

桑椹花青素的研究现状及其在食品领域中的应用

冀冰聪, 杜婷*

(天津科技大学 食品科学与工程学院, 天津 300457)

摘要: 桑椹花青素是从桑椹中提取的一种水溶性天然色素, 属黄酮类化合物, 对人体具有多种生理保健功能, 广泛应用于食品工业领域。该文对桑椹花青素的组成、生理作用、提取方法、影响稳定性的因素、提高稳定性的方法及其在食品领域的应用方面的最新研究进展进行了综述, 并对桑椹花青素在食品领域中的应用前景进行展望, 以期对桑椹花青素及其他天然色素相关的研究工作提供参考文献, 为开发新型桑椹花青素功能性食品提供理论依据。

关键词: 桑椹; 花青素; 稳定性; 分离纯化; 生理功能; 食品应用

Research Progress on Mulberry Fruit Anthocyanins and Their Application in the Food Industry

Ji Bing-cong, Du Ting*

(College of Food Science and Engineering, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin 300457, China)

Abstract: Mulberry anthocyanins are a class of water-soluble natural pigments extracted from mulberry fruits, which belongs to flavonoids. They display a variety of physiological and health promoting functions and are widely used in the food industry. In this paper, the composition, physiological functions, physicochemical properties, and current technologies for extraction and purification of mulberry anthocyanins, together with the latest research progress in prospects for application of mulberry anthocyanins in the food industry were reviewed to provide a foundational reference for related research focused on mulberry anthocyanins and other natural pigments. This review will provide a theoretical basis for development of new functional foods using mulberry anthocyanins.

Key words: mulberry fruits; anthocyanins; stability; separation and purification; physiological functions; food applications

引文格式:

冀冰聪, 杜婷. 桑椹花青素的研究现状及其在食品领域中的应用[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(15): 189-197.

Ji Bingcong, Du Ting. Research Progress on Mulberry Fruit Anthocyanins and Their Application in the Food Industry[J]. Food Research and Development, 2021, 42(15): 189-197.

花青素又称花色素、花色苷, 属于黄酮类化合物, 是一类水溶性天然色素, 广泛存在于高等植物的果实、花、叶等组织和器官中, 迄今已在 27 个科, 70 多个属

的植物中发现了 500 多种花青素^[1]。在食品工业中, 花青素是食品添加剂和食物营养构成的重要组分, 被称为人体第 7 大必需营养素。桑椹花青素是从桑椹中提取的一种天然色素, 不仅色价高、稳定性好, 而且具有较高的营养保健作用, 是被国家列入 GB 2760—2014《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》并正式批准使用的天然色素^[2], 广泛应用于食品和保健品领域, 具有良好的开发应用前景^[3]。本文综述了桑椹花青素

基金项目: 天津市大学生创新训练项目(202110057201)

作者简介: 冀冰聪(2001—), 女(汉), 本科在读, 食品科学与工程专业。

* 通信作者: 杜婷(1990—), 女(汉), 讲师, 博士, 硕士生导师, 研究方向: 功能性纳米材料的制备。

的组成、生理作用、提取纯化工艺、影响稳定性的因素及提高稳定性的方法,以及其在食品领域的应用等方面的最新研究进展,以期对桑椹花青素的研究以及新型桑椹花青素功能性食品开发提供参考。

1 桑椹花青素的化学组成

花青素的基本结构为2-苯基苯并吡喃,两个苯环通过3个碳原子连接,形成C6-C3-C6骨架,即花色基元,由于两个苯环各碳位上的取代基不同,形成了各种各样的花青素^[4]。最为常见的有矢车菊色素、天竺葵色素、飞燕草色素、芍药色素、牵牛花色素和锦葵色素等6类^[5],这6类花青素在桑椹中都有存在,含量最高的是矢车菊素-3-葡萄糖苷和矢车菊素-3-芸香苷,锦葵色素含量较少,飞叶草素、矮牵牛素和芍药色素含量极低或仅在个别品种中检出^[6]。桑椹中花青素含量丰富,在紫色桑椹干果中花青素的含量为0.09%~2.33%,而冻干果汁粉中的含量为2.53%~4.78%^[7]。在不同品种不同发育时期的桑椹中花青素的种类和含量存在很大差异。紫色桑椹中花青素的成分主要是矢车菊色素,其平均含量约为0.74 mg/g。白色桑椹花青素含量极低,仅有少量矢车菊色素^[8]。在桑椹发育过程中矢车菊素-3-葡萄糖苷的含量呈线性增加趋势,其含量在桑椹成熟时达到最大值,而矢车菊素-3-芸香苷呈现先增加而后微量减少,至后期迅速增加的趋势。天竺葵素-3-葡萄糖苷在发育初期的桑椹中基本检测不到,直到发育后期才迅速增加^[9]。因此,可以根据不同花青素的功能和呈色作用,适时采摘桑椹。

2 桑椹花青素的生理活性

桑椹是我国传统的特色药食两用资源,被列入《既是食品又是药品的物品名单》^[10]。桑椹花青素作为一种天然色素,不仅安全、无毒,还具有很高的营养、保健和药理价值。

2.1 抗氧化和抗炎作用

桑椹花青素属于类黄酮类化合物,其分子基团上的酚羟基可以与自由基分子发生反应,生成较稳定的半醌式自由基,从而减少甚至清除自由基。有研究表明桑椹花青素被人体吸收后,可以透过血脑屏障保护大脑细胞免受自由基危害^[11]。另外,王振江等^[12]也发现桑椹花青素能抑制血清NO合成,阻止细胞因子的促炎效应,可以减轻病理性损伤,抑制大鼠佐剂性关节炎。由于花青素可以被人体完全吸收,并可以在体内维持相当长的时间,即使在较低的浓度下也能保持对自由基较强的清除能力。因此,花青素被认为是目前

发现的具有较强抗氧化性的天然物质^[13]。

2.2 抗肿瘤作用

桑椹花青素的抗肿瘤作用已多有报道。有研究表明,桑椹矢车菊素-3-葡萄糖苷和矢车菊素-3-芸香苷可以在一定程度上阻止高转移性人类肺癌A549细胞的转移和入侵^[14],还可有效抑制乳腺癌细胞的增殖,具有较强的体外抗乳腺癌细胞活性。另外,桑椹花青素膳食干预可显著抑制乳腺癌细胞的生长,具有明显的体内抗乳腺癌作用^[15]。此外,还有研究发现桑椹花青素对黑色素瘤的转移以及大鼠主动脉血管平滑肌细胞肿瘤坏死因子迁移都具有明显的抑制作用,具有较高的药用价值^[16]。因此,桑椹花青素是一种潜在的预防和治疗癌症的天然物质。

2.3 保护心脑血管的作用

心脑血管疾病会威胁人类健康,动脉粥样硬化是此类疾病的主要病因。桑椹花青素提取物可抑制氧化低密度脂蛋白诱导的泡沫细胞形成,降低血清过氧化脂质丙二醛水平,具有抗动脉粥样硬化作用,对心脑血管疾病具有很好的预防和治疗作用^[17]。研究发现饲喂桑椹花青素粗提物可以显著降低由高胆固醇和高脂食物造成白兔的动脉粥样硬化及大动脉粥样硬化损害,表明桑椹花青素粗提物在动物体内可能具有直接的抗动脉粥样硬化的作用^[18]。用桑椹冻干粉饲喂高脂血症的大鼠,可降低大鼠的血脂及动脉粥样硬化指数水平,推测花青素可能是主要的功能成分,并证明花青素能阻碍小肠对胆固醇和胆汁酸的吸收,抑制低密度脂蛋白的氧化和血小板的聚集^[19]。

2.4 对肝脏的保护作用

古代药典认为桑椹具有益肾补肝,滋阴养血的作用。现代研究证明桑椹花青素对高脂饮食诱导的非酒精性脂肪性肝病(nonalcoholic fatty liver disease, NAFLD)具有保肝作用,可以降低大鼠总胆固醇、三酰甘油和低密度脂蛋白胆固醇的水平,恢复高密度脂蛋白胆固醇水平,保护肝组织免受NAFLD的损害^[20]。用含有桑椹花青素的饮料饲喂小鼠能对四氯化碳诱导的大鼠肝纤维化具有明显的保护作用^[21]。有研究表明,桑椹矢车菊素-3-芸香苷是桑椹花青素抗氧化及对H₂O₂诱导损伤肝细胞起保护作用的主要功能性成分^[8]。Liao等^[22]研究桑椹花青素提取物可显著降低N-亚硝基二乙胺诱导的肝结节发生率和肝癌发生率,抑制肿瘤坏死因子 α 和白细胞介素-6的水平,对肝癌具有有效的预防作用。因此,桑椹花青素可作为一种良好的抗肝癌功能性膳食补充剂。还有研究表明桑椹花青素提取物对高脂肪酸和高胆固醇培养的肝细胞具有潜在的

保护作用,可以抑制脂肪肝细胞凋亡、脂肪酸合成和脂肪酸氧化增强,活化蛋白激酶抑制乙酰辅酶A羧化酶活性,有助于改善油酸诱导的脂质积聚,可积极预防非酒精性脂肪肝病^[23]。

2.5 对神经系统的保护作用

现代医学研究证明,桑椹花青素对神经系统具有良好的调节和保护作用。桑椹矢车菊素-3-葡萄糖苷对暴露在H₂O₂中的PC12神经细胞损伤具有保护作用,对大脑动脉闭塞的脑损伤模型小鼠也具有神经保护作用^[24]。桑椹花青素可以保护阿尔茨海默症模型细胞,减轻H₂O₂对细胞的氧化损伤,增强衰老小鼠的抗氧化能力。喂食桑椹花青素提取物有利于诱导抗氧化防御系统和改善衰老动物的记忆衰退,提高小鼠的学习记忆能力并有助于提高其认知作用,可以用于预防阿尔茨海默症^[25]。另外,有研究发现桑椹花青素可改善运动功能障碍和多巴胺能神经元变性,对帕金森病神经毒性具有保护作用。用桑椹花青素提取物治疗小鼠,可显著改善帕金森病相关的非运动性症状以及运动损伤,桑椹花青素可能具有预防帕金森病的治疗潜力^[26]。王静^[27]研究发现对具备正常行为能力的大鼠实施造模手术,术后给予桑椹花青素干预,有助于脊髓损伤运动功能的恢复。

2.6 其它作用

近年来,随着对花青素研究的深入,花青素越来越多的生理功能被报道。有研究表明花青素在降血糖、降血脂和减肥等方面也具有一定功效^[28-29]。花青素还具有抗突变作用,可作为辐射防护剂,用于护眼和护肤剂。随着人们对桑椹花青素认可和重视程度的不断增加,对其研究和临床试验的不断深入,桑椹花青素的生理活性也将会被进一步挖掘。

3 桑椹花青素的提取及纯化

3.1 桑椹花青素的提取

目前有关桑椹花青素提取的研究报道较多。传统的提取方法是溶剂提取法,常用的溶剂包括甲醇、乙醇、丙酮和水等,或者是混合溶剂。在生产中常在提取剂中添加一定浓度的柠檬酸、盐酸或三氟乙酸以提高提取效率。溶剂提取法虽然操作简便,设备简单,但溶剂消耗量大、提取时间长、效率低^[30]。超声波辅助提取过程中花青素的损失率低,结构不易遭受破坏,提取时间短、效率高,所需设备简单、适用于工业化生产^[31]。微波辅助提取法可缩短提取时间,提高提取效率,但在提取过程中有时会造成局部温度过高,导致花青素降解,而且对提取设备要求高,目前还未见工业化应

用^[30,32]。超临界二氧化碳萃取法是一种新型的萃取和分离提取技术,与传统溶剂提取法相比,其提取效率更高,且不破坏花青素的结构,无溶剂残留、纯度高。但该法需要设备价格昂贵,目前还无法满足工业生产的需要^[31]。除此之外,还有酶提取法应用于桑椹花青素的提取,该法一般是结合溶剂提取法,在溶剂中添加植物细胞壁分解或降解酶,以利于细胞内含物的溶出,提高提取效率^[32]。

3.2 桑椹花青素的纯化

尽管桑椹花青素的提取方法各有优缺点,但无论哪种方法提取的桑椹花青素都会含有一定量的糖、淀粉和蛋白质等杂质,这些杂质不但会影响花青素的纯度,也会降低花青素的稳定性,限制花青素的应用范围。所以,需要对提取的花青素进行进一步的纯化。目前,纯化花青素的方法有大孔树脂法、高效液相色谱法、膜分离法、凝胶层析、纸层析和薄层析法,以及多种技术联合法等^[31]。其中大孔树脂法操作简单、成本低,广泛应用于桑椹花青素的分离^[31]。高效液相色谱法可以获得高纯度的花青素组分,而且成本低、制备量大,目前已越来越广泛地被开发和应用于花青素的纯化领域,成为纯化花青素的一种重要方法^[31,33]。除此之外,其它方法虽然已应用于其它色素的纯化,但还未见于桑椹花青素纯化的报道。总之,目前虽然桑椹花青素的提取和纯化研究取得了很大进展,但花青素的提取效率仍相对较低,纯度不高,需要研究开发更为简单、高效、高纯度的提取纯化技术以推广桑椹花青素的应用。

4 桑椹花青素的稳定性及提高其稳定性的方法

4.1 影响桑椹花青素稳定性的因素

桑椹花青素由于其特殊的分子结构,具有较高的化学活性,对酸碱、光、热、氧化剂、还原剂、金属离子和多种食品添加剂均较敏感,使其在使用上受到一定的限制。

研究表明,在不同pH值的溶液中花青素的分子结构会发生改变,从而呈现出不同的颜色。在pH值<3的溶液中花青素显现鲜艳的玫瑰色;随溶液pH值升高,其所呈现的红色逐渐变浅,当溶液pH值达到7以上时,所呈现的颜色由红色变为紫色,并随pH值升高逐渐加深,当pH11时溶液呈现为深蓝紫色。因此,溶液的pH值对花青素的稳定性有较大的影响,桑椹花青素在碱性溶液中稳定性较差,较适用于酸性条件^[34]。桑椹花青素在60℃以下稳定性良好,但在较高的温度下稳定性变差。在80℃~100℃下,桑椹花青素溶液吸

光度变化明显,并且随着加热时间的增加,溶液的吸光度逐渐减少。在自然光下桑椹花青素较稳定,阳光直射和紫外线照射都会影响其稳定性^[35]。因此,桑椹花青素最好低温避光保存。

溶液中金属离子的存在会影响桑椹花青素的稳定性。一般认为溶液中 Na^+ 、 Mg^{2+} 和 Zn^{2+} 的存在对桑椹花青素的稳定性无明显的影响,而 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mn^{2+} 和 Al^{3+} 的存在对花青素具有增色和护色作用。相反,溶液中的 Sn^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Pb^{2+} 和 Fe^{3+} 离子可与桑椹花青素形成络合物,造成溶液颜色加深变暗,且易出现沉淀,影响色素的稳定性^[28-34]。因此,在实际生产应用中应避免与这些金属离子接触或使用含这些离子的器皿,以免影响产品的色泽,破坏产品的性状。

据报道,有些食品添加剂也会影响桑椹花青素的稳定性。例如随着溶液蔗糖浓度的增加,花青素溶液的吸光度也随着增加,表明蔗糖可能有助于提高桑椹花青素的稳定性,而溶液中低浓度的木糖醇、低聚异麦芽糖的存在对花青素的稳定性无明显的影响^[34-35]。另外,在加热条件下,抗坏血酸能显著促进花青素的降解,且抗坏血酸浓度越高,花青素的降解越快。溶液中亚硫酸钠和碳酸氢钠的存在也会对色素的稳定性产生较大的影响,随着浓度的增大,色素损失率增大^[36]。桑椹花青素抗氧化性较差,溶液中氧化剂如 H_2O_2 的存在会造成花青素损失率的增加^[34]。因此,应根据桑椹花青素的性质合理地使用食品添加剂。

4.2 提高桑椹花青素稳定性的方法

由于花青素稳定性差,限制了其在生产中的应用。针对这一问题,许多学者深入研究花青素稳定性的提高措施,研发了多种提高花青素稳定性的技术。目前已报道的有关提高花青素稳定性的方法大致可分为物理和化学方法两类。

物理方法是包括添加辅色剂、与大分子物质复合以及胶囊包埋等。其中添加辅色剂是最简单的方法。常用的辅色剂有氨基酸、黄酮、生物碱、有机酸、核苷酸及不同的花青素等^[37]。这些辅色剂分子中的电子可以与花青素的母核阳离子相互作用,产生辅色效应,避免溶剂的亲核攻击,从而提高花青素的稳定性。另外,花青素也可以与蛋白质、多糖、环糊精等大分子物质形成复合物,提高其稳定性^[38]。有报道花青素可通过氢键与牛血清白蛋白形成复合物,也可通过疏水作用与甘露糖蛋白形成复合物,显著提高其热稳定性^[39]。花青素也可以通过氢键作用与多糖复合,增强对抗坏血酸的稳定性。花青素分子还可以与环糊精的圆台形结构形成“环糊精-花青素”包结物,增强其稳定性^[40]。目前

生产上,胶囊包埋法是提高花青素稳定性的主要方法。制备花青素胶囊的方法主要有:喷雾干燥法、冷冻干燥法、相分离法、离子交联法、乳化-热胶凝法等,其中应用较多的是喷雾干燥法^[38]。花青素微胶囊化有助于提高花青素的稳定性,但存在制备技术复杂,成囊率低,成本高的缺点。将桑椹花青素与明胶混合,采用滴丸剂制备技术,将花青素包裹成微小丸粒,显著提高花青素的稳定性和溶出率,且生产技术简单,具有良好的应用前景^[41]。将花青素制成微胶囊或微小丸粒不仅可以提高其稳定性,还有助于花青素在动物体内发挥其对自由基的清除能力,提升花青素在食品工业中的应用潜力^[38]。

化学方法是利用化学试剂对花青素进行修饰,以提高其稳定性。花青素骨架和糖基上都带有化学性质活跃的羟基,研究表明,花青素骨架和糖基上的羟基可与有机酸通过酯键形成酰基化的花色苷,进而显著提高其稳定性^[42]。可用于花青素酰基化的有机酸包括丙二酸、琥珀酸、咖啡酸、苹果酸、葡萄糖酸、阿魏酸、肉桂酸等^[38]。花青素酰基化后可有效地阻止花青素结构的转变,形成稳定的花青素“三明治”结构。酰基化的碳链残基和花青素骨架母核之间由于疏水作用,形成层状结构,可以保护夹在有机酸中间的花青素母核免受亲水攻击,不仅能增强花青素的抗降解反应能力,而且有助于提高系统的色泽稳定性^[42]。酰化作用对花青素稳定性的提高程度主要决定于酰基的种类、数目和结合位点。芳香酸的酰化对花青素稳定的提高优于脂肪酸的酰化,且多个位点酰化的花青素比单个位点酰化的花青素的稳定性要高。另外,酰化花青素的稳定性随着脂肪酸碳链的增长而增加,但当碳链长度超过8个碳原子后,稳定作用提升不显著,相同长度的脂肪酸,多元酸比一元酸酰化的花青素更为稳定^[38]。

虽然目前国内外关于提高花青素稳定性的研究报道较多,但研究主要侧重于花青素贮藏稳定性的改善,而对于花青素加工利用过程中的稳定性提高的研究报道较少。因此,花青素的应用仍受到很大限制,今后应对花青素在不同的加工条件下稳定性的改善予以更多关注。

5 桑椹花青素在食品领域中的应用

桑椹花青素作为一种天然色素,安全、无毒,而且具有一定营养作用和药理功效,符合当今食用色素“天然、营养和多功能”的发展方向,不仅可以使食品拥有绚丽的色彩,而且赋予食品更高的营养和保健功能,广泛应用于糖果、果冻、果蔬饮料、果酒等食品和饮

品。目前对于桑椹花青素的利用主要有两种途径,一种是直接以桑椹为原料用于食品加工,桑椹兼有食品主料和色素的双重作用;一种是利用桑椹为原料提取花青素,然后将之作为食品添加剂使用。由于目前桑椹的加工利用技术研究还处于初级阶段,桑椹花青素在食品领域中的利用主要以第一种途径为主,目前已有多种产品报道。

5.1 桑椹花青素在果蔬饮料中的应用

桑椹花青素不但可作为营养强化剂,而且可作为饮料着色剂用于各种饮料中。目前市场上的桑椹果汁可分为桑椹原汁和调配性果汁两种。其中桑椹原汁是新鲜桑椹或由于桑椹经复水后再压榨而成。压榨的桑椹原汁可浓缩制成浓缩桑椹汁,作为食品原料进一步深加工。桑椹原汁花青素含量高,色泽较浓,但味道较清淡单薄。桑椹调配性果汁是以桑椹原汁为原料,添加香精、酸味剂、甜味剂以及其它食品配料或果汁调配而成^[43]。采用适当比例的桑椹原汁和葡萄原汁,加入适量的柠檬酸、食糖和稳定剂制成的桑椹葡萄复合果汁饮料,富含花青素、多种维生素和微量元素,酸甜适口、口感清爽,是一种很受欢迎的新型功能饮料^[44]。以桑椹果汁和红枣为主原料,配合其它食品添加剂制成的桑椹红枣复合型果汁饮料,营养丰富、风格独特,具有多种保健作用,特别适合老年人和女性食用^[45]。此外,将桑椹汁与玫瑰花汁和蓝莓汁按一定比例混合,再添加一定的维生素C和柠檬酸等可制成蓝莓-桑椹复合型饮料^[46]。也有将桑椹汁与苦瓜汁按一定比例混合制成具有降血糖功效的桑椹苦瓜复合果汁饮料的报道^[47]。将桑椹原汁和茶汤按一定比例混合,再添加蔗糖和柠檬酸等原料,经过一定的工艺加工制成的桑椹果茶,不仅色泽鲜艳,而且兼具有茶和桑椹汁的香气,酸甜适口,适合各类人群饮用^[48]。将桑椹原汁与绿茶汁,加以阿斯巴甜、柠檬酸和乙基麦芽酚等添加剂制成的桑椹速溶茶固体饮品,不仅便于携带,而且集桑椹和绿茶保健功能于一身,具有很好的市场前景^[49]。以桑椹汁和红茶汁为主要原料,配以牛奶、蜂蜜或糖可制成桑椹奶茶,香色诱人,营养保健功能俱佳,深受青年人喜爱^[50]。

5.2 桑椹花青素在果醋饮料中的应用

果醋兼有食醋和水果的营养保健功能,是集营养和保健功能为一体的新型发酵饮料。桑椹果醋是以桑椹汁为主要原料,利用现代发酵工艺酿制而成的一种新型果醋饮品。桑椹果醋具有桑椹果香和食醋的复合风味,香气浓郁,酸味柔和。花青素不仅赋予果醋亮丽色泽,而且使果醋具有很好的营养与保健功能^[51]。果醋

生产时可以根据不同消费人群的口味和饮食习惯,将桑椹汁配合其它原料,如糖化的糯米等,共同进行发酵,制得各式桑椹醋饮料^[52-53]。此外,桑椹还可以通过发酵转化为酵素产品,进一步提升其保健功效,具有良好的市场前景。

5.3 桑椹花青素在果酒饮品中的应用

桑椹果酒是以新鲜桑椹为原料,利用现代酿造技术酿制成的一种集营养与保健于一体的新型果酒。桑椹果酒酒质温和爽口、果香味浓、颜色艳丽,所含花青素是红葡萄酒的5倍,且富含白藜芦醇等多种功能性成分,常饮有利于人体健康^[54]。以鲜桑椹汁与芦荟汁为原料,经混合发酵制得的桑椹芦荟果酒口感柔和、醇香浓郁、颜色典雅,兼有芦荟的美容和抗癌作用以及桑椹的抗氧化和抗肿瘤等功效^[55]。以桑椹、红枣、枸杞、猕猴桃等为原料,经混合发酵制得的桑椹复合保健酒,不仅色泽鲜艳,口味纯正,还具有较高的保健功效,市场开发潜力巨大^[45]。将发酵制得的桑椹酒,与一定比例的葡萄酒以及苦艾和薄荷浸泡酒调配,可制成具有独特口感和多种保健功能的复合保健酒^[51]。桑椹还可以与大麦芽、啤酒专用酵母、果胶酶、酒花等原料配合,利用啤酒酿造工艺制作桑椹鲜啤酒^[56]。此外,还可以用桑椹汁与优质高度白酒为主要原料,配以适量的白糖、柠檬酸和稳定剂制成风味别致的鸡尾酒^[57]。

5.4 桑椹花青素在酸奶和乳饮料中的应用

酸奶因风味独特、营养丰富,深受广大消费者的青睐。桑椹花青素耐热性较好,能够经受酸奶生产采用的巴氏杀菌工艺,可以用作营养强化剂和着色剂而添加到酸奶中。以桑椹和鲜牛乳为主要原料,经过发酵制成的桑椹酸奶,不仅具有桑椹和牛乳独特的风味,而且具有艳丽的玫瑰红色,口感细腻、兼有酸奶的营养价值和桑椹的保健作用。以桑椹和脱脂乳为原料,配合白砂糖和稳定剂等辅料,经发酵制得的风味独特、酸甜可口、营养丰富的桑椹酸奶,质地均匀,具有桑椹特有的清香和酸奶的奶香,酸甜适口,特别适合老年人和儿童饮用^[58]。将桑椹汁与牛乳按一定比例混合,再添加糖和柠檬酸等可制成桑椹汁乳饮料,不仅色泽鲜艳,具有桑椹的酸甜味,而且有牛奶香滑的口感,具有很好的开发前景^[59]。

5.5 桑椹花青素在烘焙食品中的应用

桑椹营养成分丰富,可作为功能性天然食品的焙烤基料应用于焙烤食品中制作特色糕点^[45],桑椹花青素不仅可以起到很好的调色功效,也使烘焙食品具有了特殊的保健功能。在蛋糕制作原料中添加桑椹原汁或桑椹超微粉,可以烘焙制成具有桑椹色泽和风

味,口感细腻的营养蛋糕^[60]。制作月饼时在皮料与馅料中也可以添加桑椹汁或桑椹粉,烘焙制作桑椹月饼。与传统月饼相比,桑椹月饼外表色泽多样、果味清香、口感酥软细腻,独具特色,深受市场欢迎^[61]。由于桑椹花青素在高温下稳定性较差,限制了其在烘焙食品中的应用。今后可以通过改进烘焙工艺提高桑椹花青素的稳定性,拓宽其在烘焙食品中的应用。

5.6 桑椹花青素在其它食品中的应用

桑椹花青素还可以应用于多种食品中,不仅赋予产品特色风味和色泽,还可以增加产品的营养功能成分。采用新鲜桑椹汁或超微粉,配以奶粉、奶油和食糖等原料,可以制作色香味俱佳的桑椹冰淇淋。以桑椹为主要原料,选用卡拉胶为凝胶剂,制作的桑椹果冻,不仅具有普通果冻的弹韧性,而且色艳香浓,爽滑可口,具有较高的营养和保健功能,具有很好的开发前景^[62]。桑椹还可以加工成桑椹果汁粉或超微粉,再制成果粉胶囊或口含片等各式休闲食品。随着人们生活水平的提高,营养保健食品的开发日益受到重视,以桑椹为原料的产品将越来越受到人们的青睐。

桑椹花青素的应用除以上所述的以桑椹原料直接用于普通食品领域外,利用花青素生产的保健食品也逐渐增多。随着人们对花青素保健功能的认识 and 了解,以及花青素保健食品的不断开发,花青素保健型食品在全球范围内的销量也在不断增长。据报道,欧美国家每年花青素保健饮料的经济效益高达数10亿美元^[63]。在我国,桑椹花青素在保健食品领域中的研究发展也较快,但产品市场规模还较小,桑椹花青素的保健和药用价值还没有得到合理的开发和利用。随着市场对桑椹花青素产品需求量的增加,需要食品科技工作者深入研究,研发更多更好的桑椹花青素保健品以满足人们的需求。

6 展望

桑椹花青素作为一种天然色素,在食品中得到越来越广泛的应用。然而,和大多数的天然色素一样,桑椹花青素化学性质也不够稳定、工业化的提取和纯化工艺不够成熟,这在很大程度上限制了其在食品工业中的应用。改进桑椹花青素的提取和纯化工艺,获得性质稳定、高纯度的桑椹花青素将是今后研究工作的重点。另外,目前对于桑椹花青素的应用也主要局限于传统的饮料和食品,产品附加值低,而且花青素的营养和保健作用也未能充分发挥。因此,今后应结合市场需求,不断深入研究桑椹花青素的营养和生理活性作用及机制,创新生产和加工工艺,提高桑椹花青

素保健食品的品质和保健功效,开发更多的桑椹花青素功能性食品。我国是蚕桑发源地,桑树种植面积广阔,桑椹资源丰富,以桑椹为原料提取花青素,研发制成功能性保健食品,具有广阔的产业化前景。

参考文献:

- [1] 辛宇,孙敬蒙,张炜煜.花青素生物活性及制剂的研究进展[J/OL].食品工业科技[2021-01-09].<https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020080078>.
XIN Yu, SUN Jingmeng, ZHANG Weiyu. Research progress of physiological activity and preparation of anthocyanins[J/OL]. Science and Technology of Food Industry [2021-01-09]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020080078>.
- [2] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.食品安全国家标准 食品添加剂使用标准:GB 2760—2014[S].北京:中国标准出版社,2015.
National Health and Family Planning commission of the People's Republic of China. National food safety standard Application standard of food additives: GB 2760—2014[S]. Beijing: Standards Press of China, 2015.
- [3] 吴庆智,毛晓英.桑椹天然色素研究进展[J].安徽农学通报(上半月刊),2010,16(5):158,192.
WU Qingzhi, MAO Xiaoying. The research progress of mulberry pigment[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2010, 16(5): 158,192.
- [4] JIANG L Z, LIU Y J, LI L, et al. Covalent conjugates of anthocyanins to soy protein: Unravelling their structure features and *in vitro* gastrointestinal digestion fate[J]. Food Research International, 2019, 120: 603-609.
- [5] PUTTA S, YARLA N S, KUMAR K E, et al. Preventive and therapeutic potentials of anthocyanins in diabetes and associated complications[J]. Current Medicinal Chemistry, 2018, 25(39): 5347-5371.
- [6] 王振江,肖更生,刘学铭,等.桑椹花青素的研究进展[J].蚕业科学,2006,32(1):90-94.
WANG Zhenjiang, XIAO Gengsheng, LIU Xueming, et al. Research and application of mulberry anthocyanins[J]. Science of Sericulture, 2006, 32(1): 90-94.
- [7] 杨文宇,王萌,肖阳,等.应用分子对接方法筛选桑椹红色素微胶囊壁材[J].西华大学学报(自然科学版),2020,39(6):94-102.
YANG Wenyu, WANG Meng, XIAO Yang, et al. Selection of wall materials for mulberry red pigment microcapsules guided by molecular docking method[J]. Journal of Xihua University (Natural Science Edition), 2020, 39(6): 94-102.
- [8] 钱文春,柳丽萍,钟石,等.不同品种桑椹中的矢车菊-3-芸香苷(C3Y)含量及桑椹C3Y的抗氧化作用[J].蚕业科学,2014,40(3):506-512.
QIAN Wenchun, LIU Liping, ZHONG Shi, et al. Content and anti-oxidant activity of cyanidin-3-rutinoside from mulberry fruit of different varieties[J]. Science of Sericulture, 2014, 40(3): 506-512.
- [9] 乔健,马智玲,魏长宾,等.湛江地区不同桑椹品种的品质比较

- [J]. 食品工业科技, 2020, 41(12): 264-268,290.
- QIAO Jian, MA Zhiling, WEI Changbin, et al. Quality comparison of different mulberry varieties in Zhanjiang region[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(12): 264-268,290.
- [10] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 卫生部关于进一步规范保健食品原料管理的通知[EB/OL]. (2002-03-11) [2021-02-01]. <http://www.nhc.gov.cn/wjw/gfxwj/201304/e33435ce0d894051b15490aa3219cdc4.shtml>.
- National Health Commission of the People's Republic of China. Notice of the Ministry of Health on further standardizing the management of health food raw materials [EB/OL]. (2002-03-11) <http://www.nhc.gov.cn/wjw/gfxwj/201304/e33435ce0d894051b15490aa3219cdc4.shtml>.
- [11] 徐建国, 田呈瑞, 胡青平. 天然桑椹红色素体外清除自由基活性的研究[J]. 食品科学, 2005, 26(12): 77-81.
- XU Jianguo, TIAN Chengrui, HU Qingping. Study on scavenging capacity of free radical by natural mulberry red pigment *in vitro*[J]. Food Science, 2005, 26(12): 77-81.
- [12] 王振江, 肖更生, 刘学铭, 等. 桑椹花青素对大鼠佐剂性关节炎抑制作用[J]. 中国公共卫生, 2009, 25(2): 181-183.
- WANG Zhenjiang, XIAO Gengsheng, LIU Xueming, et al. Anti-inflammatory activity of anthocyanins from mulberry on adjuvant-induced arthritis[J]. Chinese Journal of Public Health, 2009, 25(2): 181-183.
- [13] 江海. 花青素的结构抗氧化性及在保健食品中的应用 [J]. 农产品加工, 2016(5): 63-65.
- JIANG Hai. The structure and antioxidant activity of anthocyanins and its application in functional food[J]. Farm Products Processing, 2016(5): 63-65.
- [14] KHALIFA I, ZHU W, LI K K, et al. Polyphenols of mulberry fruits as multifaceted compounds: Compositions, metabolism, health benefits, and stability—A structural review[J]. Journal of Functional Foods, 2018, 40: 28-43.
- [15] 王湛, 付钰洁, 常徽, 等. 桑葚花色苷的提取及对人乳腺癌细胞株 MDA-MB-453 生长的抑制[J]. 第三军医大学学报, 2011, 33(10): 988-990.
- WANG Zhan, FU Yujie, CHANG Hui, et al. Inhibitory effect of anthocyanin extract of mulberry fruit on growth of breast cancer MDA-MB-453 cells[J]. Journal of Third Military Medical University, 2011, 33(10): 988-990.
- [16] LONG H L, ZHANG F F, WANG H L, et al. Mulberry anthocyanins improves thyroid cancer progression mainly by inducing apoptosis and autophagy cell death[J]. The Kaohsiung Journal of Medical Sciences, 2018, 34(5): 255-262.
- [17] YUAN Q X, ZHAO L Y. The mulberry (*Morus alba* L.) fruit—A review of characteristic components and health benefits[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2017, 65(48): 10383-10394.
- [18] JIANG Y, DAI M, NIE W J, et al. Effects of the ethanol extract of black mulberry (*Morus nigra* L.) fruit on experimental atherosclerosis in rats[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2017, 200: 228-235.
- [19] YANG X L, YANG L, ZHENG H Y. Hypolipidemic and antioxidant effects of mulberry (*Morus alba* L.) fruit in hyperlipidaemia rats[J]. Food and Chemical Toxicology, 2010, 48(8-9): 2374-2379.
- [20] YANG D K, JO D G. Mulberry fruit extract ameliorates nonalcoholic fatty liver disease (NAFLD) through inhibition of mitochondrial oxidative stress in rats[J]. Evidence Based Complementary and Alternative Medicine, 2018, 2018: 8165716.
- [21] LI Y X, YANG Z H, JIA S S, et al. Protective effect and mechanism of action of mulberry marc anthocyanins on carbon tetrachloride-induced liver fibrosis in rats[J]. Journal of Functional Foods, 2016, 24: 595-601.
- [22] LIAO S F, LIU J H, XU M, et al. Evaluation of the liver cancer prevention of anthocyanin extracts from mulberry (*Morus alba* L.) variety PR-01[J]. Advances in Bioscience and Biotechnology, 2018, 09(09): 423-442.
- [23] CHANG J J, HSU M J, HUANG H P, et al. Mulberry anthocyanins inhibit oleic acid induced lipid accumulation by reduction of lipogenesis and promotion of hepatic lipid clearance[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61(25): 6069-6076.
- [24] WEN P, HU T G, LINHARDT R J, et al. Mulberry: a review of bioactive compounds and advanced processing technology[J]. Trends in Food Science & Technology, 2019, 83: 138-158.
- [25] SHIH P H, CHAN Y C, LIAO J W, et al. Antioxidant and cognitive promotion effects of anthocyanin-rich mulberry (*Morus atropurpurea* L.) on senescence-accelerated mice and prevention of Alzheimer's disease[J]. The Journal of Nutritional Biochemistry, 2010, 21(7): 598-605.
- [26] GU P S, MOON M, CHOI J G, et al. Mulberry fruit ameliorates Parkinson's disease-related pathology by reducing α -synuclein and ubiquitin levels in a 1-methyl-4-phenyl-1, 2, 3, 6-tetrahydropyridine/probenecid model[J]. The Journal of Nutritional Biochemistry, 2017, 39: 15-21.
- [27] 王静. 桑葚花青素饮品对脊髓损伤大鼠运动功能恢复的作用[J]. 动物医学进展, 2018, 39(5): 86-90.
- WANG Jing. Effects of mulberry anthocyanin drinks on motor function recovery in rats with spinal cord injury[J]. Progress in Veterinary Medicine, 2018, 39(5): 86-90.
- [28] LIANG L H, WU X Y, ZHAO T, et al. *In vitro* bioaccessibility and antioxidant activity of anthocyanins from mulberry (*Morus atropurpurea* Roxb.) following simulated gastro-intestinal digestion[J]. Food Research International, 2012, 46(1): 76-82.
- [29] 阎芙洁. 桑葚花色苷对糖代谢的调控作用及其机制研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2018.
- YAN Fujie. Study on the beneficial effect and mechanism of mulberry anthocyanins on glucose metabolism regulation[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2018.
- [30] 卫春会, 张兰兰, 邓杰, 等. 桑葚花青素超声波辅助提取工艺优化[J]. 食品工业, 2020, 41(12): 96-100.
- WEI Chunhui, ZHANG Lanlan, DENG Jie, et al. Optimization of ultrasonic assisted extraction process for anthocyanins of mulberry[J].

- The Food Industry, 2020, 41(12): 96-100.
- [31] 栾琳琳, 卢红梅, 陈莉. 桑葚花青素提取纯化研究进展[J]. 中国调味品, 2019, 44(3): 156-160, 164.
LUAN Linlin, LU Hongmei, CHEN Li. Research progress of extraction and purification of mulberry anthocyanins[J]. China Condiment, 2019, 44(3): 156-160, 164.
- [32] 李俊儒, 胡继红, 张彩, 等. 花青素提取方法的研究进展[J]. 现代食品, 2018(8): 10-12, 16.
LI Junru, HU Jihong, ZHANG Cai, et al. Research progress of anthocyanins extraction methods[J]. Modern Food, 2018(8): 10-12, 16.
- [33] 崔丽霞, 张志军, 李晓君, 等. 花青素提取、分离纯化技术研究进展[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(20): 195-199.
CUI Lixia, ZHANG Zhijun, LI Xiaojun, et al. Research progress on extraction, separation and purification of anthocyanins[J]. Food Research and Development, 2017, 38(20): 195-199.
- [34] 李琳娜, 周高品. 桑椹红色素稳定性的研究[J]. 包装与食品机械, 2018, 36(3): 11-15.
LI Linna, ZHOU Gaopin. Experimental research on the stability of mulberry red pigment[J]. Packaging and Food Machinery, 2018, 36(3): 11-15.
- [35] 胡伟华, 徐迁昌, 杨超伟, 等. 桑葚新品种色素纯化工艺及其工艺学特性研究[J]. 食品科技, 2013, 38(6): 278-280, 285.
HU Weihua, XU Qianchang, YANG Chaowei, et al. Purification and technical property of pigments in new mulberry species[J]. Food Science and Technology, 2013, 38(6): 278-280, 285.
- [36] 任二芳, 李昌宝, 孙健, 等. 金属离子和食品添加剂对桑果花色苷稳定性的影响[J]. 南方农业学报, 2014, 45(1): 98-103.
REN Erfang, LI Changbao, SUN Jian, et al. Effects of metal ions and food additives on stability of anthocyanins from mulberry[J]. Journal of Southern Agriculture, 2014, 45(1): 98-103.
- [37] 顾林, 朱洪梅, 顾振新. 花青素的生物合成和成色机理及提高其稳定性的途径[J]. 食品工业科技, 2007, 128(11): 240-244.
GU Lin, ZHU Hongmei, GU Zhenxin. Biosynthesis and color-forming mechanism of anthocyanins and ways to improve their stability[J]. Science and Technology of Food Industry, 2007, 128(11): 240-244.
- [38] 徐青, 王代波, 刘国华, 等. 花青素稳定性影响因素及改善方法研究进展[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(7): 218-224.
XU Qing, WANG Daibo, LIU Guohua, et al. Influencing factors and improving methods of anthocyanin stability[J]. Food Research and Development, 2020, 41(7): 218-224.
- [39] 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 Chemistry, 2017, 218: 277-284.
- [40] HE Z Y, XU M Z, ZENG M M, et al. Preheated milk proteins improve the stability of grape skin anthocyanins extracts[J]. Food Chemistry, 2016, 210: 221-227.
- [41] 陆鸿奎, 张荷兰, 李新林. 桑椹红色素微丸的制备工艺研究[J]. 中国食品添加剂, 2020, 31(8): 48-52.
LU Hongkui, ZHANG Helan, LI Xinlin. Study on preparation technology of mulberry red pigment pellet[J]. China Food Additives, 2020, 31(8): 48-52.
- [42] ZHAO C L, YU Y Q, CHEN Z J, et al. Stability-increasing effects of anthocyanin glycosyl acylation[J]. Food Chemistry, 2017, 214: 119-128.
- [43] 吴敏, 张东雷, 王爽, 等. 桑椹保健功能的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(9): 214-217.
WU Min, ZHANG Donglei, WANG Shuang, et al. The function of mulberry[J]. Food Research and Development, 2012, 33(9): 214-217.
- [44] 李良, 邱庆峰, 任运宏, 等. 桑葚葡萄复合果汁饮料的研制[J]. 食品工业, 2012, 33(2): 84-85.
LI Liang, QIU Qingfeng, REN Yunhong, et al. Development of composite juice drink of mulberry and grape[J]. The Food Industry, 2012, 33(2): 84-85.
- [45] 伍娟霞, 董文宾, 黄科, 等. 桑椹的营养成分及在食品加工中的应用[J]. 食品科技, 2013, 38(12): 68-71.
WU Juanxia, DONG Wenbin, HUANG Ke, et al. Application of mulberry on the food processing and its nutrient composition[J]. Food Science and Technology, 2013, 38(12): 68-71.
- [46] 陈蕾, 王辰龙, 鲍俊杰, 等. 蓝莓桑葚复合饮料的加工与研制[J]. 农产品加工(学刊), 2014(10): 39-41.
CHEN Lei, WANG Chenlong, BAO Junjie, et al. Process of blueberry and mulberry compound beverage[J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2014(10): 39-41.
- [47] 韦国麟, 余小雁, 邓义卫. 苦瓜桑椹复合饮料对2型糖尿病大鼠胰岛素抵抗的影响[J]. 黑龙江医药, 2013, 01: 53-57.
WEI Guolin, YU Xiaoyan, DENG Yiwei, et al. Effect of kuguasang-shen compound beverage on insulin resistance in type-2 diabetic rats[J]. Heilongjiang Medicine Journal, 2013, 01: 53-57.
- [48] 汤楚琦, 赵节昌. 桑葚功能性复合饮料加工工艺研究[J]. 农产品加工, 2019(7): 37-39.
TANG Chuqi, ZHAO Jiechang. Study on mulberry function and processing technology of compound beverage[J]. Farm Products Processing, 2019(7): 37-39.
- [49] 杨海霞, 朱祥瑞, 刘春英. 桑椹系列产品的开发[J]. 食品与药品, 2006, 8(1): 57-59.
YANG Haixia, ZHU Xiangrui, LIU Chunying. The exploiting of mulberry products[J]. Food and Drug, 2006, 8(1): 57-59.
- [50] 邵虎. 桑葚奶茶加工工艺研究[J]. 农业科技与装备, 2010(9): 29-30, 33.
SHAO Hu. Research on the processing technique of mulberry milk tea[J]. Agricultural Science & Technology and Equipment, 2010(9): 29-30, 33.
- [51] 张荷兰, 陆鸿奎, 郭晓敏, 等. 桑椹保健食品的研究与分析[J]. 食品与发酵科技, 2018, 54(5): 125-128.
ZHANG Helan, LU Hongkui, GUO Xiamin, et al. Research and analysis of mulberry health food[J]. Food and Fermentation Sciences and Technology, 2018, 54(5): 125-128.
- [52] 汪晓琳. 双菌株混合发酵生产桑葚果醋工艺的研究[J]. 中国调味品, 2017, 42(7): 100-105.

- WANG Xiaolin. Research on technology of mulberry fruit vinegar fermented with double strains[J]. China Condiment, 2017, 42(7): 100-105.
- [53] 杜国军, 韩易, 刘晓兰. 桑葚、番茄、红枣复合果醋的工艺研究[J]. 中国调味品, 2017, 42(3): 69-71, 80.
- DU Guojun, HAN Yi, LIU Xiaolan. Study on processing technology of compound fruit vinegar of mulberry, tomato and jujube[J]. China Condiment, 2017, 42(3): 69-71, 80.
- [54] 耿敬章, 李敏, 杜小艳, 等. 香圆桑葚复合果酒发酵工艺研究[J]. 酿酒科技, 2019(3): 94-98.
- GENG Jingzhang, LI Min, DU Xiaoyan, et al. Fermentation process of Citrus wilsonii and fructus mori compound fruit wine[J]. Liquor-Making Science & Technology, 2019(3): 94-98.
- [55] 刘娜, 马荣山, 吴谦山. 芦荟桑葚果酒的研究与开发[J]. 食品工业, 2007, 28(5): 44-46.
- LIU Na, MA Rongshan, WU Qianshan. The research and development on *Aloe* mulberry fruit wine[J]. The Food Industry, 2007, 28(5): 44-46.
- [56] 王传荣. 桑葚保健鲜啤酒的开发与研究[J]. 中国酿造, 2008, 27(13): 88-90.
- WANG Chuanrong. Research and development of healthy draft mulberry beer[J]. China Brewing, 2008, 27(13): 88-90.
- [57] 韦玉芳, 丁陈娟, 陆维锐, 等. 桑椹鸡尾酒的研制及保健功能分析[J]. 中国酿造, 2009, (07): 181-183.
- WEI Yufang, DING Chenjuan, LU Weirui, et al. Development of mulberry cocktail and its healthcare function[J]. China Brewing, 2009(7): 181-183.
- [58] 傅世伟, 唐超群. 桑葚酸奶的生产工艺条件研究[J]. 当代畜牧, 2016, (15): 49-51.
- FU Shiwei, TANG Chaoqun. Study on the processing conditions of mulberry fruit yoghurt[J]. Contemporary Animal Husbandry, 2016, (15): 49-51.
- [59] 姜艳, 陈金明, 符小平, 等. 新型桑椹汁乳饮料的研制[J]. 现代食品科技, 2010, 26(6): 628-629, 655.
- JIANG Yan, CHEN Jinming, FU Xiaoping, et al. Preparation of a new mulberry juice-milk beverage[J]. Modern Food Science and Technology, 2010, 26(6): 628-629, 655.
- [60] 唐长波, 刘臣. 桑葚营养蛋糕的研制[J]. 食品科技, 2011, 36(3): 138-141, 145.
- TANG Changbo, LIU Chen. Processing of mulberry healthy cake[J]. Food Science and Technology, 2011, 36(3): 138-141, 145.
- [61] 刘军, 廖森泰, 邹宇晓, 等. 焙烤对桑叶和桑椹月饼品质性状及风味形成的影响[J]. 蚕业科学, 2014, 40(3): 559-564.
- LIU Jun, LIAO Sentai, ZOU Yuxiao, et al. Effects of baking on quality characters and flavor formation of mulberry leaf and mulberry fruit mooncake[J]. Science of Sericulture, 2014, 40(3): 559-564.
- [62] 林花, 黄晓梅, 刘彩珍. 桑葚果汁果冻的工艺研究[J]. 农业技术与装备, 2019(9): 63-65.
- LIN Hua, HUANG Xiaomei, LIU Caizhen. Study on the technology of mulberry juice jelly[J]. Agricultural Technology & Equipment, 2019(9): 63-65.
- [63] 袁亚明, 沈鑫, 周萌, 等. 花青素的提取技术及其在食品中的应用[J]. 现代食品, 2019(9): 55-56, 61.
- YUAN Yaming, SHEN Xin, ZHOU Meng, et al. Extraction technology of anthocyanin and its application in food[J]. Modern Food, 2019(9): 55-56, 61.

加工编辑:姚骏

收稿日期:2021-02-06