋白和γ-氨基丁酸含量平均值分别为231.97μg/g(164.19~332.32μg/g)、31.90mg/g(8.64~46.60mg/g)和261.69μg/g(151.54~323.07μg/g),分别以炉霍、贵南和德令哈最高;花色苷平均含量以共和最低,清蛋白和γ-氨基丁酸平

表 1 15 个青稞品种间的品质指标差异分析
Table 1 Quality indexes of 15 different hullless barley varieties

名称 Name	粗蛋白 Crude protein /%	淀粉 Starch (mg/g)	降落指数 Lund index/ s	总黄酮 Total flavonoids (mg/g)	粗脂肪 Crude fat /%	总多酚 Total polyphenol (mg/g)	β -葡聚糖 β -glucan (mg/g)	维生素 E Vitamin E (μ g/g)	花色苷 Anthocyanin (μ g/g)	清蛋白 Albumin (mg/g)	直链淀粉 Amylose (mg/g)	支链淀粉 Amylopectin (mg/g)	γ -氨基丁酸 γ -aminobutyric acid (μ g/g)
藏青 2000 Zangqing 2000	12.86±1.48ab	490.72±80.42g	340.63±20.34abc	1.61±0.42ab	1.57±0.15a	0.76±0.40ab	56.73±9.24bc	8.38±0.61a	210.58±66.43bc	29.32±13.52abc	163.37±27.55cd	328.55±64.53bcde	200.17±66.82m
藏青 23 Zangqing 23	13.24±1.21ab	488.14±66.50h	336.25±40.89abc	1.70±0.58ab	1.57±0.14a	0.91±0.30ab	58.87±13.27ab	8.37±0.64a	235.43±49.13abc	42.11±15.05a	162.73±21.13cd	330.75±44.54bcde	299.34±135.58c
藏青 22 Zangqing 22	13.26±1.20ab	464.50±93.69o	324.88±33.87abc	1.84±0.52ab	1.57±0.15a	0.79±0.32ab	61.24±11.27a	8.38±0.64a	215.81±51.85abc	30.49±17.30abc	155.00±31.83d	308.59±70.57de	242.77±90.40j
藏青 17 Zangqing 17	11.62±1.12b	484.54±84.07k	309.50±24.31c	1.61±0.55ab	1.57±0.15a	0.85±0.25ab	57.44±12.90b	8.37±0.64a	225.44±40.53abc	30.87±18.14abc	160.80±26.99cd	316.75±44.88de	419.72±196.38a
喜马拉雅 Ximala 22	12.34±1.48ab	475.84±61.03l	348.75±20.68ab	1.60±0.37ab	1.57±0.14a	0.78±0.33b	56.43±8.91bc	8.36±0.65a	213.34±53.99abc	26.74±16.87bc	158.45±19.78d	319.13±45.58de	229.39±98.48k
昆仑 14 号 Kunlun 14	12.63±1.58ab	464.54±66.55n	353.38±31.03a	1.95±0.44a	1.57±0.15a	0.81±0.42ab	63.93±9.80a	8.37±0.64a	224.34±70.48abc	35.72±16.99abc	155.25±18.97d	307.43±38.74de	224.81±82.30l
昆仑 15 号 Kunlun 15	11.94±1.46b	486.75±73.56i	346.38±39.45abc	1.63±0.24ab	1.58±0.15a	0.87±0.49b	57.48±5.55b	8.38±0.63a	229.36±81.13abc	36.50±16.27ab	161.67±25.26cd	328.47±54.85bcde	177.82±49.18o
昆仑 16 号 Kunlun 16	12.24±1.81ab	467.17±109.37m	331.00±14.71abc	1.67±0.24ab	1.57±0.15a	1.03±0.41a	58.16±5.52ab	8.39±0.63a	252.78±66.19ab	30.30±13.77abc	155.74±35.99d	301.77±76.13e	191.20±119.71n
昆仑 19 号 Kunlun 19	12.86±1.99ab	493.38±91.87f	322.19±10.09abc	1.59±0.47ab	1.58±0.15a	0.85±0.42ab	56.22±9.86bc	8.37±0.64a	228.40±67.34abc	29.37±18.49abc	164.66±30.49cd	333.14±68.49bcde	279.24±147.98d
昆仑 18 号 Kunlun 18	14.01±1.26a	583.77±111.12a	327.75±31.39abc	1.81±0.69ab	1.57±0.16a	1.03±0.34a	60.47±14.51a	8.36±0.65a	258.98±53.71a	30.25±16.15abc	194.54±36.96a	392.98±68.21a	261.99±101.45g
康青 7 号 Kangqing 7	12.83±1.27ab	534.80±76.54c	337.88±35.12abc	1.68±0.37ab	1.56±0.14a	1.00±0.65ab	58.14±8.16ab	8.37±0.62a	250.97±104.79ab	33.88±12.70abc	178.63±25.90abc	358.45±53.61bc	278.83±111.67e
康青 9 号 Kangqing 9	12.98±2.61ab	486.17±72.03j	313.00±26.71bc	1.53±0.45b	1.56±0.15a	0.72±0.29b	55.46±10.30c	8.36±0.62a	203.32±46.81c	30.71±14.24abc	162.77±23.89cd	321.84±59.15cde	276.79±135.66f
甘青 4 号 Ganqing 4	11.81±1.74b	515.79±54.57d	335.38±32.44abc	1.82±0.48ab	1.56±0.14a	1.04±0.48a	61.79±11.93a	8.37±0.60a	258.19±79.56a	32.19±17.86abc	172.07±18.68bcd	342.19±39.02bcd	243.12±81.86i
甘青 8 号 Ganqing 8	12.27±1.83ab	558.44±60.41b	350.88±38.48a	1.73±1.10ab	1.56±0.14a	0.90±0.54ab	58.91±23.99ab	8.36±0.61a	235.76±89.70abc	23.16±12.76c	184.89±20.38abc	365.25±43.74ab	342.39±154.67b
甘青 9 号 Ganqing 9	12.39±1.46ab	508.87±86.82e	333.50±20.55abc	1.72±0.58ab	1.56±0.14a	0.93±0.52ab	59.11±12.38ab	8.36±0.59a	236.89±88.17abc	36.94±13.53abc	168.63±28.20bcd	326.33±53.53cde	257.78±52.09h
变异系数 Variable coefficient/%	12.46	15.75	8.36	29.32	9.34	46.44	19.01	7.50	28.82	49.70	15.73	16.67	40.82
平均值 Average value	12.62	500.24	334.08	1.70	1.57	0.88	58.69	8.37	231.97	31.90	166.61	332.11	261.69
最大值 Maximum value	14.01	583.77	353.38	1.95	1.58	1.04	63.93	8.39	258.98	42.11	194.54	392.98	419.72
最小值 Minimum value	11.62	464.50	309.50	1.53	1.56	0.72	55.46	8.36	203.32	23.16	155.00	301.77	177.82

注: 同列不同小写字母表示不同品种间在 0.05 水平下差异显著

Note: The different lowercase letters within same column show significant difference among varieties at 0.05 level

表 2 8 个青稞种植区间的品质指标差异分析

Table 2 Quality indexes of 8 different growing regions of hullless barley

种植区 Growing region	粗蛋白 Crude protein /%	淀粉 Starch /(mg/g)	降落指数 Land index/s	总黄酮 Flavonoid /(mg/g)	脂肪 Crude fat /%	总多酚 Polyphenol /(mg/g)	β -葡聚糖 β -glucan /(mg/g)	维生素 E Vitamin E /(μ g/g)	花色苷 Anthocyanin /(μ g/g)	清蛋白 Albumin /(mg/g)	直链淀粉 Amylose /(mg/g)	支链淀粉 Amylopectin /(mg/g)	γ -氨基丁酸 γ -aminobutyric acid /(μ g/g)
德令哈 Dehli	12.35±1.04cd	509.58±64.97ab	335.47±31.53a	1.54±0.86abc	1.43±0.12f	0.64±0.21cd	55.02±18.71abc	8.80±0.05b	304.29±54.31ab	32.88±11.03abc	146.54±18.20bc	290.42±33.40bc	323.07±23.46a
西宁 Xining	11.09±0.82de	532.94±64.31a	329.73±36.01a	1.19±0.37c	1.73±0.13b	0.62±0.19cd	47.49±8.64c	8.10±0.02e	280.78±44.81b	45.25±9.95a	180.89±21.24a	365.49±43.27a	210.84±124.56bc
门源 Menyuan	13.27±0.94b	550.29±72.14a	323.07±24.53a	1.37±0.34bc	1.70±0.11c	0.48±0.17d	51.15±7.79bc	7.35±0.02f	215.71±40.35c	32.59±21.03abc	139.40±19.10c	275.65±39.23c	309.39±125.71a
道孚 DaoFu	11.82±0.89de	511.45±129.12ab	332.80±31.79a	1.72±0.24ab	1.42±0.10g	0.56±0.15cd	59.12±4.95ab	8.46±0.03c	190.18±29.57cd	21.53±14.59cd	177.18±21.46a	347.16±46.82a	164.98±84.73c
共和 Gonghe	11.64±1.14de	416.25±57.38c	336.27±39.30a	1.97±0.31a	1.49±0.15e	0.78±0.26c	64.76±6.56a	9.15±0.04a	164.19±29.28d	38.89±7.94ab	182.98±24.42a	367.91±55.75a	300.20±134.27a
炉霍 Luho	11.81±0.73c	440.78±56.63bc	343.47±41.09a	1.93±0.67a	1.51±0.13d	1.33±0.32ab	63.99±13.10a	7.64±0.05g	332.32±51.26a	8.64±8.14d	166.32±28.28ab	335.03±60.62ab	151.54±37.53c
贵南 Guinan	13.07±0.99bc	499.10±83.63ab	348.80±22.16a	1.95±0.46a	1.82±0.12a	1.50±0.31a	63.88±10.10a	9.19±0.06a	178.36±27.82cd	46.60±13.82a	169.22±42.59ab	339.59±86.29ab	257.24±81.82ab
昌都 Changdu	15.89±1.43a	541.64±63.87a	323.07±23.46a	1.92±0.29a	1.44±0.11f	1.19±0.27b	64.12±6.74a	8.26±0.04d	189.94±36.00cd	28.85±12.97bc	170.37±21.78ab	335.63±40.19ab	320.84±136.42a
变异系数 Variable coefficient/%	11.20	8.96	2.54	16.54	9.41	41.40	10.73	7.48	25.92	36.79	8.87	9.30	25.86
平均值 Average value	12.62	500.24	334.08	1.70	1.57	0.88	58.69	8.37	231.97	31.90	166.61	332.11	261.69
最大值 Maximum value	15.89	550.22	348.80	1.97	1.82	1.50	64.76	9.19	332.32	46.60	182.98	367.91	323.07
最小值 Minimum value	11.09	416.25	323.07	1.19	1.42	0.48	47.49	7.35	164.19	8.64	139.40	275.65	151.54

注:同列不同小写字母表示不同种植区间在 0.05 水平下差异显著

Note: The different lowercase letters within same column show significant difference among regions at 0.05 level

表 3 青稞 13 个品质指标间的相关性分析

Table 3 Correlation analysis among 13 quality indexes of hullless barley

品质指标 Quality index	清蛋白 Albumin	粗蛋白 Crude protein	淀粉 Starch	降落指数 Land index	总黄酮 Flavonoid	脂肪 Crude	总多酚 Polyphenol	β -葡聚糖 β -glucan	维生素 E Vitamin E	花青素 Anthocyanin	支链淀粉 Amylopectin	γ -氨基丁酸 γ -aminobutyric acid	直链淀粉 Amylose
清蛋白 Albumin	1												
粗蛋白 Crude protein	-0.03	1											
淀粉 Starch	0.24	0.47	1										
降落指数 Land index	-0.01	-0.41	-0.63	1									
总黄酮 Flavonoid	-0.30	0.31	-0.61	0.49	1								
脂肪 Crude fat	-0.74*	-0.49	-0.73*	0.31	0.39	1							
总多酚 Polyphenol	-0.11	0.36	-0.31	0.62	0.72*	-0.01	1						
β -葡聚糖 β -glucan	-0.31	0.32	-0.61	0.48	0.99**	0.40	0.72*	1					
维生素 E Vitamin E	0.51	-0.09	-0.37	0.49	0.45	-0.11	0.22	0.44	1				
花青素 Anthocyanin	-0.41	-0.36	-0.05	0.14	-0.37	0.21	-0.02	-0.36	-0.45	1			
支链淀粉 Amylopectin	0.17	-0.32	-0.45	0.28	0.31	0.25	0.25	0.32	0.41	-0.25	1		
γ -氨基丁酸 γ -aminobutyric acid	0.43	0.47	0.24	-0.03	-0.08	-0.56	-0.19	-0.08	0.28	-0.19	-0.51	1	
直链淀粉 Amylose	0.14	-0.27	-0.41	0.23	0.33	0.25	0.22	0.34	0.42	-0.31	-0.99**	-0.51	1

注:*, 显著水平($P < 0.05$); **, 极显著水平($P < 0.01$)Note: *, $P < 0.05$; **, $P < 0.01$

均含量均以炉霍最低。籽粒粗蛋白、总黄酮、 β -葡聚糖含量平均值分别为 12.62% (11.09~15.89%)、1.70 mg/g (1.19~1.97 mg/g)、58.69 mg/g (47.49~64.76 mg/g), 粗蛋白平均含量以昌都最高, 总黄酮和 β -葡聚糖平均含量均以共和最高, 粗蛋白、总黄酮和 β -葡聚糖平均含量均以西宁最低。籽粒维生素 E、淀粉、粗脂肪、直链淀粉、支链淀粉和降落指数平均值分别为 8.37 μ g/g (7.35~9.19 μ g/g)、500.24 mg/g (416.25~550.22 mg/g)、1.57% (1.42%~1.82%)、166.61 mg/g (139.40~182.98 mg/g)、332.11 mg/g (275.65~367.91 mg/g) 和 334.08 s (323.07~348.80 s), 其中的维生素 E、粗脂肪和降落指数均以贵南最高, 直链淀粉和支链淀粉平均含量均以共和最高, 淀粉平均含量以门源最高, 而淀粉平均含量以共和最低, 维生素 E、直链淀粉、支链淀粉和降落指数均以门源最低, 粗脂肪平均含量以道孚最低。

2.2 青稞品种籽粒品质性状间相关性分析

相关性分析结果(表 3)表明, 青稞品种籽粒清蛋白、淀粉与粗脂肪含量之间存在显著负相关关系 ($P < 0.05$); 总黄酮含量与总多酚含量和 β -葡聚糖含量分别存在显著 ($P < 0.05$) 和极显著 ($P < 0.01$) 正相关关系; 总多酚含量与 β -葡聚糖含量存在显著正相关关系; 支链淀粉含量与直链淀粉含量间存在极显著负相关关系 ($P < 0.01$)。

2.3 青稞品种籽粒品质性状的主成分分析

对各青稞品种和种质地区的籽粒品质指标进行主成分分析, 结果(表 4)表明, 两个分析结果前 5 个主成分的初始特征值均大于 1, 在青稞品种水平上分别为 $\lambda_1 = 4.44$ 、 $\lambda_2 = 2.65$ 、 $\lambda_3 = 1.48$ 、 $\lambda_4 = 1.32$ 、 λ_5

$= 1.19$, 前 5 个成分的方差百分比累计达到 85.16%; 在地区水平上分别为 $\lambda_1 = 4.68$ 、 $\lambda_2 = 2.71$ 、 $\lambda_3 = 2.22$ 、 $\lambda_4 = 1.53$ 、 $\lambda_5 = 1.13$, 前 5 个因子的方差百分比累计达到 94.40%。因此提取前 5 个成分进行后续分析, 已能满足对青稞品质特性进行评价。

2.4 青稞品种及种质地区籽粒品质综合评价指标筛选

由表 5 可知, 主成分分析生成的 5 个主成分 (PC1-PC5) 载荷矩阵, 绝对值越大则对其所在主成分的影响程度越高。其中, 在青稞品种水平上, PC1 中以淀粉和直链淀粉的影响为主; PC2 中以总黄酮和 β -葡聚糖的影响为主; PC3 中以降落指数和维生素 E 的影响为主; PC4 中以粗蛋白和总多酚含量的影响为主; PC5 中以降落指数和 γ -氨基丁酸含量的影响为主。在地区水平上, PC1 中以总黄酮和 β -葡聚糖含量的影响为主; PC2 中以粗蛋白和花色苷含量的影响为主; PC3 中以清蛋白和支链淀粉含量的影响为主; PC4 中以 γ -氨基丁酸和维生素 E 含量的影响为主; PC5 中以降落指数和总多酚含量的影响为主。从 5 个主成分中, 结合以上品种和种植区两个水平筛选出对籽粒综合品质影响最大的品质指标作为青稞品质综合评价的依据, 分别为支链淀粉、直链淀粉、总黄酮、 β -葡聚糖和总多酚含量, 这与实际生产中所关注的青稞品质指标基本一致, 筛选出的 5 个指标均对青稞品质评价有重要作用。

2.5 青稞品种及种质地区籽粒品质的聚类分析

依据青稞籽粒支链淀粉、直链淀粉、总黄酮、总多酚、 β -葡聚糖含量 5 个品质指标, 采用 SPSS 23.0 对 15 个参试品种和 8 个地区籽粒品质分别进行系

表 4 15 个青稞品种以及 8 个地区品质性状的主成分分析

Table 4 Principal component analysis of quality traits of 15 hullless barley varieties and 8 regions

成分 Component	初始特征值 Initial eigenvalue			提取载荷平方和 Extraction eigenvalue		
	总计 Total	方差百分比 Variance/%	累积 Cumulative/%	总计 Total	方差百分比 Variance/%	累积 Cumulative/%
品种 Varieties	1	4.44	34.17	4.44	34.17	34.17
	2	2.65	20.35	2.65	20.35	54.52
	3	1.48	11.34	1.48	11.34	65.87
	4	1.32	10.17	1.32	10.17	76.04
	5	1.19	9.12	1.19	9.12	85.16
地区 Regions	1	4.68	36.02	4.68	36.02	36.02
	2	2.71	20.82	2.71	20.82	56.84
	3	2.22	17.10	2.22	17.10	73.94
	4	1.53	11.79	1.53	11.79	85.73
	5	1.13	8.67	1.13	8.67	94.40

统聚类。结果(图 1, A)表明,当平方欧式距离在 0 ~5.0 时,可以将 15 个参试品种分为 4 类,‘昆仑 18 号’综合品质突出,单独划分为第一类;‘康青 7 号’、

‘甘青 4 号’综合品质较好,聚为第二类;‘昆仑 14 号’、‘昆仑 16 号’、‘藏青 23’、‘藏青 22’、‘甘青 8 号’、‘甘青 9 号’品质次好,聚为第三类;而‘藏青 2000’、

表 5 青稞 13 个品质性状的主成分载荷矩阵

Table 5 Principal component load matrix of 13 quality traits of hulless barley

品种 Varieties	品质性状 Quality traits	主成分 Principal component				
		PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
	粗蛋白 Crude protein	0.27	0.01	0.25	0.84	-0.10
	淀粉 Starch	0.94	-0.28	0.02	0.09	-0.09
	降落指数 Land index	0.17	0.44	-0.64	-0.03	-0.45
	总黄酮 Total flavonoids	0.40	0.76	-0.25	0.22	0.34
	粗脂肪 Crude fat	-0.36	0.24	0.51	0.35	0.09
	总多酚 Total polyphenol	0.73	0.34	0.37	-0.43	-0.09
	β -葡聚糖 β -glucan	0.35	0.79	-0.23	0.15	0.40
	维生素 E Vitamin E	-0.42	0.43	0.56	-0.03	-0.33
	花色苷 Anthocyanin	0.76	0.37	0.34	-0.38	-0.05
	清蛋白 Albumin	-0.10	0.51	0.22	-0.07	0.19
	直链淀粉 Amylose	0.94	-0.27	0.03	0.11	-0.09
	支链淀粉 Amylopectin	0.91	-0.26	0.07	0.21	-0.15
	γ -氨基丁酸 γ -aminobutyric acid	0.21	-0.54	0.09	-0.14	0.71
	清蛋白 Albumin	-0.16	0.51	0.72	0.28	0.32
	粗蛋白 Crude protein	-0.19	0.79	-0.47	-0.27	-0.12
	淀粉 Starch	-0.81	0.32	0.06	-0.29	0.09
	降落指数 Land index	0.73	-0.17	-0.06	0.25	0.57
	总黄酮 Total flavonoids	0.84	0.34	-0.41	-0.01	-0.13
	粗脂肪 Crude fat	0.47	-0.58	-0.22	0.46	-0.40
	总多酚 Total polyphenol	0.63	0.34	-0.37	-0.29	0.51
	β -葡聚糖 β -glucan	0.84	0.33	-0.41	-0.03	-0.15
	维生素 E Vitamin E	0.58	0.40	0.38	0.54	0.04
	花色苷 Anthocyanin	-0.22	-0.71	-0.30	0.03	0.41
	支链淀粉 Amylopectin	0.67	-0.05	0.61	-0.35	-0.10
	γ -氨基丁酸 γ -aminobutyric acid	-0.38	0.58	-0.13	0.63	-0.08
	直链淀粉 Amylose	0.67	-0.02	0.59	-0.37	-0.18

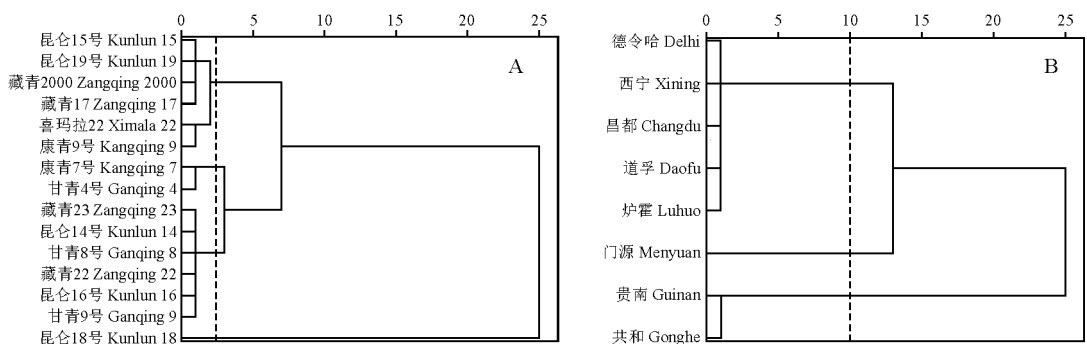


图 1 15 个青稞品种(A)及 8 个种植地区(B)籽粒品质聚类图

Fig. 1 Clustering map of grain quality from 15 hulless barley varieties (A) and 8 planting regions (B)

表6 各生态区15个品种主要品质性状

Table 6 Main quality characters of 15 varieties in each ecological area

生态区 Ecological area	品种 Variety	支链淀粉 Amylopectin/(mg/g)	直链淀粉 Amylose/(mg/g)	总黄酮 Flavonoid/(mg/g)	总多酚 Polyphenol/(mg/g)	β -葡聚糖 β -glucan/(mg/g)
第一类生态区 (贵南、共和) Ecological area I (Guinan-Gonghe)	藏青 2000 Zangqing 2000	359.80 \pm 47.31ab	137.67 \pm 17.70ab	2.04 \pm 0.07abc	0.88 \pm 0.35e	66.43 \pm 0.36ab
	藏青 23 Zangqing 23	375.02 \pm 43.87ab	174.65 \pm 4.57ab	2.15 \pm 0.14abc	0.88 \pm 0.27e	68.49 \pm 3.57ab
	藏青 22 Zangqing 22	355.26 \pm 39.18ab	141.32 \pm 10.82ab	2.08 \pm 0.04abc	0.88 \pm 0.37e	65.52 \pm 0.63ab
	藏青 17 Zangqing 17	283.79 \pm 39.19b	146.27 \pm 3.86b	2.03 \pm 0.13abc	0.91 \pm 0.36e	66.13 \pm 3.16ab
	喜马拉雅 22 Ximala 22	361.97 \pm 20.14ab	172.95 \pm 52.86ab	2.07 \pm 0.24abc	0.97 \pm 0.37e	67.27 \pm 6.42ab
	昆仑 14号 Kunlun 14	278.51 \pm 27.31b	200.21 \pm 23.38b	2.26 \pm 0.06ab	1.02 \pm 0.18de	69.37 \pm 1.21ab
	昆仑 15号 Kunlun 15	291.68 \pm 20.52b	236.00 \pm 44.40b	1.73 \pm 0.11c	1.09 \pm 0.35cde	59.56 \pm 1.34bc
	昆仑 16号 Kunlun 16	344.32 \pm 117.19ab	175.80 \pm 34.87ab	1.85 \pm 0.03abc	1.17 \pm 0.20bcd	62.89 \pm 0.70ab
	昆仑 19号 Kunlun 19	405.12 \pm 62.51ab	178.14 \pm 32.44ab	1.05 \pm 0.28d	1.08 \pm 0.49de	44.55 \pm 6.84c
	昆仑 18号 Kunlun 18	473.50 \pm 73.22a	189.98 \pm 14.22a	2.16 \pm 0.57abc	1.12 \pm 0.37cde	68.12 \pm 10.53ab
	康青 7号 Kangqing 7	360.27 \pm 55.10ab	173.47 \pm 21.63ab	2.08 \pm 0.03abc	1.49 \pm 0.78abc	65.41 \pm 0.48ab
	康青 9号 Kangqing 9	357.20 \pm 82.51ab	176.58 \pm 16.81ab	1.70 \pm 0.08c	1.00 \pm 0.39de	59.40 \pm 2.24bc
甘青 4号 Ganqing 4	373.93 \pm 7.35ab	137.67 \pm 17.70ab	2.36 \pm 0.07a	1.55 \pm 0.33a	75.46 \pm 2.85a	
甘青 8号 Ganqing 8	357.91 \pm 55.34ab	174.65 \pm 4.57ab	1.75 \pm 0.49bc	1.52 \pm 0.26a	59.38 \pm 10.38bc	
甘青 9号 Ganqing 9	327.94 \pm 33.69ab	141.32 \pm 10.82ab	2.06 \pm 0.07abc	1.48 \pm 0.34ab	66.86 \pm 0.21ab	
第二类生态区 (德令哈、西宁、 昌都、道孚和炉霍) Ecological area II (Delhi, Xining, Changdu, Daofu and Luhuo)	藏青 2000 Zangqing 2000	331.65 \pm 64.27abc	165.62 \pm 27.40abc	1.49 \pm 0.42a	0.83 \pm 0.35cde	54.04 \pm 9.20a
	藏青 23 Zangqing 23	322.38 \pm 33.39abc	158.65 \pm 17.00c	1.69 \pm 0.54a	1.00 \pm 0.30abc	58.95 \pm 12.75a
	藏青 22 Zangqing 22	312.55 \pm 62.50bc	156.34 \pm 29.96c	1.82 \pm 0.62a	0.77 \pm 0.32de	61.52 \pm 13.26a
	藏青 17 Zangqing 17	331.20 \pm 43.70abc	170.25 \pm 27.13abc	1.60 \pm 0.53a	0.82 \pm 0.21bcde	57.67 \pm 12.80a
	喜马拉雅 22 Ximala 22	309.47 \pm 45.01bc	154.04 \pm 21.71c	1.49 \pm 0.25a	0.79 \pm 0.25cde	53.72 \pm 6.57a
	昆仑 14号 Kunlun 14	322.06 \pm 38.49abc	163.08 \pm 19.07bc	1.84 \pm 0.50a	0.79 \pm 0.49cde	61.92 \pm 11.71a
	昆仑 15号 Kunlun 15	351.35 \pm 56.89ab	173.00 \pm 25.66abc	1.51 \pm 0.20a	0.83 \pm 0.55de	54.85 \pm 4.88a
	昆仑 16号 Kunlun 16	294.67 \pm 50.12c	154.50 \pm 25.99c	1.61 \pm 0.27a	1.12 \pm 0.40ab	56.89 \pm 6.00a
	昆仑 19号 Kunlun 19	324.26 \pm 42.52abc	159.25 \pm 18.61c	1.86 \pm 0.35a	0.87 \pm 0.33bcde	61.95 \pm 6.68a
	昆仑 18号 Kunlun 18	374.93 \pm 37.05a	183.18 \pm 21.06abc	1.70 \pm 0.75a	1.14 \pm 0.206a	58.33 \pm 16.14a
	康青 7号 Kangqing 7	373.01 \pm 44.42a	187.53 \pm 14.29ab	1.66 \pm 0.22a	0.93 \pm 0.50abcde	58.52 \pm 5.57a
	康青 9号 Kangqing 9	321.08 \pm 38.32abc	162.34 \pm 15.26bc	1.51 \pm 0.55a	0.65 \pm 0.17de	55.17 \pm 12.37a
甘青 4号 Ganqing 4	341.46 \pm 35.76abc	170.44 \pm 13.89abc	1.66 \pm 0.46a	0.95 \pm 0.38abcde	57.62 \pm 11.14a	
甘青 8号 Ganqing 8	369.48 \pm 41.84a	190.74 \pm 19.52a	1.82 \pm 1.33a	0.75 \pm 0.49e	61.07 \pm 29.08a	
甘青 9号 Ganqing 9	341.63 \pm 51.22abc	174.95 \pm 25.35abc	1.64 \pm 0.68a	0.82 \pm 0.44cde	57.03 \pm 14.55a	
第三类生态区 (门源) Ecological area III (Menyuan)	藏青 2000 Zangqing 2000	250.59 \pm 10.12ef	123.83 \pm 0.67j	1.31 \pm 0.00f	0.15 \pm 0.01l	50.78 \pm 0.52i
	藏青 23 Zangqing 23	284.11 \pm 1.35d	138.68 \pm 0.65fg	0.83 \pm 0.00k	0.57 \pm 0.01d	39.25 \pm 0.95n
	藏青 22 Zangqing 22	195.48 \pm 3.59g	106.32 \pm 1.33l	1.45 \pm 0.00e	0.70 \pm 0.01b	51.27 \pm 0.53g
	藏青 17 Zangqing 17	310.40 \pm 15.37bc	159.76 \pm 1.32c	0.83 \pm 0.01k	0.82 \pm 0.01a	38.96 \pm 0.55o
	喜马拉雅 22 Ximala 22	281.75 \pm 12.09d	148.06 \pm 1.45d	1.22 \pm 0.01i	0.35 \pm 0.00j	48.31 \pm 0.45k
	昆仑 14号 Kunlun 14	292.07 \pm 11.46cd	143.98 \pm 2.14e	1.85 \pm 0.00b	0.53 \pm 0.01e	63.13 \pm 0.70b
	昆仑 15号 Kunlun 15	287.69 \pm 7.83d	135.86 \pm 0.93gh	2.04 \pm 0.01a	0.62 \pm 0.01c	66.46 \pm 0.54a
	昆仑 16号 Kunlun 16	252.17 \pm 2.12e	127.50 \pm 1.91i	1.56 \pm 0.00d	0.41 \pm 0.01h	55.04 \pm 0.70e
	昆仑 19号 Kunlun 19	233.61 \pm 4.19f	120.64 \pm 1.18k	1.32 \pm 0.01f	0.30 \pm 0.00k	51.07 \pm 0.45h
	昆仑 18号 Kunlun 18	322.20 \pm 5.98b	168.41 \pm 1.25b	1.65 \pm 0.01c	0.53 \pm 0.01e	55.89 \pm 0.97c
	康青 7号 Kangqing 7	281.96 \pm 12.00d	139.76 \pm 0.53f	0.97 \pm 0.00j	0.36 \pm 0.01j	41.70 \pm 0.72m
	康青 9号 Kangqing 9	254.95 \pm 7.15e	134.15 \pm 1.41h	1.26 \pm 0.00g	0.51 \pm 0.00f	48.98 \pm 0.27j
甘青 4号 Ganqing 4	282.37 \pm 9.07d	144.36 \pm 0.99e	1.57 \pm 0.01d	0.47 \pm 0.01g	55.30 \pm 0.72d	
甘青 8号 Ganqing 8	358.79 \pm 13.71a	178.47 \pm 2.88a	1.24 \pm 0.00h	0.47 \pm 0.01g	47.16 \pm 0.72l	
甘青 9号 Ganqing 9	246.57 \pm 1.32ef	121.16 \pm 1.59jk	1.45 \pm 0.01e	0.36 \pm 0.01i	54.01 \pm 0.69f	

注:同列不同小写字母表示不同品种间在0.05水平下差异显著

Note: The different lowercase letters within same column show significant difference among varieties at 0.05 level

‘喜玛拉 22’、‘康青 9 号’、‘昆仑 15’、‘昆仑 19’、‘藏青 17’次之,聚为第四类。同时,将参试地区划分为 3 类,第一类为贵南和共和,青稞籽粒综合品质最好;第二类为德令哈、西宁、昌都、道孚和炉霍,青稞籽粒综合品质较好;第三类为门源,青稞籽粒综合品质次好(图 1, B)。可见,聚类结果与主成分分析结果较为一致,说明主成分分析和聚类分析可用于评价不同品种青稞品质的优劣情况,为青稞育种和食品加工提供参考,也为青稞品种品质适应性研究和地区生态划分提供新思路。

2.6 青稞种植生态区划以及区内优质品种分析

根据表 6 可知,不同生态区各主要籽粒品质性状支链淀粉、直链淀粉、总黄酮、总多酚和 β -葡聚糖含量的代表性优质品种不同。其中,在第一生态区中,支链淀粉含量以‘昆仑 18 号’最高,直链淀粉含量以‘昆仑 15 号’最高,而总黄酮、总多酚、 β -葡聚糖

含量均以‘甘青 4 号’最高。在第二生态区中,支链淀粉、总多酚含量均以‘昆仑 18 号’最高,直链淀粉含量以‘甘青 8 号’最高,总黄酮含量以‘昆仑 14 号’最高, β -葡聚糖含量以‘昆仑 19 号’最高。在第三生态区中,支链淀粉、直链淀粉含量均以‘甘青 8 号’最高,总黄酮、 β -葡聚糖含量均以‘昆仑 15 号’最高,总多酚含量以‘藏青 17’最高。

2.7 青稞品种及种植地区籽粒品质综合评价

由表 7 可得,籽粒品质综合得分排名前三位的青稞品种分别为‘昆仑 18 号’、‘甘青 4 号’、‘康青 7 号’,其中‘昆仑 18 号’综合得分远大于其他两个品种,籽粒品质最好;籽粒品质综合得分排名后三位的青稞品种分别为‘藏青 2000’、‘喜玛拉 22’和‘康青 9 号’,籽粒品质次好。同时,青稞籽粒品质综合得分排名前 2 位的种植地区分别为贵南和共和,籽粒品质最好;籽粒品质综合得分排名后 2 位的种植地

表 7 不同青稞品种及种植地区籽粒品质综合评分

Table 7 Grain quality comprehensive score of different hulless barley varieties and different planting regions

品种和地区 Variety and region	F1	F2	F3	F4	F5	H	综合排名 Comprehensive ranking
昆仑 18 号 Kunlun 18	4.81	-0.02	1.49	2.12	-0.11	26.19	1
甘青 4 号 Ganqing 4	2.10	1.46	-0.44	-1.59	0.52	11.07	2
康青 7 号 Ganqing 7	2.25	-0.16	0.58	-0.63	-0.72	8.77	3
甘青 8 号 Ganqing 8	3.01	-1.71	-2.05	-0.48	-0.10	5.06	4
藏青 23 Zangqing 23	-0.18	0.94	0.97	0.36	0.62	4.34	5
昆仑 14 号 Kunlun 14	-0.92	3.15	-1.97	0.95	1.24	4.08	6
甘青 9 号 Ganqing 9	0.81	0.09	-1.02	-1.12	0.38	1.27	7
藏青 22 Zangqing 22	-1.94	1.53	0.43	1.64	0.67	-0.97	8
昆仑 16 号 Kunlun 16	-1.20	1.60	1.65	-1.59	-1.22	-2.22	9
昆仑 15 号 Kunlun 15	-1.32	0.97	0.28	-0.62	-1.45	-5.42	10
昆仑 19 号 Kunlun 19	-0.65	-1.55	0.74	0.26	-0.07	-5.66	11
藏青 17 Zangqing 17	-1.50	-1.77	1.37	-1.15	2.46	-7.91	12
藏青 2000 Zangqing 2000	-1.72	-0.58	-0.18	1.02	-1.61	-9.99	13
喜玛拉 22 Ximala 22	-1.76	-1.06	-1.52	0.11	-0.96	-13.83	14
康青 9 号 Kangqing 9	-1.81	-2.88	-0.32	0.72	0.33	-14.78	15
贵南 Guinan	1.85	1.95	0.36	0.16	1.77	16.98	1
共和 Gonghe	2.56	0.34	1.15	1.21	-1.17	16.01	2
昌都 Changdu	-0.29	2.56	-1.03	-1.33	-0.74	0.42	3
道孚 Daofu	0.65	-1.06	0.54	-0.52	-1.33	-0.94	4
炉霍 Luhuo	1.95	-2.39	-2.10	-0.90	0.61	-2.68	5
西宁 Xining	-1.59	-1.16	2.67	-0.96	0.76	-5.25	6
德令哈 Delhi	-1.39	-0.48	-0.80	2.34	0.31	-5.65	7
门源 Menyuan	-3.75	0.24	-0.79	-0.01	-0.21	-18.90	8

区分别为德令哈和门源,籽粒品质次好。

3 讨论

青稞作为青藏高原的主要作物,具有很高的营养价值,十分符合现代人们追求健康的需求,青稞品质也是衡量品种优劣的重要指标^[26]。目前,筛选主要品质指标进行品种评价已广泛应用于多种作物^[27]。研究表明,淀粉是植物的主要能源物质,支链淀粉和直链淀粉是衡量淀粉结构的直接指标^[28]。总黄酮和总多酚都属于酚类物质,在植物体中分为游离态和结合态,起到抗氧化作用^[29],是衡量青稞品质的重要物质^[30]。 β -葡聚糖属于非淀粉的异质多糖,是大麦籽粒糊粉层和细胞壁的主要成分^[31-32],是青稞品质的一个重要指标^[33]。通过品质指标进行青稞品种筛选,前人做过一些研究,例如周红等^[34]将11个品质指标和8个矿物质指标进行主成分分析,得到3个主成分,其中 β -葡聚糖和总黄酮影响较大,且研究认为酚类物质(总酚和总黄酮)是衡量黑青稞品质的重要物质;王显萍^[35]通过 β -葡聚糖含量测定对195份在青海西宁种植的青稞种质资源进行筛选,得到高 β -葡聚糖青稞品种;夏陈等^[30]通过总黄酮、总多酚含量对11份在甘孜、拉萨种植的青稞品种进行聚类,得到富含总黄酮、总多酚的青稞品种。本研究利用主成分分析对参试品种和种植地区的青稞籽粒品质性状分别进行分析,均将13个品质指标转化为5个主成分,通过对15份青稞品种和8个地区所筛选的主要指标进行比对,得到影响青稞品质的5个关键指标,即支链淀粉、直链淀粉、总黄酮、总多酚和 β -葡聚糖含量。本研究选用目前青藏高原主栽的15份青稞品种进行分析,而前人研究大多选用种质资源,综合这些试验材料分析结果发现,在不同品种、粒色的青稞材料中所筛选出的品质指标基本一致。通过试验结果分析发现,前人对青稞品种筛选所选取的品质指标均包含于本研究中所筛选的品质指标,说明本研究筛选出的品质指标为青稞关键品质指标,在不同种类青稞中具有普遍性,这对青稞品质评价具有重要作用。同时,前人研究大多着重对于一个或几个青稞品质指标进行筛选,而本研究通过多种青稞主要品质指标进行筛选,利用筛选出的品质指标建立青稞品质评价模型,构建青稞品质评价体系。另外,相较于前人研究的单

一采样地,本研究选用8个地区进行连续两年采样,在品质筛选的基础上对8个地区进行生态区域的划分,这将为进一步划分青稞品质生态区奠定基础。

传统的生态区划往往只针对一个或几个自然气候因素,通过分析这些气候变化很难真实反映作物在该区域的生长情况^[16]。罗俊等^[36]以12个甘蔗品种为材料,种植于5省共14个试验点,通过HAGGE分析将14个地区划分为3个甘蔗生态区。青稞种植区域广泛分布在青藏高原以及周边地区,生态环境复杂^[37],通过在不同地区进行青稞种植,根据青稞在田间的实际表现进行生态区划,可以更加准确地进行青稞生态区域的划分。本研究以15个青藏高原主栽品种为材料在8个地区进行种植,通过对参试材料的品质指标进行分析来划分不同的青稞品质生态区,确定不同生态区的优势青稞品种。根据分析结果将8个地区所划分的3个生态区,其中贵南、共和生态区籽粒综合品质最好,该区属黄河台地、雨热条件好^[38];德令哈、西宁、昌都、道孚、炉霍生态区籽粒综合品质表现较好,该区属河谷盆地,有灌溉或降雨较充足^[39];而门源生态区籽粒综合品质表现最差,该区高寒、阴湿、冷凉,热量不足,灌浆期降雨偏多^[40]。同时,不同生态区在5个主要品质指标上均存在差异,品质表现好的生态区5个主要品质指标均高于表现差的区。通过划分的青稞品质生态区和筛选出的优势品种进行合理种植,有利于充分发挥青稞品种的潜能。另外,由于目前对青稞品质生态区划报道极少,本研究将为青藏高原青稞的合理种植布局提供一定参考。

4 结论

本研究通过测定青藏高原15个主栽青稞品种在不同生态区的品质表现,发现支链淀粉、直链淀粉、总黄酮、总多酚、和 β -葡聚糖可以作为评价优质青稞品种的重要指标。同时,将不同生态区中15个青稞品种进行方差分析,获得每个生态区主要品质表现较好的品种。另外,本研究在建立青稞品质生态适应性评价指标体系的基础上,对青稞品质生态适应性进行了区划,研究结果为更科学有效地开发和利用青稞资源提供新思路,也为青稞品种选择和生产布局提供了重要依据。

参考文献:

- [1] 邓祝云, 曲乐庆, 巫永睿, 等. 作物品质研究现状与展望[J]. 中国科学: 生命科学, 2021, **51**(10): 1 405-1 414.
DENG Z Y, QU L Q, WU Y R, *et al.* Current progress and prospect of crop quality research[J]. *Scientia Sinica (Vitae)*, 2021, **51**(10): 1 405-1 414.
- [2] 高建新. 西藏地区青稞生产现状与发展建议[J]. 现代农业科技, 2019, (19): 31-32.
GAO J X. Production status and development suggestions of highland barley in Tibet[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2019, (19): 31-32.
- [3] 卢良恕. 中国大麦学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996: 1-5.
LU L S. Chinese Barley[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1996: 1-5.
- [4] 杨希娟, 党 斌, 徐 菲, 等. 不同粒色青稞酚类化合物含量与抗氧化活性的差异及评价[J]. 中国粮油学报, 2017, **32**(9): 34-42.
YANG X J, DANG B, XU F, *et al.* Difference and evaluation of phenolics contents and antioxidant activity of colored hullless barley[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2017, **32**(9): 34-42.
- [5] 杜道坤, 贺 娟, 孟利东, 等. 黑青稞花色苷提取及抗氧化活性的分析[J]. 江苏农业科学, 2017, **45**(18): 173-179.
DU D K, HE J, MENG L D, *et al.* Extraction of anthocyanins from black highland barley and analysis of antioxidant activity[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2017, **45**(18): 173-179.
- [6] 王璇琳, 丁雪洁, 任素萍, 等. 黑青稞籽皮类黄酮的提取及其对缺氧损伤细胞的保护作用[J]. 中国医药导报, 2014, **11**(21): 90-94.
WANG X L, DING X J, REN S P, *et al.* Extraction of flavonoids from black barley pericarp and its protective effects against hypoxia-induced cell injury[J]. *China Medical Herald*, 2014, **11**(21): 90-94.
- [7] 李 想, 朱丽丽, 李小飞, 等. 青海柴达木盆地藜麦品质表现及营养成分聚类分析[J]. 华北农学报, 2020, **35**(S1): 209-219.
LI X, ZHU L L, LI X F, *et al.* Quinoa quality performance and nutrient content clustering analysis in Qaidam Basin, Qinghai[J]. *Acta Agric Boreali-Sin*, 2020, **35**(S1): 209-219.
- [8] 方开泰. 聚类分析(I)[J]. 数学的实践与认识, 1978, **8**(1): 66-80.
FANG K T. Cluster analysis (I)[J]. *Mathematics in Practice and Theory*, 1978, **8**(1): 66-80.
- [9] 刘 丹, 王嘉宇, 冯章丽, 等. 东北三省 2021 年水稻审定品种的核心亲本遗传多样性与籼粳分化[J]. 西北植物学报, 2022, **42**(6): 952-961.
LIU D, WANG J Y, FENG Z L, *et al.* Genetic diversity and Xian-Geng differentiation of core parents from 2021 approved rice varieties in northeast China[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2022, **42**(6): 952-961.
- [10] 陈婷婷, 王苗苗, 黄 杨, 等. 花生种质农艺、产量和品质性状的综合评价[J]. 花生学报, 2020, **49**(4): 38-46.
CHEN T T, WANG M M, HUANG Y, *et al.* Evaluation on agronomic, yield and quality traits of peanut germplasm[J]. *Journal of Peanut Science*, 2020, **49**(4): 38-46.
- [11] 隋 勇, 施建斌, 蔡 沙, 等. 基于主成分与聚类分析的不同粉路小麦次粉品质综合评价[J]. 现代食品科技, 2022, **38**(2): 164-171.
SUI Y, SHI J B, CAI S, *et al.* Comprehensive quality evaluation of different wheat middlings by principal component analysis and cluster analysis[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2022, **38**(2): 164-171.
- [12] 党 君. 西北不同地区不同品种青稞营养成分的分析研究[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2017, (1): 157-159.
DANG J. Analysis and study on nutritional components of different varieties of highland barley in northwest China[J]. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, 2017, (1): 157-159.
- [13] 沈亨理. 农业生态学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996: 10-15.
- [14] 谢 云, James R Kiniry. 国外作物生长模型发展综述[J]. 作物学报, 2002, **28**(2): 190-195.
XIE Y, KINIRY J. A review on the development of crop modeling and its application[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2002, **28**(2): 190-195.
- [15] 刘 丹, 杜春英, 于成龙. 黑龙江省玉米的生态适宜性评价及种植区划[J]. 玉米科学, 2009, **17**(5): 160-163.
LIU D, DU C Y, YU C L. Ecological adaptability evaluation and planting division of maize in Heilongjiang Province[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2009, **17**(5): 160-163.
- [16] 吴新元, 芦 静, 张新忠, 等. 新疆小麦品质生态区划研究[J]. 新疆农业科学, 2017, **54**(8): 1 373-1 383.
WU X Y, LU J, ZHANG X Z, *et al.* Study of ecological division for wheat quality in Xinjiang[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2017, **54**(8): 1 373-1 383.
- [17] 高永刚, 张凌云, 姚克敏. 我国水稻生育期的生态规律及其区划[J]. 南京气象学院学报, 1998, **21**(2): 20-27.
GAO Y G, ZHANG L Y, YAO K M. Regularity of ecological impact on growing period of rice and its regionalization in China[J]. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology*, 1998, **21**(2): 20-27.
- [18] 蔡 羽, 杨 平, 冯宗云. 大麦表型多样性分析及优异饲草种质资源筛选[J]. 植物遗传资源学报, 2019, **20**(4): 920-931.
CAI Y, YANG P, FENG Z Y. Characterization of phenotypic variation in cultivated barley provided elite genetic germplasm with potential breeding for silage barley[J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2019, **20**(4): 920-931.
- [19] ZEYAU R, JOHN A. Combined control of and stemborers by maize-spp. intercrops[J]. *Crop Protection*, 2006, **25**(9): 989-995.
- [20] 孙志鹏, 武华卫, 方 颖, 等. 四川盆地油用牡丹种子品质地区差异及其与生态因子的关系[J]. 西北植物学报, 2021, **41**(10): 1 766-1 775.
SUN Z P, WU H W, FANG Y, *et al.* Regional difference of

- seed quality and its relationship with ecological factors of oil peony in Sichuan Basin[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2021, **41**(10): 1 766-1 775.
- [21] 侯维海, 王建林, 胡 单, 等. 西藏青稞种质清蛋白和球蛋白遗传多样性分析[J]. 中国粮油学报, 2018, **33**(3): 34-42. HOU W H, WANG J L, HU D, *et al.* Genetic diversity analysis of albumin and globulin in Tibet highland barley germplasm[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2018, **33**(3): 34-42.
- [22] 赵大伟, 普晓英, 曾亚文, 等. 大麦籽粒 γ -氨基丁酸含量的测定分析[J]. 麦类作物学报, 2009, **29**(1): 69-72. ZHAO D W, PU X Y, ZENG Y W, *et al.* Determination of the γ -aminobutyric acid in barley[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2009, **29**(1): 69-72.
- [23] WANG J F, BIAN Z X, WANG S M, *et al.* Effects of ultrasonic waves, microwaves, and thermal stress treatment on the germination of Tartary buckwheat seeds[J]. *Journal of Food Process Engineering*, 2020, **43**(10): 1-9.
- [24] SHEN Y B, HU C R, ZHANG H, *et al.* Characteristics of three typical Chinese highland barley varieties: Phenolic compounds and antioxidant activities[J]. *Journal of Food Biochemistry*, 2018, **42**(2): 1-9.
- [25] 杨希娟, 党 斌, 张国权. 黑小麦色素提取工艺优化及其稳定性研究[J]. 食品工业科技, 2011, **32**(7): 353-357. YANG X J, DANG B, ZHANG G Q. Optimization of extraction technology and stability investigation of black kernel wheat pigment[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2011, **32**(7): 353-357.
- [26] ZHANG M W, ZHANG R F, ZHANG F X, *et al.* Phenolic profiles and antioxidant activity of black rice bran of different commercially available varieties[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2010, **58**(13): 7 580-7 587.
- [27] 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): 318-322. 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): 318-322.
- [28] 张海艳, 董树亭, 高荣岐. 植物淀粉研究进展[J]. 中国粮油学报, 2006, **21**(1): 41-46. ZHANG H Y, DONG S T, GAO R Q. The study progress in plant starch[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2006, **21**(1): 41-46.
- [29] ABDEL-AAL E S, CHOO T M, DHILLON S, *et al.* Free and bound phenolic acids and total phenolics in black, blue, and yellow barley and their contribution to free radical scavenging capacity[J]. *Cereal Chemistry*, 2012, **89**(4): 198-204.
- [30] 夏 陈, 向卓亚, 朱永清, 等. 不同品种青稞中总多酚、总黄酮含量及抗氧化性比较[J]. 食品与机械, 2020, **36**(6): 162-165. XIA C, XIANG Z Y, ZHU Y Q, *et al.* Comparative analysis of total flavonoids, total polyphenols and antioxidant properties in different varieties of Hulless barley[J]. *Food & Machinery*, 2020, **36**(6): 162-165.
- [31] BACIC A, STONE B. Chemistry and organization of aleurone cell wall components from wheat and barley[J]. *Functional Plant Biology*, 1981, **8**(5): 475-495.
- [32] M. J. EDNEY, B. A. MARCHYLO, A. W. MACGREGOR. Structure of total barley beta-glucan[J]. *Journal of the Institute of Brewing*, 1991, **97**(1): 39-44.
- [33] 刘三才. 我国青稞的质量与品质研究进展[J]. 作物杂志, 2014, (4): 1-5. LIU S C. Progress in quality of naked barley in China[J]. *Crops*, 2014, (4): 1-5.
- [34] 周 红, 张 杰, 张文刚, 等. 青海黑青稞营养及活性成分分析与评价[J]. 核农学报, 2021, **35**(7): 1 609-1 618. ZHOU H, ZHANG J, ZHANG W G, *et al.* Analysis and evaluation of the nutritional quality and active components of Qinghai black highland barley[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2021, **35**(7): 1 609-1 618.
- [35] 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): 185-189. 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): 185-189.
- [36] 罗 俊, 许莉萍, 邱 军, 等. 基于 HA-GGE 双标图的甘蔗试验环境评价及品种生态区划分[J]. 作物学报, 2015, **41**(2): 214-227. LUO J, XU L P, QIU J, *et al.* Evaluation of sugarcane test environments and ecological zone division in China based on HA-GGE biplot[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2015, **41**(2): 214-227.
- [37] 杨耀先, 胡泽勇, 路富全, 等. 青藏高原近 60 年来气候变化及其环境影响研究进展[J]. 高原气象, 2022, **41**(1): 1-10. YANG Y X, HU Z Y, LU F Q, *et al.* Progress of recent 60 years' climate change and its environmental impacts on the Qinghai-Xizang Plateau[J]. *Plateau Meteorology*, 2022, **41**(1): 1-10.
- [38] 李 璠, 校瑞香, 严应存, 等. 气候变化对青海省青稞物候期的影响[J]. 麦类作物学报, 2022, **42**(6): 755-763. LI F, XIAO R X, YAN Y C, *et al.* Impact of climate changes on the phenology of hulless barley in Qinghai Province [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2022, **42**(6): 755-763.
- [39] 胡潇飞, 魏临风, 程 琦, 等. 青藏高原地区气候图解数据集[J]. 植物生态学报, 2022, **46**(4): 484-492. HU X F, WEI L F, CHENG Q, *et al.* A climate diagram atlas of Qingzang Plateau[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2022, **46**(4): 484-492.
- [40] 严应存, 赵全宁, 王 喆, 等. 青海省门源县 1980-2015 年青稞物候期变化趋势及其驱动因素[J]. 生态学报, 2018, **38**(4): 1 264-1 271. YAN Y C, ZHAO Q N, WANG Z, *et al.* Analysis of highland barley phenophase change trend and the driving factors in Menyuan County, Qinghai Province during 1980—2015 [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, **38**(4): 1 264-1 271.