

陈薇薇,蔡山顺,杨可涵,等. 青稞籽粒总黄酮与 γ -氨基丁酸含量变异特征及其育种价值[J/OL]. 大麦与谷类科学,2025,42(6):21-27 (2025-12-29). <https://doi.org/10.14069/j.cnki.32-1769/s.2025.06.004>.

青稞籽粒总黄酮与 γ -氨基丁酸含量变异特征及其育种价值

陈薇薇^{1,3},蔡山顺²,杨可涵¹,曹媛¹,熊光辉¹,康晓琪¹,KUMBHAR Rizwan Ali¹,BENHAFID Rania Chourouk¹,
APPIAH Charlotte¹,MEMON Sadaf¹,刘雅洁¹,赵辉¹,冯宗云^{1*}

(1. 四川农业大学农学院 / 西南作物基因资源发掘与利用国家重点实验室,四川 成都 611130;

2. 四川越盛能源集团有限公司,四川 成都 610000;3. 四川大学生命科学院,四川 成都 610065)

摘要:青稞是青藏高原的重要特色粮食作物,兼具营养与功能价值。为系统解析青稞籽粒主要功能成分的变异规律,本研究以来自国内外的243份青稞种质资源为材料,对籽粒总黄酮与 γ -氨基丁酸(GABA)含量进行测定与比较分析。结果显示:总黄酮质量分数范围为1360~5380 mg/kg,平均值为2668 mg/kg,变异系数(CV)为21.35%;GABA质量分数范围为81.3~349.2 mg/kg,平均值为148.1 mg/kg,CV为29.44%。总体上看,不同材料来源的总黄酮与GABA质量分数存在差异。在本试验中,国外种质资源的总黄酮与GABA质量分数均较高。国内材料中,总黄酮含量来自青海、甘肃的较高,而GABA含量来自西藏、四川的较高。两类成分的来源分布格局并不完全一致,其积累受不同遗传与环境因子的共同调控。本研究建立了总黄酮与GABA含量的分级评价思路,可为后续定向筛选高价值材料提供一定的依据。

关键词:青稞;总黄酮; γ -氨基丁酸(GABA);变异;种质资源;育种

中图分类号:S512.3

文献标志码:A

文章编号:1673-6486-20250106

青稞 (*Hordeum vulgare* L. var. *nudum* Hook. f.), 又称裸大麦,是青藏高原的特色粮食作物,已有数千年的栽培历史^[1]。青稞可种植在海拔4500 m以上的局部高海拔高寒地带,是谷地、湖盆种植的重要粮食作物,目前主要种植在我国西藏、青海、四川、甘肃、云南及贵州的部分地区^[2-3]。作为藏族人民的主食,青稞不仅在保障高原地区粮食安全方面发挥着重要作用,还因其营养和保健功能而在功能食品开发领域受到广泛关注^[4]。青稞具有高膳食纤维、高蛋白、高维生素以及低脂肪、低糖的营养特性,被誉为禾谷类作物中的优质粮源^[5]。

在青稞的诸多营养成分中,总黄酮和 γ -氨基丁酸(GABA)是两类重要的功能性代谢物。黄酮类化合物是植物中广泛存在的次生代谢物,具有抗氧

化、抗炎、抗病毒等多种生理活性,不仅在植物自身的抗逆反应中发挥重要作用,也因其保健功能受到食品科学与育种领域的重视^[6-7]。另一方面,GABA作为一种非蛋白氨基酸,广泛参与哺乳动物的中枢神经系统调控,具有安神、降血压、防动脉粥样硬化及改善肝肾功能等作用,在功能食品、保健品及医药产业中具有重要的开发潜力^[8-9]。

目前,黄酮类化合物在植物体内的合成途径、运输机制与积累特性已取得一定进展^[7,10]。Martinez等在大麦中共鉴定出64种化合物,其中包括9种黄酮-3-醇、9种黄酮苷类^[11]。陈升位等研究发现,8种大麦的成熟籽粒可有效合成15种黄酮类化合物^[12]。普晓英等研究表明,大麦籽粒总黄酮含量与不同农艺性状间存在一定关系,尤其总黄酮含量与生育期和千粒质量呈极显著负相关,与实粒数和稃型呈显著正相关^[13]。赵春艳等采用比色法和标准曲线法测出不同品种大麦中总黄酮含量有差异,发芽籽粒高于未发芽籽粒^[14]。

关于 γ -氨基丁酸含量,国内的研究始于1964年,李子瑜和吴忠华对阉割雄性大鼠脑中 γ -氨基丁酸(GABA)含量进行了研究^[15],该研究推测动物睾丸激素相关效应可能与脑中GABA含量的影响有关。在大麦中,杨艳等研究发现,富含 γ -氨基丁

收稿日期:2025-10-14;修回日期:2025-12-18。

基金项目:国家现代农业产业技术体系(CARS-05);国家重点研发计划(2018YFD1000705、2018YFD1000705-5);四川省国际科技创新合作项目(2021YFH0113)。

作者简介:陈薇薇(1999—),女,博士研究生,主要从事青稞遗传育种及分子生物学研究,Email: weiwei004500@163.com;蔡山顺(1987—),男,工程师,主要从事设备管理和调度工作,Email: 542582760@qq.com。蔡山顺为共同第一作者。

* 通信作者:冯宗云(1963—),男,博士,教授,主要从事大麦(青稞)遗传育种及分子生物学研究。Email: zfyfeng49@126.com。

酸的裸大麦对高盐高血压大鼠具有一定的降压功效,将控制大麦籽粒 GABA 含量的 QTL(*qGABA-3H*)定位在染色体 3HL 上的分子标记 M5E4a 和 M3E18 之间,贡献率为 8.33%,加性效应为 0.05^[16]。曾亚文等研究表明,大麦籽粒发芽前的 GABA 含量(458.4 mg/kg)明显低于发芽期间(1~9 d)的平均含量(525.4 mg/kg),发芽后 GABA 累积最大均值是发芽期最小均值的 2.1 倍,大麦籽粒 GABA 含量会随着发芽时间的增加而增高^[17]。张紫晋等研究供试大麦不同基因型间 GABA 含量变异较大,且裸大麦显著高于皮大麦,深色籽粒高于浅色籽粒^[18]。

近年来,国内外对大麦和青稞功能成分的研究逐渐增多,但多集中于单一化合物或有限的材料,缺乏系统性和规模化的比较研究。尤其在青藏高原及周边地区栽培及野生资源中,基于统一栽培条件的籽粒总黄酮与 GABA 质量分数变异特征及其相对地域差异仍需进一步梳理。这不仅限制了高功能成分优质青稞品种的挖掘与利用,也影响了分级标准和种质资源评价体系的建立。为此,本研究以 243 份不同来源的青稞种质为材料,系统测定籽粒总黄酮与 GABA 含量,比较其变异特征与来源差异,提出功能成分分级评价思路,为后续定向筛选高值材料提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本研究共收集青稞种质资源 243 份,其中来自西藏 66 份、青海 97 份、四川 14 份、甘肃 39 份、国外 6 份,以及中国近缘野生裸大麦 21 份(附表)。所有材料均保存在四川农业大学国家大麦青稞产业技术体系成都综合试验站试验基地。为降低种植环境差异对比较结果的影响,本研究在同一试验点对所有材料进行统一栽培管理与取样,并对籽粒总黄酮与 GABA 含量进行直接测定。

1.2 试验方案

于 2024 年 10 月将材料种植于四川省崇州市羊马镇国家大麦青稞产业技术体系成都综合试验站基地(103°45' E、30°40' N,海拔约 530 m),行长 1.5 m,行距 0.25 m,随机区组试验设计,3 次重复,按常规水肥管理。本研究采用共同园(单点同栽)设计,旨在通过统一环境条件比较不同来源材料籽粒总黄酮与 GABA 含量的相对遗传差异。

1.2.1 总黄酮含量测定。取 2.5 g 籽粒置于小信封中,80 °C 烘干 24 h 后用粉碎机粉碎,40 目孔筛过筛。称取(500 ± 1) mg 样品置于 10 mL 离心管中,加入 4 mL 60%乙醇,60 °C 水浴浸提 2 h(期间需不时震荡)。随后 8 000 r/min 离心 10 min,取上清液。重复提取 2 次,合并上清液后加入 60%乙醇定容至 10 mL 容量瓶中。向容量瓶分别加入 0.3 mL 5%的亚硝酸钠溶液,摇匀后静置 6 min 后,加入 0.3 mL 10%硝酸铝溶液,充分混匀后静置 6 min,加入 4.0 mL 4%氢氧化钠溶液,最后用 60%的乙醇定容至 10 mL,摇匀后静置 12 min,510 nm 测定吸光度。以芦丁(Rutin)为标准品绘制标准曲线,根据标准曲线计算样品总黄酮含量。每个处理重复 3 次。芦丁标准品在 510 nm 可见光的波长下的吸光值呈现良好的线性关系: $y = 0.0794x - 4 \times 10^{-5}$, $R^2 = 0.9996$ 。

1.2.2 GABA 含量测定。称取 2.5 g 籽粒置于小信封中,80 °C 烘干 24 h。烘干后,用粉碎机粉碎,40 目孔筛过筛,称取(500 ± 2) mg 样品置于 10 mL 离心管。加 5 mL 蒸馏水放入 HY-2 往复振荡器上(200 次/min)震荡 4 h。震荡处理后,6 000 r/min 离心 10 min,取 1 mL 上清液于 10 mL 的容量瓶中,待测。向容量瓶中分别加入 0.2 mol/L (pH 值 9.0) 硼酸盐缓冲液 0.6 mL 摇匀,加 5%苯酚溶液 2 mL 摇匀,再加入 7%次氯酸钠溶液 1 mL 摇匀后,沸水浴加热 5~10 min,冰浴冷却 20~25 min,直到颜色变成蓝绿色,最后加入 2 mL 60%的乙醇定容至 10 mL,于波长 645 nm 处测定溶液的吸光度,将所得吸光度代入标准曲线确定样品的 GABA 含量。每个处理重复 3 次。GABA 含量(y)与 645 nm 处吸光值具有以下线性关系: $y = 0.0182x - 0.0724$, $R^2 = 0.9965$ 。

1.3 数据处理与分析

对不同青稞材料的总黄酮和 GABA 含量进行描述性统计,计算平均值、范围和变异系数。采用 SPSS 26.0 软件进行单因素方差分析(ANOVA),显著性水平设为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 青稞籽粒总黄酮含量的变异

由表 1 可知,在 243 份青稞材料中,籽粒总黄酮质量分数平均值为 2 668 mg/kg。不同来源材料间总黄酮质量分数存在差异,平均水平总体呈国外、野生与青海来源相对较高,四川来源相对较低;甘

肃与西藏来源略低于总体平均值。总体材料的总黄酮含量的平均变异系数为 20.30%，显示其在本试验条件下具有一定的表型变异空间(表 1)。

表 1 不同来源青稞籽粒总黄酮含量的平均值及变异

来源	最小值/(mg/kg)	最大值/(mg/kg)	均值 ± 标准差/(mg/kg)	变异系数/%
西藏	1 360	4 060	2 500 ± 560 bc	22.40
甘肃	1 950	3 180	2 560 ± 370 bc	14.45
青海	1 930	5 380	2 770 ± 580 ab	20.94
四川	1 530	3 460	2 370 ± 660 c	27.85
国外	2 290	3 990	2 950 ± 520 a	17.63
野生	1 930	3 560	2 860 ± 530 ab	18.53
平均	1 832	3 938	2 668 ± 570	20.30

注:不同小写字母表示差异具统计学意义($P < 0.05$)。下同。

2.2 青稞籽粒 γ -氨基丁酸(GABA)含量的变异

由表 2 可知,在 243 份青稞材料中,GABA 质量分数范围为 81.3 ~ 349.2 mg/kg,平均值为 148.0 mg/kg,平均变异系数为 29.23%。整体来看,GABA 质量分数表现为国外 > 西藏 > 四川 > 青海 > 野生 > 甘肃。与总黄酮的含量变异幅度和变异系数相比(1 360 ~ 5 380 mg/kg;20.30%),GABA 的变异幅度和平均变

异系数均大于总黄酮,说明 GABA 在本试验条件下的表型差异幅度更大。不同来源青稞材料间 GABA 质量分数差异明显。西藏材料的 GABA 质量分数显著高于青海、甘肃及野生材料;国外材料的 GABA 质量分数则显著高于青海、甘肃和野生材料($P < 0.05$)。而四川材料与其他来源之间差异无统计学意义。整体上,高 GABA 含量主要集中在西藏和国外材料中。

表 2 不同来源青稞品种籽粒的 GABA 含量

来源	最小值/(mg/kg)	最大值/(mg/kg)	平均值 ± 标准差/(mg/kg)	变异系数/%
西藏	98.3	327.8	165.1 ± 49.4 a	29.92
青海	81.3	280.2	140.8 ± 37.1 b	26.35
四川	94.6	349.2	150.6 ± 63.9 ab	42.43
甘肃	82.1	204.6	129.3 ± 30.3 b	23.43
野生	97.7	243.6	133.8 ± 33.9 b	25.34
国外	122.6	236.8	168.7 ± 47.1 a	27.92
平均	96.1	273.7	148.0 ± 43.6	29.23

2.3 总黄酮和 GABA 来源分布格局的比较

综合比较显示,总黄酮与 GABA 在不同来源中的相对高值分布并不完全一致。总黄酮在青海与甘肃来源中相对较高,国外与野生材料中同样呈现较高趋势;GABA 在西藏与四川来源中相对较高。说明两类代谢物的积累可能与不同材料来源的遗传背景及海拔、光照、昼夜温差、土壤与水分等生态因子的共同作用有关,进而形成了来源层面的相对差异格局。

3 讨论

本研究系统比较了青稞籽粒中两类重要功能成分——总黄酮与 γ -氨基丁酸(GABA)的变异特征。结果表明,两者在含量水平、变异幅度及来源分布上均存在差异,显示两类功能成分在本试验条件下具有较大的表型变异空间。

从变异特征看,GABA 的变异系数(29.23%)高于总黄酮(20.30%),说明 GABA 在种质资源间的差

异性更为突出。这与 GABA 在植物代谢中受环境胁迫(如缺氧、盐碱及干旱)的诱导作用较大有关,而黄酮类化合物更多地与品种固有遗传特性和抗逆性相关^[19-20]。

从来源分布来看,不同来源的总黄酮与 GABA 质量分数存在差异($P < 0.05$)。国外来源材料在本试验条件下两类成分的平均水平相对较高,但鉴于国外来源样本量较少($n = 6$),相关比较结果不作普遍性推断,仅供参考。国内材料中,总黄酮相对较高的来源主要为青海与甘肃,而 GABA 相对较高的来源主要为西藏与四川,提示两类功能成分的来源分布存在一定差异。该差异可能与不同来源材料的遗传背景及其对海拔、光照、温度、水分与土壤条件等生态因子的适应差异有关^[21-22],但其机制仍需在原生生态区及多生态点和多年条件下进一步验证。

从功能成分的应用角度看,高黄酮品种具有抗氧化和抗炎潜力,可用于开发富含天然抗氧化剂的青稞功能食品^[23];而高 GABA 品种则更适合开发降压、改善神经系统功能的保健食品^[24]。因此,针对不同功能成分开展定向筛选与育种,有望更好地服务差异化的食品与健康产业需求。

本研究未发现高含量黄酮与高含量 GABA 品种完全重合,提示这两类成分可能在遗传调控和代谢途径上相对独立。未来可通过多组学联合分析,探索青稞功能成分的代谢网络与调控机制,并结合分子标记辅助选择(MAS)加速优质功能型品种的选育^[25-26]。此外,针对功能成分与农艺性状之间可能存在的平衡关系,还需进一步研究,以实现功能品质与产量的协同改良。

4 结论

青稞籽粒总黄酮和 γ -氨基丁酸含量均表现出显著的种质间差异。其中,总黄酮质量分数范围为 1 360 ~ 5 380 mg/kg,变异系数为 20.30%; γ -氨基丁酸质量分数范围为 81.3 ~ 349.2 mg/kg,变异系数为 29.23%,显示两类功能成分均具有较大的表型变异空间。国外材料在两类成分上普遍较高;国内材料中,总黄酮含量以青海、甘肃较高,GABA 含量以西藏、四川较高,二者来源分布格局不一致。本结果为青稞功能食品开发与多目标品质改良育种提供了数据基础与候选方向,也为多目标品质改良和分子育种奠定了理论基础。

参考文献:

- [1] 强小林,迟德钊,冯继林. 青藏高原区域青稞生产与发展现状[J]. 西藏科技,2008(3):11-17.
- [2] 赵媛,李宏英,陈加利,等. 连作对青稞籽粒淀粉特性及干物质转运的影响[J]. 西北农业学报,2025,34(3):423-432.
- [3] 姚晓华,王越,姚有华,等. 青稞新基因 *HvMEL1 AGO* 的克隆和条纹病胁迫下的表达[J]. 作物学报,2022,48(5):1181-1190.
- [4] 孟想,朱雪洋,张莉方,等. 萌发处理对黑青稞活性成分组成及抗氧化能力的影响[J]. 食品与发酵工业,2022,48(4):158-164.
- [5] ZENG Y W, PU X Y, DU J, et al. Molecular mechanism of functional ingredients in barley to combat human chronic diseases[J]. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2020(1):3836172.
- [6] WANG L, SONG J K, LIU A L, et al. Research progress of the antiviral bioactivities of natural flavonoids[J]. *Natural Products and Bioprospecting*, 2020,10(5):271-283.
- [7] 周明,沈勇根,朱丽琴,等. 植物黄酮化合物生物合成、积累及调控的研究进展[J]. 食品研究与开发,2016,37(18):216-221.
- [8] 林杨,唐琦勇,楚敏,等. γ -氨基丁酸的功能、生产及食品应用研究进展[J]. 中国调味品,2021,46(6):173-179.
- [9] 宁亚维,马梦戈,杨正,等. γ -氨基丁酸的制备方法及其功能食品研究进展[J]. 食品与发酵工业,2020,46(23):238-247.
- [10] FRANGNE N, EGGMANN T, KOBLSCHKE C, et al. Flavone glucoside uptake into barley mesophyll and *Arabidopsis* cell culture vacuoles. Energization occurs by H^+ -antiport and ATP-binding cassette-type mechanisms[J]. *Plant Physiology*, 2002,128(2):726-733.
- [11] MARTÍNEZ M, MOTILVA M J, LÓPEZ DE LAS HAZAS M C, et al. Phytochemical composition and β -glucan content of barley genotypes from two different geographic origins for human health food production[J]. *Food Chemistry*, 2018,245:61-70.
- [12] 贺军与,钟伟,陈云琼,等. 大麦成熟籽粒中15种黄酮类化合物的含量差异分析[J]. 云南农业大学学报(自然科学),2021,36(6):931-936.
- [13] 普晓英,赵大伟,曾亚文,等. 大麦农艺性状分析及籽粒黄酮含量的测定[J]. 西南农业学报,2013,26(6):2204-2207.
- [14] 赵春艳,普晓英,曾亚文,等. 大麦麦芽总黄酮类化合物含量的测定分析[J]. 植物遗传资源学报,2010,11(4):498-502.
- [15] 李子瑜,吴忠华. 阉割雄性大鼠脑中 γ -氨基丁酸(GABA)含量的改变[J]. 生理学报,1964,16(1):1-4.
- [16] 杨艳,张杜. 裸大麦中 γ -氨基丁酸的降血压功效研究[J]. 营养学报,2019,41(3):234-239.
- [17] 曾亚文,杨涛,普晓英,等. 大麦籽粒中 γ -氨基丁酸、总

黄酮和生物碱含量在发芽过程中的变化[J]. 麦类作物学报,2012,32(1):135-139.

[18] 张紫晋,任益明,江迪,等. 不同大麦籽粒 γ -氨基丁酸含量的差异及环境影响[J]. 西南农业学报,2022,35(5):1089-1094.

[19] 郭新颖,杨清华,史玉坤. 2种方法测定花茶抗氧化活性的比较分析[J]. 中国卫生检验杂志,2016,26(13):1974-1976.

[20] 赵子晴,姚继成,张盛怡,等. 非热物理技术在植物 GABA 富集中的应用研究进展[J]. 粮食与油脂,2025,38(1):1-5,30.

[21] 吴婷,李沅达,邓秀娟,等. 萎凋方式对 γ -氨基丁酸白茶香气成分的影响[J]. 食品安全质量检测学报,2022,13(13):4344-4351.

[22] 彭江,何燕,魏娜. 西藏不同海拔珠芽蓼果实品质分析研究[J]. 西藏农业科技,2025,47(3):21-27.

[23] ACOSTA-QUIROGA K,ROCHA-VALDERRAMA E,ZUIGA-BUSTOS M,et al. Gross antioxidant capacity and anti-inflammatory potential of flavonol oxidation products:a combined experimental and theoretical study[J]. Antioxidants, 2025,14(4):479.

[24] FASHOGBON R O,SAMSON O J,AWOTUNDUN T A,et al. Microbial gamma-aminobutyric acid synthesis:a promising approach for functional food and pharmaceutical applications[J]. Letters in Applied Microbiology,2024,77(12):ovae122.

[25] WANG Y H,HAN J F,MENG X K,et al. Genome-wide association study and marker development for *Fusarium oxysporum* root rot resistance in soybean[J]. International Journal of Molecular Sciences,2024,25(23):12573.

[26] LI J,WANG D D,XU X S,et al. Utilization of UPLC/Q-TOF-MS-based metabolomics and AFLP-based marker-assisted selection to facilitate/assist conventional breeding of *Polygala tenuifolia*[J]. Chemistry & Biodiversity,2017,14(9):e1700163.

附表

青稞材料名称及来源

序号	编号	品种名称	来源	序号	编号	品种名称	来源	序号	编号	品种名称	来源
XZ 1	FB0026	西红兰	西藏	YQ 82	FB1021	ZYM805	西藏贡嘎	QH 163	FB0790	湟中六棱青稞	青海西宁
XZ 2	FB0030	扎西平措兰	西藏	YQ 83	FB1033	ZYM844	西藏札达	QH 164	FB0800	大通白青稞	青海西宁
XZ 3	FB0031	格穷	西藏	YQ 84	FB1035	ZYM850	西藏	QH 165	FB0805	贵德黑青稞	青海海南
XZ 4	FB0040	通门西卡白	西藏	YQ 85	FB1036	ZYM851	西藏尼木	QH 166	FB0815	兴海小青稞	青海海南
XZ 5	FB0041	黑颖	西藏	YQ 86	FB1038	ZYM859	西藏江孜	QH 167	FB1281	湟源蓝青稞	青海西宁
XZ 6	FB0044	青稞	西藏	YQ 87	FB1040	ZYM863	西藏林芝	QH 168	FB1203	民和青稞	青海海东
XZ 7	FB0045	白青	西藏	QH 88	FB0431	黑青稞	青海	QH 169	FB1231	二长四短芒白青稞	青海
XZ 8	FB0048	阳珠阳笋	西藏	QH 89	FB0432	东升黑	青海	QH 170	FB1232	二长四短芒青稞	青海
XZ 9	FB0049	六十天	西藏	QH 90	FB0485	门农 1 号	青海	QH 171	FB1233	二道眉白青稞	青海
XZ 10	FB0050	ZDM0179	西藏	QH 91	FB0470	北青 1 号	青海海北	QH 172	FB1234	二道眉黑青稞	青海
XZ 11	FB0051	农仁白	西藏	QH 92	FB0471	北青 2 号	青海海北	QH 173	FB1235	二道眉紫青稞	青海
XZ 12	FB0057	长芒冬	西藏	QH 93	FB0473	北青 4 号	青海海北	QH 174	FB1236	长芒白青稞	青海
XZ 13	FB0076	插 1 号	西藏	QH 94	FB0474	北青 5 号	青海海北	QH 175	FB1237	长芒红青稞	青海
XZ 14	FB0080	混杂青稞	西藏	QH 95	FB0475	北青 6 号	青海海北	QH 176	FB1238	长芒黑青稞	青海
XZ 15	FB0086	包郭 4 号	西藏	QH 96	FB0476	北青 7 号	青海海北	QH 177	FB1239	长芒紫青稞	青海
XZ 16	FB0087	ZDM0363	西藏	QH 97	FB0479	昆仑 3 号	青海	QH 178	FB1241	长钩芒白青稞	青海
XZ 17	FB0098	波密 16	西藏	QH 98	FB0482	昆仑 12 号	青海	QH 179	FB1242	白青稞	青海
XZ 18	FB0099	白青稞	西藏	QH 99	FB0483	东青 1 号	青海	QH 180	FB1243	白康青	青海
XZ 19	FB0107	拉萨蓝青稞	西藏	QH 100	FB0484	东青 2 号	青海	QH 181	FB1244	红青稞	青海
XZ 20	FB0108	耐那	西藏	QH 101	FB0561	SC-31	青海	QH 182	FB1245	青稞	青海
XZ 21	FB0110	查久青稞	西藏	QH 102	FB0562	循化白六棱	青海海东	QH 183	FB1247	黑青稞	青海
XZ 22	FB0119	白青稞 (1)	西藏	QH 103	FB0564	同德系选 8 号	青海	QH 184	FB1249	蓝青稞	青海
XZ 23	FB0120	ZDM0496	西藏	QH 104	FB0565	昆仑 1 号	青海	SC 185	FB0821	若尔盖巴西花壳	四川阿坝
XZ 24	FB0123	ZDM0503	西藏	QH 105	FB0569	矮杆齐	青海	SC 186	FB0425	康青 1 号	四川甘孜

(续表)

序号	编号	品种名称	来源	序号	编号	品种名称	来源	序号	编号	品种名称	来源
XZ 25	FB0127	青稞 (1)	西藏	QH 106	FB0570	杈棵青稞	青海	SC 187	FB0429	俄母 1 号	四川甘孜
XZ 26	FB0129	紫青稞	西藏	QH 107	FB0578	77-114-1-2	青海	SC 188	FB0433	丹巴黑青稞	四川甘孜
XZ 27	FB0131	黑灰芒	西藏	QH 108	FB0580	76-78-9-1-4	青海	SC 189	FB0438	松潘紫青稞	四川阿坝
XZ 28	FB0135	紫六棱	西藏	QH 109	FB0583	87F-021	青海	SC 190	FB0439	乾宁青稞	四川甘孜
XZ 29	FB0138	ZDM0565	西藏	QH 110	FB0582	海南大梢头露仁	青海	SC 191	FB0440	白玉青稞	四川甘孜
XZ 30	FB0141	紫青稞 (1)	西藏	QH 111	FB0585	87F-021	青海	SC 192	FB0443	603	四川甘孜
XZ 31	FB0142	加查冬青稞	西藏	QH 112	FB0586	青果兰青稞	青海	SC 193	FB0447	阿青 5 号	四川阿坝
XZ 32	FB0148	乃木	西藏	QH 113	FB0588	8026	青海	SC 194	FB0451	9516	四川甘孜
XZ 33	FB0149	ZDM0600	西藏	QH 114	FB0589	Hallej	青海	SC 195	FB1451	XQ0299	四川甘孜
XZ 34	FB0167	ZDM0644	西藏	QH 115	FB0600	ICBNF8	青海	SC 196	FB1480	黑糯青稞	四川甘孜
XZ 35	FB0169	木西	西藏	QH 116	FB0628	Tuppor 福 8	青海	SC 197	FB1276	379	四川甘孜
XZ 36	FB0170	瓦格	西藏	QH 117	FB0629	89-828 (1)	青海	SC 198	FB1277	康青 7 号	四川甘孜
XZ 37	FB0174	长芒白青稞	西藏	QH 118	FB0631	89-828 (2)	青海	GS 199	FB0448	甘青 2 号	甘肃甘南
XZ 38	FB0183	长芒黑青稞 (2)	西藏	QH 119	FB0632	89-828 (3)	青海	GS 200	FB0449	甘青 3 号	甘肃甘南
XZ 39	FB0195	ZDM0709	西藏	QH 120	FB0637	白地青稞	青海	GS 201	FB0450	甘青 4 号	甘肃甘南
XZ 40	FB0196	巴金嘎母	西藏	QH 121	FB0640	马利	青海	GS 202	FB0721	老青稞	甘肃甘南
XZ 41	FB0197	比芒玛	西藏	QH 122	FB0641	砍般多	青海	GS 203	FB0722	有地大青稞	甘肃甘南
XZ 42	FB0201	ZDM0732	西藏	QH 123	FB0642	达坝青稞	青海	GS 204	FB0723	青稞	甘肃甘南
XZ 43	FB0202	四棱白青稞	西藏	QH 124	FB0647	六棱子	青海	GS 205	FB0724	青稞	甘肃甘南
XZ 44	FB0204	白四棱长芒	西藏	QH 125	FB0650	苏农 370	青海	GS 206	FB0725	青稞	甘肃甘南
XZ 45	FB0211	白青稞 (2)	西藏	QH 126	FB0651	西宁 19	青海西宁	GS 207	FB0726	青稞	甘肃甘南
XZ 46	FB0231	白青稞 (3)	西藏	QH 127	FB0653	乐都青稞	青海海东	GS 208	FB0727	青皮青稞	甘肃甘南
XZ 47	FB0274	对芒紫青稞	西藏	QH 128	FB0654	互助双槽人	青海海东	GS 209	FB0728	青青稞	甘肃甘南
XZ 48	FB0279	ZDM1039	西藏	QH 129	FB0655	短茎倒钩六棱青稞	青海	GS 210	FB0730	六棱青稞	甘肃甘南
XZ 49	FB0281	ZDM1767	西藏	QH 130	FB0656	APM-HC1905	青海	GS 211	FB0731	六棱青稞	甘肃甘南
XZ 50	FB0283	ZDM2579	西藏	QH 131	FB0658	H.Sat.V.hax.f.f	青海	GS 212	FB0732	李家庄六棱	甘肃甘南
XZ 51	FB0287	ZDM2589	西藏	QH 132	FB0662	Shikoku-Hadokaal	青海	GS 213	FB0733	六棱头	甘肃甘南
XZ 52	FB0289	加雀	西藏	QH 133	FB0663	Ahor443170	青海	GS 214	FB0734	六棱大青稞	甘肃甘南
XZ 53	FB0291	对芒黑青稞	西藏	QH 134	FB0665	Bang-lu	青海	GS 215	FB0735	六棱小青稞 (1)	甘肃甘南
XZ 54	FB0292	ZDM2603	西藏	QH 135	FB0666	Brachytic	青海	GS 216	FB0736	六棱小青稞 (2)	甘肃甘南
XZ 55	FB0295	紫青稞	西藏	QH 136	FB0680	Tuppor	青海	GS 217	FB0738	六棱长枝白青稞	甘肃甘南
XZ 56	FB0298	紫钩芒	西藏	QH 137	FB0683	肚里蓝	青海	GS 218	FB0740	六棱头白青稞	甘肃甘南
XZ 57	FB0302	紫钩芒青稞	西藏	QH 138	FB0685	昆仑 8 号	青海	GS 219	FB0741	回枝白青稞	甘肃甘南
XZ 58	FB0308	黑青稞	西藏	QH 139	FB0686	循甘化兰	青海	GS 220	FB0742	孙家庄白青稞	甘肃甘南
XZ 59	FB0377	喜马拉雅 6 号	西藏	QH 140	FB0688	拉兰青稞	青海西宁	GS 221	FB0743	白六棱头	甘肃甘南
XZ 60	FB0430	岗托青稞	西藏	QH 141	FB0689	矮杆齐	青海	GS 222	FB0744	白青稞	甘肃甘南
XZ 61	FB0445	春青稞	西藏	QH 142	FB0691	昆仑 3 号	青海	GS 223	FB0745	白青稞	甘肃甘南
XZ 62	FB0456	喜马拉雅 15 号	西藏	QH 143	FB0692	83-46	青海	GS 224	FB0747	白皮青稞	甘肃甘南
XZ 63	FB0457	喜马拉雅 19 号	西藏	QH 144	FB0693	84-136	青海	GS 225	FB0748	白青稞	甘肃甘南

(续表)

序号	编号	品种名称	来源	序号	编号	品种名称	来源	序号	编号	品种名称	来源
XZ 64	FB0459	藏青 80	西藏	QH 145	FB0695	标 5	青海	GS 226	FB0750	麻青稞	甘肃甘南
XZ 65	FB0463	藏青 690	西藏	QH 146	FB0696	标 23	青海	GS 227	FB0751	麻青稞	甘肃甘南
XZ 66	FB0486	莫多查 1 号	西藏	QH 147	FB0702	OSC21	青海	GS 228	FB0752	褐青稞	甘肃甘南
YQ 67	FB0884	ZYM21	西藏工布江达	QH 148	FB0704	Sanglishk128	青海	GS 229	FB0753	铨青稞	甘肃甘南
YQ 68	FB0886	ZYM24	西藏工布江达	QH 149	FB0705	化隆长芒青稞	青海海东	GS 230	FB0755	红青稞	甘肃甘南
YQ 69	FB0916	ZYM155	西藏洛扎	QH 150	FB0706	门源白四棱	青海海北	GS 231	FB0758	长青稞	甘肃甘南
YQ 70	FB0943	ZYM247	西藏昌都	QH 151	FB0708	海晏白青稞	青海海北	GS 232	FB0762	蓝青稞 (1)	甘肃甘南
YQ 71	FB0945	ZYM503	西藏昌都	QH 152	FB0709	湟中六棱青稞	青海西宁	GS 233	FB0764	蓝青稞 (2)	甘肃甘南
YQ 72	FB0946	ZYM504	西藏昌都	QH 153	FB0710	互助白长芒	青海海东	GS 234	FB0768	紫青稞 (2)	甘肃甘南
YQ 73	FB0958	ZYM576	西藏芒康	QH 154	FB0712	muanbori	青海	GS 235	FB0771	甘青 4 号	甘肃甘南
YQ 74	FB0959	ZYM582	西藏芒康	QH 155	FB0713	四园稞 89 号	青海	GS 236	FB0773	9619	甘肃甘南
YQ 75	FB0960	ZYM585	西藏芒康	QH 156	FB0714	向化白六棱	青海	GS 237	FB0435	岷县青稞	甘肃甘南
YQ 76	FB0969	ZYM618	西藏工布江达	QH 157	FB0715	昆仑 1 号	青海	AB 238	FB1251	波斯麦 64	俄罗斯
YQ 77	FB0970	ZYM619	西藏工布江达	QH 158	FB0716	矮秆青稞	青海	AB 239	FB1255	C3034.ON128	丹麦
YQ 78	FB0992	ZYM687	西藏加查	QH 159	FB0717	370	青海	AB 240	FB1261	Tibetannia	加拿大
YQ 79	FB0993	ZYM689	西藏加查	QH 160	FB0719	NBO-8	青海	AB 241	FB1268	CI-424	墨西哥
YQ 80	FB1006	ZYM762	西藏措美	QH 161	FB0720	NBO-66	青海	AB 242	FB1271	普雷卡斯混选系	叙利亚
YQ 81	FB1009	ZYM770	西藏措美	QH 162	FB0780	北青 3 号 (1)	青海	AB 243	FB1273	Gaolashukeluofan	罗马尼亚

Variation Characteristics and Breeding Value of Total Flavonoid and γ -Aminobutyric Acid Content in Highland Barley Grains

CHEN Weiwei^{1,3}, CAI Shanshun², YANG Kehan¹, CAO Yuan¹, XIONG Guanghui¹, KANG Xiaoqi¹, KUMBHAR Rizwan Ali¹, BENHAFID Rania Chourouk¹, APPIAH Charlotte¹, MEMON Sadaf¹, LIU Yajie¹, ZHAO Hui¹, FENG Zongyun¹

(1. College of Agronomy, Sichuan Agricultural University / Southwest State Key Laboratory of Crop Gene Resource Discovery and Utilization, Chengdu 611130, China; 2. Sichuan Yuesheng Energy Group Co., Ltd., Chengdu 610000, China; 3. School of Life Sciences, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: Highland barley is an important characteristic food crop on the Qinghai-Tibet Plateau, with both nutritional and functional values. To systematically characterize the variation of major functional components in highland barley grains, we evaluated 243 germplasm accessions collected from China and abroad, and determined the grain mass fractions of total flavonoid and γ -aminobutyric acid (GABA). The results showed that the total flavonoid mass fraction ranged from 1 360 mg/kg to 5 380 mg/kg, with a mean of 2 670 mg/kg and a coefficient of variation (CV) of 21.35%. The GABA mass fraction ranged from 81.3 mg/kg to 349.2 mg/kg, with a mean of 148.1 mg/kg and a CV of 29.44%. Overall, significant differences in total flavonoid and GABA mass fractions were observed among materials from different origins. In this trial, the foreign accessions showed relatively high levels of both total flavonoid and GABA. Among domestic materials, higher total flavonoid levels were mainly found in accessions from Qinghai and Gansu, whereas higher GABA levels were mainly found in accessions from Xizang and Sichuan. The origin-dependent distribution patterns of these two components were not completely consistent, suggesting that their accumulation is jointly regulated by distinct genetic backgrounds and environmental factors. This study proposes a grading and evaluation framework for total flavonoid and GABA contents, providing a basis for subsequent targeted identification of high-value materials.

Key Words: Highland barley; Total flavonoid; γ -Aminobutyric acid (GABA); Variation; Germplasm resources; Breeding