

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw202211018

王为旋, 田爽琪, 柯瑾, 等, 2024. 26 个金苦荞品系品质性状与农艺性状的遗传变异分析 [J]. 广西植物, 44(2): 291–302.

WANG WX, TIAN SQ, KE J, et al., 2024. Genetic variation analyses of quality and agronomic traits of 26 *Fagopyrum tataricum* lines [J]. Guihaia, 44(2): 291–302.



26 个金苦荞品系品质性状与农艺性状的遗传变异分析

王为旋, 田爽琪, 柯瑾, 张帆, 程远志, 陈小全, 李洪有, 石桃雄, 陈庆富*

(贵州师范大学 荞麦产业技术研究中心, 贵阳 550001)

摘要: 金苦荞是近些年创制的苦荞与金荞麦种间杂交形成的双二倍体杂种半多年生新荞麦种类 (*Fagopyrum tataricum-cymosum*), 为了探讨该荞麦种类的农艺性状和品质性状的遗传规律, 以 26 个高产金苦荞品系为材料, 对其品质性状和农艺性状进行了遗传变异研究、相关性分析和聚类分析。结果表明: (1) 金苦荞品质性状的变异系数大小表现为醇溶蛋白含量>谷蛋白含量>黄酮含量>总蛋白含量>球蛋白含量>清蛋白含量>淀粉含量。(2) 金苦荞农艺性状的变异系数大小表现为主茎分枝数>基部 20 cm 内节数>主茎粗>籽粒面积>千粒重>主茎节数>株高>籽粒长宽比>籽粒宽>籽粒长>果壳率>籽粒周长>籽粒直径。(3) 相关性分析中, 黄酮含量与清蛋白含量呈显著正相关; 醇溶蛋白含量与主茎节数、基部 20 cm 内节数、主茎粗呈显著或极显著正相关, 与千粒重、籽粒面积、周长、宽、直径呈显著或极显著负相关; 淀粉含量与籽粒面积、长、直径呈显著正关系。(4) 聚类分析将 26 个金苦荞品系分为了 3 个类群, 其中类群 I 属于高淀粉、矮秆、多分枝、低果壳率、大长粒型品系, 类群 II 属于高蛋白、高秆、粗壮、粒型偏小的品系, 类群 III 属于高品质、高产、大粒品系。该研究结果为金苦荞的选育提供了理论依据。

关键词: 金苦荞, 品质性状, 农艺性状, 变异分析, 相关性分析, 聚类分析

中图分类号: Q945 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2024)02-0291-12

Genetic variation analyses of quality and agronomic traits of 26 *Fagopyrum tataricum-cymosum* lines

WANG Weixuan, TIAN Shuangqi, KE Jin, ZHANG Fan, CHENG Yuanzhi, CHEN Xiaoquan, LI Hongyou, SHI Taoxiong, CHEN Qingfu*

(Research Center of Buckwheat Industry Technology, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China)

Abstract: *Fagopyrum tataricum-cymosum* is a semi-perennial new buckwheat type developed from the hybridization between *F. tataricum* and *F. cymosum*. To explore the genetic laws of agronomic and quality traits of *F. tataricum-cymosum*,

收稿日期: 2023-01-04

基金项目: 贵州省科技计划项目(黔科合平台人才[2018]5769-17); 国家现代农业产业技术体系荞麦育种岗位科学家专项资金(CARS-07-A5); 国家基金地区基金(31860408)。

第一作者: 王为旋(1996-), 硕士研究生, 研究方向为荞麦属植物遗传育种, (E-mail) wangwx612@163.com。

*通信作者: 陈庆富, 教授, 博士研究生导师, 研究方向为作物遗传育种, (E-mail) cqf1966@163.com。

26 lines of *F. tataricum-cymosum* were selected as materials, and their quality traits and agronomic traits were analyzed by variance analysis, correlation analysis and cluster analysis. The results were as follows: (1) The variation coefficient for quality traits of *F. tataricum-cymosum* was gliadin content > glutenin content > flavonoids content > total protein content > globulin content > albumin content > starch content. (2) The variation coefficient for agronomic traits of *F. tataricum-cymosum* was branch number of main stems > node number within 20 cm of the bases > main stem diameter > grain area > 1 000-grain weight > node number of main stems > plant height > grain length to width ratio > grain width > grain length > shell rate > grain perimeter > grain diameter. (3) In the correlation analysis, the flavonoid content was significantly positively correlated with albumin content; the gliadin content was significantly or extremely significantly positively correlated with the main stems diameter, the node number of main stems, the node number within 20 cm of the bases, and significantly or extremely significantly negatively correlated with the 1 000-grain weight, grain area, grain perimeter, grain width, and grain diameter; the starch content was positively correlated with grain area, grain length and grain diameter. (4) By cluster analysis, 26 *F. tataricum-cymosum* lines were divided into three groups. Group I belonged to high starch, short stem, multi branched, low shell rate, large long grain lines, which could be used as parent material for breeding purposes of high starch and low shell rate; Group II belonged to high protein, high stem, thick, small grain type lines, which could be used as a material for breeding purposes of high protein and strong stress resistance; Group III belonged to high quality, high yield, large grain type lines. The results provide theoretical references for the breeding of *F. tataricum-cymosum*.

Key words: *Fagopyrum tataricum-cymosum*, quality traits, agronomic traits, variation analysis, correlation analysis, cluster analysis

苦荞 (*Fagopyrum tataricum*) 是蓼科 (Polygonaceae) 荞麦属 (*Fagopyrum*) 一年生双子叶植物 (陈庆富, 2012)。苦荞种子中不仅富含芦丁、槲皮素、苣荬草苷等多种黄酮类化合物 (谭玉荣等, 2012), 还拥有大量的各类蛋白质 (杜双奎等, 2004)。因此, 苦荞不仅具有良好的食用营养价值, 还具有降“三高” (周小理等, 2019; 沈灵智等, 2021)、延缓衰老 (贾冬英等, 2012)、提高免疫力、抗癌 (李玉英等, 2014) 以及抗白血病 (高丽等, 2007) 等多个方面的保健作用。此外, 苦荞籽粒中还含有大量淀粉 (张广峰等, 2020)。金荞麦 (*F. cymosum*) 同属蓼科荞麦属, 是一种多年生药用植物, 在我国主要栽培于西南地区 (陈庆富, 2008), 其根茎作为中药材用于治疗多种疾病 (任奎等, 2022)。张以忠和陈庆富 (2011) 研究表明, 栽培苦荞可能起源于同属大粒组的金荞麦, 并且二者可能具有一定的杂交可能。

金苦荞 (*F. tataricum-cymosum*) 原称多年生苦荞, 是 Chen 等 (2018) 以苦荞和金荞麦为亲本进行种间远缘杂交获得的双二倍体新类型荞麦。已育成的金苦荞品系同时具备了双亲的部分优良性状, 相较于常规栽培苦荞, 金苦荞籽粒黄酮及蛋白含量更高 (冉盼等, 2022), 粒大饱满, 抗逆性更强且

具有一定的多年生特性, 可以播种一次, 收获两季 (陈庆富, 2018)。

作物的品质性状和农艺性状是评价其优质与否的关键指标, 通过性状间的相关性对作物进行选育是育种工作中的重要方法之一。康泽然等 (2022) 以 20 份绿豆种子为材料, 发现单株产量与百粒质量、单株荚数呈显著或极显著正相关。杨海棠等 (2022) 对 19 份高油酸花生品种的农艺、产量和品质性状进行了研究, 发现性状多样性丰富且性状间存在一定相关性。徐泽俊等 (2022) 对 202 份大豆种质资源研究, 发现 13 个性状变异丰富, 多数性状间具有极显著相关性。杜晓宇等 (2021) 研究发现 39 份冬小麦品质的 10 个主要性状间均存在不同程度的相关性。李赢等 (2022) 对 9 份裸大麦研究发现, 裸大麦产量与有效穗呈显著正相关, β -葡聚糖含量分别与株高和生育期呈显著和极显著正相关, 与产量呈显著负相关。杨学乐等 (2020) 的研究结果表明, 26 个苦荞种质资源的 7 个性状存在丰富变异, 多数性状与产量具有正相关关系。梁诗涵等 (2020) 研究发现 339 份苦荞种子资源遗传多样性丰富且农艺性状间多具有显著相关性。

目前, 金苦荞的品质性状和农艺性状的遗传变异规律还不清晰, 性状间的相关性研究尚无系

统性展开,限制了金苦荞的选育。因此,为了选育优质金苦荞品系,探明金苦荞的品质性状和农艺性状的表现,以及性状间的相关性,需要对金苦荞的品质及农艺性状进行研究。本研究选取 26 个高产金苦荞品系作为材料,考察其主要农艺性状及品质性状,探究金苦荞主要农艺性状与品质性状相关性,通过聚类分析筛选出性状差异明显的极端系,为后续金苦荞的杂交育种提供理论依据,并为金苦荞的选育提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本研究所选用 26 个金苦荞品系均由贵州师范大学荞麦产业技术研究中心提供,主要由“大苦 1 号 × 红心金荞”和“长黑 4T × 红心金荞”两个杂交组合中选育得到,详见表 1。图 1 为金苦荞部分品系植株和籽粒形态照片。

1.2 试验设计

2022 年 3 月 19 日将 26 个参试金苦荞品系种植于贵州省安顺市西秀区贵州师范大学荞麦产业技术研究中心安顺基地。该地平均海拔 1 370 m, 106°16′ E、26°16′ N,属高原型湿润亚热带季风气候。土壤深厚,土质为黄壤土,中等肥力。每个金苦荞品系播种 3 行,行长 2.0 m,行距 0.33 m,随机区组排列,播种一个月后人工除草,在整个生育期中未喷洒农药,其他条件同常规田间管理。

1.3 测定指标

1.3.1 主要农艺性状 于成熟期对各品系随机选取 12 株进行农艺性状考察,考察内容包括株高、主茎粗、主茎分枝数、主茎节数及基部 20 cm 内节数 5 个性状,考察方法参照《荞麦种质资源描述规范和数据标准》(张宗文和林汝法,2007)。

1.3.2 产量性状 随机选取各品系籽粒 100 粒,使用万深 SC-A 种子自动考种分析并用千粒重仪对籽粒千粒重、长、宽、长宽比、面积、周长及直径 7 个性状进行考察。果壳率测定方法参照崔娅松等(2019)的方法。

1.3.3 籽粒黄酮含量 称取 0.05 g 籽粒粉末于 2 mL 离心管中,加入 1.5 mL 80% 的乙醇,经 70 °C 恒温水浴 5 h,超声振荡提取 10 min,8 000 r · min⁻¹ 离心后,取上清液使用 80% 乙醇定容至 5 mL,混匀后待测。以芦丁为标准对照品,使用酶标仪在 420

nm 处测定吸光度并计算黄酮含量。黄酮提取及测定具体步骤参照王璐媛等(2019)的方法。

1.3.4 籽粒蛋白组分含量 使用顺序提取法提取籽粒蛋白组分,依次提取清蛋白、球蛋白、醇溶蛋白及谷蛋白。称取籽粒粉末 0.500 g 并置于 5 mL 离心管中,加入 0.01 mol · L⁻¹ Tris-HCl (pH = 7.5) 溶液提取清蛋白,超声提取 5 min 后,12 000 r · min⁻¹ 离心 10 min 取上清液,反复提取后,合并上清液并定容至 5 mL 备用。此后,在沉淀中依次使用 0.01 mol · L⁻¹ Tris-HCl (pH = 7.5)、0.5 mol · L⁻¹ NaCl 的混合溶液提取球蛋白;60% 正丙醇溶液提取醇溶蛋白;0.5% 酒石酸钠、0.24% 硫酸铜、1.68% KOH、50% 正丙醇的混合溶液提取谷蛋白,提取步骤同清蛋白。采用考马斯亮蓝 G-250 染色法对籽粒蛋白组分含量进行测定,以牛血清白蛋白 (BSA) 溶液为标准对照品,使用酶标仪在 595 nm 处测定吸光度并计算各蛋白组分含量。籽粒蛋白组分含量具体提取及测定步骤参照张启迪等(2017)的方法。总蛋白含量约等于 4 种蛋白组分之和(汪燕等,2017)。

1.3.5 籽粒淀粉含量 使用 Solarbio 淀粉含量检测试剂盒对籽粒淀粉含量进行测定,具体方法和步骤同试剂盒说明书。

1.4 数据处理

使用 Excel 2019 对变异范围、平均数、标准方差、变异系数等描述性统计量进行分析,使用 SPSS 24.0 进行相关性分析和聚类分析。

2 结果与分析

2.1 金苦荞品系主要品质性状的变异分析

由表 2 可知,26 个参试金苦荞品系的黄酮含量均值为 2.55%,总蛋白含量均值为 8.42%,淀粉含量均值为 60.36%。在蛋白组分中,清蛋白含量 > 谷蛋白含量 > 球蛋白含量 > 醇溶蛋白含量。7 个品质性状表现出了不同层次的变异,变异系数表现为醇溶蛋白含量 > 谷蛋白含量 > 黄酮含量 > 总蛋白含量 > 球蛋白含量 > 清蛋白含量 > 淀粉含量。

2.2 金苦荞品系主要农艺性状的变异分析

由表 3 可知,13 个农艺性状的变异程度各异,变异系数表现为主茎分枝数 > 基部 20 cm 内节数 > 主茎粗 > 籽粒面积 > 千粒重 > 主茎节数 > 株高 > 籽粒长宽比 > 籽粒宽 > 籽粒长 > 果壳率 > 籽粒周长 > 籽粒直径。

表 1 供试品系名称及编号
Table 1 Names and numbers of tested lines

品系编号 Line number	品系名称 Name of the lines	来源 Source	品系编号 Line number	品系名称 Name of the lines	来源 Source
1	金苦 2012-3 Jinku2012-3	大苦 1 号 × 红心金荞 Daku No.1 × Hongxin Jinqiao	14	金苦 2012-2236 Jinku2012-2236	长黑 4T × 红心金荞 Changhei-4T × Hongxin Jinqiao
2	金苦 2012-9 Jinku2012-9	长黑 4T × 红心金荞 Changhei-4T × Hongxin Jinqiao	15	金苦 2012-2237 Jinku2012-2237	长黑 4T × 红心金荞 Changhei-4T × Hongxin Jinqiao
3	金苦 2012-10 Jinku2012-10	长黑 4T × 红心金荞 Changhei-4T × Hongxin Jinqiao	16	金苦 2012-2242 Jinku2012-2242	大苦 1 号 × 红心金荞 Daku No.1 × Hongxin Jinqiao
4	金苦 2012-11 Jinku2012-11	长黑 4T × 红心金荞 Changhei-4T × Hongxin Jinqiao	17	金苦 2012-2247 Jinku2012-2247	长黑 4T × 红心金荞 Changhei-4T × Hongxin Jinqiao
5	金苦 2012-41 Jinku2012-41	长黑 4T × 红心金荞 Changhei-4T × Hongxin Jinqiao	18	金苦 2012-2249 Jinku2012-2249	长黑 4T × 红心金荞 Changhei-4T × Hongxin Jinqiao
6	金苦 2012-44 Jinku2012-44	长黑 4T × 红心金荞 Changhei-4T × Hongxin Jinqiao	19	金苦 2012-2252 Jinku2012-2252	长黑 4T × 红心金荞 Changhei-4T × Hongxin Jinqiao
7	金苦 2012-45 Jinku2012-45	长黑 4T × 红心金荞 Changhei-4T × Hongxin Jinqiao	20	金苦 2012-2257 Jinku2012-2257	长黑 4T × 红心金荞 Changhei-4T × Hongxin Jinqiao
8	金苦 2012-47 Jinku2012-47	长黑 4T × 红心金荞 Changhei-4T × Hongxin Jinqiao	21	金苦 2012-2261 Jinku2012-2261	大苦 1 号 × 红心金荞 Daku No.1 × Hongxin Jinqiao
9	金苦 2012-48 Jinku2012-48	大苦 1 号 × 红心金荞 Daku No.1 × Hongxin Jinqiao	22	金苦 2012-2264 Jinku2012-2264	大苦 1 号 × 红心金荞 Daku No.1 × Hongxin Jinqiao
10	金苦 2012-50 Jinku2012-50	长黑 4T × 红心金荞 Changhei-4T × Hongxin Jinqiao	23	金苦 2012-2269 Jinku2012-2269	长黑 4T × 红心金荞 Changhei-4T × Hongxin Jinqiao
11	金苦 2012-53 Jinku2012-53	大苦 1 号 × 红心金荞 Daku No.1 × Hongxin Jinqiao	24	金苦 2012-2284 Jinku2012-2284	长黑 4T × 红心金荞 Changhei-4T × Hongxin Jinqiao
12	金苦 2012-62 Jinku2012-62	大苦 1 号 × 红心金荞 Daku No.1 × Hongxin Jinqiao	25	金苦 2012-2285 Jinku2012-2285	长黑 4T × 红心金荞 Changhei-4T × Hongxin Jinqiao
13	金苦 2012-2167 Jinku2012-2167	长黑 4T × 红心金荞 Changhei-4T × Hongxin Jinqiao	26	金苦 2012-2287 Jinku2012-2287	长黑 4T × 红心金荞 Changhei-4T × Hongxin Jinqiao

2.3 金苦荞品系各性状间的相关性分析

金苦荞品系各性状 Pearson 相关性系数见表 4。供试金苦荞品系的部分性状间呈显著或极显著正相关或负相关。品质性状间及品质性状与农艺性状间彼此相互影响。例如,黄酮含量与清蛋白含量呈显著正相关;醇溶蛋白含量与主茎节数、基部 20 cm 内节数、主茎粗呈显著或极显著正相关,与千粒重、籽粒面积、周长、宽、直径呈显著或极显著负相关;淀粉含量与籽粒面积、长、直径呈显著正关系等。根据表型间的相互关系,可为选育具有高品质、高产等特性的金苦荞品系提供帮助。

2.4 金苦荞品系主要品质性状与农艺性状的聚类分析

基于 7 个品质性状和 13 个农艺性状对 26 个金苦荞品系进行聚类分析,当欧氏距离为 13.5 时,26 个金苦荞品系被分为了 3 个类群(图 2)。各类群主要性状特征见表 5。

类群 I 包含 5 个品系,编号为 2、3、4、8 和 19。与其他类群相比,该类群品质性状整体表现为偏低,但淀粉含量较高;农艺性状表现为株型较矮,茎秆粗细适中,主茎节数最多,分枝最多,果壳率最低,千粒重中等,籽粒长宽比最大,籽粒较长,籽



A. 金苦 2012-9 植株；B. 金苦 2012-11 植株；C. 金苦 2012-2257 植株；D. 金苦 2012-9 籽粒；E. 金苦 2012-11 籽粒；F. 金苦 2012-2257 籽粒。
A. Jinku2012-9 plant；B. Jinku2012-11 plant；C. Jinku2012-2257 plant；D. Jinku2012-9 grains；E. Jinku2012-11 grains；F. Jinku2012-2257 grains.

图 1 部分金苦荞品系植株及籽粒形态

Fig. 1 Plant and grain morphology of some *Fagopyrum tataricum* lines

表 2 26 份金苦荞品系主要品质性状的变异情况

Table 2 Variation of main quality traits in 26 *Fagopyrum tataricum* lines

性状 Trait	变异范围 Variation range (%)	平均值 Average (%)	标准差 Standard deviation (%)	变异系数 Variation coefficient (%)	最小值品系 编号 Min. line number	最大值品系 编号 Max. line number
黄酮含量 Flavonoids content	2.11~3.74	2.55	0.36	14.00	10	21
总蛋白含量 Total protein content	6.65~9.86	8.42	0.81	9.64	4	17
清蛋白含量 Albumin content	3.69~5.23	4.41	0.40	9.00	4	20
球蛋白含量 Globulin content	0.63~1.03	0.84	0.08	9.50	21	15
醇溶蛋白含量 Gliadin content	0.20~0.59	0.41	0.10	24.50	1	20
谷蛋白含量 Glutenin content	1.60~3.88	2.83	0.52	18.36	3	17
淀粉含量 Starch content	50.56~70.85	60.36	5.19	8.59	23	5

粒宽和籽粒直径数值最小。该类群整体属于高淀粉、矮秆、多分枝、低果壳率、大长粒型品系，可作为以高淀粉、低果壳率为育种目的的亲本材料。

类群Ⅱ包含 15 个品系，编号为 6、7、10、11、

12、13、14、15、17、18、20、22、23、24 和 25。该类群黄酮含量和清蛋白含量在各类群中表现适中，总蛋白含量、球蛋白含量、醇溶蛋白含量和谷蛋白含量均为 3 个类群中最高，淀粉含量较低；农艺性状

表 3 26 份金苦荞品系主要农艺性状的变异情况
Table 3 Variation of main agronomic traits in 26 *Fagopyrum tataricum* lines

性状 Trait	变异范围 Variation range	平均值 Average	标准差 Standard deviation	变异系数 Variation coefficient (%)	最小值品系 编号 Min. line number	最大值品系 编号 Max. line number
株高 Plant height (cm)	134.30~198.20	167.58	14.54	8.68	8	11
主茎粗 Main stem diameter (mm)	7.77~11.56	9.61	1.05	10.94	1	12
主茎分枝数 Branch number of main stems	3.89~9.33	6.87	1.26	18.41	1	10
主茎节数 Node number of main stems	12.11~18.55	14.98	1.41	9.42	1	20
基部 20 cm 内节数 Node number within 20 cm of the bases	3.40~5.83	4.21	0.72	17.13	7、19	20
果壳率 Shell rate (%)	25.74~31.96	28.38	1.66	5.85	10	24
千粒重 1 000-grain weight (g)	22.65~35.21	28.38	2.73	9.60	20	1
籽粒面积 Grain area (mm ²)	13.18~20.72	16.02	1.74	10.85	20	5
籽粒周长 Grain perimeter (mm)	14.61~18.74	16.12	0.94	5.84	24	5
籽粒长宽比 Grain length to width ratio	1.16~1.59	1.38	0.10	7.35	1	20
籽粒长 Grain length (mm)	4.93~6.45	5.61	0.34	5.99	22	5
籽粒宽 Grain width (mm)	3.52~4.65	4.09	0.27	6.58	20	1
籽粒直径 Grain diameter (mm)	4.09~5.10	4.49	0.24	5.35	20	5

表现为株高最高,主茎最粗,主茎分枝、节数较多,果壳率最高,千粒重最低,籽粒面积、周长、直径、籽粒长、宽以及长宽比数值均中等偏小。该类群整体属于高蛋白、高秆、粗壮、粒型偏小的品系,可作为以高蛋白、抗逆性强为育种目的的材料。

类群Ⅲ包含 6 个品系,编号为 1、5、9、16、21 和 26。该类群黄酮含量、清蛋白含量和淀粉含量均为 3 个类群中的最高水平,除醇溶蛋白含量偏低外,总蛋白含量、球蛋白含量和谷蛋白含量均表现出较高水平;农艺性状表现为株高中等,主茎较细,分枝、节数较少,果壳率适中,千粒重最重,籽粒面积、周长、直径、长、宽及长宽比反映出粒型为 3 个类群中最大。该类群整体属于高品质、高产、大粒品系,可作为高品质、高产育种材料并可作为优质品系进行推广。

3 讨论与结论

结合前人研究(赵鑫等,2018;吕丹,2020;石桃雄等,2021),本研究发现金苦荞种子在黄酮和蛋白含量上远高于常规苦荞,这一现象可能是由于其父本为金荞麦所导致,金荞麦作为中草药富含黄酮及蛋白质,金苦荞继承了父本的高黄酮和高蛋白基因,从而使金苦荞在黄酮含量和蛋白含量上优于常规苦荞,意味着金苦荞相较于常规苦荞具有更高的营养价值和保健功能。此外,与前人基于常规苦荞的研究(李春花等,2021;李晓瑜等,2022)不同,本研究中金苦荞在株高、主茎分枝数、主茎粗均高于常规苦荞,说明金苦荞拥有比常规苦荞更加粗壮的株型,在抗倒伏、抗逆境方面拥有更加强大的体型支持;通过对籽粒长、宽、面积、

表 4 金苦荞主要品质性状与农艺性状的相关性

Table 4 Correlation between main quality traits and agronomic traits of *Fagopyrum tataricum*

性状 Trait	FC	TP	ALB	GLO	GLI	GLU	SC	PH	MD	BN	NN	20 cm NN	SR	1 000 GW	GA	GP	L/W	GL	GW	GD
FC	1.000																			
TP	0.202	1.000																		
ALB	0.421 *	0.796 **	1.000																	
GLO	-0.320	0.383	0.150	1.000																
GLI	0.004	0.417 *	0.206	0.341	1.000															
GLU	0.053	0.819 **	0.464 *	0.443 *	0.258	1.000														
SC	-0.050	-0.364	-0.194	-0.054	-0.267	-0.307	1.000													
PH	-0.099	0.145	0.113	0.017	-0.136	0.104	0.003	1.000												
MD	-0.024	0.173	0.193	0.303	0.501 **	-0.038	-0.081	0.392 *	1.000											
BN	-0.404 *	-0.019	-0.001	0.143	0.308	-0.128	-0.196	0.209	0.643 **	1.000										
NN	-0.049	0.149	0.271	0.097	0.440 *	-0.110	-0.277	0.197	0.579 **	0.692 **	1.000									
20 cm NN	0.293	0.136	0.195	-0.048	0.396 *	0.067	0.001	-0.389 *	0.001	-0.026	0.379	1.000								
SR	0.043	0.217	0.131	0.254	0.094	0.241	-0.231	-0.094	0.026	-0.086	0.129	0.217	1.000							
1 000 GW	0.159	-0.146	0.026	-0.083	-0.474 *	-0.066	0.337	0.300	-0.161	-0.267	-0.307	-0.176	0.135	1.000						
GA	0.266	-0.017	0.209	-0.005	-0.519 **	0.049	0.425 *	0.285	0.036	-0.144	-0.283	-0.244	-0.067	0.731 **	1.000					
GP	0.345	0.016	0.276	-0.013	-0.499 **	0.026	0.381	0.161	0.031	-0.142	-0.262	-0.233	-0.050	0.656 **	0.978 **	1.000				
L/W	-0.017	-0.206	-0.065	0.069	0.230	-0.326	0.078	-0.372	0.258	0.376	0.394 *	0.128	-0.085	-0.565 **	-0.211	-0.085	1.000			
GL	0.231	-0.175	0.105	0.038	-0.294	-0.174	0.439 *	-0.097	0.148	0.129	-0.021	-0.117	-0.130	0.244	0.717 **	0.795 **	0.513 **	1.000		
GW	0.242	0.084	0.204	-0.046	-0.519 **	0.194	0.294	0.311	-0.160	-0.323	-0.445 *	-0.234	-0.027	0.838 **	0.874 **	0.810 **	-0.643 **	0.324	1.000	
GD	0.263	-0.009	0.211	-0.006	-0.507 **	0.059	0.444 *	0.267	0.018	-0.154	-0.306	-0.239	-0.102	0.718 **	0.997 **	0.974 **	-0.226	0.710 **	0.884 **	1.000

注: * 表示在 0.05 水平上显著相关; ** 表示在 0.01 水平上极显著相关。FC. 黄酮含量; TP. 总蛋白含量; ALB. 清蛋白含量; GLO. 球蛋白含量; GLI. 醇溶蛋白含量; GLU. 谷蛋白含量; SC. 淀粉含量; PH. 株高; MD. 主茎粗; BN. 主茎分枝数; NN. 主茎节数; 20 cm NN. 基部 20 cm 内节数; SR. 果壳率; 1 000 GW. 千粒重; GA. 籽粒面积; GP. 籽粒周长; L/W. 籽粒长宽比; GL. 籽粒长; GW. 籽粒宽; GD. 籽粒直径。

Note: * means significant correlation at 0.05 level; ** means extremely significant correlation at 0.01 level. FC. Flavone content; TP. Total protein content; ALB. Albumin content; GLO. Globulin content; GLI. Gliadin content; GLU. Glutenin content; SC. Starch content; PH. Plant height; MD. Main stem diameter; BN. Branch number of main stems; NN. Node number of main stems; 20 cm NN. Node number within 20 cm of the bases; SR. Shell rate; 1 000 GW. 1000-grain weight; GA. Grain area; GP. Grain perimeter; L/W. Grain length to width ratio; GL. Grain length; GW. Grain width; GD. Grain diameter.

直径的对比,发现金苦荞的籽粒相较于常规苦荞更大。千粒重是苦荞产量的重要影响因素之一(贾瑞玲等,2021),本研究中金苦荞千粒重远高于常规苦荞。造成上述农艺性状差异的原因可能是金苦荞拥有与常规苦荞完全不同的遗传背景影响了其性状表现,通过远缘杂交得到的金苦荞,部分性状出现了超亲现象(杨丽娟等,2019)且稳定遗传并被选育出来,从而使得金苦荞的这些性状优于常规苦荞。综上所述,金苦荞在黄酮含量、蛋白含量、株型、粒型及产量上明显优于常规苦荞,预示着金苦荞育种将逐渐成为荞麦遗传育种中的重要方向之一,在未来的育种工作中可以将这些性状作为金苦荞的优势性状,定向选育高黄酮、高蛋白、株型好、籽粒大且饱满、产量高的品系,使金苦荞在荞麦的选育和生产应用中更加具有优势。

相关性结果表明,金苦荞各性状间相互相关,

推测可能是控制金苦荞相关性状的基因存在连锁现象。黄酮含量与各类蛋白组分之间多呈正相关,通常黄酮含量较高时,各类蛋白含量通常也处于一个较高水平,在选育高黄酮和高蛋白含量的金苦荞品系的工作中,可将其作为一个整体进行推进。目前,金苦荞品系的品质性状需要通过后期的测定才能确定,本研究中得到了一些品质性状与农艺性状的相关性,可在田间通过对农艺性状的观察初步选择一些品质性状较好的品系,在很大程度上提高了选育高品质品系的效率。

通过对 26 个金苦荞品系进行聚类分析,得到的 3 个类群,类群 I 可作为以高淀粉、低果壳率为育种目的的亲本材料,类群 II 可作为以高蛋白、抗逆性强为育种目的的材料,类群 III 可作为高品质、高产育种材料并可作为优质品系进行推广。此外,结合品质性状与农艺性状的变异分析,发现品

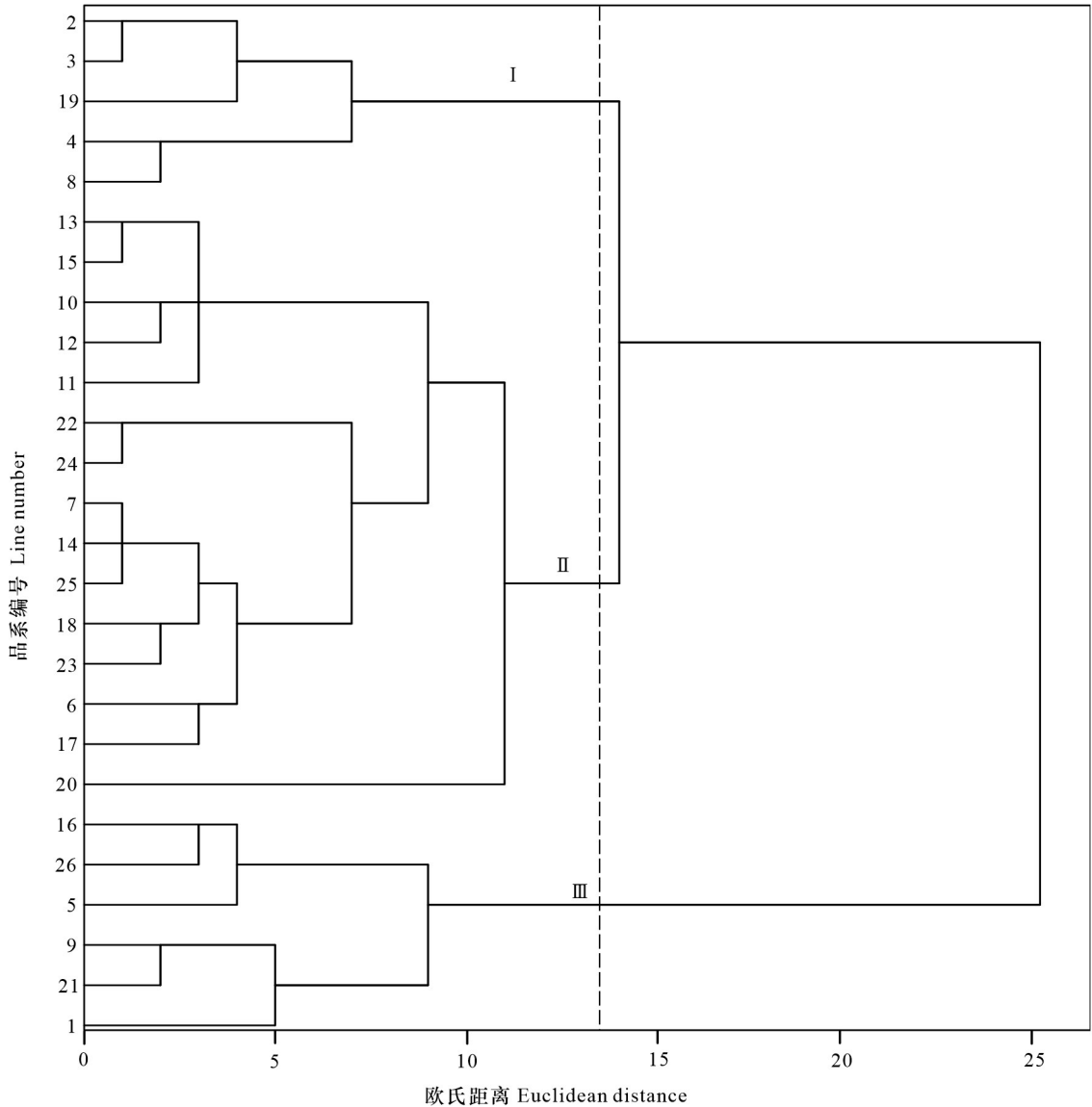


图 2 26 个金苦荞品系的聚类分析图

Fig. 2 Cluster analysis of 26 *Fagopyrum tataricum* lines

系 1(金苦 2012-3)和品系 20(金苦 2012-2257)在多个性状中表现极端,可作为极端品系用于金苦荞间的杂交育种。

本研究表明,不同品系金苦荞的品质性状和农艺性状的多样性丰富,在 20 个性状中均具有明显变异,不同品系具有不同特性,变异系数越大越容易选出极端品系(郑冉等,2020),可据此定向选育高品质、高抗性、高产等特性的金苦荞品系。金苦荞是由苦荞和金荞麦进行远缘杂交得到的新类型荞麦,其具有双亲的基因,苦荞与金荞麦基因组差异明显(He et al.,2022),从而导致了金苦荞不同品系

在选育过程中性状产生了较大的差异。因此,未来可对金苦荞进行分子标记研究,寻找与各性状相关联的分子标记,以便进行分子标记辅助育种。

参考文献:

CHEN QF, 2008. 100 questions about buckwheat production [M]. Guiyang: Guizhou Ethnic Press: 8-9. [陈庆富, 2008. 荞麦生产 100 问 [M]. 贵阳: 贵州民族出版社: 8-9.]

CHEN QF, 2012. Plant sciences on genus *Fagopyrum* [M].

表 5 金苦荞各类群的主要性状特征

Table 5 Main characters of different groups of *Fagopyrum tataricum*

性状 Trait		类群 Group		
		I	II	III
黄酮含量 Flavonoid content (%)	平均值 Average	2.35	2.49	2.88
	标准差 SD	0.13	0.26	0.47
	变异系数 CV (%)	5.66	10.42	16.16
总蛋白含量 Total protein content (%)	平均值 Average	7.21	8.78	8.52
	标准差 SD	0.47	0.58	0.53
	变异系数 CV (%)	6.56	6.58	6.18
清蛋白含量 Albumin content (%)	平均值 Average	3.98	4.45	4.66
	标准差 SD	0.16	0.39	0.25
	变异系数 CV (%)	4.10	8.69	5.40
球蛋白含量 Globulin content (%)	平均值 Average	0.77	0.86	0.82
	标准差 SD	0.04	0.06	0.11
	变异系数 CV (%)	4.85	7.05	12.75
醇溶蛋白含量 Gliadin content (%)	平均值 Average	0.34	0.46	0.33
	标准差 SD	0.09	0.07	0.09
	变异系数 CV (%)	26.39	15.26	27.23
谷蛋白含量 Gluten content (%)	平均值 Average	2.13	3.02	2.92
	标准差 SD	0.42	0.34	0.48
	变异系数 CV (%)	19.61	11.14	16.37
淀粉含量 Starch content (%)	平均值 Average	62.47	58.49	63.25
	标准差 SD	6.11	4.11	4.73
	变异系数 CV (%)	9.78	7.03	7.48
株高 Plant height (cm)	平均值 Average	159.94	170.52	166.62
	标准差 SD	16.69	14.92	7.54
	变异系数 CV (%)	10.44	8.75	4.52
主茎粗 Main stem diameter (mm)	平均值 Average	9.30	9.91	9.14
	标准差 SD	0.91	1.01	1.02
	变异系数 CV (%)	9.74	10.21	11.11
主茎分枝数 Branch number of main stems	平均值 Average	7.52	7.08	5.80
	标准差 SD	0.97	0.97	1.48
	变异系数 CV (%)	12.93	13.71	25.51
主茎节数 Node number of main stems	平均值 Average	15.38	15.22	14.03
	标准差 SD	1.26	1.21	1.57
	变异系数 CV (%)	8.21	7.93	11.21
基部 20 cm 内节数 Node number within 20 cm of the bases	平均值 Average	4.44	4.09	4.31
	标准差 SD	0.89	0.65	0.66
	变异系数 CV (%)	20.07	15.97	15.36
果壳率 Shell rate (%)	平均值 Average	28.04	28.33	28.80

续表 5

性状 Trait		类群 Group		
		I	II	III
千粒重 1 000-grain weight (g)	标准差 SD	1.06	1.84	1.51
	变异系数 CV (%)	3.77	6.50	5.23
	平均值 Average	27.71	27.16	32.00
籽粒面积 Grain area (mm ²)	标准差 SD	1.49	2.06	1.57
	变异系数 CV (%)	5.36	7.60	4.92
	平均值 Average	15.22	15.25	18.58
籽粒周长 Grain perimeter (mm)	标准差 SD	1.01	1.05	0.96
	变异系数 CV (%)	6.66	6.85	5.17
	平均值 Average	15.71	15.70	17.53
籽粒长宽比 Grain length to width ratio	标准差 SD	0.52	0.54	0.58
	变异系数 CV (%)	3.32	3.44	3.31
	平均值 Average	1.47	1.38	1.33
籽粒长 Grain length (mm)	标准差 SD	0.02	0.10	0.09
	变异系数 CV (%)	1.46	7.52	6.79
	平均值 Average	5.68	5.46	5.92
籽粒宽 Grain width (mm)	标准差 SD	0.16	0.29	0.33
	变异系数 CV (%)	2.81	5.30	5.52
	平均值 Average	3.89	4.00	4.49
籽粒直径 Grain diameter (mm)	标准差 SD	0.13	0.17	0.10
	变异系数 CV (%)	3.25	4.30	2.22
	平均值 Average	4.37	4.39	4.84
	标准差 SD	0.14	0.15	0.12
	变异系数 CV (%)	3.29	3.41	2.45

Beijing: Science Press: 1-10. [陈庆富, 2012.荞麦属植物科学 [M]. 北京: 科学出版社: 1-10.]

CHEN QF, 2018. The status of buckwheat production and recent progresses of breeding on new type of cultivated buckwheat [J]. J Guizhou Norm Univ (Nat Sci Ed), 36(3): 1-7. [陈庆富, 2018. 荞麦生产状况及新类型栽培荞麦育种研究的最新进展 [J]. 贵州师范大学学报(自然科学版), 36(3): 1-7.]

CHEN QF, HUANG XY, LI HY, et al., 2018. Recent progress in perennial buckwheat development [J]. Sustainability, 10(2): 1-17.

CUI YS, WANG Y, YANG LJ, et al., 2019. Genetic analysis of fruit hull rate and related traits on tartary buckwheat [J]. Crops, 35(2): 51-60. [崔娅松, 王艳, 杨丽娟, 等, 2019. 米苦荞果壳率及其相关性状的遗传研究 [J]. 作物杂志, 35(2): 51-60.]

DU SK, LI ZX, YU XZ, 2004. Research progress on buckwheat protein [J]. Food Sci, 25(10): 409-414. [杜双奎, 李志西, 于修焯, 2004. 荞麦蛋白研究进展 [J]. 食品科学, 25(10): 409-414.]

DU XY, LI NN, ZHOU SK, et al., 2021. Comprehensive analysis of main traits of newly bred wheat varieties (lines) in the southern Huang-Huai region [J]. Crops, 37(4): 38-45. [杜晓宇, 李楠楠, 邹少奎, 等, 2021. 淮南片新育成小麦品种(系)主要性状的综合性分析 [J]. 作物杂志, 37(4): 38-45.]

GAO L, LI YY, ZHANG Z, et al., 2007. Apoptosis of HL-60 cells induced by recombinant common buckwheat tryps in inhibitor [J]. J Exp Hematol, 65(1): 59-62. [高丽, 李玉英, 张政, 等, 2007. 重组荞麦胰蛋白酶抑制剂对 HL-60 细胞的促凋亡作用 [J]. 中国实验血液学杂志, 65(1): 59-62.]

- HE M, HE YQ, ZHANG KX, et al., 2022. Comparison of buckwheat genomes reveals the genetic basis of metabolomic divergence and ecotype differentiation [J]. *New Phytologist*, 235(5): 1927–1943.
- JIA DY, YAO K, ZHANG HJ, 2012. Research progress on nutrition and functional components of tartary buckwheat [J]. *Cereal Feed Ind*, 12(5): 25–27. [贾冬英, 姚开, 张海均, 2012. 苦荞麦的营养与功能成分研究进展 [J]. *粮食与饲料工业*, 12(5): 25–27.]
- JIA RL, ZHAO XQ, NAN M, et al., 2021. Analysis and comprehensive evaluation of genetic diversity of agronomic traits in 64 tartary buckwheat germplasm resources [J]. *Crops*, 37(3): 19–27. [贾瑞玲, 赵小琴, 南铭, 等, 2021. 64 份苦荞种质资源农艺性状遗传多样性分析与综合评价 [J]. *作物杂志*, 37(3): 19–27.]
- KANG ZR, WANG XL, WEI YS, et al., 2022. Genetic diversity analysis and comprehensive evaluation of agronomic traits of mung bean germplasm resources [J]. *Jiangsu Agric Sci*, 50(21): 36–41. [康泽然, 王晓磊, 魏云山, 等, 2022. 绿豆种质资源主要农艺性状、经济性性状遗传多样性分析及综合评价 [J]. *江苏农业科学*, 50(21): 36–41.]
- LI CH, JIAYANG DL, CHEN RK, et al., 2021. Evaluation and selection of tartary buckwheat germplasm resources based on agronomic traits [J]. *Agric Res Arid Areas*, 39(6): 19–27. [李春花, 加央多拉, 陈蕤坤, 等, 2021. 苦荞种质资源性状评价及优异资源筛选 [J]. *干旱地区农业研究*, 39(6): 19–27.]
- LI XY, FANG XM, WU HT, et al., 2022. Association analysis of agronomic traits of tartary buckwheat germplasm resources with SSR markers [J]. *Acta Agr Sin*, 48(12): 3091–3107. [李晓瑜, 方小梅, 伍浩天, 等, 2022. 苦荞种质资源主要农艺性状 SSR 标记关联分析 [J]. *作物学报*, 48(12): 3091–3107.]
- LI Y, LIU HC, SHI XX, et al., 2022. Analysis of agronomic characters and nutritional quality of naked barley varieties in Jiangsu [J]. *Mol Plant Breed*, 20(9): 3044–3052. [李赢, 刘海翠, 石晓旭, 等, 2022. 江苏裸大麦品种农艺及营养品质性状分析 [J]. *分子植物育种*, 20(9): 3044–3052.]
- LI YY, ZHAO SJ, BAI CZ, et al., 2014. Effect of isoquercetin from *Fagopyrum tataricum* on the proliferation and apoptosis of human gastric carcinoma cell line SGC-7901 [J]. *Food Sci*, 35(3): 193–197. [李玉英, 赵淑娟, 白崇智, 等, 2014. 苦荞异槲皮苷对人胃癌细胞 SGC-7901 增殖及凋亡的影响 [J]. *食品科学*, 35(3): 193–197.]
- LIANG SH, LI J, ZHOU D, et al., 2020. Genetic diversity analysis on the morphological traits of tartary buckwheat germplasm from major production regions of China [J]. *Mol Plant Breed*, 18(21): 7254–7266. [梁诗涵, 李境, 周达, 等, 2020. 中国苦荞主产区苦荞种质形态性状的遗传多样性分析 [J]. *分子植物育种*, 18(21): 7254–7266.]
- LÜ D, 2020. Association analysis of yield traits and flavonoids content in grains with SSR markers in tartary buckwheat germplasms [D]. Guiyang: Guizhou Normal University: 1–43. [吕丹, 2020. 苦荞种质资源产量性状和籽粒黄酮含量与 SSR 标记的关联分析 [D]. 贵阳: 贵州师范大学: 1–43.]
- RAN P, YANG LJ, CUI YS, et al., 2022. Analysis of total flavonoids, crude protein and its components in different lines of common buckwheat, rice tartary buckwheat and golden tartary buckwheat [J]. *Guihaia*, 42(5): 874–885. [冉盼, 杨丽娟, 崔娅松, 等, 2022. 自交可育甜荞、金苦荞、米苦荞不同品系总黄酮、粗蛋白及其蛋白组分含量研究 [J]. *广西植物*, 42(5): 874–885.]
- REN K, SHEN LH, TANG Y, et al., 2022. Survey and collection of wild *Fagopyrum cymosum* (Trevir.) Meisn. germplasm resources in China [J]. *J Plant Genet Resour*, 23(4): 964–971. [任奎, 沈伦豪, 唐宇, 等, 2022. 中国野生金荞麦种质资源的调查与收集 [J]. *植物遗传资源学报*, 23(4): 964–971.]
- SHI TX, ZHENG JQ, LI RY, et al., 2021. Variation analysis on protein and its components contents of seeds of tartary buckwheat germplasms [J]. *J Henan Agric Sci*, 50(9): 25–35. [石桃雄, 郑俊青, 黎瑞源, 等, 2021. 苦荞种质资源种子蛋白质及组分含量的变异分析 [J]. *河南农业科学*, 50(9): 25–35.]
- SHEN LZ, SHENG YH, LU QF, et al., 2021. Progress in functional research and food development of tartary buckwheat [J]. *Food Res Dev*, 42(19): 192–199. [沈灵智, 盛宇华, 鲁清峰, 等, 2021. 苦荞功能性及食品开发研究进展 [J]. *食品研究与开发*, 42(19): 192–199.]
- TAN YR, TAO BB, GUAN YF, et al., 2012. Research status and prospect of flavonoids from tartary buckwheat [J]. *Sci Technol Food Ind*, 33(18): 377–381. [谭玉荣, 陶兵兵, 关郁芳, 等, 2012. 苦荞类黄酮的研究现状及展望 [J]. *食品工业科技*, 33(18): 377–381.]
- WANG LY, RONG YP, HUANG J, et al., 2019. Analysis and evaluation of the flavonoid content of rhizomes of 211 different golden buckwheat accessions (*Fagopyrum cymosum* complex) [J]. *J Guizhou Norm Univ (Nat Sci Ed)*, 37(4): 25–30. [王璐媛, 荣玉萍, 黄娟, 等, 2019. 211 份金荞麦收集系根茎黄酮含量的分析评价 [J]. *贵州师范大学学报(自然科学版)*, 37(4): 25–30.]
- WANG Y, LIANG CG, SUN YH, et al., 2017. The yield and quality of tartary buckwheat varieties and the response to low

- nitrogen [J]. J Guizhou Norm Univ (Nat Sci Ed), 35(6): 66-73. [汪燕, 梁成刚, 孙艳红, 等, 2017. 不同苦荞品种的产量与品质及其对低氮的响应 [J]. 贵州师范大学学报 (自然科学版), 35(6): 66-73.]
- XU ZJ, QI YJ, XING XH, et al., 2022. Analysis and evaluation of agronomic and quality traits in soybean germplasms from Huang-Huai-Hai region [J]. J Plant Genet Resour, 23(2): 468-480. [徐泽俊, 齐玉军, 邢兴华, 等, 2022. 黄淮海大豆种质农艺与品质性状分析及综合评价 [J]. 植物遗传资源学报, 23(2): 468-480.]
- YANG HT, HU YL, LI P, et al., 2022. Genetic diversity and stability analysis of agronomic traits, yield and quality traits of 19 peanut cultivars with high oleic acid [J]. Jiangsu Agric Sci, 50(18): 92-99. [杨海棠, 胡延岭, 李盼, 等, 2022. 19 份高油酸花生品种的农艺、产量和品质性状的遗传多样性及稳定性分析 [J]. 江苏农业科学, 50(18): 92-99.]
- YANG LJ, RAO QL, LI HY, et al., 2019. Identification of perennial interspecific hybrids on genus *Fagopyrum* [J]. J Plant Genet Resour, 20(2): 387-395. [杨丽娟, 饶庆琳, 李洪有, 等, 2022. 荞麦属植物多年生种间杂种的鉴定 [J]. 植物遗传资源学报, 20(2): 387-395.]
- YANG XL, ZHANG L, LI ZQ, et al., 2020. Genetic analysis of tartary buckwheat germplasms based on phenotypic traits [J]. Crops, 36(5): 53-58. [杨学乐, 张璐, 李志清, 等, 2020. 苦荞种质资源表型性状的遗传多样性分析 [J]. 作物杂志, 36(5): 53-58.]
- ZHANG GF, CHEN XM, HAN YL, et al., 2020. Analysis of economic traits and quality of 31 identified buckwheat varieties in China [J]. Seed, 39(5): 85-87. [张广峰, 陈喜明, 韩云丽, 等, 2020. 31 个荞麦品种的经济性状及品质分析 [J]. 种子, 39(5): 85-87.]
- ZHANG QD, DENG J, LIANG CG, et al., 2017. Analysis of protein components in different cultivars of common buckwheat planted in different altitude areas [J]. Guihaia, 37(4): 524-532. [张启迪, 邓娇, 梁成刚, 等, 2017. 甜荞不同品种不同海拔地区种子蛋白组分含量研究 [J]. 广西植物, 37(4): 524-532.]
- ZHANG YZ, CHEN QF, 2011. Esterase isozyme on sprouting seeds of genus *Fagopyrum* [J]. Guihaia, 31(2): 233-238. [张以忠, 陈庆富, 2011. 荞麦属种质资源发芽种子酯酶同工酶研究 [J]. 广西植物, 31(2): 233-238.]
- ZHANG ZW, LIN RF, 2007. Describing and data standard of buckwheat germplasm resources [M]. Beijing: China Agriculture Press: 1-6. [张宗文, 林汝法, 2007. 荞麦种质资源描述规范和数据标准 [M]. 北京: 中国农业出版社: 1-6.]
- ZHAO X, CHEN SF, WANG H, et al., 2018. Study on yield and quality of different tartary buckwheat varieties in northern Shanxi [J]. Crops, 34(5): 27-32. [赵鑫, 陈少锋, 王慧, 等, 2018. 晋北地区不同苦荞品种产量和品质研究 [J]. 作物杂志, 34(5): 27-32.]
- ZHENG R, LI RY, LÜ D, et al., 2020. Genetic variation analysis of seed traits in recombinant inbred lines population of tartary buckwheat [J]. J Anhui Agric Univ, 47(5): 818-825. [郑冉, 黎瑞源, 吕丹, 等, 2020. 苦荞重组自交系群体籽粒性状遗传变异分析 [J]. 安徽农业大学学报, 47(5): 818-825.]
- ZHOU XL, ZHANG H, ZHOU YM, et al., 2019. Metabonomic study of the intervention effect of tartary buckwheat protein on hyperlipidemic mice [J]. Food Sci, 40(5): 149-155. [周小理, 张欢, 周一鸣, 等, 2019. 基于代谢组学研究苦荞蛋白对高脂血症小鼠的干预作用 [J]. 食品科学, 40(5): 149-155.]

(责任编辑 李 莉)