

乌饭树资源开发利用研究进展

王立, 练伟佳, 李言, 钱海峰, 张晖, 齐希光

江南大学食品学院, 江苏 无锡 214122

摘要: 乌饭树 *Vaccinium bracteatum* 是杜鹃花科越橘属常绿植物, 其野生资源在我国分布较广, 尤其以江、浙、闽一带为多。目前我国对乌饭树资源的研究主要集中于其树叶和果实中功能性成分的提取、分离和功能验证, 相关产品的开发还处于初级加工的阶段。对乌饭树树叶及其果实中的主要功能成分和开发利用现状进行概述, 以为乌饭树资源的开发应用提供参考依据。

关键词: 乌饭树; 黄酮类; 多糖; 维生素; 色素

中图分类号: R282.71 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2018)17-4197-08

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2018.17.035

Study progress of exploitation and utilization of *Vaccinium bracteatum* resources

WANG Li, LIAN Wei-jia, LI Yan, QIAN Hai-feng, ZHANG Hui, QI Xi-guang

School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China

Abstract: *Vaccinium bracteatum*, an evergreen shrub of *Vaccinium* genus of Ericaceae, is widely distributed throughout China, especially in Jiangsu, Zhejiang, and Fujian provinces. At present, the researches on *V. bracteatum* mainly focus on the extraction, separation and bioactive verification of the functional components in its leaves and fruits. However, few literatures had been reported on its application in foods. This paper summarized the main functional components of its leaves and fruits. The development and utilization of the leaves and fruits were also introduced, which is helpful for the development and application of *V. bracteatum* resources.

Key words: *Vaccinium bracteatum* Thunb.; flavonoids; polysaccharides; vitamins; pigments

乌饭树 *Vaccinium bracteatum* Thunb. 是越橘属 *Vaccinium* Linn. 植物, 目前全世界范围内的越橘属植物约有 450 种, 我国已知的有 91 种, 而乌饭树是其中分布最广、种植数量最多的越橘属植物^[1]。我国乌饭树大多分布在南方地区。乌饭树树叶及其果实的营养价值很高, 江、浙、闽一带素有食用乌饭树树叶及其果实制作乌米饭食用的习俗。乌饭树树叶中含有丰富的多糖^[2]和黄酮类化合物^[3], 同时还含有多种脂肪酸^[4]、氨基酸^[5]及维生素^[6]等营养成分。其主要成分中糖类物质占 52.10%^[7]、黄酮类化合物质量分数约为 19.48%^[8] (其中槲皮素占 35.71%^[9])。目前分离得到的黄酮类化合物中槲皮素的抗氧化作用最强且清除自由基的效果最佳^[10], 因此, 提取乌饭树树叶中的槲皮素已成为研究的热点之一^[11-13]。乌饭树浆果中的多酚类物质和维生素含量较高, 其中

多酚类物质中以花色苷及黄酮类化合物为主^[14], 具有软化血管^[15]、抗衰老^[16]、清除自由基^[17]等作用。目前一般通过树脂法提取纯化浆果中的多酚类色素^[18-19]。

乌饭树树叶及其果实具有多种营养价值和生理功能, 且资源丰富, 具有良好的开发和应用前景^[20]。近年来已有乌饭树相关饮料类产品^[21]、色素染色类产品^[22]以及提取物添加在各类食品中作为营养增效剂^[23]等相关开发和应用, 但总体看来, 乌饭树资源的开发利用还处于初级阶段。本文综述了乌饭树的相关研究进展和产品开发现状, 以为乌饭树资源深度开发利用提供参考。

1 乌饭树功能成分及活性

1.1 树叶

乌饭树树叶因其兼具食用、药用两方面价值,

收稿日期: 2018-01-31

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (31671890)

作者简介: 王立 (1978—), 男, 教授, 博士, 研究方向为功能因子及健康食品。Tel: (0510)85329099 E-mail: wl0519@163.com

近年来国内外学者陆续对其展开了相关研究。李增亮等^[24]和余清等^[25]对乌饭树树叶的有效成分进行了分析。乌饭树树叶含有多营养和健康功能成分,如大量的可溶性糖类及黄酮类,另外也含少量的蛋白质、脂肪以及有机酸等成分^[20]。目前围绕乌饭树树叶中黄酮类化合物和多糖成分的研究较多。

1.1.1 黄酮类 乌饭树树叶中黄酮类化合物种类多样且含量较高(约占 19.48%^[8])。屠鹏飞等^[26]从乌饭树树叶中分离得到了 4 种黄酮类物质无羁萜(酮)、表无羁萜醇、槲皮素、异荭草素。王立等^[27]从乌饭树树叶黑色素溶液中分离得到 5 种黄酮类物质,分别为槲皮素、白杨黄素、芹黄素、山柰酚和木犀草素。杨振东等^[28]利用乙醇浸提、大孔树脂纯化分离得到了异槲皮苷(267.8 mg/g)、槲皮素(61.6 mg/g)和山柰酚(98.0 mg/g)。对于乌饭树树叶中黄酮类物质的提取方法,从传统的有机溶剂浸提法逐渐发展为多种辅助联合技术提取,如超声波微波辅助技术^[29]、超临界流体萃取^[30]、真空辅助阻滞冻结法^[31]等。其提取率显著提高并极大程度上保护了黄酮类物质的活性。

乌饭树树叶中的黄酮类化合物具有多种功能作用,如抗氧化^[32]和消除自由基^[33]、抗癌防癌^[34]、保护神经系统^[35]、抑菌消炎^[36-37]和抗紫外线^[38]等。王立等^[39]通过超氧阴离子自由基($O_2^{\cdot-}$)和羟基自由基($\cdot OH$)清除实验验证了乌饭树树叶黄酮类提取物具有较强的自由基清除能力。余清等^[40]研究了乌饭树树叶黄酮类提取物抑制小鼠实体瘤和腹水癌的作用,结果表明高剂量的提取物对小鼠肿瘤细胞有明显的抑制作用,并提出了将乌饭树树叶中的黄酮类物质与抗肿瘤药品协同使用以增强其抗肿瘤作用的观点。近年来,乌饭树树叶黄酮类提取物抑菌作用的研究也逐渐展开,章海燕等^[41]发现乌饭树树叶中的水溶性黄酮抑菌效果强于山梨酸钾,说明乌饭树树叶黄酮类提取物在食品防腐中有较好的应用前景。

1.1.2 多糖类 多糖普遍存在于动植物体中,现有大量研究表明植物多糖具有免疫调节^[42]、抗菌^[43]、抗肿瘤^[44]、降血糖^[45-46]、调血脂^[47-48]等生理功效。乌饭树树叶中的多糖含量较高,约占其物质总量的一半以上^[7]。程素娇等^[2]测得乌饭树树叶中多糖由阿拉伯糖、半乳糖、葡萄糖、木糖、甘露糖等单糖组成,并发现其具有较好的改善血糖作用。徐啟馨^[49]从乌饭树树叶中分离出 4 种多糖组分 HBSS(主要成分为阿拉伯糖、葡萄糖、半乳糖)、CHSS(主要

成分为阿拉伯糖、半乳糖)、DASS(主要成分为鼠李糖、阿拉伯糖)和 CASS(主要成分为阿拉伯糖、木糖、葡萄糖、半乳糖),并发现这些多糖都具有较强的抗氧化能力,其中 HBSS 对 $\cdot OH$ 和 ABTS 自由基的清除能力最强。如今,天然植物多糖已逐渐被应用于保健食品以及医药开发^[50],但对乌饭树树叶多糖提取物的研究才刚刚开始。鉴于乌饭树树叶多糖的多种保健作用,建议结合乌饭树树叶多糖的提取及保健作用研究^[51],充分发挥其在健康食品中的应用。

1.1.3 其他 乌饭树树叶中还含有氨基酸、蛋白质、维生素及矿物质等物质。研究表明从乌饭树树叶中分离得到的 17 种氨基酸中包含 7 种人体所必需的氨基酸,维生素中 VB_1 和 VC 的质量分数分别高达 89.9、696.2 mg/kg^[52]。研究表示,乌饭树树叶中的 γ -氨基丁酸(GABA)含量与芽糙米中的 GABA 含量相当,这些 GABA 具有良好的降血压、抗焦虑、降血糖等生理功效^[52]。乌饭树树叶中还含有多种挥发油成分,且这些挥发油大都具有抑菌防腐的作用^[53]。另外,有报道^[54]表明在乌饭树树叶中最新发现了环烯醚萜苷及其衍生物,鉴定出 4 种新结构的环烯醚萜苷二聚体化合物,并指出其具有改善心血管疾病的活性。

1.2 乌饭树浆果

乌饭树浆果同样具有多种生理功能,研究表明乌饭树浆果具有抗菌^[55]、抗病毒^[56]、预防癌症和保护心血管^[57]、改善记忆^[58]以及防腐^[59-61]等作用。乌饭树浆果中含有大量的维生素及多酚类成分,但目前的研究还主要集中于对其浆果色素的提取、成分分析及相关应用等方面^[62]。

1.2.1 多酚类 乌饭树浆果中的色素类物质大都为多酚类化合物,如花色素苷类、桂皮酸、苯甲酸衍生物、黄烷-3-醇、黄酮醇糖苷类等^[63]。何志伟等^[18]利用 D101 树脂分离乌饭树浆果中的色素,得到矢车菊素、飞燕草素、锦葵素、碧冬茄素、芍药花素 5 种乌饭树浆果色素中的花色苷元。龚盛昭等^[64]研究发现乌饭树浆果红色素的水溶性和热稳定好,但对光照、金属离子以及氧化剂较敏感,因此建议用非金属容器避光保存。He 等^[65]采用响应面法对越橘属植物蓝莓酒中总花青素和酚类物质的超声辅助提取条件进行了优化,分离得到了 7 种酚类物质飞燕草素葡萄糖苷、飞燕草素阿拉伯糖苷、矮牵牛素葡萄糖苷、矢车菊素阿拉伯糖苷、矢车菊素、锦葵花

素葡萄糖苷和锦葵色素。这些多酚类物质大都具有抗衰老^[66]、抗炎防癌^[67-68]、保护心血管^[69]、保护视网膜^[70]等生理功能。随着科学工作者对乌饭树浆果中的色素类成分及性质更为深入地研究^[71-72]，乌饭树浆果色素在健康食品行业的应用也将会越来越广泛。

1.2.2 维生素 维生素是人体所必需的微量元素，富含维生素的水果可预防和降低疾病的发生率^[73]。乌饭树浆果中含有多种维生素及矿物质，其中水溶性β-胡萝卜素和VC含量较多，每100 g果实中β-胡萝卜素和VC的含量为15~30 mg和20~30 mg^[7]，其VC含量与富含VC的橘子（250~300 mg/kg）相当且明显高于牛奶和苹果中的VC含量^[75]。乌饭树浆果因其本身酸度较高，不适宜作为水果直接食用，但其维生素含量较高且其果汁具有鲜亮的颜色，可作为维生素补充剂添加到其他食品中来提高附加价值并改善食品的风味。

1.2.3 其他 浆果除了含有大量的多酚类物质和维生素以外，还含有鞣质、有机酸、挥发性成分、多糖以及K、Na、Ca、Mg、Zn、Cr、Se等元素^[76]，且因其含有极少量的脂肪和胆固醇所以十分适合肥胖人群食用。另外，乌饭树浆果中所含的蛋白质和多糖成分具有极高的营养价值。其蛋白质的生物价高达2.6，因此人体的利用率较高^[52]，其多糖物质具有免疫调节、抗癌、美容等功能^[77]。

2 乌饭树资源开发利用现状

2.1 树叶

2.1.1 饮品

(1) 生态茶：茶叶中含有茶多酚、咖啡碱、茶多糖、儿茶素等多种活性成分，是世界三大饮料之一^[78]。乌饭树树叶中也含有多种活性成分，同时还具有特殊风味，因此，相关学者结合茶叶和乌饭树树叶两者的功能性优势，开发出乌饭树树叶生态茶。唐忠炳等^[79]以叶片色泽和数量为标准，选用3~4月份的乌饭树嫩芽或嫩叶，风干后150℃灭酶，同时结合色泽及香气保留率确定处理时间，最终干燥至含水量为8%~9%即成乌饭树树叶生态茶。另外，也有制备乌饭树树叶茶包的发明专利^[80]，用中性酶处理乌饭树树叶得到降解产物，同时将乌饭树树叶粉碎干燥，将两者混合经灭菌制成降血压乌饭树树叶袋泡茶。随着健康茶饮的日益普及，乌饭树树叶生态茶这一新型茶饮的出现满足了人们对营养和风味追求。

(2) 饮料：乌饭树树叶常作为一些饮料的主要辅料来提高饮料的营养价值和风味。杨瑞菊^[81]采用37%乌饭树树叶提取液、18%山楂提取液、44%蜂蜜并加入适量柠檬酸和保鲜剂，调配了一种营养饮品。马奕春^[82]用乌饭树鲜叶55 g，粉碎后在80℃热水中浸煮5~10 min，共加水煮汁2次（用水共500 mL），滤过后再加入蜂蜜20 g调配，2次滤过后加入7.5 g白砂糖和1 g柠檬酸调味，罐装杀菌得到乌饭树树叶饮料。陈明婕^[83]以30%的乌饭树树叶汁和10%的芹菜汁作为主配料，添加0.15%羧甲基纤维素钠（CMC-Na）+0.2%琼胶作为复合稳定剂，0.1% NaCl+0.02% ZnCl₂溶液对芹菜进行护绿，该饮料具有乌饭树树叶的特殊清香和芹菜的香味，口感清爽可口。另外，也有企业在开发添加乌饭树树叶成分的新型饮料^[84]。

2.1.2 染色剂

(1) 染米：长久以来，江浙一带就有用乌饭树树叶榨汁染米，再蒸熟食用的习俗，蒸煮后的米饭为黑紫色，所以称为“乌米饭”，李时珍称“此饭乃仙家服食之法”^[85]。余清等^[25]将乌饭树树叶清洗、粉碎并用热碱水（60~65℃）浸提得到乌饭树树叶浓缩液，按20:1~30:1与糯米混合染色，得到的乌米蒸熟后，经干燥、真空包装，制得速食乌米饭。另有专利^[86]用乌饭树树叶制得浸泡液（500 g乌饭树树叶浸泡2~2.5 kg糯米），在121℃、常压条件下敞开式蒸煮糯米10~15 min，冷却至60~90℃后进行抽真空包装，在原条件下2次蒸煮20~30 min后冷却即可得到乌米饭速食品，经该法得到的乌米饭口感和复水性都有所提高。徐塬等^[20]将乌饭树树叶制成粉末，该乌饭叶米饭伴侣18 g可浸泡500 g糯米，加开水后0.5 h蒸煮后即得乌米饭。另外，也有相关专利^[87]改良了其传统配方，如在传统的乌米饭中添加蓝莓果干来提升其口感及营养价值。关于乌饭树树叶色素染米的机制研究^[88-89]近几年也被人们广为关注，这为进一步探究其最佳的染米条件提供了理论依据。

(2) 染发：目前有文献报道^[90-91]关于乌饭树树叶色素提取的具体方法，其提取工艺也日益成熟，因此关于乌饭树树叶色素染发的研究也逐渐为人们所关注。肖子英等^[92]发明了一种乌饭树植物黑发霜，用乌饭树树叶色素作为主要染色成分并添加藏红花、五倍子、红景天等辅助原料，制备简单且染黑效果好，是一种绿色健康的新型染发剂。罗志卿^[93]

发明了一种利用乌饭树树叶搭配薯蓣、黑米、黑芝麻制得的天然黑发剂,该染发剂相比前一种成本更低且染发及护发效果也良好。

(3) 染织物:乌饭树树叶提取物除了开发为染发剂外,也有将其用于染织物。田恬等^[94]利用乌饭树树叶色素对羊毛纤维进行染色,发现染色效果随 pH 值和乌饭树树叶浸提汁用量的改变可获得不同系列颜色的织物,所得织物颜色天然且保色持久。刘建平等^[95]在上述研究的基础上得出在 pH=4、染色 70 min、温度 95 ℃、质量浓度 40 g/L、染色毛线的 K/S 值为 7.2 时的条件下,乌饭树树叶色素对羊毛纤维的染色效果最好。尚润玲等^[96]公开了用乌饭树树叶色素对真丝染色的专利工艺,该工艺下所得真丝具有靓丽的蓝黑色且具有乌饭树树叶特有的清新香味。近期,另有报道乌饭树树叶色素对桑蚕丝^[97]和锦纶^[98]也有很好的染色效果,染出的颜色为暗红色且着色牢固。

2.1.3 其他 由于乌饭树树叶本身含有多种天然活性成分,除了在饮料行业及染色行业的应用外,乌饭树树叶提取物也可被制成颗粒、胶囊、冻干粉等形态的营养增效剂^[99-100]。如乌饭树树叶中的天然黑色素、 α -亚麻酸、熊果酸等提取物可制成具备一定功效的颗粒剂或口服液。另外,乌饭树树叶的挥发性成分还可制成植物精油^[101]、多糖提取物在卷烟^[102]中应用以提升口感,以及在软糖^[99]、饼干^[103]等加工工业中应用。近些年,随着对乌饭树树叶提取物抗炎抑菌效果^[104]更为深入地研究,已有乌饭树树叶天然防腐固体分散剂的研究^[105]。

2.2 浆果

2.2.1 酿酒 以乌饭树浆果为原料经酵母发酵可制得乌饭树果酒。邵京等^[106]通过单因素及正交实验优化发酵条件得到乌饭树浆果发酵酿酒的最佳工艺:破碎乌饭树果实后经 100 mg/kg SO₂ 和 120 mg/kg 果胶酶处理 3 h,接种 0.20% 的干酵母,在 25 ℃ 条件下发酵 8 d 后调低温度至 14~18 ℃,经后发酵 20 d 即可得到口感香甜、营养丰富的乌饭树果酒。在果酒酿造中酵母菌品质的优劣很大程度上决定了酒的品质,王立等^[107]通过对乌饭树果酒发酵工艺中菌体的生长状况进行了监测并结合果酒的酒精度、总糖、总酸、总酚等理化指标筛选得到了适合酿造乌饭树果酒的 Y3 优良菌株,利用该菌株仅酿造 11 d 即可获得口感良好、色泽纯正的果酒,其中花色苷 (119.2 mg/L)、总酚 (5 158.2 mg/L) 和黄酮 (5.6

mg/L) 的含量均达到较高水平。与邵京等的发酵方法相比,其发酵时间大大减少,这使得乌饭树果酿酒的生产周期加快,有利于其形成产业化规模生产。

2.2.2 饮料 乌饭树浆果每 100 g 约含 14 g 碳水化合物,榨出的汁颜色鲜亮且口感清爽,酸甜适中,因此可作为饮料产品的原材料。乌饭树浆果具有保护视力^[108]的功效,因此也可考虑开发护眼产品来提升其市场价值。王伟江等^[109]利用果胶酶将越橘榨汁与决明子浓缩汁按体积比 10:1 制得原汁并加入 4 倍原汁体积的水,用 0.1% 黄原胶+0.1% CMC-Na 作为复合稳定剂,加入 8% 白砂糖、0.1% 柠檬酸、0.02% 乙基麦芽酚、0.06% 欧洲越橘提取物、0.015% 异抗坏血酸钠等辅料,搭配制得一种新型的视力保健饮料。另外,文连奎等^[110]通过实验得出使用 225 mg/L 的明胶和 2 250 mg/L 的膨润土可对越橘属浆果榨汁有着良好的澄清效果,为越橘属水果榨汁澄清提供了实践依据。

2.2.3 色素着色 乌饭树浆果含有大量的酚类色素物质,早在 19 世纪 90 年代研究者弗朗西斯^[111]便提出乌饭树浆果是一种良好的食品着色剂,并经实验得出乌饭树浆果对食品着色的主要影响因素为其 pH 值和浆果色素的用量。通常,着色剂配方中浆果色素含量越高着色越明显,着色样品的颜色随着自身 pH 值的改变而改变,pH 值越低颜色越深。因此,在实际应用时需严格控制食品本身 pH 值的变化,同时要确定适宜各类食品着色的乌饭树果色素比例以获得最大的经济效益。另外,随着植物色素提取技术的日益成熟^[112-113],将乌饭树浆果中的各类色素类物质通过化学手段分离也逐渐成为了可能,若将其果实中的色素类物质提取并制成颗粒剂应用于各类食品的着色,则该类食品着色剂将很有可能占据天然食品添加剂中的一部分市场。

2.2.4 其他 国外对越橘属植物的产品开发较我国早,如日本研制出了乌饭树浆果罐头、果泥、果醋等系列产品。国内对越橘属的浆果应用虽开发较晚,但目前也研制出各类乌饭树浆果产品。陈明婕^[83]利用乌饭树果与无花果按照 50:60 配合制浆,并用褐藻胶或黄原胶或 CMC-Na₃ 作为增稠剂 (4 g 增稠剂/1 kg 果浆) 得到乌饭树果酱,其口味酸甜、感官品质良好。一些食品企业也在食品配方中添加乌饭树同属浆果以提升其感官品质和营养价值,如将其应用于糖果生产^[114]、果冻食品^[115]以及快餐行业中^[116]。另外乌饭树浆果在医药行业也充当着重要的角色。乌

饭树果在中药材中又称为乌饭子、南烛子,其干燥果实可作为药材使用,乌饭树浆果中的多酚类物质可抑制腹水癌细胞的生成并使其变性^[117]从而起到抗癌的作用。国外则利用乌饭树浆果中的花色苷制成治疗眼疾的药品^[118]。

3 问题与展望

野生的乌饭树资源在我国分布较为广泛,在江、浙、闽一带尤为多,且也是树林群落中的优势树种。国外对越橘属植物的相关产品开发较我国早,我国对乌饭树现有的研究已获得初步进展,但尚存在一些不足:①不同地域及不同采摘时节的乌饭树叶和果实中的各类成分含量差异较大,目前仅对不同产地、不同时期其中的黄酮类物质含量进行评价的相关报道,而其他成分的研究较少。②目前对乌饭树的开发和利用还是依赖于其野生种植资源,对其优良品种的选育及养殖技术的引进方面研究较少。③植物的生长受其所处的环境影响很大,不同功能性成分受环境的影响有所差异,通过环境胁迫引起目标成分积累的种植手段已被广泛认识,但有关乌饭树中有效成分的相关研究还尚未展开。④乌饭树主要成分的保健作用研究已取得初步成果,但大多停留在动物实验层面,其作用机制尚未明确。

随着人们对营养、绿色、健康的日益关注以及国内外对乌饭树资源的广泛研究,以其为原料的高营养价值食品具有良好的开发前景。因此,针对上述存在的问题,加强对乌饭树资源的认识、开发乌饭树资源的新用途以及优化其生产工艺对于扩大乌饭树资源在各类领域中的应用具有重要意义。

参考文献

- [1] Wang S Y, Chen H J, Camp M J, *et al.* Genotype and growing season influence blueberry antioxidant capacity and other quality attributes [J]. *Inter J Food Sci Technol*, 2012, 47(7): 1540-1549.
- [2] 程素娇. 乌饭树树叶多糖降血糖研究 [D]. 无锡: 江南大学, 2013.
- [3] Huang W Y, Zhang H C, *et al.* Survey of antioxidant capacity and phenolic composition of blueberry, blackberry, and strawberry in Nanjing [J]. *J Zhejiang Univ-Sci B*, 2012, 13(2): 94-102.
- [4] 周三女, 吴先辉, 田妍基. 乌饭树叶的研究新进展 [J]. *福建轻纺*, 2015(8): 37-41.
- [5] 姚士. 乌饭树叶的化学成分研究 [D]. 苏州: 苏州大学, 2013.
- [6] 谭小丹, 陈涵, 王淑娜, 等. 乌饭树的营养价值及其

开发利用 [J]. *农产品加工*, 2016(8): 59-62.

- [7] 赵青, 陈庆生, 方炎明, 等. 乌饭树化学成分和药理活性研究进展 [J]. *中药材*, 2016, 39(6): 1437-1440.
- [8] 苏凯迪, 姚士, 李贺然, 等. 乌饭树叶提取物的化学成分与抗氧化活性研究 [J]. *中国食品添加剂*, 2017(7): 87-95.
- [9] 刘知远, 陈福星. HPLC 法测定乌饭树叶活性成分槲皮素的含量 [J]. *中国药师*, 2012, 15(10): 1507-1508.
- [10] 王立. 乌饭树黑色素中功能性成分的研究 [D]. 无锡: 江南大学, 2005.
- [11] 王立, 姚惠源. 乌饭树树叶中黑色素定量检测方法的研究 [J]. *食品工业科技*, 2005(10): 176-179.
- [12] 王立, 姚惠源, 陶冠军, 等. 乌饭树树叶中槲皮素的提取分离与鉴定 [J]. *食品与生物技术学报*, 2005, 24(4): 89-91.
- [13] 黄佳萍, 郑青, 郭梦梦, 等. 超声波法提取乌饭树叶槲皮素的工艺研究 [J]. *安徽农业科学*, 2013, 41(9): 4050-4052.
- [14] Robert V, Ana S, Jan B, *et al.* Anthocyanin composition of different wild and cultivated berry species [J]. *Lwt-Food Sci Technol*, 2015, 60(1): 509-517.
- [15] Luis G, Maria A M, Beatriz S, *et al.* Effect of cocoa and its flavonoids on biomarkers of inflammation: Studies of cell culture, animals and humans [J]. *Nutrients*, 2016, doi: 10.3390/nu8040212.
- [16] Shen C Y, Jiang J G, Yang Li, *et al.* Anti-ageing active ingredients from herbs and nutraceuticals used in traditional Chinese medicine: Pharmacological mechanisms and implications for drug discovery [J]. *British J Pharmacol*, 2017, 174(14): 1395-1425.
- [17] Ambigaipalan P, de Camargo A C, Shahidi F. Identification of phenolic antioxidants and bioactives of pomegranate seeds following juice extraction using HPLC-DAD-ESI-MSn [J]. *Food Chem*, 2017, doi: 10.1016/j.foodchem.2016.10.058.
- [18] 何志伟, 刘钟栋, 邵斌, 等. 大孔吸附树脂纯化乌饭树果色素的研究 [J]. *食品科技*, 2007(9): 88-92.
- [19] 许磊, 刘钟栋, 陈肇铤, 等. 树脂法提取乌饭树果色素的研究 [J]. *中国食品添加剂*, 2006(2): 64-67.
- [20] 徐塬, 王立, 李柱, 等. 乌饭树树叶及其果实研究进展 [J]. *食品工业科技*, 2013, 34(20): 372-376.
- [21] 文连奎, 姜明珠, 任小丽, 等. 笃斯越橘果粒果汁饮料加工工艺 [J]. *饮料工业*, 2006, 9(3): 31-33.
- [22] 尚润玲. 大豆蛋白织物的乌饭树叶植物染料染色 [J]. *印染*, 2016, 42(13): 16-19.
- [23] 刘军波, 赵芸, 邹礼根, 等. 我国越橘属植物在食品领域中的综合利用 [J]. *保鲜与加工*, 2013, 13(1): 52-56.

- [24] 李增亮, 张琳, 田景奎, 等. 乌饭树叶的化学成分研究 [J]. 中国中药杂志, 2008, 33(18): 2087-2089.
- [25] 余清, 陈绍军, 庞杰. 乌饭树叶有效成分的研究及其开发应用 [J]. 食品与机械, 2007, 25(3): 171-174.
- [26] 屠鹏飞, 刘江云, 李君山. 乌饭树叶的脂溶性成分研究 [J]. 中国中药杂志, 1997, 22(7): 39-40.
- [27] 王立, 姚惠源, 张晖. 乌饭树黑色素中黄酮类单体的提取; 分离; 纯化及鉴定: 中国, CN1844116 [P]. 2006-10-11.
- [28] 杨振东, 蒋彦婕. 乌饭树叶提取物抗氧化活性研究及组分分析 [J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(9): 144-147.
- [29] 陈义勇, 张德谨. 乌饭树叶黄酮超声—微波辅助提取工艺的优化 [J]. 食品与机械, 2016, 32(1): 148-153.
- [30] 余清, 郑小严, 黄红霞, 等. 超临界 CO₂ 萃取乌饭树叶总黄酮的工艺 [J]. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2009, 38(1): 97-102.
- [31] Orellana-Palma P, Petzold G, Pierre L, *et al.* Protection of polyphenols in blueberry juice by vacuum-assisted block freeze concentration [J]. *Food Chem Toxicol*, 2017, doi: 10.1016/j.fct.2017.03.038.
- [32] Hovakim Z, Erik A, Adrian O, *et al.* Flavonoids: Promising natural compounds against viral infections [J]. *Arch Virol*, 2017, 162(9): 2539-2551.
- [33] Hu J, Wang J, Li S, *et al.* Phytochemical compositions, antioxidant and antimicrobial activities analysis of extracts from *Vaccinium bracteatum* Thunb. leaves [J]. *J Appl Bot Food Qual*, 2016, doi: 10.1002/cbdv.201700114.
- [34] Grosso G, Godos J, Lamuela-Raventos R, *et al.* A comprehensive meta-analysis on dietary flavonoid and lignan intake and cancer risk: Level of evidence and limitations [J]. *Mol Nut Food Res*, 2017, doi: 10.1002/mnfr.201600930.
- [35] Patel S. Phytochemicals for taming agitated immune-endocrine-neural axis [J]. *Biomed Pharmacother*, 2017, doi: 10.1016/j.biopha.2017.05.010.
- [36] Landa P, Skalova L, Bousova I, *et al.* *In vitro* anti-proliferative and anti-inflammatory activity of leaf and fruit extracts from *Vaccinium bracteatum* Thunb. [J]. *Pak J Pharm Sci*, 2014, 27(1): 103-106.
- [37] 章海燕, 王立, 张晖. 乌饭树树叶不同提取物抑菌作用的初步研究 [J]. 粮食与食品工业, 2010, 17(1): 34-37.
- [38] 黄红英, 刘晶, 赵雨萍. 春冬两季小叶黄杨叶片中抗紫外辐射物质总黄酮含量的比较 [J]. 湘南学院学报, 2012, 33(5): 37-39.
- [39] 王立, 唐小舟, 姚惠源, 等. 乌饭树树叶中黄酮类色素清除活性氧自由基的研究 [J]. 食品科学, 2005(12): 98-102.
- [40] 余清. 乌饭树叶中黄酮等有效成分分析及抗肿瘤作用研究 [D]. 福州: 福建农林大学, 2008.
- [41] 章海燕, 王立, 张晖. 乌饭树树叶水溶性黄酮的抑菌作用的研究 [J]. 中国食品添加剂, 2010(5): 62-67.
- [42] 尚庆辉, 解玉怀, 张桂国, 等. 植物多糖的免疫调节作用及其机制研究进展 [J]. 动物营养学报, 2015, 27(1): 49-58.
- [43] Howell A B, Foxman B. Cranberry juice and adhesion of antibiotic-resistant uropathogens [J]. *J Amer Med Assoc*, 2002, 287(23): 3082-3083.
- [44] Dai J, Gupte A, Gates L, *et al.* A comprehensive study of anthocyanin-containing extracts from selected blackberry cultivars: Extraction methods, stability, anticancer properties and mechanisms [J]. *Food Chem Toxicol*, 2009, 47(4): 837-847.
- [45] Sun X Y, Liu N, Wu Z X, *et al.* Anti-tumor activity of a polysaccharide from blueberry [J]. *Molecules*, 2015, 20(3): 3841-3853.
- [46] 程素娇, 张英, 王立, 等. 天然资源功能因子降血糖研究进展 [J]. 食品工业科技, 2012, 33(12): 387-391.
- [47] Wang L, Zhang Y, Xu M C, *et al.* Anti-diabetic activity of *Vaccinium bracteatum* Thunb. leaves' polysaccharide in STZ-induced diabetic mice [J]. *Inter J Biol Macromol*, 2013, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2013.07.028.
- [48] Wang L, Zhang X T, Zhang H Y, *et al.* Effect of *Vaccinium bracteatum* Thunb. leaves extract on blood glucose and plasma lipid levels in streptozotocin-induced diabetic mice [J]. *J Ethnopharmacol*, 2010, 130(3): 465-469.
- [49] 徐啟馨. 乌饭树树叶多糖的提取、理化性质及抗氧化性研究 [D]. 合肥: 合肥工业大学, 2017.
- [50] 张淑杰, 康玉凡. 天然活性多糖研究进展 [J]. 食品工业科技, 2017, 38(2): 379-382.
- [51] Qian H F, Li Y, Wang L. *Vaccinium bracteatum* Thunb. leaves' polysaccharide alleviates hepatic gluconeogenesis via the downregulation of miR-137 [J]. *Biomed Pharmacother*, 2017, doi: 10.1016/j.biopha.2017.09.040.
- [52] 李励. 乌饭树叶功能成分测定及其冻干粉开发研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2014.
- [53] 杨晓东, 肖珊美, 徐友生. 乌饭树叶挥发油的 GC-MS 分析 [J]. 生物质化学工程, 2008, 42(3): 23-26.
- [54] Ren Y M, Ke C Q, Tang C, *et al.* Divaccinosides A-D, four rare iridoid glucosidic truxillate esters from the leaves of *Vaccinium bracteatum* [J]. *Tetrahed Lett*, 2017, 58(24): 2385-2388.
- [55] Ren Y M, Ke C Q, Mandi A, *et al.* Two new lignan-iridoid glucoside diesters from the leaves of *Vaccinium bracteatum* and their relative and absolute

- configuration determination by DFT NMR and TDDFT-ECD calculation [J]. *Tetrahedron*, 2017, 73(23): 3213-3219.
- [56] Oh B T, Jeong S Y, Velmurugan P, *et al.* Probiotic-mediated blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) fruit fermentation to yield functionalized products for augmented antibacterial and antioxidant activity [J]. *J Biosci Bioengineer*, 2017, 127(5): 542-550.
- [57] Bridges D F, Breard A, Lacombe A, *et al.* Inhibition of Tulane virus replication via exposure to lowbush blueberry (*Vaccinium angustifolium*) fractional components [J]. *J Berry Res*, 2017, 7(4): 281-289.
- [58] Neto C C. Cranberry and blueberry: Evidence for protective effects against cancer and vascular diseases [J]. *Mol Nutr Food Res*, 2007, 51(6): 652-664.
- [59] Ramirez M R, Izquierdo I, Raseira M D B, *et al.* Effect of lyophilized *Vaccinium* berries on memory, anxiety and locomotion in adult rats [J]. *Pharmacol Res*, 2005, 52(6): 457-462.
- [60] 刘龙燕. 乌饭树果实花色苷的提取及其抗氧化和抑菌特性研究 [D]. 福州: 福建农林大学, 2010.
- [61] Li K, Ma C Y, Jian T C, *et al.* Making good use of the byproducts of cultivation: Green synthesis and antibacterial effects of silver nanoparticles using the leaf extract of blueberry [J]. *J Food Sci Technol Mys*, 2017, 54(11): 3569-3576.
- [62] 谢远程, 周晓琴, 张永庆. 乌饭树浆果营养成分分析及其开发应用 [J]. 浙江林业科技, 2003, 23(6): 52-54.
- [63] Wang H, Guo X B, Hu X D. Comparison of phytochemical profiles, antioxidant and cellular antioxidant activities of different varieties of blueberry (*Vaccinium* spp.) [J]. *Food Chem*, 2017, 217: 773-781.
- [64] 龚盛昭, 黄小凤, 李中林. 天然乌饭树果色素的提取和理化性质研究 [J]. 广州食品工业科技, 1997, 13(3): 31-32.
- [65] He B, Zhang L L, Yue X Y, *et al.* Optimization of Ultrasound-Assisted Extraction of phenolic compounds and anthocyanins from blueberry (*Vaccinium ashei*) wine pomace [J]. *Food Chem*, 2016, doi: 10.1016/j.foodchem.2016.02.094.
- [66] Lephart E D. Protective effects of equol and their polyphenolic isomers against dermal aging: Microarray/protein evidence with clinical implications and unique delivery into human skin [J]. *Pharm Biol*, 2013, 51(11): 1393-1400.
- [67] Correa-Betanzo J, Allen-Vercoe E, McDonald J, *et al.* Stability and biological activity of wild blueberry (*Vaccinium angustifolium*) polyphenols during simulated *in vitro* gastrointestinal digestion [J]. *Food Chem*, 2014, doi: 10.1016/j.foodchem.2014.05.135.
- [68] Slobodnikova L, Fialova S, Rendekova K, *et al.* Antibiofilm activity of plant polyphenols [J]. *Molecules*, 2016, doi: 10.3390/molecules21121717.
- [69] Tome-Carneiro J, Visioli F. Polyphenol-based nutraceuticals for the prevention and treatment of cardiovascular disease: Review of human evidence [J]. *Phytomedicine*, 2016, 23(11): 1145-1174.
- [70] Xu Z H, Sun T, Li W N, *et al.* Inhibiting effects of dietary polyphenols on chronic eye diseases [J]. *J Funct Foods*, 2017, 39: 186-197.
- [71] Khoo H E, Azlan A, Tang S T, *et al.* Anthocyanidins and anthocyanins: Colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits [J]. *Food Nutr Res*, 2017, doi:10.1080/16546628.2017.1361779.
- [72] Cesa S, Carradori S, Bellagamba G, *et al.* Evaluation of processing effects on anthocyanin content and colour modifications of blueberry (*Vaccinium* spp.) extracts: Comparison between HPLC-DAD and CIELAB analyses [J]. *Food Chem*, 2017, doi: 10.1016/j.foodchem.2017.03.153.
- [73] Nelson M E, Hamm M W, Hu F B, *et al.* Alignment of healthy dietary patterns and environmental sustainability: A systematic review [J]. *Adv Nutr*, 7(6): 1005-1025.
- [74] 谢远程, 周晓琴. 乌饭树浆果营养成分分析及其开发 [J]. 中国野生植物资源, 2004, 23(3): 28-35.
- [75] 陈涵贞, 苏德森, 李文福. 乌饭树叶和乌饭营养成分的分析与评价 [J]. 福建农业学报, 2008, 23(4): 392-395.
- [76] 魏振承, 张名位. 乌饭树属植物资源的营养功能及其开发应用 [J]. 中国野生植物资源, 2001(2): 21-23.
- [77] Dore C M, das C Faustino Alves M G, Will L S, *et al.* A sulfated polysaccharide, fucans, isolated from brown algae *Sargassum vulgare* with anticoagulant, antithrombotic, antioxidant and anti-inflammatory effects [J]. *Carbohydr Polym*, 2013, 91(1): 467-475.
- [78] 张建勇, 江和源, 崔宏春, 等. 茶叶功能成分与新型食品开发 [J]. 湖南农业科学, 2011(3): 104-108.
- [79] 唐忠炳, 程淑媛, 刘仁林. 乌饭生态茶制作工艺技术研究 [J]. 江西科学, 2015, 33(3): 337-342.
- [80] 唐旭东, 沈中元, 徐莉, 等. 一种乌饭树叶茶的制备方法: 中国, CN105076607A [P]. 2015-11-25.
- [81] 杨瑞菊. 乌饭树叶营养饮料研制 [J]. 食品研究与开发, 1994(1): 27-28.
- [82] 马奕春. 乌饭树保健饮料的研制 [J]. 安徽农学通报, 2007, 13(12): 183.
- [83] 陈明婕. 乌饭树系列食品的研制 [D]. 福州: 福建农林大学, 2011.

- [84] 梁文强, 侯文举, 沈波. 一种添加乌饭树叶提取液的冷冻饮品及其制备方法: 中国, CN102429084A [P]. 2012-05-02.
- [85] 李时珍. 本草纲目 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 1975.
- [86] 吴寿华. 一种乌米饭速食品的加工方法: 中国, CN103766761A [P]. 2014-05-07.
- [87] 何来根. 一种蓝莓乌米饭的制作方法: 中国, CN104855862A [P]. 2015-08-26.
- [88] Xu Y, Fan M C, Zhou S, *et al.* Effect of *Vaccinium bracteatum* Thunb. leaf pigment on the thermal, pasting, and textural properties and microstructure characterization of rice starch [J]. *Food Chem*, 2017, doi: 10.1016/j.foodchem.2017.02.041.
- [89] Wang L, Xu Y, Zhou S M, *et al.* Interaction between *Vaccinium bracteatum* Thunb. leaf pigment and rice proteins [J]. *Food Chem*, 2016, doi: 10.1016/j.foodchem.2015.08.006.
- [90] 王立, 姚惠源. 大孔吸附树脂纯化乌饭树树叶黑色素的研究 [J]. 天然产物研究与开发, 2006, 18(1): 20-24.
- [91] 王立, 姚惠源. 乌饭树树叶中黑色素定量检测方法的研究 [J]. 食品工业科技, 2005(10): 176-179.
- [92] 肖子英, 李群. 乌饭树植物黑发霜: 中国, CN102000017A [P]. 2011-04-06.
- [93] 罗志卿. 一种天然染发剂及其制备方法: 中国, CN102871927A [P]. 2013-01-16.
- [94] 田恬, 陈国强. 乌饭树叶色素作为天然染料用于真丝织物的染色试验 [J]. 蚕业科学, 2011, 37(5): 859-865.
- [95] 刘建平, 朱月琴. 乌饭树叶色素对毛线染色的探索 [J]. 染整技术, 2011, 33(11): 17-19.
- [96] 尚润玲, 王树根. 乌饭树叶植物染料用于蓝黑色真丝的染色工艺: 中国, CN105369654A [P]. 2016-03-02.
- [97] 陈林. 乌饭树叶染料对桑蚕丝织物的染色 [J]. 染料与染色, 2017, 54(1): 30-32.
- [98] 尚润玲. 锦纶织物的乌饭树叶染色 [J]. 印染, 2017, 43(1): 31-34.
- [99] 李丹, 林琳. 越桔食品资源的开发与利用 [J]. 食品与发酵工业, 2000, 26(4): 76-81.
- [100] 徐增莱, 汪琼, 於虹, 等. 乌饭树冻干粉及其制备方法和用途: 中国, CN101099569 [P]. 2008-01-09.
- [101] 杨君, 张献忠, 高宏建, 等. 天然植物精油提取方法研究进展 [J]. 中国食物与营养, 2012, 18(9): 31-35.
- [102] 邓梅忠. 水提取-超声萃取乌饭树树叶多糖及在卷烟中的应用 [J]. 食品工业, 2014, 35(6): 134-137.
- [103] 田妍基, 吴先辉, 刘顺春, 等. 响应面法在乌饭树叶韧性饼干研制中的应用 [J]. 湖北农业科学, 2016, 55(15): 3968-3974.
- [104] Kwon S H, Ma S X, Ko Y H, *et al.* *Vaccinium bracteatum* Thunb. exerts anti-inflammatory activity by inhibiting NF- κ B activation in BV-2 microglial cells [J]. *Biomol Ther*, 2016, 24(5): 543-551.
- [105] 张琳, 张大伟, 李卫国, 等. 一种利用乌饭树叶制备的天然防腐固体分散体及制备方法: 中国, CN104687208A [P]. 2015-06-10.
- [106] 邵京, 卢美娟, 许超. 乌饭果酒发酵工艺的研究 [J]. 中国酿造, 2014, 33(5): 165-168.
- [107] 王立, 孙舒扬, 钱海峰, 等. 酿酒酵母对乌饭树果酒发酵过程及果酒品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2014, 35(1): 174-177.
- [108] Tremblay F, Waterhouse J, Nason J, *et al.* Prophylactic neuroprotection by blueberry-enriched diet in a rat model of light-induced retinopathy [J]. *J Nutr Biochem*, 2013, 24(4): 647-655.
- [109] 王伟江, 郑建仙. 越桔健视饮料的研制 [J]. 食品科技, 2005(12): 61-63.
- [110] 文连奎, 都凤华, 张金波. 笃斯越橘果汁饮料的研制 [J]. 农产品加工 (学刊), 2005(Z2): 144-146.
- [111] 弗朗西斯 F J, 卜彤云. 乌饭树果作食品着色剂 [J]. 中国野生植物, 1986(2): 38-43.
- [112] Haslam E. Thoughts on thearubigins [J]. *Phytochemistry*, 2003, 64(1): 61-73.
- [113] Schacker R L, Moritz D E, Caro M S. B, *et al.* Study of viability of solid-phase microextraction, *in vivo*, in the extraction of microbial volatile organic compounds associated to the pigment production process by the *monascus* fungus, in submerged fermentation [J]. *J Brazil Chem Soc*, 2017, 28(6): 1113-1122.
- [114] Cappa C, Lavelli V, Mariotti M. Fruit candies enriched with grape skin powders: physicochemical properties [J]. *Lwt-Food Sci Technol*, 2014, 62(1): 569-575.
- [115] Loyola L N, Nunez M P, Acuna C C. Pectin extraction and analysis from blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) cv. O'Neill [J]. *Revista De La Facultad De Ciencias Agrarias*, 2013, 45(1): 79-89.
- [116] Castagnini J M, Betore N, Betoret E, *et al.* Vacuum impregnation and air drying temperature effect on individual anthocyanins and antiradical capacity of blueberry juice included into an apple matrix [J]. *Lwt-Food Sci Technol*, 2015, 64(2): 1289-1296.
- [117] 陈重明, 俞秀媛. 一种有前途的抗衰老药物——南烛 [J]. 中药材, 1987(3): 44.
- [118] Vorob'eva I V. Current data on the role of anthocyanosides and flavonoids in the treatment of eye diseases [J]. *Vestnik Oftalmologii*, 2015, 131(5): 104-110.