

苦荞地方资源子实主要性状的遗传变异研究

李月, 石桃雄, 顾亮亮, 贺小平, 徐文艳, 金华, 陈庆富

(贵州师范大学生命科学学院植物遗传育种研究所/荞麦产业技术研究中心, 贵阳 550001)

摘要:对我国苦荞主产区 171 份苦荞地方资源子实的千粒重、百粒米重、百粒皮壳重、皮壳率、子粒及皮壳黄酮含量进行了测定, 运用频数分布、相关性和聚类分析, 考察其遗传变异情况。结果表明, 千粒重、百粒米重、百粒皮壳重、皮壳率、子粒及皮壳黄酮含量变异范围较大, 分别为 21.73 ~ 42.13 g、0.974 ~ 2.606 g、0.468 ~ 1.363 g、17.594% ~ 38.017%、1.008% ~ 4.368% 和 0.002% ~ 0.986%, 均值分别为 29.43 g、1.988 g、0.729 g、24.702%、2.019% 和 0.144%。相关分析表明, 苦荞千粒重与百粒米重($r_{12} = 0.579^{**}$, $r_{12 \cdot \text{其他}} = 0.315^{**}$)、百粒皮壳重($r_{13} = 0.746^{**}$, $r_{13 \cdot \text{其他}} = 0.989^{**}$)、皮壳率($r_{14} = 0.216^{**}$, $r_{14 \cdot \text{其他}} = -0.980^{**}$)之间, 百粒皮壳重与皮壳率($r_{34} = 0.807^{**}$, $r_{34 \cdot \text{其他}} = 0.993^{**}$)之间, 分别呈极显著相关; 百粒米重与百粒皮壳重($r_{23} = 0.521^{**}$)、皮壳率($r_{24} = 0.247^{**}$)之间, 皮壳率与皮壳黄酮含量($r_{46} = 0.187^{*}$)之间, 分别呈显著相关。聚类分析表明, 171 份苦荞地方资源聚为 5 类, 6 个性状聚为 3 类。筛选出了千粒重、子粒和皮壳黄酮含量较高的苦荞地方资源。以上结果可为苦荞遗传研究与育种亲本选配提供参考。

关键词:苦荞; 子实性状; 黄酮含量; 皮壳率

Genetic Variation on Grain Main Traits of Tartary Buckwheat (*Fagopyrum tataricum* Gaertn.) Landraces in China

LI Yue, SHI Tao-xiong, GU Liang-liang, HE Xiao-ping, XU Wen-yan, JIN Hua, CHEN Qing-fu

(Research Center of Buckwheat Industry Technology/ Institute of Plant Genetics and Breeding,
School of Life Science, Guizhou Normal University, Guiyang 550001)

Abstract: Thousand fruit weight, the kernel weight of 100 grains, the shell weight of 100 grains, rate of shell, the flavonoid contents of kernel, and shell of 171 tartary buckwheat landraces, were investigated to survey their genetic variation through frequency distribution, correlation, and cluster analysis. The results showed that large variation in the thousand fruit weight, the kernel weight of 100 grains, the shell weight of 100 grains, rate of shell, the flavonoid contents of kernel, and shell. And their variation ranges were 21.73 – 42.13 g, 0.974 – 2.606 g, 0.468 – 1.363 g, 17.594% – 38.017%, 1.008% – 4.368%, and 0.002% – 0.986%, respectively, with the average of 29.43 g, 1.988 g, 0.729 g, 24.702%, 2.019%, and 0.144%, respectively. The analysis showed that very significant correlations between the thousand fruit weight and the kernel weight of 100 grains ($r_{12} = 0.579^{**}$, $r_{12 \cdot \text{other}} = 0.315^{**}$), the thousand fruit weight and shell weight of 100 grains ($r_{13} = 0.746^{**}$, $r_{13 \cdot \text{other}} = 0.989^{**}$), the thousand fruit weight and rate of shell ($r_{14} = 0.216^{**}$, $r_{14 \cdot \text{other}} = -0.980^{**}$), shell weight of 100 grains and rate of shell ($r_{34} = 0.807^{**}$, $r_{34 \cdot \text{other}} = 0.993^{**}$), respectively. There were significant correlations between kernel weight and shell weight of 100 grains ($r_{23} = 0.521^{**}$), kernel weight of 100 grains and rate of shell ($r_{24} = 0.247^{**}$), rate of

收稿日期: 2013-08-30 修回日期: 2013-09-10 网络出版日期: 2014-04-08

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20140408.0849.019.html>

基金项目:国家自然科学基金(31060207, 31171609); 国家现代农业产业技术体系专项资金(CARS-08-A4); 贵州省农业攻关项目(黔科合 NY 字[2010]3094); 贵州省动植物育种专项(黔农育专字[2010]023号); 贵州省科技创新团队(黔科合人才团队(2011)4007)

第一作者主要从事植物遗传育种研究。E-mail: ly19871212@126.com

通信作者: 陈庆富, 主要从事植物遗传育种研究。E-mail: cqf1966@163.com

shell and the flavonoid content in shell ($r_{46} = 0.187^*$), respectively. The clustering divided 171 tartary buckwheat accessions into 5 groups, meanwhile six traits were gathered into 3 clusters. Some accessions with high thousand fruit weight or high flavonoid content of kernel and shell were screened out. The above results provided clues for tartary buckwheat genetics and breeding parent matching.

Key words: tartary buckwheat; grain traits; flavonoid content; the rate of shell

苦荞 (*Fagopyrum tataricum* Gaertn.) 是属于蓼科的严格自花授粉植物^[1-2]。苦荞主要分布在我国西南山区和喜马拉雅山脉,是传统农业的一种重要作物,也是该地区农民的重要粮源^[2-4]。

苦荞是药食两用植物,含有丰富的营养和保健成分。《本草纲目》中记载:苦荞麦性味苦、平、寒,有益气力、续精神、利耳目、降气宽肠健胃的作用。研究表明^[5-10],苦荞的保健作用与其含有药理保健因子——黄酮类化合物有关。黄酮化合物能减少血脂,提高血清抗氧化活性,抑制血脂过氧化氢的形成。黄酮类化合物含有芦丁(rutin)、荭草苷(orientin)、牡荆碱(vitexin)、槲皮素(quercetin)、异牡荆碱(isovitexin)和异红草苷(isoorientin)等。苦荞中的芦丁占总黄酮的70%~90%,且含量普遍高于甜荞^[11-13]。研究发现芦丁是一种多酚类物质,可以增强血管壁的弹性,提高毛细血管的通透性,维护微血管循环。因此,芦丁常用于治疗毛细血管变性引起的出血症及高血压的辅助药物,有效抑制葡萄糖苷酶和淀粉酶活性^[14-18],在预防糖尿病发生、降低血糖方面有重要作用^[16,19-23]。此外,黄酮类物质具有消炎、抗过敏、利尿、解痉、镇咳、强心等方面的作用。苦荞还含有其他营养保健成分,如配比合理的氨基酸组成的蛋白质、高粗纤维以及维生素B₁、B₂、B₆^[24],还拥有其他粮食作物不具备或成分稀缺的药用成分,例如抗性淀粉(resistant starch)、活性蛋白(active proteins)、不饱和脂肪酸(unsaturated fatty acids)、D-手性肌醇(DCI, D-chiro-inositol)、 γ -氨基丁酸(GABA, γ -aminobutyric acid)、大黄素(emodin)、叶绿素(chlorophyll)等。

唐宇等^[25]研究发现苦荞花中的黄酮含量最高,平均含量达7.14%;其次是叶,黄酮的平均含量为5.13%。Y. Chai等^[26]对苦荞各个部分进行测定,结果发现苦荞器官的黄酮含量是芽>花>叶>种子>茎。Z. R. Yu等^[27]研究表明,苦荞种子平均芦丁含量为 $2.28\% \pm 0.29\%$ 。赵玉平等^[28]对苦荞的黄酮含量进行分析,发现苦荞根含量为0.51%,茎含量为1.25%,叶含量为5.39%,花含量为6.28%,子含量为2.13%,粉含量为2.31%。目前,荞麦产

品多以苦荞脱壳子粒为原料,荞麦壳利用不充分,且苦荞其他部位的利用也不充分。

随着人们生活水平的提高,追求膳食平衡及保健意识的增强,苦荞产品已逐步进入千家万户。苦荞加工产品以苦荞米茶、苦荞曲醋、苦荞醋软胶囊、传统苦荞面食制品为主流。加工工艺中脱壳是关键,而绝大多数苦荞品种有深浅不同的腹沟,壳厚韧性大而仁脆,粒度差异给苦荞加工带来极大不便,脱壳问题成为苦荞加工的瓶颈。有研究表明,荞麦种子的营养及功能成分从外围向中心逐渐降低,荞麦米的整米率和荞麦壳整壳率的高低不仅影响荞麦的后续加工,而且影响荞麦制品品质的优劣和荞麦加工产业化的整体效益^[29-31]。我国应加强吸收国外先进技术与形成自主知识产权并重,做大做强苦荞加工产业。

目前在多数地区种植的苦荞麦为农家种。农家品种中常常蕴含很多有益基因,但是对这些苦荞地方种质资源的特征特性缺乏了解,相关研究少有报道。本研究以我国苦荞主产区的贵州、四川、云南、湖南、山西、陕西、甘肃的171份苦荞地方资源为研究材料,分析子实主要性状的遗传变异关系,以期为苦荞地方资源的多样性、资源间的亲缘关系研究及其苦荞育种提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料

171份苦荞地方资源由贵州师范大学植物遗传育种研究所提供,其中,贵州省148份材料,分别来自威宁109份(T₂₈₁、T₂₈₃、T₂₈₄、T₂₈₆、T₂₈₇、T₂₉₁、T₂₉₃、T₂₉₆~T₂₉₉、T₃₀₁、T₃₀₂、T₃₀₅~T₃₁₀、T₃₁₂~T₃₁₄、T₃₁₆~T₃₂₃、T₃₂₅~T₃₂₇、T₃₂₉、T₃₃₁、T₃₃₂、T₃₃₄~T₃₃₉、T_{340A}、T_{340B}、T₃₄₁、T_{343A}、T_{343B}、T₃₄₄、T₃₄₆、T₃₄₇、T₃₄₉、T₃₅₀、T₃₅₂、T₃₅₅~T₃₅₈、T₃₆₀、T₃₆₃~T₃₆₆、T₃₆₉~T₃₇₆、T₃₇₉、T₃₈₂、T₃₈₆~T₃₉₁、T_{392A}、T_{392B}、T₃₉₅~T₃₉₇、T_{400A}、T_{400B}、T₄₀₁、T₄₀₉、T₄₁₀、T₄₁₂、T₄₁₃、T₄₂₈、T₄₃₃、T₄₃₄、T₄₃₆、T₄₃₇、T₄₄₁~T₄₄₆、T₄₄₉、T₄₅₀、T₄₅₂~T₄₅₄、T₄₅₆、T₄₆₂、T₄₆₇、T₄₇₅)、赫章25份(T₂₉₂、T₃₆₂、T₃₆₈、T₄₁₄~T₄₂₀、T₄₂₂~T₄₂₇、T₄₂₉、T₄₃₆~T₄₄₀、T₄₄₈、T₄₅₁、T₄₆₀、T₄₆₈)、纳雍4份(T₂₉₀、T₃₂₄、T₄₆₉、T₄₇₀)、大方1份

(T₂₈₂), 织金 2 份(T₃₀₄、T₃₁₁), 六枝 1 份(T₂₈₉), 盘县 2 份(T₂₉₄、T₄₇₆), 水城 3 份(T₃₀₃、T₃₂₈、T₃₆₇), 六盘水 1 份(T₄₅₈), 其他省份材料分别为云南 4 份(T₃₉₉、T₄₆₃、T₄₆₄、T₄₇₃)、甘肃 2 份(T₃₉₈、T₄₅₇)、陕西 6 份(T₃₅₃、T₃₈₀、T₃₈₄、T₃₈₅、T₄₀₅、T₄₆₆)、山西 2 份(T₄₅₅、T₄₇₉)、湖南 1 份(T₃₄₂)、四川 8 份(T₃₄₅、T₃₄₈、T₃₅₁、T₃₈₁、T₃₈₃、T₄₅₉、T₄₆₁、T₄₆₅)。

2012 年春季播种于贵州师范大学植物遗传育种研究所柏杨实验地。各品种随机分布于肥力均匀的大田, 每个品种种植 1 个小区, 小区面积为 2 m × 5 m, 行距 33 cm, 株距 5 cm, 常规田间管理。种子成熟后收获、干燥后保存于 -20 °C 冰柜中。

1.2 方法

将每份苦荞材料 1000 粒饱满种子于 105 °C 烘箱中杀毒 15 min, 然后恒温 (60 °C) 烘干至恒重。JD200-3 型电子分析天平称取千粒重。数 100 粒苦荞种子用羊皮纸包裹、锤子敲打, 分开子粒和壳, 分别称取百粒米重和皮壳重, 粉碎干燥备用, 测定前再于 60 °C 烘箱中烘干至恒重。子粒和皮壳黄酮含量测定, 参考凌永霞等^[32]三氯化铝显色方法, 用岛津 UV1800 于 420 nm 波长下测定吸光度值。

标准曲线的绘制: 称取芦丁标准品 11.2 mg, 加 70% 甲醇溶解定容至 100 mL 容量瓶中, 摇匀得 0.112 mg/mL 芦丁对照品溶液。精密吸取此标准品溶液 0.1、0.2、0.3、0.4、0.5 mL 于 25 mL 容量瓶中, 加 0.1 mol/L 的三氯化铝溶液 2 mL, 再加 1 mol/L 的醋酸钾溶液 3 mL, 用甲醇溶液稀释至刻度线, 摇匀, 得芦丁标准品浓度梯度溶液。30 min 后用试剂空白作背景, 分别对上述芦丁标准品浓度梯度进行测定, 以吸光度(A)为纵坐标, 浓度(C)为横坐标得回归方程, $C = (A + 0.0002)/30.915$, $R^2 = 0.9984$, 单位 mg/mL。

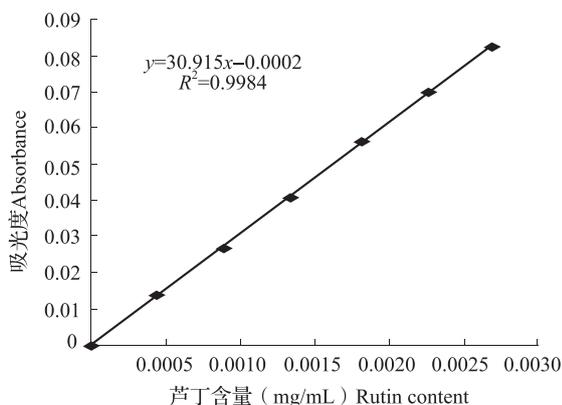


图 1 芦丁标准曲线

Fig. 1 Standard curve of rutin

样品黄酮含量的计算: 根据测定结果, 按下列公式计算种子子粒和皮壳黄酮含量(X%), $X\% = [(A + 0.0002)/30.915 \times V \times N]/(M \times 10^3) \times 100$ 。其中, A 为样品的吸光度, V 为体积 (mL), N 为稀释倍数, M 为样品质量 (g)。

千粒重为 1000 粒饱满种子带壳总重量, 百粒米重为 100 粒种子脱壳后米粒重量, 百粒皮壳重为 100 粒种子的壳总重量, 皮壳率 = 百粒皮壳重/百粒带壳种子重量 × 100。

1.3 数据分析

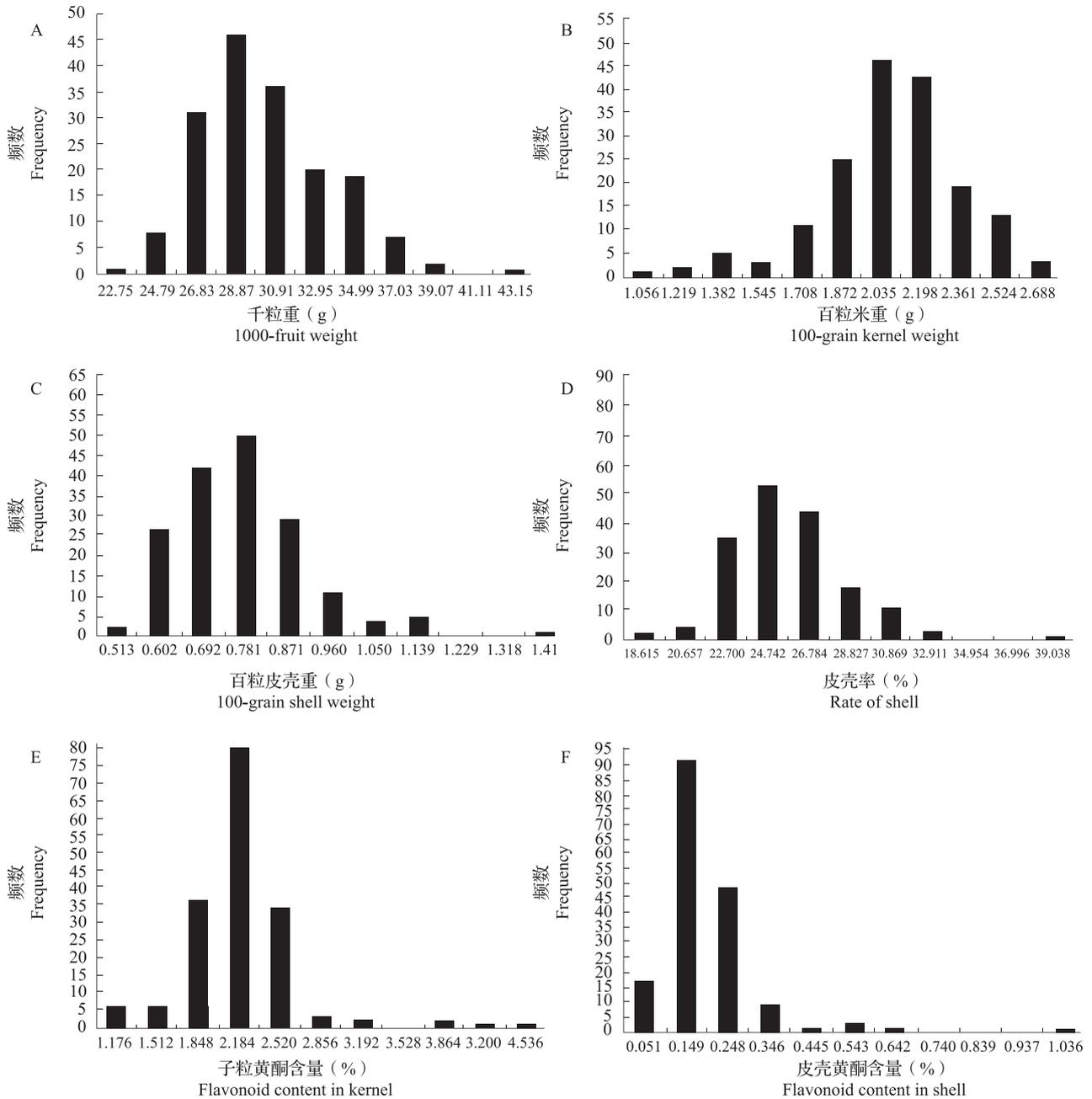
利用 Excel 2007 软件进行数据处理并做频数分布图, 采用 SPSS 17.0 软件做相关分析和聚类分析。

2 结果与分析

2.1 果实品质性状频数分布

苦荞地方资源的千粒重、百粒米重、百粒皮壳重、皮壳率的频数分布见图 2。千粒重、百粒米重、百粒皮壳重、皮壳率存在广泛变异。其中, 171 份材料的千粒重均值为 29.427 g, 在 21.730 ~ 42.130 g 变异范围, 多集中在 25.810 ~ 36.010 g 之间, 占总数的 88.89%。百粒米重均值为 1.988 g, 在 0.974 ~ 2.606 g 变异范围, 主要分布在 1.790 ~ 2.443 g, 占有地方资源的 77.78%。百粒皮壳重 0.468 ~ 1.363 g, 均值为 0.729 g, 主要分布 0.558 ~ 0.916 g 之间, 所占比例为 86.55%。皮壳率 17.594% ~ 38.017%, 均值为 24.702%, 主要集中在 21.679% ~ 31.890%, 约占总数的 81.72%。地方资源 T₃₀₃ (19.66%)、T₂₈₆ (19.51%)、T₃₁₈ (18.66%)、T₃₀₂ (18.07%)、T₂₉₄ (17.59%) 皮壳率较低, 在 20% 以下, 地方资源 T₄₆₉ (38.02%)、T_{400 B} (32.35%)、T₄₄₅ (31.44%)、T₄₃₇ (31.32%)、T_{340 B} (30.80%)、T₄₁₈ (30.70%)、T₄₅₁ (30.55%)、T₄₇₅ (30.01%) 的皮壳率较高, 在 30% 以上。

苦荞地方资源的子粒黄酮含量、皮壳黄酮含量的频数分布如图 2 所示, 171 份材料的子粒黄酮含量的变异幅度为 1.008% ~ 4.368%, 均值 2.019%, 主要分布在 1.680% ~ 2.688% 之间, 占有地方资源的 87.72%, 属于中等含量类型。根据苦荞地方资源子粒中黄酮含量分布情况, 建议子粒黄酮含量在 3.5% 以上为高黄酮子粒地方资源。其中以贵州威宁 T_{343 A} 的黄酮含量最高, 高达 4.368%。此外, 地方资源 T₃₄₆ (4.192%)、T₄₇₆ (3.853%)、T₄₅₈ (3.631%) 也在此范围内。在 1.5% 以下为低黄酮子粒地方资源, 分别为 T₂₉₀ (1.382%)、T₃₅₈ (1.450%)、



横坐标数据为频数分布的组中值

The data in horizontal ordinate is class mid-value of frequency distribution

图 2 千粒重(A)、百粒米重(B)、百粒皮壳重(C)、皮壳率(D)、子粒黄酮含量(E)以及皮壳黄酮含量(F)的频数分布图

Fig. 2 The frequency distribution histogram of 1000-fruit weight (A), 100-grain kernel weight (B), 100-grain shell weight (C), rate of shell (D), flavonoid content in kernel (E) and in shell (F)

T_{360} (1.062%)、 T_{364} (1.169%)、 T_{389} (1.159%)、 T_{398} (1.008%)、 T_{399} (1.175%)、 T_{409} (1.317%)、 T_{439} (1.067%)、 T_{445} (1.391%)、 T_{446} (1.376%) 和 T_{456} (1.376%)。

皮壳黄酮含量的变异幅度在 0.002% ~ 0.986% 之间,平均黄酮含量为 0.144%。皮壳黄酮含量集中分布在 0.100% ~ 0.297%, 占总地方资源

的 81.29%, 多属于中等含量类型。根据苦荞地方资源皮壳黄酮含量分布情况,建议皮壳黄酮含量在 0.5% 以上为高黄酮皮壳地方资源。其中以贵州威宁品种 T_{313} 的总黄酮含量最高,高达 0.986%。此外,地方资源 T_{303} (0.607%)、 T_{371} (0.502%) 皮壳黄酮含量也较高。在 0.1% 以下为低黄酮皮壳地方资源,有 61 个地方资源在此范围内。

2.2 子实品质性状间的简单和偏相关分析

以苦荞地方资源子实的千粒重 (VAR1)、百粒米重 (VAR2)、百粒皮壳重 (VAR3)、皮壳率 (VAR4)、子粒黄酮含量 (VAR5)、皮壳黄酮含量 (VAR6) 为指标对苦荞进行简单相关系数和偏相关系数分析。从表 2 可以看出: 简单相关系数 ($r_{12} = 0.579^{**}$, $r_{13} = 0.746^{**}$, $r_{14} = 0.216^{**}$, $r_{23} = 0.521^{**}$, $r_{24} = 0.247^{**}$, $r_{34} = 0.807^{**}$, $r_{46} = 0.187^{*}$) 和偏相关

系数 ($r_{12 \cdot \text{其他}} = 0.315^{**}$, $r_{13 \cdot \text{其他}} = 0.989^{**}$, $r_{14 \cdot \text{其他}} = -0.980^{**}$, $r_{34 \cdot \text{其他}} = 0.993^{**}$) 达到极显著或显著水平, 其他简单相关系数和偏相关系数未达显著水平。也就是说, 苦荞千粒重与百粒米重、百粒皮壳重、皮壳率之间, 百粒皮壳重和皮壳率之间, 均呈极显著相关性。百粒米重与百粒皮壳重、皮壳率简单相关性达极显著水平, 皮壳率与皮壳黄酮含量呈显著的简单正相关关系, 其他参数间无显著关系。

表 2 各因子之间的简单相关系数 (对角线下方) 和偏相关系数 (对角线上方)

Table 2 The Pearson (below diagonal) and partial correlation coefficients (above diagonal) among factors

	VAR1	VAR2	VAR3	VAR4	VAR5	VAR6
VAR1		0.315 **	0.989 **	-0.980 **	-0.088	0.096
VAR2	0.579 **		0.088	-0.068	0.084	-0.050
VAR3	0.746 **	0.521 **		0.993 **	0.094	-0.098
VAR4	0.216 **	0.247 **	0.807 **		-0.104	0.119
VAR5	0.089	0.118	0.009	-0.078		-0.074
VAR6	-0.011	-0.036	0.112	0.187 *	-0.108	

* 代表 0.05 水平显著相关 (双侧); ** 代表 0.01 水平显著相关 (双侧)

* represents significant correlation at the 0.05 level (2-tailed), ** represents significant correlation at the 0.01 level (2-tailed)

2.3 不同品种以及参数指标聚类分析

以欧氏平方距离为地方资源间距离的衡量指标, 用最短距离法进行系统聚类分析, 以 Pearson 相关系数为性状间关系的衡量指标, 对苦荞的 6 个性状进行系统聚类分析, 结果如图 3、图 4。

由图 3 可知, 当 $T = 7$ 时, 171 个地方资源可聚为 5 大类: 类 I 仅有 1 个地方资源 (T_{469}), 其千粒重适中, 百粒米重偏低, 百粒皮壳重偏高, 皮壳率高, 子粒黄酮含量偏高, 皮壳黄酮含量偏高, 前 4 个参数值均大于其对应平均值。说明此地方资源与其他地方资源的亲缘关系可能较近。

类 II 含有 5 个地方资源 (T_{364} 、 T_{400B} 、 T_{449} 、 T_{457} 、 T_{475}), 其千粒重高, 百粒米重高, 百粒皮壳重高, 皮壳率偏高, 子粒黄酮含量高, 皮壳黄酮含量偏低, 前 2 个参数值低于其对应总平均值, 后 4 个参数值高于对应总平均值, 说明这 5 个地方资源亲缘关系可能较近。

类 III 包括 2 个地方资源 (T_{360} 、 T_{389}), 其千粒重低, 百粒米重低, 百粒皮壳重低, 皮壳率适中, 子粒黄酮含量低, 皮壳黄酮含量高, 前 3 个参数值及子粒黄酮含量均低于其对应总平均值, 皮壳率和皮壳黄酮含量高于其对应总平均值。表明这 2 个地方资源的亲缘关系可能较近。

类 IV 有 32 个地方资源 (T_{293} 、 T_{311} 、 T_{314} 、 T_{320} 、 T_{325} 、 T_{328} 、 T_{341} 、 T_{345} 、 T_{347} 、 T_{349} 、 T_{351} 、 T_{362} 、 T_{382} 、 T_{385} 、 T_{413} 、 T_{428} 、 T_{433} 、 T_{434} 、 T_{438} 、 T_{441} 、 T_{443} 、 T_{446} 、 T_{448} 、 T_{450} 、 T_{453} 、 T_{456} 、

T_{459} 、 T_{460} 、 T_{462} 、 T_{468} 、 T_{473} 、 T_{476}), 其千粒重偏高, 且均大于总平均值, 百粒米重偏高, 百粒皮壳重适中, 皮壳率偏低, 子粒黄酮含量适中, 皮壳黄酮含量低。表明这 32 个苦荞地方资源的亲缘关系可能较近。

类 V, 其余 131 个苦荞地方资源聚为一类, 其千粒重偏低, 百粒米重适中, 百粒皮壳重偏低, 皮壳率低, 子粒黄酮含量偏低, 皮壳黄酮含量适中, 表明这 131 个苦荞地方资源的亲缘关系可能较近。

从图 4 中可以看出, 千粒重 (VAR1) 与百粒皮壳重 (VAR3) 首先聚成一类, 说明二者之间关系密切, 再和百粒米重 (VAR2) 聚成一类, 然后再和皮壳率 (VAR4) 聚成一大类。当 $T = 20$ 时, 主要性状被聚为 3 类, 子粒黄酮含量 (VAR5) 和皮壳黄酮含量 (VAR6) 分别独立聚为一类, 表明这 2 个参数有独立的变异规律, 而其他参数 (千粒重 VAR1、百粒皮壳重 VAR3 和百粒米重 VAR2、皮壳率 VAR4) 彼此间变异有一定联系。

3 讨论

3.1 子实的相关性与变异分析

本研究表明苦荞百粒米重分别与百粒皮壳重和皮壳率简单相关性达极显著水平, 百粒皮壳重和皮壳率呈极显著相关性, 显示此三者苦荞生长发育过程中关系密切。另外, 皮壳率与皮壳黄酮含量呈

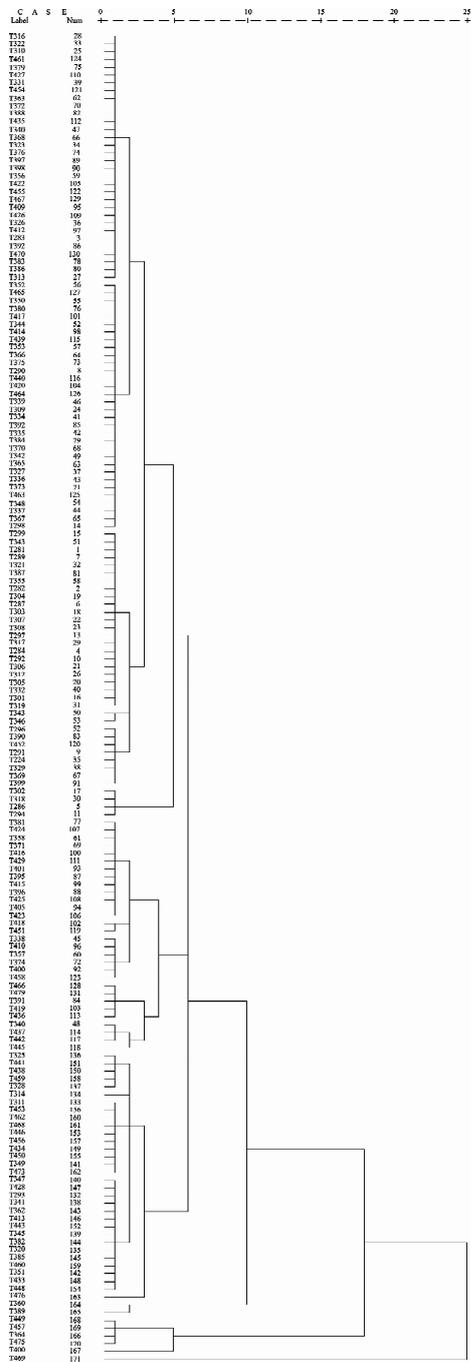


图 3 不同苦荞地方资源聚类图

Fig. 3 The cluster figure of different tartary buckwheat landraces

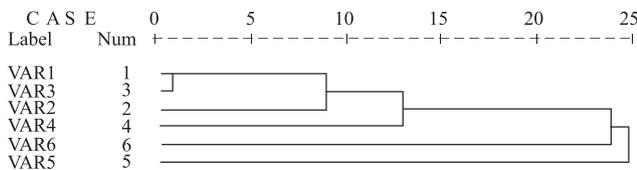


图 4 不同参数指标聚类图

Fig. 4 The cluster figure of different parameter indexes

显著的简单正相关关系,一定程度上,皮壳率越大皮壳黄酮含量相对较高。子粒及皮壳两者之间的黄酮

含量的简单相关和偏相关性均未达到显著水平,同时 6 个参数的系统聚类分析表明,当 T = 20 时子粒和皮壳黄酮含量也分别独立成一类。

本研究根据千粒重、百粒米重、百粒皮壳重、皮壳率、子粒和皮壳黄酮含量,将苦荞地方资源分为 5 类,组内各资源之间的亲缘关系可能较近,组间的亲缘关系可能较远。这些不同类型在黄酮含量基因的控制和表达上可能存在较大差异,为进一步研究苦荞地方资源间的亲缘关系及黄酮含量基因的控制和表达提供理论依据。

3.2 子实大小、皮壳率与黄酮含量

目前,国内外苦荞产品逐渐由初加工产品向精深加工产品转型。苦荞皮壳厚且韧性强、果仁脆、皮壳率高导致常规苦荞难脱壳,脱壳加工是提高苦荞加工产品品质尤其是食用口感的关键工艺。

皮壳率由苦荞的遗传物质和生长环境共同决定。荞麦果皮厚度由外果皮、中果皮(棱间)、横细胞和内果皮组成,约为 103 ~ 148 μm,约为小麦果皮厚度的 3 倍,结合较高的硬度形成荞麦的皮壳^[31]。苦荞壳普遍较厚且纤维层致密,加之不同的地方资源子实的腹沟深浅不同,皮壳表面积有差异,果实的结实灌浆能力不同,造成子实的饱满度差异等遗传因素,此外,荞麦的生长期,土壤、气候因子都会影响苦荞的皮壳率,例如在现蕾期和开花期灌浆期持续高温,会造成子粒干瘪、果皮较厚,且皱缩,紧紧包裹在种子外表;千粒重低、皮壳率高,且不易脱壳制米。本研究中地方资源 T₃₀₃(19.66%)、T₂₈₆(19.51%)、T₃₁₈(18.66%)、T₃₀₂(18.07%)、T₂₉₄(17.59%)皮壳率较低,子粒饱满,表面较光滑,千粒重较高,25 g 以上,子粒中黄酮含量在 1.9% 以上,可以为苦荞优良加工品质的育种提供材料。

顾尧臣^[29]报道苦荞千粒重范围为 12 ~ 24 g,平均千粒重为(18.8 ± 4.7) g;我国荞麦皮壳占果实重量的 25% ~ 30%,欧盟荞麦占果实重量的 20% ~ 25%。刘娜^[33]报道苦荞品种的千粒重平均值为 21.52 g,变化幅度在 16.98 ~ 24.57 g 之间,苦荞种子黄酮含量均值 2.86%,变化范围 2.02% ~ 3.39%;赵玉平等^[28]报道,苦荞种子黄酮含量为 2% 左右。本研究 171 个苦荞地方资源的千粒重、百粒米重、百粒皮壳重、皮壳率存在广泛变异,分别在 21.730 ~ 42.130 g、0.974 ~ 2.606 g、0.468 ~ 1.363 g、17.594% ~ 38.017% 范围变异,平均值分别为 29.427 g、1.988 g、0.729 g、24.702%;子粒黄酮含量的变异幅度在 1.008% ~ 4.368% 之间,均值

为 2.019%,多属于中等含量类型。皮壳黄酮含量的变异幅度为 0.002%~0.986%,平均黄酮含量为 0.144%,多属于中等含量类型。其变异范围基本包含了目前已有报道的结果。此外,地方资源 T_{400B}、T₄₄₉、T₄₅₇ 千粒重分别高达 42.13 g、38.92 g、38.77 g,其颗粒大而饱满,特别是来自贵州威宁的地方资源 T_{400B},其由 T_{400A} 变异而来,果实颗粒大、饱满且有刺,几乎是 T_{400A} 果实的 2 倍大小。同时还发现 4 个地方资源(T_{343A}、T₃₄₆、T₄₇₆、T₄₅₈)的子粒黄酮含量较高,在 3.5% 以上,以上资源的千粒重较高(大于 25 g),皮壳率适中,有腹沟,可用于生产苦荞米和苦荞保健产品。皮壳黄酮含量偏高的地方资源有 3 个(T₃₀₃、T₃₁₃、T₃₇₁) 在 0.5% 以上,且千粒重较大(大于 25 g),子粒的黄酮含量均在 1.8% 以上,其壳可用做饲料或功能成分提取物原料。这些高黄酮及高千粒重品种可为黄酮保健品和高黄酮育种以及高产育种提供新材料。

本研究表明苦荞子粒黄酮含量极显著高于皮壳黄酮含量,说明子实的黄酮类物质主要集中在子粒,皮壳中积累相对较少,但部分品种的皮壳黄酮含量却高于甜荞种子平均黄酮含量。表明苦荞不但子粒可以作为食品或保健功能产品的原料,其壳也是一种宝贵资源,在实际的生产和生活中应合理地加以利用。提高苦荞生产附加值,创新性开拓苦荞皮壳综合利用也是一个不容忽视的环节。

致谢:感谢山西省农业科学院林汝法研究员的悉心指导。

参考文献

- [1] Chen Q F. Discussion on the origin of cultivated buckwheat in Genus *Fagopyrum* (Polygonaceae) [C]//Korea: The Proceeding of the 8th International Symposium on Buckwheat,2001:206-213
- [2] Bojka K, Branka J. Genetic diversity and relationships among cultivated and wild accessions of tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum* Gaertn.) as revealed by RAPD markers [J]. Genet Resour Crop Ev,2002,49(6):565-572
- [3] Koji T, Ohmi O. Origin of cultivated tatar buckwheat (*Fagopyrum tataricum* Gaertn.) revealed by RAPD analyses [J]. Genet Resour Crop Ev,2000,47(4):431-438
- [4] 陈庆富. 荞麦属植物科学[M]. 北京:科学出版社,2012:51
- [5] Watanabe M, Ohshita R, Ojiri T, et al. Antioxidant compounds from buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) [J]. J Agr Food Chem,1997,45:1039-1044
- [6] Toshitaka Y. Development of tartary buckwheat noodles through research on rutin-degrading enzymes and its effect on blood fluidity [C]//Korea: The Proceeding of the 8th International Symposium on Buckwheat,2001:499-502
- [7] Wang M, Liu J R, Gao J M, et al. Effects of total flavonoids extracted from tartary buckwheat bran on blood fat and antioxidation in hyperlipemia [C]// Yangling: The Proceeding of the 10th International Symposium on Buckwheat,2007:433-440
- [8] 周小理,周一鸣. 苦荞麸皮黄酮纯品与粗品抗氧化活性的比较研究[J]. 食品工业科技,2008,29(10):78-80
- [9] 谭萍, 芳玉梅, 王毅芳, 等. 苦荞种子黄酮类化合物清除 DPPH 自由基的作用[J]. 食品研究与开发,2008,29(12):20-23
- [10] 杨红叶, 杨联芝, 柴岩, 等. 甜荞和苦荞子中多酚存在形式与抗氧化活性的研究[J]. 食品工业科技,2011,32(5):90-97
- [11] Steadman K J, Burgoon M S, Lewis B A, et al. Minerals, phytic acid, tannin and rutin in buckwheat seed milling fractions [J]. J Sci Food Agr,2001,81(11):1094-1100
- [12] Kreft I, Fabjan N, Yasumoto K. Rutin content in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) food materials and products [J]. Food Chem,2006,98(3):508-512
- [13] Komori A, Naoto I, Kaori F, et al. Measurement of rutin and quercetin in tartary buckwheat flour by ultraviolet-induced fluorescence [C]//Yangling: The Proceeding of the 10th International Symposium on Buckwheat,2007:403-409
- [14] Li Y, Gao F, Gao F, et al. Study on the interaction between 3 flavonoid compounds and α -amylase by fluorescence spectroscopy and enzymatic kinetics [J]. J Food Sci,2009,74(3):199-203
- [15] Li Y Q, Zhou F C, Gao F, et al. Comparative evaluation of quercetin, isoquercetin and rutin as inhibitors of alpha-glucosidase [J]. J Agr Food Chem,2009,57:11463-11468
- [16] 夏楠, 王耀文, 韩瑞霞, 等. SRAP 分子标记用于苦荞分析中的条件优化[J]. 安徽农业科学,2011,39(1):44-48
- [17] 王斯慧, 白银花, 黄琬凌, 等. 苦荞黄酮对 α -淀粉酶的抑制作用研究[J]. 食品工业,2012(3):109-111
- [18] 王斯慧, 白银花, 黄琬凌, 等. 苦荞黄酮对 α -葡萄糖苷酶的抑制作用研究[J]. 食品科技,2012,37(2):24-31
- [19] 薛长勇, 张月红, 刘英华, 等. 苦荞黄酮降低血糖和血脂的作用途径[J]. 中国临床康复,2005,9(35):111-113
- [20] 陕方, 李文德, 林汝法, 等. 苦荞不同提取物对糖尿病模型大鼠血糖的影响[J]. 中国食品学报,2006,6(1):208-211
- [21] Yao Y, Shan F, Bian J, et al. D-chiro-inositol-enriched tartary buckwheat bran extract lowers the blood glucose level in KK-Ay mice [J]. J Agr Food Chem,2008,56(21):10027-10031
- [22] 左光明, 谭斌, 王金华, 等. 苦荞米与苦荞粉加工中营养成分成分的评价及利用[J]. 食品科学,2009,30(14):183-187
- [23] 康敏, 谭善财, 张宏, 等. 黑苦荞粉对四氧嘧啶致小鼠糖尿病的降糖作用[J]. 安徽农业科学,2011,39(20):12089-12090
- [24] Bonafaccia G, Marocchini M, Kreft I. Composition and technological properties of the flour and bran from common and tartary buckwheat [J]. Food Chem,2003,80(1):9-15
- [25] 唐宇, 赵刚. 荞麦中黄酮含量的研究[J]. 四川农业大学学报,2001,19(4):352-354
- [26] Chai Y, Gao D L, Feng B I, et al. Flavonoids content of buckwheat in different development stage [C]// Yangling: The Proceeding of the 10th International Symposium on Buckwheat, 2007:417-421
- [27] Yu Z R, Li X L. Determination of rutin content on Chinese buckwheat cultivars [C]//Yangling: The Proceeding of the 10th International Symposium on Buckwheat,2007:465-468
- [28] 赵玉平, 肖春玲. 苦荞麦不同器官总黄酮含量测定及分析[J]. 食品科学,2004,25(10):264-266
- [29] 顾尧臣. 小宗粮食加工(四)一荞麦加工[J]. 粮食与饲料工业,1999(7):19-22,26
- [30] 左光明, 谭斌, 王金华, 等. 苦荞米与苦荞粉加工中营养成分成分的评价及利用[J]. 食品科学,2009,30(14):183-187
- [31] 胡志超. 加强荞麦脱壳加工设备研究开发促进荞麦加工产业化发展[J]. 中国农机化,2004(3):11-13
- [32] Ling Y X, Huang K F, Chen Q F. Comparison of two methods for measuring flavonoid content of *Fagopyrum megaspartanum* Leaves [J]. Agric Sci Technol,2010,11(11-12):10-12,24
- [33] 刘娜. 金荞和苦荞黄酮含量变异及其特色保健茶的开发研究[D]. 贵阳:贵州师范大学,2009