

紫娟茶花青素的研究进展

王 燕, 杨晓萍*, 陈波伟, 冯 瑛

(华中农业大学园艺林学学院, 武汉 430070)

摘 要: 花青素是一种水溶性天然色素和抗氧化剂, 具有抗肿瘤、防衰老、防辐射等功能。紫娟茶则因富含花青素而具有紫茎、紫叶、紫芽的特点。紫娟茶因具有很强的抗氧化活性和显著的降血压效果而逐渐成为备受消费者青睐的新兴保健饮品。近年来, 对紫娟茶花青素的研究相对增多, 本文概述了紫娟茶花青素的提取、分离纯化、组分鉴定、稳定性和生理功能等方面的研究进展, 也就目前的研究现状指出了存在的问题及解决对策, 以期对紫娟茶花青素的深度开发和综合利用提供一定参考。

关键词: 紫娟茶; 花青素; 溶剂提取; 分离纯化; 抗氧化活性

Research progress of anthocyanins from Zijuan tea

WANG Yan, YANG Xiao-Ping*, CHEN Bo-Wei, FENG Ying

(College of Horticulture & Forestry Sciences, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

ABSTRACT: Anthocyanin is a kind of water-soluble natural pigment and antioxidant, which has many functions, such as anti-tumor, anti-aging, radiation and so on. The stem, bud and leaf of Zijuan tea are purple, because of its rich in anthocyanin. Zijuan tea gradually becomes a popular emerging health drink due to its strong antioxidant activity and significant antihypertensive effect. In recent years, the research on the anthocyanin from Zijuan tea has been increased. This paper summarized the research progress of extraction, isolation and purification, component identification, stability and physiological function of anthocyanin from Zijuan tea, and pointed out the existing problems and solving methods in the current research, in order to provide some references for the exploitation and utilization of anthocyanin from Zijuan tea.

KEY WORDS: Zijuan tea; anthocyanins; solvent extraction; isolation and purification; antioxidant activity

1 引 言

“紫娟”属山茶科(Theaceae)山茶属(*Camellia*)茶组植物(*Camellia sinensis* (L.) O.Kuntze)茶种(*Camellia sinensis*)中的普洱茶变种, 是云南大叶群体种中的一种稀有茶树品种^[1]。“紫娟”茶树具有紫茎、紫叶、紫芽的特点, 其干茶色泽、汤色和叶底亦为紫色^[2], 故取名为“紫娟”。紫娟茶黄酮类、

咖啡碱、锌和表没食子儿茶素-3-*O*-(3-*O*-甲基)没食子酸酯(3"-methyl-epigallocatechin gallate, EGCG3"Me)等物质的含量较高^[1,3], 其中最为突出的是其含有超常量的花青素, 紫娟茶也因此而具有很强的抗氧化活性和显著的降血压效果^[4], 并逐渐成为备受消费者青睐的新兴保健饮品。花青素(anthocyanin), 又称花色素、花色苷, 属于类黄酮化合物, 是一类广泛存在于植物中的天然水溶性色素, 具有抗氧

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2662017PY054)

Fund: Supported by the Fundamental Research Funds for the Central Universities (2662017PY054)

*通讯作者: 杨晓萍, 副教授, 主要研究方向为茶叶生物化学及深加工。E-mail: yangxp@mail.hzau.edu.cn

*Corresponding author: YANG Xiao-Ping, Associate Professor, College of Horticulture & Forestry Sciences, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China. E-mail: yangxp@mail.hzau.edu.cn

化、抗癌、抗炎、降血糖、提高记忆力等功能^[5-7]。一般茶叶中花青素含量占干物重的 0.01%左右^[8]，而紫娟茶中花青素含量可高达 2.7%~3.6%^[9]。本文主要对紫娟茶花青素的提取、分离纯化及鉴定、稳定性和生理功能等方面的研究进展进行介绍，并指出存在的问题及解决对策，以期对紫娟茶花青素的深度开发利用提供一定的依据。

2 紫娟茶花青素的结构和性质

2.1 花青素的结构和性质

花青素基本结构是 2-苯基苯并吡喃母核，即花色基元^[10]，由于花色基元的 B 环中各碳位上甲氧基取代基或羟基取代基的位置及数量的不同，所以可形成很多种类的花青素^[11]。自然界常见的花青素有 6 种^[12]，且多以花色苷的形式存在，主要通过糖苷键与半乳糖、葡萄糖、鼠李糖、阿拉伯糖等形成花色苷^[13-15]。

花青素易溶于水、甲醇、乙醇、稀碱与稀酸等极性溶剂中，不溶于乙醚、氯仿等有机溶剂，遇醋酸铅试剂会沉淀，并能被活性炭吸附^[16]。花青素在紫外与可见光区域均具较强吸收，紫外区最大吸收波长在 280 nm 附近，可见光区域最大吸收波长在 500~550 nm 范围内^[17]。花青素分子结构中存在高度的分子共轭体系，有多种互变异构体，能在不同酸碱溶液中呈现不同颜色。在 pH < 7 时呈红色，pH 在 7~8 时呈紫色，pH > 11 时呈蓝色^[13]。

2.2 紫娟茶花青素的结构和性质

紫娟茶花青素的基本结构也是 2-苯基苯并吡喃母核，在 B 环 C₃ 位置上带有羟基，常与葡萄糖、半乳糖、鼠李糖等缩合形成苷类化合物。紫娟茶中已发现的较重要组分有飞燕草花青素及其苷、矢车菊花青素及其苷、天竺葵花青素及其苷等^[18,19]。紫娟茶叶所含的花白素及由儿茶素聚合形成的原花青素在酸性条件下可部分转化为花青素^[20]。紫娟茶花青素也有多种互变异构体，能在不同酸碱溶液中呈现不同颜色。由于茶叶细胞液呈弱酸性，所以富含花青素的紫娟茶茎、芽、叶均为紫红色^[21,22]。用紫娟茶制成绿茶，品质较差，汤色发褐，滋味苦涩，叶底靛青；若做成红茶，则汤色叶底乌暗，品质也较差^[8]。一些已鉴定的紫娟茶花青素的结构见图 1。

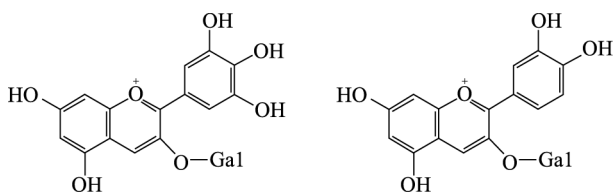


图 1 一些已鉴定的紫娟茶花青素的结构^[18]

Fig. 1 Structures of some identified anthocyanins from Zijuan tea^[18]

3 紫娟茶花青素的提取、纯化及鉴定

3.1 紫娟茶花青素的提取

花青素提取的传统方法为恒温水浴浸提法，提取溶剂一般以水、甲醇和乙醇为主，有时会添加一定量的酸以维持其稳定性^[23-26]。当以定性和定量为目的时，甲醇为最佳提取溶剂，可有效减少极性较小的杂质对花青素纯度的影响；当所提色素用于食品着色时，乙醇为最佳提取溶剂，因为甲醇具有毒性，而乙醇价廉、无毒、选择性好、极性高、提取液易于浓缩、干燥，可回收利用^[18]。

吕海鹏等^[23]从制备富含花青素的速溶茶等特色产品的角度出发，选用水作为提取溶剂，确定的花青素的最佳提取条件为提取温度 80 °C、提取时间 20 min、提取料液比例 1:15。罗正飞等^[24]研究得出的紫娟茶花青素最佳提取工艺为 70%乙醇溶剂、回流提取 30 min、回流温度 80 °C、料液比 1:10，浸提液中花青素浓度为 0.94~1.68 mg/mL。费旭元等^[25]利用响应面分析法优化出的紫娟茶中花青素提取的最佳工艺条件为采用酸性甲醇为提取溶剂，提取温度 29 °C，提取时间 132 min，料液比 1:26；在此条件下浸提液中花青素的质量浓度可以达到 5.94 mg/mL。

目前，紫娟茶花青素提取方面的研究均采用恒温水浴浸提法，但在试验材料(烘青、晒青、蒸青)、提取溶剂(水、乙醇、酸性甲醇)及试验设计等方面均存在差异，从而导致花青素的提取率有较大差异。后续的研究可考虑选用一些新的提取方法如超声波辅助提取法、酶提取法等；在试验材料的选取方面，应考虑到花青素对光、热等因素敏感，茶叶加工过程不可避免地会导致花青素损失，且不同的加工工艺会使花青素的损失不同，故选取蒸青样为试验材料较为科学；提取溶剂可因试验目的而适当调整；试验设计方面应全面考虑影响花青素提取量的因素，从而优化出更为合理高效的紫娟茶花青素提取工艺。

3.2 紫娟茶花青素的分离纯化与鉴定

花青素粗提取物中常含糖类、有机酸、蛋白质等，纯化花青素的方法主要有大孔吸附树脂、C₁₈ 柱、反相高效液相色谱 (reversed-phase high performance liquid chromatography)、高速逆流色谱等^[27-29]。纯化后的花青素一般可利用紫外-可见光谱、红外吸收光谱、质谱、高效液相-质谱联用、核磁等^[30-35]方法对其结构进行鉴定。目前，完整的花青素结构表征一般包括：糖苷配基的鉴定、糖和酰化基团(如果有的话)的鉴定以及糖和酰化基团的连接位置的确定^[36,37]。

紫娟茶中花青素的分离纯化与结构鉴定方面的研究近年来逐渐增多且取得一定进展。王帅^[18]采用柱层析、重结晶或铅盐沉淀相结合的方法对紫娟茶中的花青素进行分离纯化，从花青素提取物中得到了 2 种纯度较高的花青素，分别为飞燕草-3-半乳糖苷和矢车菊-3-半乳糖苷。费旭元^[19]

采用 XAD-7 柱对紫娟茶中花青素进行柱层析分离, 得到 2 种分离物, 其中分离物 1 中含有天竺葵素-3, 5-二葡萄糖苷和矢车菊-3-O-半乳糖苷 2 种花色苷; 分离物 2 含有天竺葵素和锦葵素。李燕丽等^[38]推测紫娟茶中可能含有矢车菊素、飞燕草素、牵牛花色素等 B-环有邻位酚羟基的花色苷, 且可能具有 4'-羟基, 在 3-羟基上形成糖苷; 推断紫娟花色苷中有多个乙酰基团。李燕丽等^[39]在随后的试验中以柱层析法、高效液相色谱法、薄层层析法及高效液相色谱-电喷雾-串联质谱法对紫娟茶一芽二叶新梢鲜叶中的花色苷进行分离鉴定, 结果表明从紫娟茶鲜叶中分离出的花色苷为飞燕草素-3-O-半乳糖苷、矢车菊素-3-O-半乳糖苷、飞燕草素-3-O-(6-(Z)对香豆酸)吡喃半乳糖苷、矢车菊素-3-O-(6-(Z)对香豆酸)吡喃半乳糖苷、飞燕草素-3-O-(6-(E)对香豆酸)吡喃半乳糖苷、矢车菊素-3-O-(6-(E)对香豆酸)吡喃半乳糖苷。

龚加顺等^[40]对紫娟晒青绿茶进行分离鉴定, 表明其含有 14 种花色苷, 主要的花色苷类物质为天竺葵素-3-葡萄糖苷或天竺葵素-3-半乳糖苷、天竺葵素-3-(6-香豆酰基)-葡萄糖苷、飞燕草素-3-葡萄糖苷、飞燕草素-3-芸香糖苷、飞燕草素-3-O-(6-香豆酰基)-葡萄糖苷、prodelphinidin B-2(or 4)3'-O-gallate、procyanidin B-2(or 4)3'-O-gallate、petunidin-3-glc-4-vinylphenol 和 malvidin-3-glc-4-vinylepicatechin 等。目前, 已鉴定的紫娟茶花青素的组分主要为飞燕草花青素及其苷、矢车菊花青素及其苷、天竺葵花青素及其苷等, 相对其他植物来说此项研究尚需深入进行。紫娟茶花青素组分鉴定的必要前提是去除粗提物中的杂质以提高花青素的纯度, 因此, 后续的研究应着重于避免杂质的干扰, 在不影响花青素结构的基础上提高纯化效果以及完善紫娟茶花青素及其糖苷类物质的种类。

4 紫娟茶花青素的稳定性

花青素的稳定性极易受其自身结构和某些外在因素的影响。其稳定性随自身结构的不同而不同, 甲基化程度越高, 其稳定性越高, 而羟基化程度越高, 其稳定性越低^[12]。影响花青素稳定性的外在因素主要有 pH、热源、光源、金属离子、氧化还原剂及其他添加剂等^[41-43]。目前, 对于紫娟茶花青素的稳定性的研究较少, 龚加顺等^[40]研究表明, 以酸性甲醇-水提取的“紫娟”晒青绿茶红色素水溶性好, 颜色随 pH 值变化而变化。酸性条件下该色素对光、低温有很好的稳定性, 抗氧化性与耐还原性较强。Cu²⁺、Fe³⁺使色素稳定性变差。

5 紫娟茶花青素的生理功能

紫娟茶花青素作为一种天然食用色素, 安全、无毒, 具有以抗氧化功能为主以及抑菌、美白护肤、降压等一系

列的生理功能。

5.1 抗氧化功能

花青素是迄今为止所发现的最有效的天然水溶性自由基清除剂, 其淬灭自由基的能力是 V_C 的 20 倍, 是 V_E 的 50 倍。王帅^[18]对紫娟茶花青素粗品及各洗脱组分进行了抗氧化活性测定, 表明花青素具有良好的抗羟自由基及抗超氧阴离子自由基能力。费旭元^[19]采用 98% 的茶多酚作为对照, 研究表明紫娟茶中花青素提取物及其柱分离物均具有较强的总抗氧化能力、清除羟自由基能力和抑制超氧阴离子自由基的能力。戴妙妙等^[44]的研究结果显示, 紫娟茶中花青素提取物捕捉 DPPH 自由基的能力比 BHA 和 BHT 强; 清除 ABTS⁺阳离子自由基的能力和 FRAP 抗氧化能力均介于 BHA 和 BHT 之间。这些研究表明紫娟茶花青素具有较强的抗氧化活性, 是紫娟茶中重要的功能性成分。

5.2 降压功能

云南省药物研究所应用动物家猫体重进行多次降压实验, 结果表明紫娟茶降压幅度为 35.53%, 维持时间 20 min, 优于云南大叶群体种(29.04%, 1 min)^[1, 45]。南占东等^[46]则通过动物实验和人群对照实验表明, 紫娟茶高含量的黄酮类、锌和花青素等生物活性物质具有显著的降压效果, 这也间接证明紫娟茶花青素具有降压功能。

5.3 抑菌功能

花青素分子结构上的酚羟基官能团可以破坏蛋白质分子结构而使其变性或失活, 导致细胞质的固缩和解体, 具有一定的解体作用^[47]。近年来, 关于紫娟茶花青素抑菌作用的研究甚少且以体外试验为主, 如戴妙妙等^[48]的研究结果表明, 紫娟茶中花青素提取物浓度达到 10%~20% 时对金黄色葡萄球菌抑菌能力较强, 其次是大肠杆菌, 但对酵母菌无效果。

5.4 美白护肤功能

沈晓佳等^[49]的研究结果表明含有花青素和茶多酚混合物的提取物抑制酪氨酸酶的作用最强, 这些提取物通过抑制酪氨酸酶的活性可以预防和治疗老年斑、黄褐斑等色素沉着性疾病^[50], 可作为天然美白活性物质, 应用于美白护肤。但目前尚未对提取物中的花青素单一组分抑制酪氨酸酶活性的作用及机制进行进一步的探讨。

5.5 其他功能

除了以上证实的紫娟茶花青素的功能外, 也有报道称紫娟茶具有抗癌、降血糖、保护肝脏、提高记忆力、影响脂类代谢等^[1]功能, 但对于紫娟茶花青素是否是这些功能发挥作用的主要成分的研究尚未开展。

6 存在问题及解决对策

紫娟茶花青素在提取、分离纯化及鉴定、稳定性和生理功能方面的研究已取得一定进展,但仍存在一些问题:(1)紫娟茶花青素提取溶剂各异且耗费及排放较多,提取效率有待提高,现有的提取工艺仍局限于实验室使用;(2)收集纯品过程易破坏其结构,且纯度不高,影响后续的结构鉴定的准确性;(3)紫娟茶花青素稳定性较差,尚未就如何提高其稳定性展开研究;(4)紫娟茶花青素的生理功能的研究多以其粗提物为试验对象,且多以体外试验为主,而并未对其纯品的生理功能及作用机制进行深入探讨;(5)紫娟茶花青素具有良好的着色性和无法比拟的生理活性,但目前尚未解决紫娟品种制茶品质欠佳和紫娟茶花青素稳定性的问题,使得紫娟茶花青素的应用存在一定局限性,其深加工产品也尚未开发。

针对以上问题,在今后的研究工作及产品开发中可参考以下几点:(1)摸索最佳提取溶剂及方法,提高提取量以适用于大规模工业化生产。(2)提高分离纯化效率和纯度,运用更为先进的技术深入地对其组分结构进行鉴定。这就要求在提取花青素及后续的分纯化等过程中采取一定措施来维持其稳定性,如尽量避免温度、光照、pH、金属离子、氧化还原剂及其他添加剂的干扰,或者对其进行酰基化以提高稳定性,从而可以保证其在后续的组分鉴定中得到较为准确的结果。(3)通过制备花青素微胶囊、酰基化花青素等方法以提高紫娟茶花青素稳定性,从而更好地在深加工产品的开发中发挥作用。(4)模拟体外消化及临床研究紫娟茶花青素粗品与纯品的抗氧化活性、抑菌、降压等功能及其机制的探索,通过比较粗品与纯品的生物活性以确定花青素在这些生理功能的发挥中占有的比重。(5)使用可食用的添加剂或者其他方法以改善紫娟茶口感欠佳、茶汤苦涩等问题;改善紫娟茶花青素的贮藏环境及排除生产过程中其他因素的干扰,以使其在保健食品、饮料、药品、护肤品等深加工领域中展现良好的色泽和特有的生理活性。

参考文献

- [1] 杨兴荣,包云秀,黄玫. 云南稀有茶树品种“紫娟”的植物学特性和品质特征[J]. 茶叶, 2009, 35(1): 17-18.
Yang XR, Bao YX, Huang M. The botanical and quality characteristics of the tea cultivar “Zijuan” in Yunnan province [J]. J Tea, 2009, 35(1): 17-18.
- [2] 包云秀,夏立飞,李友勇,等. 茶树新品种“紫娟”[J]. 园艺学报, 2008, 35(6): 934.
Bao YX, Xia LF, Li YY, *et al.* A new tea tree cultivar “Zijuan” [J]. Acta Horticult Sin, 2008, 35(6): 934.
- [3] 吕海鹏,杨婷,梁名志,等. 紫娟茶中的 EGCG³Me 成分研究[J]. 现代食品科技, 2014, 30(9): 286-296.
Lv HP, Yang T, Liang MZ, *et al.* Study of EGCG³Me content in Zijuan tea [J]. Mod Food Sci Technol, 2014, 30(9): 286-296.
- [4] 吕海鹏,梁名志,张悦,等. 特异茶树品种“紫娟”不同茶产品主要化学成分及其抗氧化活性分析[J]. 食品科学, 2016, 37(12): 122-127.
Lv HP, Liang MZ, Zhang Y, *et al.* Major chemical components and antioxidant activity in tea infusion of tea products obtained from the special tea germplasm “Zijuan” using different processing technologies [J]. Food Sci, 2016, 37(12): 122-127.
- [5] Hsu CP, Shih YT, Lin BR, *et al.* Inhibitory effect and mechanisms of an anthocyanins-and anthocyanidins-rich extract from purple-shoot tea on colorectal carcinoma cell proliferation [J]. J Agric Food Chem, 2012, 60(14): 3686-3692.
- [6] Wang Q, Peng C, Gao B, *et al.* Influence of large molecular polymeric pigments isolated from fermented Zijuan tea on the activity of key enzymes involved in lipid metabolism in rat [J]. Exper Gero, 2012, 47(9): 672-679.
- [7] 崔建李,李晓岩. 花青素抗肿瘤作用机制研究进展[J]. 食品科学, 2014, 35(13): 310-315.
Cui JL, Li XY. Progress on antitumor mechanisms of anthocyanins [J]. Food Sci, 2014, 35(13): 310-315.
- [8] 宛晓春. 茶叶生物化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2007.
Wan XC. Tea biochemistry [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2007.
- [9] 吕海鹏,费旭元,梁名志,等. 茶树特异品种“紫娟”中的花青素组分分析[J]. 食品科学, 2012, 22: 203-206.
Lv HP, Fei XY, Liang MZ, *et al.* Analysis of anthocyanins in Zijuan tea [J]. Food Sci, 2012, 22: 203-206.
- [10] 汪慧华,赵晨霞. 花青素结构性质及稳定性影响因素研究进展[J]. 农业工程技术, 2009, 09: 32-35.
Wang HH, Zhao CX. Research progress of the structure properties of anthocyanin and the factors affecting its stability [J]. Agric Eng Technol, 2009, 09: 32-35.
- [11] 谢程程. 紫甘薯花青素的提取纯化、稳定性及应用研究[D]. 鞍山: 辽宁科技大学, 2011.
Xie CC. Study on the extraction and purification, stability and application of anthocyanin from purple sweet potato [D]. Anshan: University of Science and Technology Liaoning, 2011.
- [12] Escribano-Bailón MT, Santos-Buelga C, Rivas-Gonzalo JC. Anthocyanins in cereals [J]. J Chromatogr A, 2004, 1054(1): 129-141.
- [13] 王日为,张丽霞,高吉刚. 茶叶中花青素类物质研究展望[J]. 茶叶科学技术, 2002, (4): 4-8.
Wang RW, Zhang LX, Gao JG. Prospect of anthocyanin in tea [J]. Tea Sci Technol, 2002, (4): 4-8.
- [14] Chung C, Rojanasasithara T, Mutilangi W, *et al.* Stability improvement of natural food colors: Impact of amino acid and peptide addition on anthocyanin stability in model beverages [J]. Food Chem, 2017, 218: 277-284.
- [15] 鲍诚. 紫薯花色苷双酶法提取纯化工艺与降血糖功能及机理研究[D]. 烟台: 烟台大学, 2012.
Bao C. Study on the double enzymatic extraction and purification of purple sweet potato anthocyanins and hypoglycemic activity and mechanism [D]. Yantai: Yantai University, 2012.
- [16] 刘邻渭. 食品化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
Liu LW. Food chemistry [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000.
- [17] 张宏宝. 茶树红紫色芽叶中花青素组分的分离及鉴定[D]. 泰安: 山东

- 农业大学, 2009
- Zhang HB. Separation and identification of Anthocyanins in red purple tea leaves [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2009
- [18] 王帅. 紫娟茶中花青素提取方法及花青素生物学作用的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2011.
- Wang S. Extraction of anthocyanins in red purple tea leaves and biological functions of anthocyanins [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2011.
- [19] 费旭元. 紫娟茶中花青素的提取分离及抗氧化活性研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2012.
- Fei XY. Study on extraction and separation of anthocyanins from "Zijuan" tea and their antioxidant activity [D]. Beijing: China Academy of Agricultural Sciences, 2012.
- [20] 梅菊芬, 徐德良, 汤茶琴, 等. 茶树花青素及其种质资源的研究和利用进展[J]. 热带农业工程, 2013, 1: 42-46.
- Mei JF, Xu DL, Tang CQ, *et al.* Advances on research and utilization of tea tree (*Camellia sinesis*) anthocyanins and its germplasm resources [J]. Trop Agric Eng, 2013, 1: 42-46.
- [21] 赵保路. 茶多酚的抗氧化作用[J]. 科学通报, 2002, 47(16): 1206-1210.
- Zhao BL. Antioxidant activity of tea polyphenols [J]. Chin Sci Bull, 2002, 47(16): 1206-1210.
- [22] 杨贤强, 王岳飞, 陈留记. 茶多酚化学[M]. 上海: 科学技术出版社, 2003.
- Yang XQ, Wang YF, Chen LJ. Tea polyphenols chemistry [M]. Shanghai: Science and Technology Press, 2003.
- [23] 吕海鹏, 费旭元, 张悦, 等. 紫娟茶中花青素的提取工艺研究[J]. 食品工业, 2012, (11): 7-9.
- Lv HP, Fei XY, Zhang Y, *et al.* Extraction technology of anthocyanins from Zijuan tea [J]. Food Ind, 2012, (11): 7-9.
- [24] 罗正飞, 梁名志, 夏丽飞, 等. “紫娟”茶花青素提取工艺研究[J]. 福建茶叶, 2011, (3): 22-24.
- Luo ZF, Liang MZ, Xia LF, *et al.* study on extraction process of “Zijuan tea” and its flower pigment [J]. Fujian Tea, 2011, (3): 22-24.
- [25] 费旭元, 林智, 梁名志, 等. 响应面法优化“紫娟”茶中花青素提取工艺的研究[J]. 茶叶科学, 2012, 32(3): 197-202.
- Fei XY, Lin Z, Liang MZ, *et al.* Study on process of anthocyanins extraction from “Zijuan” tea by response surface analysis [J]. J Tea Sci, 2012, 32(3): 197-202.
- [26] 李璐, 倪婷婷, 关文玉, 等. 基于响应面法提取“紫娟”茶花青素最佳工艺的优化研究[J]. 西南农业学报, 2014, 27(4): 1704-1709.
- Li L, Ni TT, Guan WY, *et al.* Study on process of anthocyanins extraction from “Zijuan” tea by response surface methodology [J]. Southwest Chin J Agric Sci, 2014, 27(4): 1704-1709.
- [27] Bakker J, Timberlake CF. Isolation, identification and characterization of new color-stable anthocyanins occurring in some red wines [J]. J Agric Food Chem, 1997, 45(1): 35-43.
- [28] Rodriguez-saona LE, Giusti MM, Wrolstad RE. Anthocyanin pigment composition of red-fleshed potatoes [J]. J Food Sci, 1998, 63(3): 458-465.
- [29] 陈勇, 张晴. AB-8 大孔吸附树脂吸附和分离紫甘薯色素的研究[J]. 中国食品添加剂, 2001, (1): 6-9.
- Chen Y, Zhang Q. Study on the adsorbing and refining colorant from purple sweet potato with macroporous resin [J]. China Food Addit, 2001, (1): 6-9.
- [30] 李景琳, 李淑芬, 潘世权. 高粱红色素的主要成分及结构分析[J]. 辽宁农业科学, 1993, (5): 47-49.
- Li JL, Li SF, Pan SQ. Analysis of main components and structure of sorghum red pigment [J]. Liaoning Agric Sci, 1993, (5): 47-49.
- [31] 吴信子, 朴京一, 张小勇, 等. 蓝靛果花青素的分离与鉴定[J]. 延边大学学报(自然科学版), 2001, 27(3): 191-194.
- Wu XZ, Piao JY, Zhang XY, *et al.* Isolation and identification of anthocyanidin from the berries of *Lonicera caerulea* [J]. J Yanbian Univ (Nat Sci Ed), 2001, 27(3): 191-194.
- [32] 尹佩玉, 陆懋荪, 孔庆山. 气相色谱/质谱法鉴定黑芝麻中黑色素的结 构类型[J]. 色谱, 2001, (3): 268-269.
- Yin PY, Lu MS, Kong QS. Structure characterization of melanin in black sesame by GC/MS [J]. Chin J Chromatogr, 2001, (3): 268-269.
- [33] Pedro AC, Granato D, Rosso ND. Extraction of anthocyanins and polyphenols from black rice (*Oryzasetiva* L.) by modeling and assessing their reversibility and stability [J]. Food Chem, 2016, 191: 12-20.
- [34] Sousa A, Mateus N, Silva AMS, *et al.* Isolation and structural characterization of anthocyanin-furfuryl pigments.[J]. J Agric Food Chem, 2010, 58(58): 5664-5669.
- [35] 娄秋艳. 黑米花青素的组成、对益生菌和致病菌的活性[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2017.
- Lou QY. Study on the composition, activity of probiotics and pathogens of black rice anthocyanins [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2017.
- [36] 陆国权, 吴小蓉. 黑豆皮色素的提取及其理化性质研究[J]. 中国粮油学报, 1997, 12(3): 53-58.
- Lu GQ, Wu XR. Pigment extraction from dark soybean skin and its physical and chemical properties [J]. J Chin Cereals Oils Ass, 1997, 12(3): 53-58.
- [37] 侯曼玲, 宋鸽, 梁文海. 天然竹肉红色素提取工艺的研究[J]. 化工技术与开发, 2000, (S1): 147-148.
- Hou ML, Sun G, Liang WH. Study on the extraction technology of natural red pigment from puccinia corticioides[J]. Technol Dev Chem Ind, 2000, (S1): 147-148.
- [38] 李燕丽, 罗琼仙, 关文玉, 等. “紫娟”茶花色苷的类型、组成及其质量分数的季节性变化[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2016, (6): 1-6.
- Li YL, Luo QX, Guan WY, *et al.* The type, composition and content's changes by seasons of anthocyanin in “Zijuan” tea [J]. J Southwest Univ (Nat Sci Ed), 2016, (6): 1-6.
- [39] 李燕丽, 罗琼仙, 杨雪梅, 等. “紫娟”茶花色苷的分离鉴定[J]. 食品科学, 2017, 38(12): 125-130.
- Li YL, Luo QX, Yang XM, *et al.* Separation and identification of anthocyanins from “Zijuan” tea leaves [J]. Food Sci, 2017, 38(12): 125-130.
- [40] 龚加顺, 隋华嵩, 彭春秀, 等. “紫娟”晒青绿茶色素的 HPLC-ESI-MS 分离鉴定及其稳定性研究[J]. 茶叶科学, 2012, 32(2): 179-188.
- Gong JS, Sun HS, Peng CX, *et al.* HPLC-ESI-MS analysis of pigments in Zijuan green tea and its stability [J]. J Tea Sci, 2012, 32(2): 179-188.
- [41] 刘金文. 刺五加果花青素的提取纯化及性质研究[D]. 大连: 大连工业大学, 2015
- Liu JW. Study on extraction, purification and properties of acanthopanax fruit anthocyanins [D]. Dalian: Dalian Polytechnic University, 2015.
- [42] 左玉, 田芳. 花青素稳定性研究进展[J]. 粮食与油脂, 2014, 27(7): 1-5.
- Zuo Y, Tian F. The direction of research and development of the stability

- of anthocyanins [J]. *J Cereals Oils*, 2014, 27(7): 1-5.
- [43] 吴敏, 张杰, 曾凡骏. 天然花青素稳定性研究现状[J]. *中国食品添加剂*, 2008, (5): 50-53.
Wu M, Zhang J, Zeng FJ. The current stability situation of anthocyanins [J]. *China Food Addit*, 2008, (5): 50-53.
- [44] 戴妙妙, 王婷婷, 马壮, 等. 紫娟茶中花青素的抗氧化性研究[J]. *中国食品添加剂*, 2015, (7): 117-122.
Dai MM, Wang TT, Ma Z, *et al*. The study on antioxidation of anthocyanins from Zijuan tea [J]. *China Food Addit*, 2015, (7): 117-122.
- [45] 陈红伟. 稀有茶树品种“紫娟”的由来、特点及其茶艺[J]. *广东茶业*, 2011, (Z1): 21-22.
Chen HW. The origin, characteristics and tea ceremony of rare varieties Zijuan tea [J]. *Guangdong Tea*, 2011, (Z1): 21-22.
- [46] 南占东, 季鹏章, 农国富, 等. 云南特有茶树资源紫娟生物活性物质研究[J]. *食品科技*, 2013, 38(11): 229-231.
Nan JD, Ji PZ, Nong GF, *et al*. Bioactive substances of Zijuan for Yunnan unique tea resource [J]. *Food Sci Technol*, 2013, 38(11): 229-231.
- [47] 王洪云, 张毅, 钮福祥, 等. 紫甘薯花青素研究进展[J]. *中国食物与营养*, 2015, 21(5): 24-27.
Wang HY, Zhang Y, Niu FX, *et al*. Research advancement on purple sweet potato color [J]. *Food Nutr China*, 2015, 21(5): 24-27.
- [48] 戴妙妙, 马红青, 王婷婷, 等. 紫娟茶中花青素的抑菌性研究[J]. *食品研究与开发*, 2017, 38(3): 28-31, 45.
Dai MM, Ma HQ, Wang TT, *et al*. The study on the antibacterial activity of anthocyanins from Zijuan tea [J]. *Food Res Dev*, 2017, 38(3): 28-31, 45.
- [49] 沈晓佳, 赵黎明, 周家春, 等. 紫娟茶提取物对酪氨酸酶活性的抑制作用[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(24): 75-80.
Shen XJ, Zhao LM, Zhou JC, *et al*. Inhibitory effect of extract from Zijuan tea on tyrosinase activity [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2012, 33(24): 75-80.
- [50] 陈清西, 林建峰, 宋康康. 酪氨酸酶抑制剂的研究进展[J]. *厦门大学学报(自然科学版)*, 2007, 46(2): 274-282.
Chen QX, Lin JF, Sun KK. Development of tyrosinase inhibitors [J]. *J Xiamen Univ (Nat Sci Ed)*, 2007, 46(2): 274-282.

(责任编辑: 杨翠娜)

作者简介



王 燕, 硕士研究生, 主要研究方向为茶叶深加工与综合利用。
E-mail: 1406729582@qq.com

杨晓萍, 副教授, 主要研究方向为茶叶生物化学及深加工。
E-mail: yangxp@mail.hzau.edu.cn