

李国泽,李 雪,陈蔼仪,等. 组培与野生樟叶越橘中 3 种主效成分含量比较[J]. 江苏农业科学,2021,49(7):175-180.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.07.031

# 组培与野生樟叶越橘中 3 种主效成分含量比较

李国泽<sup>1</sup>, 李 雪<sup>1</sup>, 陈蔼仪<sup>1</sup>, 赵 平<sup>2</sup>, 杨 玲<sup>1</sup>, 丁 勇<sup>1</sup>

(1. 西南林业大学云南省高校林木生物技术重点实验室, 云南昆明 650224;

2. 西南地区林业生物质资源高效利用国家林业与草原局重点实验室, 云南昆明 650224)

**摘要:**樟叶越橘是具有重要药用和经济价值的特色资源植物,其野生资源日益匮乏,比较其主效成分在组培和野生植物中的含量差异,可为利用组培樟叶越橘大量获取主效成分提供科学依据。应用高效液相色谱(HPLC)技术测定了樟叶越橘组培与野生植物不同部位中 6'-O-咖啡酰熊果苷(6'-O-caffeinylarbutin, CA)、绿原酸和熊果苷 3 种主效成分含量,并进行了比较分析。结果表明,3 种主效成分在樟叶越橘组培与野生植物的不同组织部位中的含量存在差异,在成熟叶片和叶芽组织中组培樟叶越橘具有高于野生植物的主效成分含量。各主效成分含量在不同种源樟叶越橘成熟叶片中差异显著,组培樟叶越橘的 CA 和绿原酸含量均显著高于野生植物( $P < 0.05$ )。因此繁育的组培樟叶越橘不仅解决了樟叶越橘野生资源匮乏和取材困难问题,还具备了替代野生植物大量提取获得主效成分的潜能。建议后期可将组培樟叶越橘植物规模化生产并推广种植。

**关键词:**高效液相色谱;樟叶越橘;组培樟叶越橘;野生植物;主效成分

**中图分类号:**R284

**文献标志码:**A

**文章编号:**1002-1302(2021)07-0175-05

樟叶越橘(*Vaccinium dunalianum* Wight)别称饭米果(云南昆明)、长尾越橘,是杜鹃花科(Ericaceae)越橘属(*Vaccinium*)多年生常绿稀攀援灌木<sup>[1-2]</sup>。樟叶越橘全株可入药,性味微苦,微温,具有祛风除湿、舒筋活络、治疗风湿关节疼等多方面的生理功能<sup>[3]</sup>,是独具特色的民族药物。在云南武定彝族民间因樟叶越橘幼嫩叶芽外形呈锥形,似雀嘴,称其加工品为雀嘴茶<sup>[4]</sup>。研究表明,熊果苷、绿原酸以及 6'-O-咖啡酰熊果苷(CA)是樟叶越橘的 3 种主效成分<sup>[5]</sup>。熊果苷及其衍生物 CA 具有明显抑制黑色素生成的皮肤美白活性<sup>[6]</sup>,可用于化妆品皮肤增白剂<sup>[7-9]</sup>和黄褐斑的临床治疗<sup>[10]</sup>。绿原酸具有消炎抗菌<sup>[11-12]</sup>、抗肿瘤<sup>[13-14]</sup>、预防心血管疾病<sup>[15-16]</sup>等广泛的生物活性。因此,具有民族药用资源特色的樟叶越橘植物在食品保健、日用化工以及医药等多个领域具有广泛的应用前景。

樟叶越橘植物生长慢、分布量有限,又因雀嘴

茶生产被连年破坏性采摘,导致其野生资源急剧减少。为解决资源短缺问题,已经采用植物组织培养快速繁殖技术开展了樟叶越橘无性繁育工作<sup>[17-20]</sup>。进一步开展樟叶越橘组培驯化植物中主效成分含量及与野生植物中的差异研究,能为以樟叶越橘组培苗为材料开展其主效成分研究及樟叶越橘资源的可持续开发利用提供实验基础和技术保障,而目前此方面工作未见报道。鉴于此,本研究以樟叶越橘组培和野生植物为材料,应用高效液相色谱(HPLC)技术测定了不同种源樟叶越橘不同组织部位中熊果苷、绿原酸和 CA 的含量,并进行了含量差异性比较,为开发樟叶越橘组培驯化植物替代野生植物提取有效活性成分的潜能奠定理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验所用不同组织材料为 2019 年 4 月采自樟叶越橘野生和组培樟叶越橘的叶芽、花芽和成熟叶片(表 1)。野生植物来源于云南省武定县新村村、滑坡村和永泉村 3 个样点,取生长良好、无病虫害的鲜新叶芽、花芽和成熟叶片,成熟叶片采样以枝条顶端叶为第 1 张叶,在第 2~4 张叶中任取 2 张健康成熟的叶片为试验材料,装入信封袋带回实验室。组培樟叶越橘为课题组前期繁育,按照罗旭璐等的

收稿日期:2020-07-28

基金项目:国家自然科学基金(编号:31960073、31460076);云南省高校林木生物技术重点实验室开放基金(编号:51700201)。

作者简介:李国泽(1994—),女,云南保山人,硕士研究生,主要从事樟叶越橘生物技术研究。E-mail:2714021549@qq.com。

通信作者:丁 勇,硕士,副教授,主要从事植物生物技术与分子生物学研究。E-mail:dingyong@swfu.edu.cn。

方法<sup>[17]</sup>进行组培初代启动培养和增殖继代,培养基分别为木本植物用培养基(WPM) + 3.00 mg/L 6-苾氨基腺嘌呤(6-BA) + 0.20 mg/L 萘乙酸(NAA)和 WPM + 2.00 mg/L 玉米素(ZT),培养温度为(25 ± 2)℃,光照度 30 ~ 50 μmol/(m<sup>2</sup> · s),每天光照 12 h;按照赵展平等的方法<sup>[18]</sup>进行组培苗生根和

移栽驯化,生根培养基为 1/4 MS + 2.00 mg/L 吲哚乙酸(IBA) + 0.10 g/L 活性炭 + 15.00 g/L 蔗糖,培养条件同上;移栽驯化基质为全腐殖土;后培养在西南林业大学树木园基地,已连续生长 3 年,叶芽、花芽和成熟叶片,取样方法同上。

表 1 供试樟叶越橘样品信息

序号	样品名称	植物类型	组织部位	采样地	东经(°)	北纬(°)	海拔(m)
S1	FB-SWFU	组培	花芽	昆明市西南林业大学	102.77	25.07	1 982
S2	LB-SWFU	组培	叶芽	昆明市西南林业大学	102.77	25.07	1 982
S3	ML-SWFU	组培	成熟叶片	昆明市西南林业大学	102.77	25.07	1 982
S4	FB-XC	野生	花芽	武定县狮山镇新村村	102.32	25.54	2 010
S5	LB-XC	野生	叶芽	武定县狮山镇新村村	102.32	25.54	2 010
S6	ML-XC	野生	成熟叶片	武定县狮山镇新村村	102.32	25.54	2 010
S7	ML-HP	野生	成熟叶片	武定县狮山镇滑坡村	102.33	25.51	2 100
S8	ML-YQ	野生	成熟叶片	武定县猫街镇永泉村	102.26	25.53	2 150

注:FB 表示花芽,LB 表示叶芽,ML 表示成熟叶片;SWFU 表示西南林业大学,XC 表示新村村,HP 表示滑坡村,YQ 表示永泉村。

1.2 试剂

HPLC 用甲醇为德国 Merck 公司产品(色谱纯);提取用甲醇(分析纯)和冰乙酸购自天津市大茂化学试剂厂;熊果苷和绿原酸标准品购自上海源叶生物科技有限公司(纯度 ≥ 98%);6'-O-咖啡酰熊果苷(CA)为笔者所在课题组前期从樟叶越橘中提取分离获得(纯度 ≥ 95%)。

1.3 材料预处理

将试验样品装在铝质干燥盒中放于理化干燥箱(LG100B,上海市实验仪器总厂)中 45℃ 恒温干燥至恒质量(SOP 型电子分析天平,德国 Sartorius 公司,前后 2 次称量差异在 5‰ 以内),放入高速万能粉碎机中粉碎(过 40 目筛),密封于 50 mL 离心管中装好。测定前,将样品置于干燥器中平衡过夜。

1.4 HPLC 色谱条件

参照文献[21],HPLC 色谱柱为 F90104 CAPCELL PAK C<sub>18</sub> MG(S-5)(250 mm × 4.6 mm, 5 μm),流动相 A 和 B 分别为 1% 冰乙酸和甲醇(预处理:流动相于超声波清洗器上超声 19 min,去除流动相中的气泡以避免损坏液相色谱仪和色谱柱),流速 1 mL/min,梯度洗脱条件:0 ~ < 10 min,95% A,5% B;10 ~ < 50 min,85% A,15% B;50 ~ < 55 min,35% A,65% B;55 ~ < 70 min,5% A,95% B;≥ 70 min,95% A,5% B。柱温 25℃,检测波长 280 nm,进样体积 10 μL。

1.5 HPLC 标准品制备

分别精确称取熊果苷、CA 及绿原酸 3 种标准品,配制成起始质量浓度为 1.20 mg/mL 熊果苷、3.00 mg/mL 绿原酸以及 6.00 mg/mL CA 的标准品溶液,依次等体积稀释 6 次,最终稀释为终浓度 0.02 mg/mL 熊果苷、0.05 mg/mL 绿原酸以及 0.09 mg/mL CA 标准品溶液,过滤(0.45 μm 滤孔滤膜)后注入液相色谱瓶中,按“1.4”节的色谱条件在高效液相色谱仪(Waters 2695,美国 Waters 公司)进行 HPLC 分析检测,建立 3 种主效成分的标准曲线。

1.6 HPLC 标准曲线的建立

取不同质量浓度熊果苷、绿原酸、CA 标准品溶液,在上述色谱条件下依次进样,以标准品浓度为横坐标(x),峰面积为纵坐标(y),计算线性回归方程。

1.7 样品含量测定

参照文献[22]的提取主效成分方法,精确称取粉碎样品 0.10 g,3 个重复。73% 甲醇超声 19 min(LU10AT 型超声波清洗仪,上海冠特超声仪器有限公司),料液比 1 g : 16 mL,5 000 r/min 离心 2 min(CF16RX II 台式高速冷冻离心机,日本 HITACHI 公司),提取 4 次,各取 1 mL 上清提取液等体积混匀,过 0.45 μm 滤孔滤膜后注入棕色色谱小瓶,滤液以进样体积 10 μL 分别进样,记录各供试样品中 3 种

主效成分的色谱出峰面积,分别代入线性回归方程,计算其在不同组织样品中的含量。

### 1.8 分析方法

运用 Excel 2010 统计处理试验数据,结果用平均值  $\pm$  标准差表示;运用 SPSS 21.0 软件进行单因素 ANOVA 方差分析 (*LSD* 法和 Duncan's 法)。

## 2 结果与分析

### 2.1 HPLC 标准曲线的建立

以标准品质量浓度为横坐标 ( $x$ ),峰面积为纵坐标 ( $y$ ) 绘制标准品的标准曲线,CA 回归方程为  $y = 9 \times 10^6 x + 1\,328.1$ ,  $r^2 = 0.999\,8$ ;绿原酸回归方程为  $y = 1 \times 10^7 x - 437\,086$ ,  $r^2 = 0.999\,3$ ;熊果苷回归方程为  $y = 4 \times 10^6 x + 10\,088$ ,  $r^2 = 0.999\,8$ 。标准品 CA、绿原酸、熊果苷分别在  $0.90 \sim 60.00$ 、 $0.50 \sim 30.00$ 、 $0.20 \sim 6.00\ \mu\text{g}$  范围内,  $r^2$  均大于 0.999,线性关系良好。

### 2.2 樟叶越橘组培与野生植物不同部位中主效成分含量比较

表 2 为樟叶越橘组培与野生植物成熟叶片、叶芽和花芽 3 种组织中 CA、绿原酸和熊果苷 3 种主效成分含量。可以看出,组培樟叶越橘成熟叶片的 3 种主效成分含量均显著高于野生樟叶越橘 ( $P < 0.05$ ),组培樟叶越橘的 CA、绿原酸和熊果苷含量分别是野生樟叶越橘 2.55 倍、2.84 倍、2.27 倍。叶芽中 CA 和熊果苷含量也表现为组培樟叶越橘显著高于野生樟叶越橘,组培樟叶越橘 CA 和熊果苷含量分别是野生樟叶越橘 1.30 倍、1.23 倍;组培和野生樟叶越橘叶芽中绿原酸含量则没有显著性差异。组培樟叶越橘花芽中 3 种主效成分含量显著低于野生樟叶越橘,组培樟叶越橘的 CA、绿原酸和熊果苷含量只有野生樟叶越橘的 69.77%、76.70% 和 70.31%。说明组培与野生樟叶越橘的不同组织部位中 3 种主效成分含量存在较大的差异,组培樟叶越橘的成熟叶片和叶芽组织的主效成分含量高于野生樟叶越橘(叶芽组织的绿原酸含量除外),而野生樟叶越橘花芽组织的主效成分含量却高于组培樟叶越橘。

由图 1 可知,3 种主效成分含量在组培和野生樟叶越橘不同组织中均表现为 CA > 绿原酸 > 熊果苷,且差异达到极显著水平 ( $P < 0.01$ )。但同一成分的组织含量分布特征在组培和野生樟叶越橘中

表 2 组培与野生樟叶越橘不同组织部位中 3 种主效成分含量测定结果 ( $n=3$ ,干质量含量)

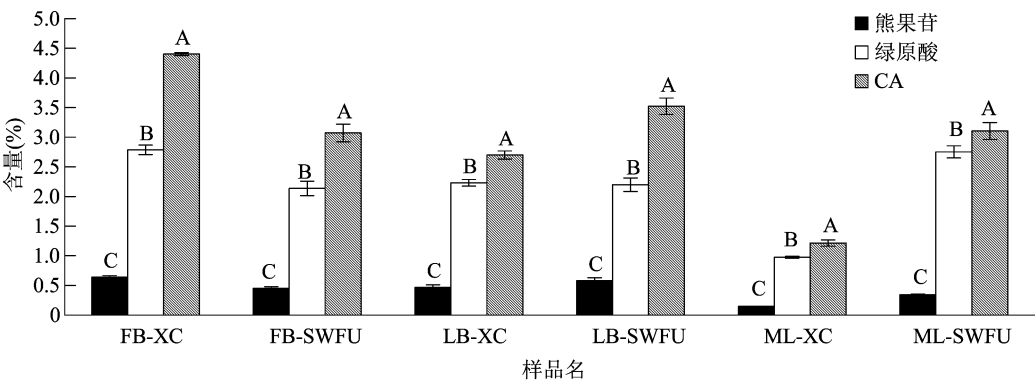
样品名	植物类型	主效成分含量 (%)		
		熊果苷	绿原酸	CA
FB-SWFU	组培	0.45 $\pm$ 0.03bB	2.14 $\pm$ 0.12bB	3.07 $\pm$ 0.15bB
FB-XC	野生	0.64 $\pm$ 0.03aA	2.79 $\pm$ 0.08aA	4.40 $\pm$ 0.02aA
LB-SWFU	组培	0.58 $\pm$ 0.05aA	2.20 $\pm$ 0.11aB	3.52 $\pm$ 0.14aA
LB-XC	野生	0.47 $\pm$ 0.04bB	2.23 $\pm$ 0.06aB	2.70 $\pm$ 0.07bB
ML-SWFU	组培	0.34 $\pm$ 0.01aC	2.75 $\pm$ 0.10aA	3.11 $\pm$ 0.14aB
ML-XC	野生	0.15 $\pm$ 0.00bC	0.97 $\pm$ 0.02bC	1.22 $\pm$ 0.05bC

注:同列数据后不同小写字母表示不同植物类型同种组织部位同种化合物含量差异显著 ( $P < 0.05$ ),不同大写字母表示同一植物类型不同组织部位同种化合物含量差异显著 ( $P < 0.05$ )。

存在差异(表 2)。组培樟叶越橘中,叶芽(LB-SWFU)的 CA 含量显著高于成熟叶片(ML-SWFU)和花芽(FB-SWFU),后 2 种组织中则无显著差异;绿原酸在成熟叶片(ML-SWFU)中的含量显著高于叶芽(LB-SWFU)和花芽(FB-SWFU),后 2 种组织差异显著;熊果苷在叶芽(LB-SWFU)中的含量显著高于花芽(FB-SWFU),后者又显著高于成熟叶片(ML-SWFU)。而野生植物中 CA、绿原酸和熊果苷在组织含量分布上均表现为花芽(FB-XC) > 叶芽(LB-XC) > 成熟叶片(ML-XC),且差异显著(表 2)。

### 2.3 不同种源樟叶越橘成熟叶片中主效成分含量比较

通过以上对组培与野生樟叶越橘不同部位中主效成分含量比较发现,组培樟叶越橘成熟叶片中 3 种主效成分含量较高,且显著高于野生樟叶越橘成熟叶片。植物叶片资源量远远大于叶芽和花芽,因此,本研究继续比较了不同种源樟叶越橘(包括 1 个组培樟叶越橘试样和 3 个不同地点的野生植物试样)成熟叶片中 3 种主效成分含量(表 3)。由表 3 可知,不同样品中 CA 和绿原酸含量高低顺序分别为 ML-SWFU > ML-YQ > ML-HP > ML-XC 和 ML-SWFU > ML-YQ > ML-XC > ML-HP,熊果苷含量表现为 ML-YQ > ML-HP > ML-SWFU > ML-XC,均差异显著。各主效成分在不同种源樟叶越橘成熟叶片中的含量均存在显著差异;组培樟叶越橘成熟叶片中 CA 和绿原酸含量均显著高于野生樟叶越橘,熊果苷的含量处于不同种源野生樟叶越橘的中间水平。另外,不同种源樟叶越橘成熟叶片中 3 种主效成分含量均符合 CA > 绿原酸 > 熊果



不同大写字母表示同一样品中不同化合物含量差异极显著( $P<0.01$ )。图 2 同  
图1 组培与野生樟叶越橘 3 个组织中 3 种化合物含量比较

表 3 不同种源樟叶越橘成熟叶片中 3 种  
主效成分含量测定结果 ( $n=3$ , 干质量含量)

样品名	植物 类型	主效成分含量 (%)		
		熊果苷	绿原酸	CA
ML-SWFU	组培	0.34 ± 0.01c	2.75 ± 0.10a	3.11 ± 0.14a
ML-XC	野生	0.15 ± 0.00d	0.97 ± 0.02c	1.22 ± 0.05d
ML-HP	野生	0.42 ± 0.02b	0.65 ± 0.04d	1.42 ± 0.10c
ML-YQ	野生	0.67 ± 0.07a	1.63 ± 0.03b	1.94 ± 0.03b

注:不同小写字母表示不同种源植物中同种化合物含量差异显著( $P<0.05$ )。

苷的规律(图 2)。表明组培樟叶越橘成熟叶片中富集的主效成分含量能够达到甚至超过野生樟叶越橘的水平。

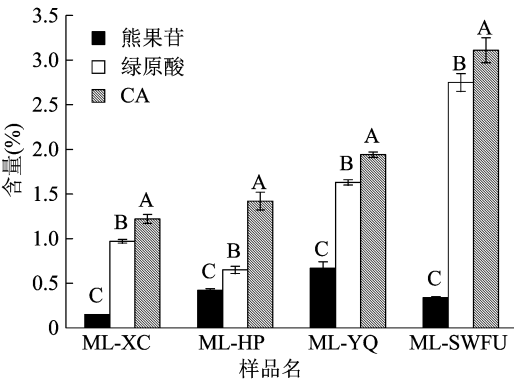


图2 不同种源樟叶越橘成熟叶片中 3 种化合物含量比较

3 讨论与结论

富含 CA、绿原酸和熊果苷 3 种主效成分的新兴、健康特殊民族资源植物樟叶越橘已被报道具有重要的药用<sup>[23-26]</sup>和经济<sup>[5-9,27]</sup>价值,随着对其开发利用的研究增多,其野生资源也日益紧张。植物组织培养技术可在不破坏野生资源的前提下为研究者带来大量无性繁殖植物,且具有不受地理、季节和气候等条件限制的优势<sup>[28]</sup>。在已经开展樟叶越

橘组培体系建立<sup>[17]</sup>和培育获得组培樟叶越橘<sup>[18]</sup>的研究下,本试验比较了组培与野生樟叶越橘不同组织部位中 3 种主效成分含量,结果表明,组培樟叶越橘在成熟叶片和叶芽组织中具有高于野生樟叶越橘的主效成分含量,尤其是 CA 和绿原酸在组培樟叶越橘成熟叶片中的含量均显著高于野生樟叶越橘。CA 和绿原酸是野生樟叶越橘中含量最高的 2 种主效成分<sup>[5,29]</sup>。因此,组培樟叶越橘不仅解决了野生植物取材困难、资源匮乏等问题,还具备了替代野生植物可大量提取获得主效成分的潜能。

已知文献报道,野生樟叶越橘 3 种主效成分含量高低顺序在各组织中均表现为 CA > 绿原酸 > 熊果苷<sup>[21,29]</sup>。本研究中组培和不同种源野生樟叶越橘各组织中也呈现同样的规律,但 3 种主效成分的组织含量分布特征在组培和野生樟叶越橘中存在较大差异。本研究中,CA、绿原酸和熊果苷在野生樟叶越橘组织含量分布上均表现为花芽 > 叶芽 > 成熟叶片,这不同于以往文献显示的叶芽 > 花芽 > 成熟叶片的结果报道<sup>[21,29]</sup>,且化合物具体含量值也存在较大差异,推测这可能与植物样品种源<sup>[30-34]</sup>和干燥方式<sup>[35-38]</sup>、化合物提取工艺和检测方式<sup>[22,39-41]</sup>等因素不同有关。组培樟叶越橘中,熊果苷的组织含量分布与文献<sup>[21,29]</sup>报道的一致,为叶芽 > 花芽 > 成熟叶片;而 CA 和绿原酸的组织含量分布特征则不同于以上规律,CA 在叶芽中的含量显著高于成熟叶片和花芽的,后两者无显著差异;绿原酸在成熟叶片中的含量显著高于叶芽和花芽,后两者也无显著差异。随着 CA、绿原酸、熊果苷等化合物的需求范围不断扩大,对其不仅有高含量提取的要求,而且提取工艺和检测方法等既要节约资源,又要准确简便。因此,建立樟叶越橘主效成分含量提取鉴定方式的统一标准是后期研究努力

的一个方向。

综上所述,樟叶越橘 CA、绿原酸、熊果苷 3 种主效成分含量因种源和组织部位不同而存在差异。在成熟叶片和叶芽组织中,组培樟叶越橘的成熟叶片和叶芽组织的主效成分含量高于野生樟叶越橘(叶芽组织的绿原酸含量除外)。不同种源樟叶越橘成熟叶片中各主效成分含量差异显著,组培樟叶越橘的 CA 和绿原酸含量均显著高于野生樟叶越橘。因此,可通过规模化繁育樟叶越橘组培樟叶越橘替代其野生植物大量提取主效成分,从而解决樟叶越橘在开发利用过程中存在的野生资源匮乏和取材困难等问题。

#### 参考文献:

- [1] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志:第五十七卷第三分册[M]. 北京:科学出版社,1991.
- [2] 吴征益. 西藏植物志:第三卷[M]. 北京:科学出版社,1986.
- [3] 云南省药材公司. 云南中药资源名录[M]. 北京:科学出版社,1993.
- [4] 龙德武. 请君品尝“雀嘴茶”[J]. 云南林业,1991(2):25.
- [5] Zhao P, Tanaka T, Hirabayashi K, et al. Caffeoyl arbutin and related compounds from the buds of *Vaccinium dunaliahum* [J]. Phytochemistry, 2008, 69(18):3087–3094.
- [6] Xu M, Lao Q C, Zhao P, et al. 6'-O - caffeoylarbutin inhibits melanogenesis in zebrafish [J]. Natural Product Research, 2014, 28(12):932–934.
- [7] Chakraborty A K, Funasaka Y, Komoto M, et al. Effect of arbutin on melanogenic proteins in human melanocytes [J]. Pigment Cell Research, 1998, 11(4):206–212.
- [8] Wei Y, Zhang Z, Zhang Y, et al. Simple LC method with chemiluminescence detection for simultaneous determination of arbutin and l - ascorbic acid in whitening cosmetics [J]. Chromatographia, 2007, 65(7/8):443–446.
- [9] Seo D H, Jung J H, Ha S J, et al. High - yield enzymatic bioconversion of hydroquinone to  $\alpha$  - arbutin, a powerful skin lightening agent, by amylosucrase [J]. Applied Microbiology & Biotechnology, 2012, 94(5):1189–1197.
- [10] Baumann L, Woolery - Lloyd H, Friedman A. “Natural” ingredients in cosmetic dermatology [J]. Journal of Drugs in Dermatology, 2009, 8(6 Suppl):5–9.
- [11] 林启寿. 中草药成分化学[M]. 北京:科学出版社,1977.
- [12] 柯铭清. 中草药有效成分理化与药理特性[M]. 长沙:湖南科学技术出版社,1982.
- [13] 陈少洲, 吕飞杰, 台建祥. 葵粕中绿原酸的研究进展与应用前景[J]. 食品与发酵工业, 2002, 28(11):51–54.
- [14] Pellati F, Benvenuti S, Magro L, et al. Analysis of phenolic compounds and radical scavenging activity of *Echinacea* spp. [J]. Journal of Pharmaceutical & Biomedical Analysis, 2004, 35(2):289–301.

- [15] Chlopceikova S, Psotova J, Miketova P, et al. Chemoprotective effect of plant phenolics against anthracycline - induced toxicity on rat cardiomyocytes. Part I. Silymarin and its flavonolignans [J]. Phytotherapy Research, 2004, 18(2):107–110.
- [16] 樊宏伟, 肖大伟, 余黎, 等. 金银花及其有机酸类化合物的体外抗血小板聚集作用[J]. 中国医院药学杂志, 2006, 26(2):145–147.
- [17] 罗旭璐, 唐军荣, 李娜, 等. 樟叶越橘的组织培养与快速繁殖[J]. 植物生理学报, 2014, 50(11):1717–1720.
- [18] 赵展平, 何芳, 唐军荣, 等. 樟叶越橘组培苗生根和移栽技术研究[J]. 广西植物, 2019, 39(7):967–975.
- [19] 卜程洪, 张詠, 罗旭璐, 等. 樟叶越橘不定根培养体系建立[J]. 西南林业大学学报, 2018, 38(3):200–205.
- [20] 付羚, 张詠, 罗旭璐, 等. 樟叶越橘愈伤组织诱导及其细胞悬浮培养体系建立[J]. 西部林业科学, 2019, 48(5):119–124, 130.
- [21] 罗旭璐. 樟叶越橘原植物及其组织培养体系的化学成分分析[D]. 昆明:西南林业大学, 2015.
- [22] 李娜, 但汉龙, 刘云, 等. 雀嘴茶中咖啡酰熊果苷提取工艺的响应面法优化[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2016, 44(6):173–180.
- [23] 王佩, 赖瑛, 吴锡铭. 熊果苷抗炎作用的研究[J]. 中华中医学刊, 2008, 26(9):1933–1935.
- [24] 王亚芳, 周宇辉, 张建军. 熊果苷镇咳、祛痰及平喘的药效学研究[J]. 中草药, 2003, 34(8):739–741.
- [25] Kim J S, Reuhs B L, Michon F, et al. Addition of glycerol for improved methylation linkage analysis of polysaccharides [J]. Carbohydrate Research, 2006, 341(8):1061–1064.
- [26] 曹建新. 樟叶越橘苷的提取及其在健康产品中的应用:CN200810058441.1[P]. 2008–11–05.
- [27] 邓良, 袁华, 喻宗沅. 绿原酸的研究进展[J]. 化学与生物工程, 2005(7):4–6.
- [28] 宋艳梅, 张天锡, 王文全, 等. 组织培养技术在中药资源保护和开发利用中的应用[J]. 西部中医药, 2019, 32(2):135–138.
- [29] Luo X L, Li N, Xu M, et al. HPLC simultaneous determination of arbutin, chlorogenic acid and 6'-O - caffeoylarbutin in different parts of *Vaccinium dunalianum* Wight [J]. Natural Product Research, 2015, 29(20):1963–1965.
- [30] 王韶君, 王耀辉, 李成海, 等. 不同产地山茱萸种子中油脂含量及脂肪酸组成分析[J]. 植物资源与环境学报, 2016, 25(3):112–114.
- [31] 汤诗杰, 贺善安, 盛宁, 等. 不同地理种源杜仲叶片中丁香脂素二糖甙和京尼平甙酸含量的分析[J]. 植物资源与环境学报, 2004, 13(2):58–59.
- [32] 厉月桥, 刘炳响, 冯慧, 等. 不同种源杏香兔耳风绿原酸与芦丁含量变异分析[J]. 江西农业大学学报, 2019, 41(1):107–113.
- [33] 李昌松, 张丽霞, 赵俊凌, 等. 云南地区大叶千斤拔不同种质的异黄酮含量比较[J]. 中国现代中药, 2011, 13(10):30–32, 42.
- [34] 任江剑, 俞旭平, 张斌, 等. 不同种源薏苡仁中甘油三油酸酯

张晓燕,薛晨晨,黄璐,等.不同种皮颜色小豆及其芽苗菜功能性成分与抗氧化能力分析[J].江苏农业科学,2021,49(7):180-185.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.07.032

# 不同种皮颜色小豆及其芽苗菜功能性成分与抗氧化能力分析

张晓燕,薛晨晨,黄璐,袁星星,陈新

(江苏省农业科学院经济作物研究所,江苏南京 210014)

**摘要:**为明确不同种皮颜色小豆及其芽苗菜功能性成分的差异,分别对 6 种不同种皮颜色小豆及其芽苗菜的酚类化合物、黄酮类化合物、异黄酮、皂苷和  $\gamma$ -氨基丁酸( $\gamma$ -aminobutyric acid,  $\gamma$ -GABA)等功能性成分含量进行比较,并分析体外抗氧化能力。结果表明,小豆种子富含酚类化合物、黄酮类化合物、异黄酮、皂苷和  $\gamma$ -GABA 等功能性成分,且具有较高的抗氧化能力。黑色种皮的苏黑珠 1 号小豆种子总酚类化合物、总黄酮类化合物、皂苷和  $\gamma$ -GABA 含量最高,抗氧化能力最强,且苏黑珠 1 号小豆芽苗菜产量最高。与种子相比,苏品红 1 号和苏黄 1 号小豆芽苗菜总酚类和总黄酮类化合物含量显著提高,苏灰 1 号和苏黑珠 1 号小豆芽苗菜异黄酮含量显著提高。总体而言,供试小豆品种中苏黑珠 1 号小豆不仅富含功能性成分,而且抗氧化能力也较强,具有良好的开发前景。

**关键词:**小豆;芽苗菜;酚类化合物;抗氧化;黄酮类化合物;异黄酮; $\gamma$ -GABA

**中图分类号:**S521.01 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2021)07-0180-06

小豆[*Vigna angularis* (Willd) Ohwi & Ohashi]是我国主要食用豆之一,在菜用、药用和产品加工等方面具有较好的经济价值<sup>[1]</sup>。小豆不仅含有蛋白质、碳水化合物、膳食纤维、维生素和矿物质等基本营养物质,还富含多酚、黄酮类化合物和皂苷等功能性成分<sup>[2-3]</sup>。小豆中的功能性成分具有降血

压、降血脂、调节血糖、抗菌、抗氧化等保健功效,并有助于控制或预防慢性和退行性疾病<sup>[4]</sup>。

发芽是一种简单、有效且低成本的改善豆类营养品质的技术。大量研究表明,发芽是一个动态过程,它不仅降低了抗营养因子等不利成分,提高了蛋白质的吸收利用率,还会引起功能性成分含量发生显著变化<sup>[3]</sup>。小豆芽苗菜口感鲜嫩且营养丰富,具有生长周期短、栽培方式灵活等特点,市场前景广阔。前期研究表明,豆类芽苗菜的营养品质主要取决于种子的品质和特性<sup>[5-6]</sup>。目前,关于小豆芽苗菜营养成分的研究多集中于比较同一品种在不同处理下的营养成分变化<sup>[7]</sup>,因此有必要利用种质资源优势系统研究不同品种小豆及其芽苗菜功能性成分及抗氧化特性。

本研究以江苏省特有的 6 个不同种皮颜色小豆

收稿日期:2020-08-06

基金项目:国家自然科学基金(编号:31902001);国家食用豆产业技术体系生物防治与综合防控岗位科学家(编号:CARS-08-G15);江苏省特粮特经产业技术体系集成创新中心(编号:JATS[2019]399)。

作者简介:张晓燕(1988—),女,山东烟台人,博士,助理研究员,主要从事豆类功能育种与应用研究。E-mail:xyzhang@jaas.ac.cn。

通信作者:陈新,博士,研究员,主要从事豆类作物遗传育种研究。E-mail:cx@jaas.ac.cn。

含量比较[J].中国现代中药,2011,13(4):15-17.

[35]苑静,王绍云.不同干燥方法对甜藤茎中成分含量的影响[J].中国调味品,2018,43(6):30-34.

[36]邢颖,王瑞芳,邓随胜.不同干燥方式对橘皮精油和黄酮的影响[J].食品工业科技,2018,39(6):77-81,96.

[37]李嘉,黄瑞松,黄建猷,等.不同干燥方法对喜树果中喜树碱含量的影响[J].广西医学,2006,28(11):1699-1701.

[38]Saifullah M, McCullum R, McCluskey A, et al. Effects of different drying methods on extractable phenolic compounds and antioxidant

properties from lemon myrtle dried leaves[J]. Heliyon, 2019, 5(12):e03044.

[39]徐士钊,齐菲,席雅琳,等.响应面法优化辽东楸木总皂苷提取工艺及其抗氧化作用[J].江苏农业科学,2020,48(3):204-209.

[40]刘德明,张莹,邬克彬,等.紫马铃薯花色苷的超声辅助提取工艺优化[J].江苏农业科学,2020,48(5):181-185.

[41]刘会灵.樟叶越橘化学成分的研究[D].昆明:昆明理工大学,2009.