

青稞品种的专用化鉴定与综合评价

金彦龙¹, 吴文雪¹, 叶正荣², 张建华³, 娜日玛³, 刘梅金⁴, 吴昆仑⁵, 蒋枳隽¹, 杨平¹

(¹中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081; ²西藏自治区昌都市农业科学研究所, 西藏昌都 85400; ³青海省海西州农牧业技术推广服务中心, 德令哈市 817000; ⁴甘南藏族自治州农业科学研究所, 甘肃合作 747000; ⁵青海省农林科学院, 西宁 810016)

摘要: 青稞是我国青藏高原地区藏族同胞的主要粮食作物, 青稞产业健康发展事关藏区的粮食安全和繁荣稳定。青稞秸秆是牦牛的主要饲草来源, 因此藏区青稞育种需要同时兼顾粮、草生产。为寻求粮草双高型青稞品种的评价方法, 筛选出适宜的优良青稞品种, 缓解藏区粮草短缺的问题, 本研究选取 15 个青稞品种, 于 2020 和 2021 年度在西藏昌都和青海海西主产区开展小区试验, 调查生育期及产量相关农艺性状 15 个, 观察系列品种对 5 种主要病害的田间自然发病表现, 并测定 15 个全株饲用品质指标。通过聚类分析、多重比较分析、主成分分析、灰度关联以及丰产稳产性分析, 综合评价青稞品种的农艺性状和全株饲用表现。初步获得了一套完整的青稞品种评价方法, 筛选出“甘青 9 号”优质粮草双高型青稞品种 1 个; 同时也筛选获得“昆仑 15 号”籽粒高产型青稞品种 1 个、“康青 7 号”和“藏青 22”青贮型青稞品种 2 个。

关键词: 青稞; 大麦; 粮草双高型; 农艺性状; 综合评价

Specialized Identification and Comprehensive Evaluation of Hulless Barley Varieties

JIN Yan-long¹, WU Wen-xue¹, YE Zheng-rong², ZHANG Jian-hua³, NA Ri-ma³, LIU Mei-jin⁴, WU Kun-lun⁵,
JIANG Cong-cong¹, YANG Ping¹

(¹Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081; ²Changdu Academy of Agricultural Science, Changdu, Tibet, 854000; ³Agriculture and animal husbandry extension and service center of Delinghua city, Delinghua 817000; ⁴Institute of Gannan Agricultural Science, Hezuo, Gansu 747000; ⁵Qinghai Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Xining 810016)

Abstract: The hulless barley (locally referred qingke) is the staple food crop in the Qinghai-Tibet Plateau in China, and ensuring its sustainable production is crucial to both food and national security. Since the straw of the hulless barley is of importance in yak feeding, breeding for new varieties showing dual-purpose end-use in grain consumption and forage becomes of interest. In order to establish an evaluation system suitable for hulless barley varieties, this study performed the field trials at two locations (Changdu city of Tibet; Haixi city of Qinghai) for two years (2020 and 2021) to record the performance at 15 agronomic and yield-related traits and the responses to five fungal pathogens. The plants including straw and grains at the milk maturity stage were harvested to measure the feeding quality by quantifying 15 parameters. These datasets were further evaluated by clustering analysis, multiple comparisons, principal component analysis, gray relation analysis and the analysis of productivity and stability. An evaluation method was established for selecting the hulless barley varieties for dual-purpose end-use. With the evaluation criteria, the variety "Ganqing 9" was identified suitable for both grain consumption and forage. In addition, "Kunlun 15" which had high grain yield production were suggested for grain consumption, and "Kangqing 7" and "Zangqing 22" which had high biomass and feeding quality were qualified for taking as silage.

收稿日期: 2022-09-17

修回日期: 2022-10-08

网络出版日期:

URL:

第一作者研究方向为大麦基因资源, E-mail: jinyanlong@caas.cn

通讯作者: 杨平, 研究方向为大麦基因资源, E-mail: yangping@caas.cn

基金项目: 国家重点研发计划(2019YFD1001704/2019YFD1001700); 中国农业科学院科技创新工程和基本科研业务费(Y2022XK25)

Foundation projects: National Key R&D Program of China (2019YFD1001704/2019YFD1001700), Agricultural Science and Technology Innovation Program of CAAS and Fundamental Research Funds for Central Non-Profit(Y2022XK25)

Key words: hulless barley; barley; dual-purpose end-use; agronomic traits; comprehensive evaluation

青稞 (*Hordeum vulgare* L. var. *nudum* Hook. f.) 是我国藏族同胞对裸大麦的别称, 是青藏高原高海拔地区少数能正常结实成熟的作物之一, 是藏族人民传统食品的主粮及牲畜饲料的主要来源, 同时也是青稞加工业的重要原料^[1]。近年来, 由于牦牛养殖业快速发展对饲草需求的不断增加, 饲草短缺导致藏民饲养的牦牛出现“秋肥, 冬瘦, 春死”现象。藏区耕地面积有限, 在保证藏族同胞口粮绝对安全的情况下, 同时提高青稞秸秆和籽粒产量是解决饲草不足的有效途径之一。建立粮草双高型青稞品种的评价方法, 从现有品种中筛选粮草双高型品种用于青稞生产, 同时解决粮食和饲草缺乏问题, 对于维护藏区社会稳定及促进区域性经济发展具有重要的现实意义^[2-3]。

青稞品种因遗传基础不同, 不同品种适应能力和生长潜力差异较大^[4]。青稞种植区域气候环境多样, 在不同生态环境和栽培条件下品种的农艺性状和品质表现各异, 筛选出的适栽品种也不尽相同^[4-5]。原红军等^[6]揭示了青藏高原青稞农艺性状与品质性状之间的内在关联。张唐伟等^[4]和孟胜亚等^[7]对西藏不同类型生态环境中青稞品种的品质差异性比较分析, 发现粗淀粉、粗蛋白、粗纤维、 β -葡聚糖、总黄酮、花青素等营养成分在不同的生态区域存在显著性差异; 矿质元素在不同生态区域之间也存在显著性差异。在西藏青稞品种中, 籽粒蛋白质含量低 (11.3%), 淀粉含量高 (59.1%), 品种间差异大^[8-9]。对青稞品种的籽粒品质性状研究发现, 不同来源的青稞品种总淀粉含量差异较小, 但蛋白质含量差异较大^[10]。谭大明^[11]通过对西藏多个黑青稞品种的农艺性状和营养品质分析, 从中筛选出优质青稞材料。靳玉龙等^[12]利用 9 个西藏青稞农家品种, 依据主成分综合评价, 筛选出优良适栽品种。

本研究以 15 个青稞主推品种和苗头品系为试验材料, 于 2020 和 2021 年在西藏昌都和青海海西进行小区种植试验, 小区面积不少于 12 平方米, 采用随机区组设计设置, 重复 3 次, 考察小区农艺性状、测定全株品质, 对参试青稞品种在该生态区的专用性进行综合评价, 为该生态区青稞品种的合理利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

本试验于 2020 和 2021 年度同时在西藏昌都 (旱地, 海拔 3150 米) 和青海海西 (水地, 海拔 2981 米) 进行。两个试验点在纬度、气温、水量、土壤类型、熟期等均具有显著差异, 昌都试验点的前茬作物为小麦, 海西试验点的前茬作物为玉米。

1.2 供试材料

以 15 个青稞主推品种和苗头品系为试验材料。包括藏青 2000 (Zangqing 2000)、藏青 23 (Zangqing 23)、藏青 22 (Zangqing 22) 和藏青 17 (Zangqing 17), 由西藏农牧科学院提供; 喜玛拉 22 (Ximala 22), 由日喀则农科所提供; 昆仑 14 号 (Kunlun 14)、昆仑 15 号 (Kunlun 15)、昆仑 16 号 (Kunlun 16)、昆仑 18 号 (Kunlun 18) 和昆仑 19 号 (Kunlun 19), 由青海农林科学院提供; 康青 7 号 (Kangqing 7) 和康青 9 号 (Kangqing 9), 由甘孜州农科所提供; 甘青 4 号 (Ganqing 4)、甘青 8 号 (Ganqing 8) 和甘青 9 号 (Ganqing 9), 由甘南州农科所提供。

1.3 田间设计与管理

田间小区布局采用随机区组设计，每个供试材料种植 1 个小区，其中西藏昌都小区面积为 6.67m × 3m，青海海西小区面积为 6 m × 2 m，重复 3 次，每试验点共 45 个小区。两个试验点均在 4 月中旬播种，按 412.5 万/公顷的基本苗下种，条播，行距 20 cm，试验地四周设置保护行。不做病害防控，其余参照当地大田生产管理。

1.4 调查指标及方法

1.4.1 农艺性状 按照《大麦种质资源数据质量控制规范》进行农艺性状统一调查记录。调查 20 个指标，包括拔节期 (DJ/d, Days to jointing)、抽穗期 (DH/d, Days to heading)、成熟期 (DM₁/d, Days to maturity)、黄化程度 (YR, Yellowing rate)、亩产 (YPUA/kg, Yield per unit area)、乳熟期株高 (PHMMS/cm, Plant height of milk maturity stage)、成熟期株高 (PHMS/cm, Plant height of maturity stage)、穗长 (SL/cm, Spike length)、穗粒数 (GNPS, Grain number per spike)、千粒重 (TKW/g, Thousand kernels weight)、收获指数 (HI%, Harvest index)、基本苗 (NS/10⁴/亩, Number of seedlings)、总茎数 (TNS/10⁴/亩, Total number of stems)、有效穗 (ES/10⁴/亩, Effective spike)、抗倒伏性 (LR, Lodging resistance)、条纹病 (Leaf stripe)、云纹病 (Leaf scald)、网斑病 (Net blotch)、黑穗病 (Head smut) 和白粉病 (Powdery mildew)，以发病率作为病害评价指标。小区株高和抗倒伏性于蜡熟期调查，籽粒统一收获、脱粒、晾晒，测定小区产量。

1.4.2 饲用品质测定 青稞乳熟期全株采样，60 度烘干 3 天。委托 CVAS (Cumberland Valley Analytical Services) 饲料分析中国服务中心，通过采用远红外光谱法 (NIR, Near Infrared) 测定干物质 (DM₂%, Dry matter)、粗蛋白 (CP%, Crude protein)、酸洗纤维 (ADF%, acid detergent fiber)、中洗纤维 (NDF%, Neutral detergent fiber)、木质素 (Lignin%)、淀粉 (ST%, Starch)、粗脂肪 (CF%, Crude fat)、灰分 (Ash%)、NDF 30 小时消化率 (30/NDF%, NDF 30 hour digestibility)、NDF 120 小时消化率 (120/NDF%, NDF 120 hour digestibility) 等 10 个品质指标。总可消化养分 (TDN%, Total digestible nutrients)、相对饲用价值 (RFV%, Relative feed value)、相对饲用品质 (RFQ%, Relative feed quality)、瘤胃降解蛋白 (RDP%, Rumen degradable protein)、每吨饲料产奶量 (MPPTF/kg, Milk production for per tonne feed) 等 5 个品质指标，由检测指标推算得出^[1]。

计算公式如下：

$$\text{DMI (干物质采食量, dry matter intake, \%BW)} = 120/\text{NDF} \times 100\%;$$

$$\text{DDM (可消化干物质, digestible dry matter, \%DM)} = 88.9 - 0.779 \times \text{ADF} \times 100\%;$$

$$\text{RFV} = \text{DMI} \times \text{DDM}/1.29;$$

$$\text{TDN (DM)} = 81.38 + (\text{CP} \times 0.36) - (\text{ADF} \times 0.77) \times 100\%;$$

$$\text{RFQ} = \text{DMI} \times \text{TDN}/1.23;$$

$$\text{AED} = \text{PDF} [\text{Kd}/(\text{kd} + \text{kp})]$$

$$\text{RDP} = a + bc/(\text{c} + \text{k})$$

每吨饲料产奶量：每吨青稞牧草干物质的产奶量。

式中：AED 是 NDF 的瘤胃表观消化率 (%), PDF 是 NDF72 小时原位消失率 (%), Kd 是 PDF 的消化速率

(%/小时) 和 K_p 是流通速率 (%/小时)。a 是快速降解部分 (%); b 是慢速降解部分 (%); c 是慢速降解部分速率常数; k 是瘤胃食糜外排速率, 为 0.031 %/h。

1.5 数据统计与分析

采用 Excel 2010 处理基础数据及制表; 通过 SPSS 19.0 (IBM) 软件执行相关性分析和主成分分析并使用 LSD 法进行多重比较分析。用 SPSS 19.0 进行聚类分析, 采用系统聚类法, 以欧式距离作为品种 (系) 间距离, 其中使用 Ward's method 进行聚类分析。采用灰色关联度理论方法^[13], 将所有的供试青稞品种看成一个灰色系统, 每一个青稞品种都是系统中的一个因素, 通过分析系统中各因素的联系程度来对其进行综合评价。用极值化方法对原始数据进行无量纲化处理。利用 DPS 9.50 软件对参试品种进行丰产稳产性分析^[14]。

2 结果与分析

2.1 青稞品种生育期和抗病性的适应性分析

15 个青稞品种在西藏昌都的生育期为 96-102 天 (图 1), 其中甘青 9 号最短 (96 天), 康青 9 号最长 (102 天); 在青海海西的生育期为 125-135 天, 其中昆仑 18 号最短 (125 天), 藏青 23 最长 (135 天)。同一青稞品种在不同种植生态区域的生育期差异明显, 青海海西试验点的生育期明显长于西藏昌都试验点。

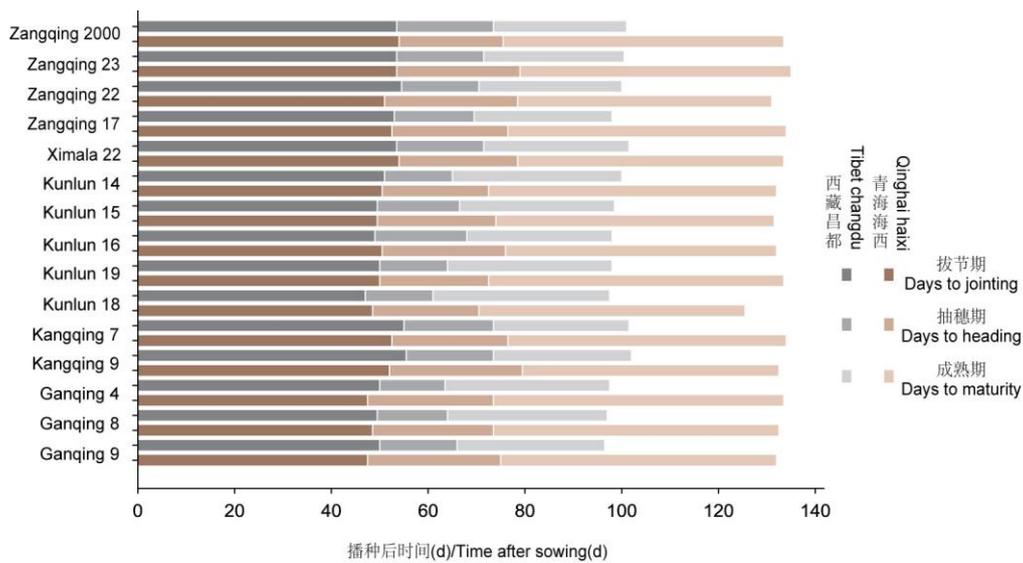


图 1 青稞品种的两年平均生育期

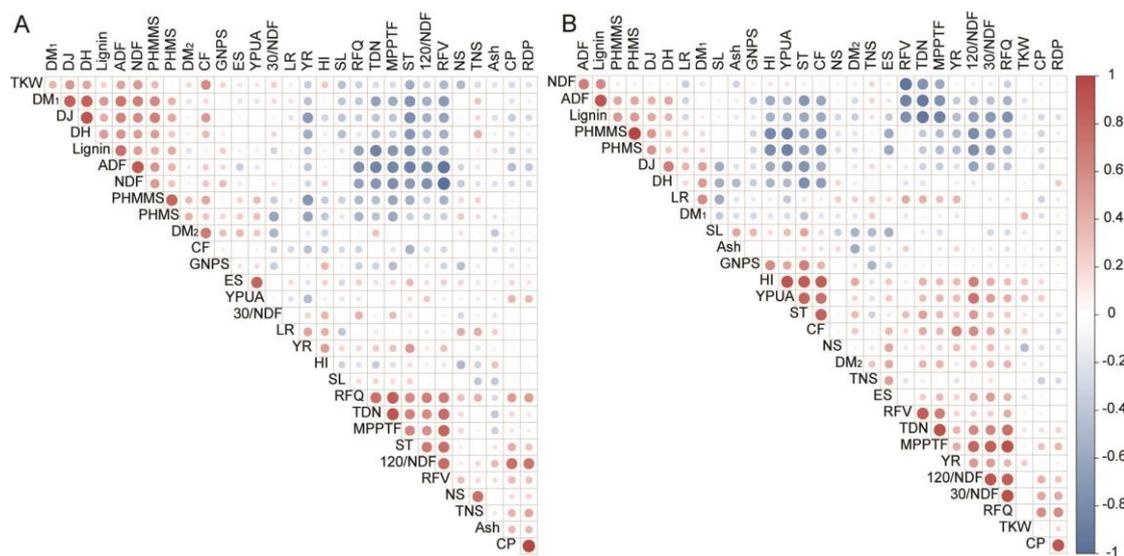
Fig.1 Growth period of hulless barley varieties based on the average of two years datasets

针对高原地区五种常见真菌病害, 对大田自然发病情况进行统计。在西藏昌都所有品种均极感白粉病, 没有发现条纹病、云纹病、网斑病和黑穗病发生。在青海海西, 没有发现白粉病和黑穗病, 除了甘青 8 号没有观察到网斑病之外, 其余品种均为感病。条纹病和云纹病仅在部分品种中观察到。

2.2 农艺性状与饲用品质的相关性分析

根据 30 个指标在西藏昌都和青海海西两年平均值, 分析了农艺性状与饲用品质之间的相关性。图 2 所示的全部显著相关系数绝对值大于 0.5, 表明农艺性状或者品质性状之间具有较强的相关性。西藏昌都的亩产与乳熟期株高、成熟期株高、成熟期、有效穗、NDF120 小时消化率、瘤胃降解蛋白和粗蛋白呈显著正相

关(图 2A)。在青海海西,多个农艺性状指标也发现与淀粉、粗脂肪、NDF 120 小时消化率、ND 30 小时消化率、相对饲用品质等品质指标呈显著正相关(图 2B)。比较两点试验结果发现,相对饲用品质、相对饲用价值、总可消化养分、每吨饲料产奶量、淀粉和 NDF 120 小时消化率相互之间均呈显著正相关,但是相对饲用品质、相对饲用价值、总可消化养分、每吨饲料产奶量、淀粉、NDF 120 小时消化率等品质指标与熟期株高、成熟期株高、拔节期、抽穗期等农艺指标呈显著负相关。



A: 西藏昌都; B: 青海海西; 圆圈大小代表相关性强度; 红色代表正相关; 蓝色代表负相关

A: Tibet changdu; B: Qinghai haixi; The circle sizes correlate with the correlation values;

Red represent positive correlation; Blue represent negative correlation

图 2 青稞品种农艺性状与品质的相关性分析

Fig.2 Correlation coefficients of agronomic traits and quality in hulless barley varieties

2.3 农艺性状和饲草品质的聚类分析

根据 30 个指标在西藏昌都和青海海西两年平均值,以平方欧氏距离 10 为分界线,对 15 个青稞品种进行聚类分析(图 3)。结果显示,在西藏昌都,15 个青稞品种可以分为 2 个类群,第 I 类群包括藏青 22、藏青 17、喜玛拉 22、康青 7 号、康青 9 号、藏青 2000、藏青 23、昆仑 14 号和甘青 4 号,第 II 类群包括昆仑 19 号、昆仑 18 号、昆仑 16 号、甘青 9 号、昆仑 15 号和甘青 8 号。在青海海西,可以分为 3 个主要类群,第 I 类群包括昆仑 15 号、昆仑 16 号、甘青 4 号、甘青 8 号和甘青 9 号,第 II 类群包括昆仑 19 号、康青 9 号、昆仑 18 号、藏青 23 和昆仑 14 号,第 III 类群包括藏青 2000、藏青 17、喜玛拉 22、康青 7 号和藏青 22。

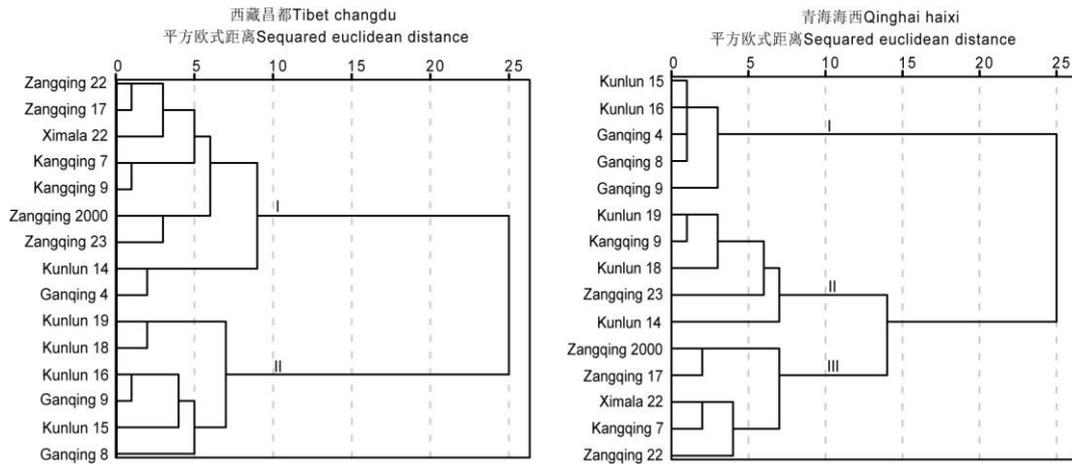


图3 西藏昌都和青海海西的青稞品种的农艺性状与品质的聚类图

Fig.3 Dendrogram generated by cluster analysis for hulless barley varieties in Tibet changdu and Qinghai haixi

西藏昌都的 2 个类群和青海海西的 3 个类群进行多重比较分析（表 1）显示：在西藏昌都，第 II 类群品质性状粗蛋白、淀粉、灰分、瘤胃降解蛋白、NDF30 小时消化率、NDF120 小时消化率、总可消化养分、相对饲料价值、相对饲料品质和每吨饲料产奶量在 2 个类群中最高，农艺性状基本苗、收获指数、总茎数、有效穗和亩产也也是最高，为高产和质优组，潜力巨大。在青海海西，第 I 类群收获指数、有效穗、亩产、淀粉、粗脂肪、NDF30 小时消化率、NDF120 小时消化率、总可消化养分、相对饲料品质和每吨饲料产奶量均显著高于其他类群，在谷物产量和饲草品质都相比于其他组最优，为高产和质优组。由此，为粮草双高型品种、籽粒高产型品种或青贮型品种缩小了选择范围。

表 1 不同类群两个试验点的多重比较分析

Table 1 The multiple comparison based on the datasets from different groups at two locations

性状 Traits	西藏昌都 Tibet changdu		青海海西 Qinghai haixi		
	I	II	I	II	III
拔节期 DJ/d	53.27±1.78a	49.16±1.12b	48.70±1.30b	50.90±1.91ab	52.80±1.25a
抽穗期 DH/d	70.22±3.68a	64.91±2.45b	74.40±1.08a	74.80±4.14a	77.10±1.34a
乳熟期株高 PHMMS/cm	70.94±6.02a	62.80±6.40b	97.06±8.17b	118.20±3.95a	117.83±6.25a
抗倒伏性 LR	1.03±0.07a	1.05±0.08a	1.96±0.32ab	1.80±0.24b	2.16±0.12a
黄化程度 YR	2.70±0.49a	3.02±0.34a	1.73±0.19a	1.53±0.07a	1.56±0.15a
成熟期 DM ₁ /d	100.22±1.56a	97.58±0.73b	132.30±0.75a	131.70±3.65a	133.20±1.25a
成熟期株高 PHMS/cm	75.81±7.83a	70.49±9.36a	93.92±7.93b	115.30±4.43a	114.90±5.74a
穗长 SL/cm	8.44±0.62a	8.74±0.92a	5.91±0.35a	6.18±0.34a	5.26±0.45b
穗粒数 GNPS	45.06±7.35a	44.01±6.28a	42.57±4.80a	41.83±3.78a	39.09±3.78a
千粒重 TKW/g	43.32±2.09a	39.06±3.47b	44.35±3.91a	43.76±5.23a	43.94±3.42a
收获指数 HI%	36.84±4.73a	36.97±4.04a	0.48±0.04a	0.40±0.06b	0.38±0.05b
基本苗 NS/10 ⁴ /亩	14.70±2.03a	15.67±1.88a	21.57±0.35a	20.79±1.89a	21.61±0.94a
总茎数 TNS/10 ⁴ /亩	27.58±4.93a	29.27±1.21a	68.02±3.86a	68.85±4.01a	70.37±5.74a
有效穗 ES/10 ⁴ /亩	13.12±0.89a	13.37±1.05a	47.35±2.12a	42.79±3.15b	45.99±2.47ab
亩产 YPUA/kg	216.12±31.42a	227.28±26.36a	555.42±44.66a	456.33±55.10b	414.92±36.14b
干物质 DM ₂ %	88.22±0.33a	88.11±0.49a	89.58±0.42a	89.18±0.41a	89.64±0.75a
粗蛋白 CP%	11.19±0.39b	11.74±0.25a	8.62±0.19a	8.46±0.23a	8.60±0.23a
酸洗纤维 ADF%	28.75±0.74a	26.94±0.68b	29.53±0.43b	31.54±1.11a	30.38±1.16ab
中洗纤维 NDF%	52.82±0.98a	50.51±0.79b	50.46±0.29a	51.58±0.37a	49.98±2.23a
木质素 Lignin%	3.45±0.19a	3.29±0.11a	3.44±0.09b	3.96±0.27a	3.59±0.16b

淀粉 ST%	10.84±1.00b	12.95±0.5a	13.52±0.83a	11.02±2.71b	9.87±1.22b
粗脂肪 CF%	3.12±0.06a	3.02±0.12a	2.58±0.07a	2.46±0.08b	2.43±0.07b
灰分 Ash%	7.52±0.26a	7.73±0.24a	8.66±0.19a	8.74±0.20a	8.58±0.36a
瘤胃降解蛋白 RDP%	7.82±0.26b	8.15±0.18a	6.07±0.16a	5.96±0.14a	6.13±0.13a
NDF30 小时消化率 30/NDF%	64.74±0.62a	64.53±1.40a	59.38±1.23a	55.37±1.72b	57.60±1.70a
NDF120 小时消化率 120/NDF%	74.50±0.90b	78.43±1.88a	67.66±1.18a	63.84±1.08b	64.66±1.24b
总可消化养分 TDN%	64.53±0.68a	65.20±0.56a	63.14±0.23a	61.66±0.56b	62.89±0.68a
相对饲料价值 RFV%	117.51±2.91b	125.38±3.04a	122.33±1.71a	116.46±2.34b	122.60±6.90a
相对饲料品质 RFQ%	154.31±2.18b	158.08±3.07a	130.56±2.20a	121.96±2.85b	127.96±3.75a
每吨饲料产奶量 MPPTF/kg	1627.85±20.55b	1654.25±25.25a	1525.43±9.54a	1448.73±25.33b	1505.76±28.50a

同行不同字母表示不同类型间差异显著 (P < 0.05)

Different letters at the same row mean significant difference among different types at 0.05 level

2.4 农艺性状和饲用品质的主成分分析及综合评价

通过对 15 个青稞品种 30 个主要农艺性状和品质性状进行主成分分析, 以特征值大于 1 为标准, 在西藏昌都和青海海西分别提取 8 和 7 个主成分。西藏昌都前 8 个主成分的累计贡献率达到 92.11%, 表明前 8 个主成分包含了青稞品种的主要农艺性状和品质性状的绝大部分原始信息。前三个主成分中, 其中第一个主成分贡献率为 33.95%, 决定第一主成分的主要是 NDF120 小时消化率、淀粉、总可消化养分、每吨饲料产奶量、相对饲料品质和相对饲料价值, 说明这些指标在青稞农艺性状与品质评价中具有重要的主导作用。第二个主成分贡献率为 14.03%, 主要是乳熟期株高、成熟期株高、总茎数、基本苗、亩产和瘤胃降解蛋白; 第三个主成分贡献率为 10.63%, 主要是瘤胃降解蛋白、粗蛋白、灰分、收获指数和抗倒伏性。青海海西前 7 个主成分的累计贡献率为 89.70%, 前三个主成分中第一个主成分贡献率为 34.47%, 主要是相对饲料价值、总可消化养分、NDF120 小时消化率、拔节期、成熟期、相对饲料品质、木质素、抽穗期和乳熟期株高; 第二个主成分贡献率为 16.60%, 主要是拔节期、成熟期株高、亩产和干物质; 第三个主成分贡献率为 12.01%, 主要是每吨饲料产奶量、基本苗和粗蛋白。

将 30 个性状的值利用模糊隶属函数进行标准化处理, 并将其带入主成分的评分中, 求得西藏昌都和青海海西各品种的主成分得分, 利用主成分贡献率权重, 构建用于筛选青稞优异品种的评价指标 F 值, F 值越高, 可初步表明该品种综合性状越好。根据此方法, 西藏昌都排名前三的品种依次为甘青 9 号、藏青 22 和康青 9 号, 青海海西排名前三的品种为昆仑 15 号、昆仑 16 号和甘青 9 号。

2.5 青稞品种的灰色关联度及排序

采用灰色系统关联度评价方法, 排名越靠前的品种越接近理想品种, 即关联度最大的品种综合评价最好。对西藏昌都和青海海西 15 个参试青稞品种 30 个性状的两年平均值进行关联度分析, 获得生产性能及品质的综合评价结果 (表 2)。结果显示, 在西藏昌都甘青 9 号表现最优, 昆仑 15 号和昆仑 14 号表现次之, 适宜在高海拔地区生长, 青海海西甘青 9 号表现最佳, 昆仑 15 号和喜玛拉 22 表现次之, 适宜在中海拔种植区生长。

表 2 西藏昌都和青海海西青稞品种的关联度及排名

Table 2 The rank and relational grade of hulless barley varieties in Tibet changdu and Qinghai haixi

品种 Variety	西藏昌都 Tibet changdu		青海海西 Qinghai haixi	
	关联度 Correlative degree	排名 Order	关联度 Correlative degree	排名 Order
Zangqing 2000	0.922	13	0.963	5
Zangqing 23	0.91	15	0.925	15
Zangqing 22	0.941	5	0.946	10
Zangqing 17	0.943	4	0.949	7
Ximala 22	0.929	11	0.966	3
Kunlun 14	0.945	3	0.964	4
Kunlun 15	0.947	2	0.965	2
Kunlun 16	0.941	6	0.942	12
Kunlun 19	0.935	8	0.953	6
Kunlun 18	0.922	12	0.948	8
Kangqing 7	0.931	9	0.946	9
Kangqing 9	0.937	7	0.941	13
Ganqing 4	0.929	10	0.943	11
Ganqing 8	0.919	14	0.94	14
Ganqing 9	0.956	1	0.968	1

2.6 青稞品种的综合评价

为了筛选粮草双高型、籽粒高产型以及青贮型青稞品种，对不同生态区域的籽粒和牧草产量及其稳定性进行了综合评价。从表 3 中可以看出，参试青稞品种昆仑 15 号籽粒丰产性和稳产性最优，但只适合在青海海西种植；甘青 9 号籽粒丰产性和稳产性相比于最优的昆仑 15 号次之，然而在西藏昌都和青海海西都非常适合种植，表现优异；另外昆仑 16 号和甘青 8 号的籽粒丰产稳产性均较好，籽粒产量基本相当，适合做籽粒高产型品种。从表 4 可以看出，参试青稞品种藏青 22 牧草丰产性最好，稳产性很好；康青 7 号、康青 9 号、甘青 9 号和藏青 23 产量差异较小，但牧草丰产性较好，稳产性均较好。且这 5 个青稞品种都适合在西藏昌都和青海海西种植，适合做青贮型品种。甘青 9 号适合做粮草双高型青稞品种，无论在西藏昌都和青海海西籽粒和牧草丰产性和稳产性都显示优异，既适合种植在高海拔地区也适合种植在中海拔地区，都能达到最优。

表 3 青稞品种在不同区域的籽粒产量及其稳定性综合评价

Table 3 Comprehensive evaluation of grain yield and stability for different hulless barley varieties in different regions

品种 Variety	丰产性参数		稳定性参数		适应地区 Application Region	综合评价 Synthetic evaluation
	Fertility parameters		Stability parameters			
	籽粒产量/kg Grain yield/kg	效应 Effects	方差 Variance	变异度 Variability		
Kunlun 15	415.039	66.998	8881.841	22.707	E2	好
Ganqing 9	403.779	55.738	4541.090	16.689	E1/E2	很好
Kunlun 16	381.367	33.325	1625.952	10.573	E1/E2	好
Ganqing 8	380.937	32.895	618.859	6.530	E1/E2	好
Ganqing 4	366.203	18.162	8705.683	25.479	E2	一般
Kunlun 14	364.051	16.009	1751.752	11.497	E1/E2	较好
Kunlun 18	354.567	6.525	8.438	0.819	E1/E2	较好
Kangqing 9	340.058	-7.983	15.445	1.156	E1/E2	一般
Zangqing 17	336.518	-11.524	2141.384	13.751	E1/E2	一般

Ximala 22	334.813	-13.228	67.653	2.457	E1/E2	一般
Zangqing 23	325.133	-22.909	13139.216	35.255	E1	较差
Kunlun 19	316.573	-31.468	0.951	0.308	E1/E2	一般
Zangqing 22	307.631	-40.411	6021.018	25.223	E1	较差
Kangqing 7	304.656	-43.386	925.341	9.985	E1/E2	一般
Zangqing 2000	289.300	-58.742	2087.092	15.791	E1/E2	较差

E1: 西藏昌都; E2: 青海海西

E1: Tibet changdu; E2: Qinghai haixi

表 4 青稞品种在不同区域的牧草产量及其稳定性综合评价

Table 4 Comprehensive evaluation of forage yield and stability for different hulless barley varieties in different regions

品种 Variety	丰产性参数 Fertility parameters		稳定性参数 Stability parameters		适应地区 Application region	综合评价 Synthetic evaluation
	牧草产量/kg Forage yield/kg	效应 Effects	方差 Variance	变异度 Variability		
	Zangqing 22	625.514	104.922	386.970		
Kangqing 7	588.281	67.689	12353.312	18.893	E1/E2	好
Kangqing 9	587.83	67.237	2871.093	9.115	E1/E2	好
Ganqing 9	587.782	67.189	541.072	3.957	E1/E2	好
Zangqing 23	585.037	64.444	10350.990	17.390	E1/E2	好
Ganqing 8	563.696	43.104	28833.864	30.124	E1	较好
Zangqing 17	541.997	21.405	0.000	0.002	E1/E2	较好
Kunlun 18	530.226	9.633	0.006	0.015	E1/E2	较好
Zangqing 2000	522.466	1.873	16667.212	24.710	E2	一般
Kunlun 19	511.863	-8.730	39.344	1.225	E1/E2	较好
Kunlun 14	450.288	-70.304	46.160	1.509	E1/E2	一般
Ximala 22	442.629	-77.964	18.697	0.977	E1/E2	一般
Kunlun 16	429.828	-90.764	1252.597	8.234	E1/E2	较差
Ganqing 4	426.611	-93.981	1088.915	7.735	E1/E2	较差
Kunlun 15	414.839	-105.754	1622.036	9.708	E1/E2	较差

E1: 西藏昌都; E2: 青海海西

E1: Tibet changdu; E2: Qinghai haixi

2.7 粮草双高型青稞品种评价方法和优异品种筛选

以株高、亩产、抗倒伏性、粗蛋白含量、总可消化养分、相对饲用品质、每吨饲料产奶量等 7 个农艺或品质性状为一级指标，其余性状为二级指标，初步建立了粮草双高型青稞品种的评价方法，并提出相应品种应当具备的基本特征。与籽粒高产型青稞品种比较，粮草双高型品种在乳熟期的小区株高增加>10%，小区生物量>10%，乳熟期无倒伏或轻微倒伏；全株粗蛋白占干物质的平均比例>9.5%、总可消化养分>63.5%、相对饲用品质>140、每吨饲料产奶量>1550 千克/吨；二级指标无显著缺陷，综合抗病性较好。代表品种：“甘青 9 号”。

3 讨论

青稞是我国青藏高原地区的主要农作物，籽粒用来制作糌粑等主食，秸秆是牦牛饲养的重要草料，青稞品种选育要兼顾粒用和饲用。本研究对来源于我国不同青稞种植区的 15 个青稞品种或参试品系，在中海拔地区西藏昌都和青海海西开展了两年的大田种植试验，对参试青稞品种在该生态区的专用性进行综合评价，为该生态区青稞品种的合理利用提供依据。结合抗病性评估结果，从参试品种中筛选“甘青 9 号”为

代表的粮草双高型优异青稞品种，其籽粒和牧草产量分别为 403.78 kg/亩和 587.78 kg/亩；“昆仑 15 号”为代表的籽粒高产型青稞品种，其籽粒产量为 415.04 kg/亩；以及“康青 7 号”和“藏青 22”为代表的高全株生物量青贮型青稞品种，其牧草产量分别为 588.28 kg/亩和 625.51 kg/亩，适合中海拔农区或农牧结合区域推广种植。“昆仑 15 号”在高水肥条件下籽粒产量优势明显，“甘青 9 号”兼顾籽粒、秸秆高产、适应种植的区域更广，“康青 7 号”、“藏青 22”全株生物量高适合青贮专用。

农艺性状直接影响青稞籽粒和秸秆的产量与品质。籽粒亩产与生育期之间显著负相关，这种现象与内地的情况刚好相反，推测可能是由于高原地区无霜期短、积温不足，生育期拉长不利于茎叶积累的营养物质在成熟后期向籽粒转运。我们也发现，籽粒产量与乳熟后期全株的酸洗纤维、木质素等品质性状呈显著负相关，与淀粉含量、NDF120 小时消化率等呈显著正相关，说明籽粒高产与品质性状存在动态关联^[15-16]，单方面追求籽粒产量的提升可能会降低青稞秸秆的饲用价值。主成分分析能够在保留大部分表型变异的基础上，通过部分主要性状指标来代表品种的综合表现^[17-19]。本研究将 15 个青稞品种的 30 个表型指标在西藏昌都和青海海西降维成 8 个和 7 个主成分，分别可以代表 92.11%和 89.70%的表型变异，其中西藏昌都的第 1 个主成分占比达到 33.95%，主要包括 NDF120 小时消化率、淀粉、总可消化养分、每吨饲料产奶量、相对饲料品质和相对饲料价值；青海海西第 1 主成分占比达到 34.47%，主要包括相对饲料价值、总可消化养分、NDF120 小时消化率、拔节期、成熟期、相对饲料品质、木质素、抽穗期和乳熟期株高，可以通过对这些指标的鉴定来评价青稞农艺性状与品质，从而简化品种筛选流程。

采用灰色关联分析及加权分析进行综合评价具有局限性，结合主成分综合评估、丰产稳产性分析可以克服其不足，多方法结合是作物综合评价的有效方法^[14,20-21]。本研究中，灰色关联度综合评价显示，在西藏昌都旱地环境和青海海西水地环境下，“甘青 9 号”、“昆仑 15 号”、“昆仑 14 号”等三个品种均位于排名前 5 位，主成分综合评估在西藏昌都显示优异品种为“甘青 9 号”、“藏青 22”和“康青 9 号”；青海海西是“昆仑 15 号”、“昆仑 16 号”和“甘青 9 号”，但是结合不同生态环境下籽粒和秸秆丰产性及其稳产性进行相互作用评估显示，“昆仑 15 号”丰产性和稳产性好，但是只适合青海海西（或相似生态区）种植，“甘青 9 号”谷物丰产性和稳产性表现优异，适合两地种植。在排名前五的其余青稞品种中，“昆仑 14 号”、“藏青 17”和“藏青 22”籽粒产量中等，稳产性较好，其中“藏青 22”只适合在西藏昌都种植。“藏青 22”饲用丰产性最好，稳产性优异。由此可见，利用灰度关联分析、主成分综合评价结合丰产稳产性分析对青稞品种进行综合评价具有较高的可靠性，以此方法可提高筛选优良品种的准确率。此外，本研究筛选得到的优异青稞品种，为后续开展针对产业化推广种植提供了理论依据和基础材料。

参考文献

- [1] 孟亚雄, 孟祎林, 汪军成, 司二静, 张海娟, 任盼荣, 马小乐, 李葆春, 杨轲, 王化俊. 青稞遗传多样性及其农艺性状与 SSR 标记的关联分析. 作物学报, 2016, 42 (02): 180-189
Meng Y X, Meng Y L, Wang J C, Si E J, Zhang H J, Ren P R, Ma X L, Li B C, Yang K, Wang H J. Genetic diversity and association analysis of agronomic characteristics with SSR markers in hulless barley. *Acta Agronomica Sinica*, 2016, 42 (2): 180-189
- [2] 谈建鑫, 桑布. 青稞在西藏脱贫攻坚中发挥作用评价. 西藏农业科技, 2022, 44 (02): 95-98
Tan J X, Sang B. Evaluation on the role of hulless barley in poverty alleviation in Tibet. *Tibet Journal of Agricultural Sciences*, 2022, 44 (02): 95-98

- [3] 翟会生, 李俏, 张玉红, 曾兴权, 唐亚伟, 尼玛扎西, 邓光兵, 龙海, 潘志芬, 余懋群. 72 份青稞氨基酸组成与营养价值评价. 植物遗传资源学报, 2021, 22 (01): 121-129
Zhai H S, Li Q, Zhang H Y, Zeng X Q, Tang Y W, Ni M Z X, Deng G B, Long H, Pan Z F, Yu M Q. Evaluation of the amino acids composition and nutrition value of 72 hulless barley. Journal of Plant Genetic Resources, 2021, 22 (01): 121-129
- [4] 张唐伟, 余永新, 吴雪莲, 刘青海, 李颖, 郝治华, 邱城. 不同生态环境下青稞的营养成分和矿质元素差异性分析. 大麦与谷类科学, 2020, 37 (01): 6-9
Zhang T W, She Y X, Wu X L, Liu Q H, Li Y, Hao Z H, Qiu C. Analysis on the differences in the contents of nutrients and mineral elements in hulless barley varieties grown in different ecological environments. Barley and Cereal Sciences, 2020, 37 (01): 6-9
- [5] 周建峰. 青海格尔木地区青稞品种分析. 农业工程技术, 2017, 37 (11): 78-79
- [6] 原红军, 曾兴权, 王玉林, 徐其君, 扎桑, 于明寨, 顿珠加布, 尼玛扎西. 西藏青稞种质资源农艺性状与品质性状遗传多样性分析. 西藏农业科技, 2018, 40 (S1): 49-52
Yuan H J, Zeng X Q, Wang Y L, Xu Q J, Zha S, Yu M Z, Dun Z J B, Ni M Z X. Genetic diversity of agronomic and quality of Tibetan hulless barley germplasm resources. Tibet Journal of Agricultural Sciences, 2018, 40 (S1): 49-52
- [7] 孟胜亚, 张文会, 于翠翠, 文华英, 陈锋. 西藏 12 个青稞品种 (系) 籽粒营养品质的比较分析. 大麦与谷类科学, 2019, 36 (06): 1-5
Meng S Y, Zhang W H, Yu C C, Wen H Y, Chen F. Comparative analysis of nutritional qualities of the grains of 12 main varieties of Tibetan hulless barley. Barley and Cereal Sciences, 2019, 36 (06): 1-5
- [8] Payne P I, Corfield K G, Holt L M, Blackman J A. Correlations between the inheritance of certain high-molecular weight subunits of glutenin and bread-making quality in progenies of six crosses of bread wheat. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1981, 32 (1): 51-60
- [9] Payne P I, Lawrence G J. Catalogue of alleles for the complex gene loci, *Glu-A1*, *Glu-B1*, and *Glu-D1* which code for high-molecular-weight subunits of glutenin in hexaploid wheat. Cereal Research Communications, 1983: 29-35
- [10] 曾兴权, 王玉林, 徐其君, 原红军, 扎桑, 于明寨, 顿珠加布, 尼玛扎西. 青稞品种籽粒品质性状研究. 西藏农业科技, 2018, 40 (S1): 7-10
Zeng X Q, Wang Y L, Xu Q J, Yuan H J, Zha S, Yu M Z, Dun Z J B, Ni M Z X. Study on quality properties of hulless barley. Tibet Journal of Agricultural Sciences, 2018, 40 (S1): 7-10
- [11] 谭大明, 谭海运, 刘国一, 谢永春, 张华国, 边巴卓玛. 西藏不同黑青稞品种的农艺性状和营养品质分析. 麦类作物学报, 2018, 38 (02): 142-147
Tan D M, Tan H Y, Liu G Y, Xie Y H, Zhang H G, Bian B Z M. Analysis of agronomic characters and nutritional quality of different black hulless barley varieties in Tibet. Journal of Triticeae Crops, 2018, 38 (02): 142-147
- [12] 靳玉龙, 白婷, 朱明霞, 刘小娇, 王姗姗, 张志薇, 胡赞, 张玉红. 利用因子分析综合评价 9 个西藏农家青稞品种的品质. 作物杂志, 2019, (04): 55-60
Jin Y L, Bai T, Zhu M X, Liu X J, Wang S S, Zhang Z W, Hu Y, Zhang Y H. Comprehensive evaluation of quality of nine Tibetan barley landraces by factor analysis. Crops, 2019, (04): 55-60
- [13] 刘刚, 赵桂琴, 魏黎明. 基于熵权赋权法的灰色系统理论在燕麦品种综合评价中的应用. 中国草地学报, 2007, (3): 84-89
Liu G, Zhao G Q, Wei L M. Application of grey system theory based on entropy weight method in comprehensive evaluation of oat varieties. Chinese Journal of Grassland, 2007, (3): 84-89
- [14] 王志龙, 程加省, 杨金华, 乔祥梅, 王志伟, 程耿, 于亚雄. 环境与基因型及其互作对云南早秋大麦产量的影响. 农业开发与装备, 2019, (2): 92-93
Wang Z L, Cheng J S, Yang J H, Qiao X M, Wang Z W, Cheng G, Yu Y X. Effects of environment, genotypes and their interaction on the yield of early autumn barley in Yunnan province. Agricultural Development and Equipment, 2019, (2): 92-93
- [15] 李赢, 刘海翠, 石晓旭, 韩笑, 刘建, 魏亚凤. 江苏裸大麦品种农艺及营养品质性状分析. 分子植物育种, 2022, 20 (09): 3044-3052
Li Y, Liu H C, Shi X X, Han X, Liu J, Wei Y F. Analysis of agronomic characters and nutritional quality of naked barley varieties in Jiangsu. Molecular Plant Breeding, 2022, 20 (09): 3044-3052
- [16] 张伟, 周青平, 陈有军, 潘静, 金晓明, 孙万斌, 贾志锋. 呼伦贝尔地区 10 个引进燕麦品种生产性能及饲草品质比较. 草业学报, 2021, 30 (12): 129-142
Zhang W, Zhou Q P, Chen Y J, Pan J, Jin X M, Sun W B, Jia Z F. Comparison of production performance and forage quality of ten introduced oat varieties in Hulunbuir, China. Acta Prataculturae Sinica, 2021, 30 (12): 129-142
- [17] 包九零, 乔光, 刘沛宇, 陈楠, 文晓鹏. 不同品种大樱桃果实品质的评价. 华中农业大学学报, 2016, 35 (03): 12-16
Bao J L, Qiao G, Liu P Y, Chen N, Wen X P. Evaluating fruit qualities of different sweet cherry cultivars. Journal of Huazhong Agricultural University, 2016, 35 (03): 12-16
- [18] 何玉婷, 扎西群措, 何俊洁, 张玉. 西藏地区 30 份青稞籽粒营养品质分析和综合评价. 西藏农业科技, 2022, 44 (02): 8-12

He Y T, Zha X Q C, He J J, Zhang Y . Nutritional quality analysis and comprehensive evaluation of 30 hulless barley grains in Tibet . *Tibet Journal of Agricultural Sciences*, 2022, 44 (02): 8-12

[19] 赵盟, 王春超, 张仁旭, 窦婷语, 裴红红, 郭爱奎, 李姗姗, 吴斌, 刘敏轩, 高佳, 张京, 邢国芳, 王化俊, 孟亚雄, 郭刚刚 . 中国大麦育成品种产量相关性状鉴定评价 . *植物遗传资源学报*, 2022, 23 (05): 1371-1382

Zhao M, Wang C C, Zhang R X, Dou T Y, Fei H H, Guo A K, Li S S, Wu B, Liu M X, Gao J, Zhang J, Xing G F, Wang H J, Meng Y X, Guo G G . Evaluation of the yield-related traits of Chinese barley cultivars . *Journal of Plant Genetic Resources*, 2022, 23 (05): 1371-1382

[20] 白羿雄, 郑雪晴, 姚有华, 姚晓华, 吴昆仑 . 青稞种质资源表型性状的遗传多样性分析及综合评价 . *中国农业科学*, 2019, 52 (23): 4201-4214

Bai Y X, Zheng X Q, Yao Y H, Yao X H, Wu K L . Genetic diversity analysis and comprehensive evaluation of phenotypic traits in hulless barley germplasm resources . *Scientia Agricultura Sinica*, 2019, 52 (23): 4201-4214

[21] 杨柳, 王智能, 沈石妍, 杨婷, 陆鑫, 郭家文, 应雄美 . 红糖加工型甘蔗种质资源评价与筛选方法的建立 . *植物遗传资源学报*, 2021, 22 (02): 532-539

Yang L, Wang Z N, Shen S Y, Yang T, Lu X, Guo J W, Ying X M . Evaluation and screening method of sugarcane germplasm resources for brown sugar production . *Journal of Plant Genetic Resources*, 2021, 22 (02): 532-539