

紫薯色素提取工艺及其功能活性研究进展

Research progress on extraction technology and functional activity of purple sweet potato pigment

赵二劳 闫 唯 高子怡 皇甫阳鑫 赵三虎

ZHAO Er-lao YAN Wei GAO Zi-yi HUANG-FU Yang-xin ZHAO San-hu

(忻州师范学院化学系, 山西 忻州 034000)

(Department of Chemistry, Xinzhou Teachers University, Xinzhou, Shanxi 034000, China)

摘要:综述近年来中国紫薯色素提取工艺及其功能活性,展望该色素的研究方向及应用前景。

关键词:紫薯;色素;提取工艺;功能活性

Abstract: Based on the literature learning method and summarization, the domestic research progresses on the extraction technology and the functional activity of purple sweet potato pigment were reviewed. The application prospect of the purple sweet potato pigment had also been presented in this paper, which provided a reference for its further research and development.

Keywords: purple sweet potato; pigment; extraction technology; functional activity

紫薯为旋花科甘薯属一年生草本植物的块根,是甘薯中新型特有的品种^[1]。紫薯肉质紫红,外观诱人,具有营养、着色和保健多重作用,广受关注^[2-3]。科学研究^[4]表明,紫薯皮、紫薯肉都含有色素,花色苷类物质为其主要成分,具有较强的抗氧化、抗肿瘤、降血压、降血脂、保护肝脏、延缓人体衰老等诸多生理活性功能,2012年被中国卫生部批准为中国食品添加剂新品种^[5]。开发研究和食用天然色素已成为人们健康生活的基本需求。紫薯色素作为一种安全、无毒,兼具营养保健功能的天然色素,对其的开发研究顺应了这种需求。目前,有关紫薯色素的研究报道不少,但较为零散,不够系统,且多集中于提取与稳定性上,对其功能活性及作用机理的研究相对较少。基于此,本研究梳理综述近年来中国紫薯色素提取工艺及其功能活性研究进展,并展望其研究方向及应用前景,旨在为中国紫薯色素的研究和生产提供参考

依据。

1 紫薯色素的提取工艺

1.1 溶剂提取工艺

溶剂提取是一种传统而又基本的紫薯色素提取工艺,它是利用紫薯色素在溶剂中的溶解性将色素提取出来^[6]。杨阳等^[7]以柠檬酸溶液为提取剂,响应面法优化得到紫薯花色苷最佳提取工艺条件:柠檬酸质量分数3%、料液比1:40(g/mL)、提取温度63℃、提取时间2h,该条件下紫薯花色苷提取率为7.21 mg/g。石刚等^[8]确定的紫薯色素最佳提取工艺条件:0.75%柠檬酸水溶液、料液比1:25(g/mL)、提取温度50℃、提取时间30 min,此条件下紫薯色素提取率为2.99 mg/g。李小艳等^[9]研究了紫薯花色苷酸化乙醇提取,确定的最佳工艺条件:以pH为2的60%乙醇+盐酸溶液为提取剂、料液比1:40(g/mL)、提取温度74℃、提取时间84 min,此条件下花色苷得率419.529 mg/100 g。刘玮等^[10]研究了赖氨酸磷酸盐水溶液提取紫薯色素,优化得最佳工艺条件:赖氨酸磷酸盐水溶液浓度2.0%、料液比1:10(g/mL)、温度40℃、提取时间20 min,该条件下提取液色素的吸光度值为0.455,比相同条件下3%柠檬酸水溶液的提取效果更好(后者吸光度为0.423)。

综上,影响紫薯色素溶剂提取的因素主要有溶剂种类、溶剂pH、提取温度、提取时间以及料液比。不同研究者因设定的提取工艺参数不同,得到的最佳提取工艺也不尽相同,紫薯色素提取率也有较大差别。目前,中国有关紫薯色素的溶剂提取工艺研究较多,工作较为充分,取得不少成果。与其它提取工艺相比,溶剂提取工艺具有设备要求低,工艺简单易操作、成本低、产品无毒等优点,但也存在提取时间长,提取效率低,所提色素纯度差需进一步纯化等问题。单纯溶剂提取紫薯色素的工艺大有被淘汰的趋势。

1.2 微波辅助提取工艺

微波辅助提取是利用紫薯中物质吸收微波能的能力不

基金项目:山西省自然科学基金项目(编号:201601D102015);国家级大学生创新创业训练计划项目(编号:201610124001);山西省高等学校大学生创新创业训练计划项目(编号:2016381)

作者简介:赵二劳(1952—),男,忻州师范学院教授,本科。
E-mail:zel0350@sina.com

收稿日期:2017-12-12

同,使紫薯细胞被微波选择性加热,导致其结构发生变化或被破坏,从而提高紫薯色素类成分溶出的速度^[11-12]。余凡等^[13]以提取液在450 nm处的吸光度值为指标,采用正交试验的方法对紫薯色素微波辅助提取工艺进行了优化,确定的最佳提取工艺条件:以质量分数10%柠檬酸溶液为提取剂、微波功率75 W、微波温度30℃、料液比1:15(g/mL)、微波时间15 min,此条件下提取液吸光度值为0.462,远高于普通室温蒸馏水浸提24 h的(0.225)。陈小婕等^[14]研究了紫薯花色苷微波辅助提取,通过响应面法优化的最佳提取工艺条件:以质量浓度8.3 g/L柠檬酸为提取剂、微波功率732.6 W、微波时间85.3 s、料液比1:30.2(g/mL),此工艺条件下紫薯花色苷提取量为225.96 mg/100 g。蒋丽施等^[15]也研究了紫薯色素的微波辅助提取,确定的最佳提取工艺条件:柠檬酸浓度7%、料液比1:15(g/mL)、微波功率80 W、微波时间2 min,该工艺条件下紫薯色素得率为108.45 mg/100 g。

综上,微波功率显著影响紫薯色素的提取率,微波辅助提取紫薯色素较溶剂提取法能显著缩短提取时间,节能高效,其原因主要是微波能快速改变或破坏紫薯细胞,促进液固间色素的传质,利于色素的溶出,这种作用随体系中微波功率的增加而加强;但微波功率增加的同时会使体系温度增加,温度过高,又会使部分色素分解,导致色素提取率下降。微波时间也会明显影响体系温度。因此,恰当选取微波功率、微波时间是采用微波辅助提取紫薯色素必须解决的关键问题。此外,微波辅助提取还具有操作简便、加热均匀、污染少等优点,但由于适于工业生产的微波设备研发相对滞后,目前紫薯色素的微波辅助提取仅囿于实验室研究。

1.3 超声波辅助提取工艺

超声波辅助提取是利用超声波产生的空化、振荡等效应,破坏植物细胞壁,提高细胞膜及细胞壁的通透性,增加溶剂穿透力,从而提高物质中有效成分的提取^[16-17]。李明智等^[18]研究了紫薯中花色苷超声辅助提取,确定的最佳工艺条件:以0.1% HCl-64%乙醇溶液(30:70,体积比)为提取剂、超声功率270 W、料液比1:29(g/mL)、超声时间40 min,该条件下紫薯花色苷提取量为0.356 mg/g。姜文利等^[19]利用响应面优化超声辅助柠檬酸溶液提取紫薯中色素的工艺条件,得到的最佳提取工艺条件:以11.12%柠檬酸水溶液为提取剂、料液比1:15(g/mL)、超声温度67.60℃、超声时间21.06 min,此条件下紫薯花色苷得率为24.351 8 mg/g。楚素平等^[20]研究了超声辅助酸化乙醇提取紫薯色素工艺,并与加热提取法进行了比较。结果表明最佳工艺条件:盐酸乙醇比0.14:28.50(体积比)、料液比1:50(g/mL)、提取温度75℃、超声时间20 min、提取次数2次,此工艺条件下紫薯色素提取量可达356.314 mg/100 g,与加热浸提法相比,提取率提高了0.5倍,时间缩短了1/3。

综上,超声辅助提取紫薯色素工艺参数不同,色素提取率相差较大,这既与紫薯品种、产地和存放时间不同有关,也与紫薯原料的预处理方法有关,如文献^[19]在提取色素前,对紫薯原料进行了护色处理,色素提取率就高。与溶剂提取法相比,超声辅助提取法可明显缩短提取时间,但较微波辅

助法提取时间长,这与其作用机制有关。即超声波促使色素溶出的作用较溶剂快、比微波作用慢。超声功率、超声时间也与体系温度升高相关,因此,合理选择超声功率、超声时间是采用超声辅助提取紫薯色素必须考虑的关键问题。另外,超声辅助法还具有快速高效、成本低、污染小、可有效避免长时间高温对色素降解等优势,解决工业化超声设备研发及超声噪音对环境的污染问题后,该工艺适于紫薯色素工业化生产。

1.4 酶解工艺

酶解工艺是利用酶反应高度专业性的特点,水解或降解紫薯细胞壁及细胞间质中的纤维素等,从而减少细胞壁、细胞间质等对紫薯色素的传质阻力,提高提取率^[21-22]。郭城^[23]研究了纤维素酶法提取紫薯中花色苷,确定的最佳工艺条件:纤维素酶加入量0.9%、料液比1.3:10(g/mL)、提取温度48℃、提取时间70 min,该工艺条件下紫薯花色苷色素提取率为1.975 1 mg/g。赵晓丹等^[24]对纤维素酶和果胶酶辅助提取紫薯花色苷的工艺进行了比较研究。结果表明,纤维素酶法最佳工艺:温度30℃、料液比1:55(g/mL)、提取液pH 6.0、纤维素酶用量0.25 g/g、时间1.75 h,花色苷提取率24.8 mg/100 g。果胶酶法最佳工艺:温度40℃、料液比1:60(g/mL)、提取液pH 6.0、果胶酶用量0.5 g/g、时间2 h,花色苷提取率为28.3 mg/100 g。鲍诚等^[25]研究了 α -淀粉酶与果胶酶复合酶法提取紫薯中花色苷,优化得最佳提取工艺:温度50℃、料液比1:15(g/mL)、提取液pH 5.5、 α -淀粉酶用量0.25%、果胶酶用量0.10%、提取时间3 h,该工艺下紫薯花色苷得率2.49 mg/g。

综上,酶解提取紫薯色素较微波辅助法和超声辅助法提取时间长,这与酶解作用机制有关,因酶分解紫薯细胞壁、细胞间质组织等使色素溶出的过程较为温和、需要的时间较微波、超声波作用长。酶解提取紫薯色素所用酶主要是纤维素酶、 α -淀粉酶与果胶酶,这些酶都有适宜的pH和温度范围,再加紫薯色素在不同pH、温度下稳定性不同,因此,合理选取、确定提取剂pH、提取温度是采用酶解提取紫薯色素必须解决的关键问题。另外,酶解法操作简便,副反应少,能够在很大程度上保证紫薯色素的活性,但因成本较高,目前该法仅用于科学研究。

1.5 协同辅助提取工艺

几种方法协同辅助提取紫薯色素,可实现优势互补,提高色素的提取率^[26-27]。刘洁等^[28]研究了酶-微波辅助提取紫薯花青素,确定的最佳提取工艺条件:以0.3%盐酸-90%乙醇为溶剂(体积比1:1)、料液比1:10(g/mL),纤维素酶用量3 mg/g,40℃下,先酶解15 min,再于微波功率600 W(温度70℃)下提取7 min,此工艺条件下紫薯花青素提取率为2.758 mg/g,比单纯酶法提取率(0.86 mg/g)提高了2.21倍,比仅微波法提取率(1.875 mg/g)提高了0.47倍。徐颖等^[29]研究了超声波辅助纤维素酶法提取紫薯花青素,优化的提取工艺条件:以95%乙醇-0.1%盐酸(体积比4:6)为提取剂、料液比1:36(g/mL)、酶加入量2.50 mg/g·原料、温度60℃、超声时间35 min,该条件下紫薯花青素得率率达

2.003 mg/g。王宏兹等^[30]研究了超声-微波协同提取紫薯色素,确定的最佳提取条件:以 0.5% 盐酸-95% 乙醇为提取剂、超声功率 50 W、微波功率 135 W、微波时间 7.5 min、料液比 1:20 (g/mL)。

综上,协同提取工艺尽管操作较繁琐,却会明显提高紫薯色素提取率,缩短提取时间,究其原因与微波、超声波及酶解的作用机制相关,它们的协同作用更能有效破坏紫薯细胞壁、细胞间质组织,克服细胞壁及细胞间质的双重阻力,促使色素更快溶出,提高提取率。目前,中国这方面的研究不多,极有必要加大研究力度,创新紫薯色素提取工艺。

2 紫薯色素的功能活性

2.1 抗氧化性

体内过量自由基会导致机体细胞或组织氧化损伤甚至致癌,抗氧化剂可清除自由基有效保护机体免受损伤^[31]。余凡等^[13]研究了紫薯色素清除羟自由基能力,结果表明紫薯色素对羟自由基有明显的清除作用,随紫薯色素浓度的增加,对羟自由基清除率呈上升趋势,存在一定的量效关系。何传波等^[32]则以 V_C 为对照,从 DPPH 自由基、超氧阴离子自由基、羟自由基清除率及总抗氧化活性 4 个方面考察了紫薯花色苷的体外抗氧化能力,结果表明,紫薯花色苷对 DPPH 自由基、超氧阴离子自由基和羟自由基的清除能力均强于 V_C 。而紫薯花色苷总抗氧化能力为 101.38 U/mg,强于 V_C 的 62.20 U/mg,说明紫薯花色苷具有较强的抗氧化活性。薛红玮等^[33]比较了不同品种紫薯花色苷的抗氧化活性,结果表明,紫薯花色苷对 DPPH 自由基、ABTS 自由基的清除能力与 BHT 相近,强于葡萄皮和紫米花色苷的;对铁离子的还原能力强于 BHT,且远强于葡萄皮和紫米花色苷,同样表明紫薯花色苷具有较强的抗氧化活性。紫薯色素较强的抗氧化活性,主要源于其含有大量酚羟基官能团,这些官能团不仅可通过转移氢原子或单电子直接清除活性氧和自由基,也可抑制氧化酶的活性,增强超氧化物歧化酶(SOD),实现抗氧化。

2.2 抑菌和防腐作用

紫薯色素抑菌的研究目前仍以体外试验为主。李丹丹等^[34]研究了紫薯色素对大肠杆菌的抑制试验,结果表明紫薯色素对大肠杆菌具有明显的抑制作用,最小抑菌浓度(MIC)为 5.0 mg/mL。蒋丽施等^[35]研究了紫薯花色苷对多种细菌的抑制作用,发现紫薯花色苷对伤寒沙门氏菌和福氏志贺氏菌有明显的抑制作用。古荣鑫等^[36]采用涂布涂板法研究了紫薯花青素对大肠杆菌的抑菌活性,发现紫薯花青素对大肠杆菌的生长有明显的抑制作用,在紫薯花青素浓度为 5 mg/mL 时,对大肠杆菌生长的抑制率可达 100%。另外,韩永斌等^[37]的研究也证明紫薯花色苷对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌均有抑制作用。

紫薯色素抑菌能力也源于其含有大量酚羟基,抑菌机制一种可能是紫薯色素中酚羟基可整合与细菌细胞外膜稳定性相关的离子,破坏了细菌细胞膜完整性或改变了其细胞通透性,导致细胞内成分泄露,抑制了细菌细胞正常生长及代

谢繁殖。另一种可能是紫薯色素中酚羟基可抑制 DNA、RNA 以及蛋白质等大分子的合成,从而影响细菌细胞生长,抑制细菌增殖。

2.3 抗癌防癌

癌症是各种恶性肿瘤的统称,它的可怕性就在于恶性肿瘤细胞生长分裂速度快于正常细胞,它能够侵入到周围正常组织细胞中,大量增殖蔓延,对人体造成无法挽回的伤害。因此,抗癌防癌的重要手段就是抑制肿瘤细胞的增殖。王关林等^[38]的研究发现,紫薯花色苷能提高小鼠血清和皮肤中的谷胱甘肽过氧化物酶与超氧化歧化酶的活性,同时能抑制小鼠肉瘤 S_{180} 的生长,推断紫薯花色苷能通过提高小鼠体内抗氧化能力抑制肿瘤细胞的生长。鲍诚^[39]¹³指出,膳食紫薯花色苷,能明显抑制肿瘤细胞增殖活性,当花色苷浓度达到 200 μ g/mL 时,对肿瘤细胞增殖的抑制率可达 75.7%。陈文超等^[40]也指出,花青素能通过清除自由基、激活解毒酶活性、抑制肿瘤细胞增殖、诱导肿瘤细胞分化和凋亡等,从而抑制多种肿瘤细胞和组织的活性,起到防癌抗癌作用。

2.4 降血脂降血糖

高血脂、高血糖易引发一系列疾病,影响人体健康。因此降血脂、降血糖是保障人体健康的重要措施。杨咏等^[41]的研究表明,紫薯花青素能使小鼠血清总胆固醇、高密度脂蛋白和甘油三酯含量显著降低,血清低密度脂蛋白含量升高,即紫薯花青素能明显改善小鼠血液中脂类及各类脂蛋白含量。张慢等^[42]的研究也表明,紫薯花青素对大鼠体质量、肝脏指数和脾脏指数的增加有一定抑制作用,可提高心脏指数;能降低高血脂大鼠血清总胆固醇、低密度脂蛋白胆固醇、甘油三酯和载脂蛋白 B 水平;降低动脉粥样硬化指数和肝组织中 MDA 的含量。这些结果表明紫薯花青素具有降血脂作用。鲍诚^[39]⁵³⁻⁵⁸的研究表明,紫薯花色苷可通过抑制体内 α -糖苷酶的活性抑制其对糖的分解,进而有效控制正常小鼠餐后血糖的升高。而且这种抑制作用与紫薯花色苷呈量效关系。该研究通过对造模高血糖小鼠的试验发现,紫薯花色苷对高血糖小鼠有明显的降血糖作用。紫薯花色苷浓度升高,降血糖功效越明显。认为紫薯花色苷降血糖机理为抗氧化机理。

3 展望

目前中国对紫薯色素的提取研究还处于初级阶段,有关紫薯色素中特定成分花色苷或花青素提取研究相对较多,而有关紫薯色素总体提取研究相对较少;有关紫薯色素常规提取方法研究较多,而有关紫薯色素的一些现代提取技术研究尚未见报道;有关紫薯花色苷功能活性的研究相对较多,有关紫薯色素总体功能活性的研究相对较少。因此,以后的研究应从以下几方面进行:① 尝试融合多种现代提取分离技术联合用于紫薯色素的提取中,创新紫薯色素的提取工艺,由粗放型转为精细型,实现紫薯色素的高效提取纯化;② 应加大对紫薯色素功能活性及其作用机制的研究,从医学方面研究紫薯色素对人体的作用,一方面为人

们合理使用和膳食紫薯色素提供理论依据,一方面为将紫薯色素开发成功能化产品提供实践技术和理论依据;③ 研究院所、生产与使用企业应强强联合,加强紫薯色素产品的应用性研究,努力提高紫薯色素稳定性、水或油中的可溶性、使用的方便性和可靠性;④ 开展紫薯色素提取关键技术研究,推动紫薯色素功能性色素、食品添加剂以及化妆品配料等产品的产业化。有理由相信,不久的将来,紫薯色素的功能食品定会进入人们的日常生活,在促进人类健康中发挥其积极的作用。

参考文献

- [1] 吕昱,严敏.紫薯花色苷的生理功能及分离纯化研究进展[J].食品与机械,2013,29(4):250-253,257.
- [2] 刘阳,廖卢艳,傅亚平,等.变温压差膨化干燥法制备紫薯生全粉研究[J].食品与机械,2016,32(2):149-153,214.
- [3] 肖海峻,施鹏飞,杨新建,等.甘薯紫色素及提取技术研究进展[J].食品研究与开发,2014,35(19):137-140.
- [4] 闫征,李春阳,黄午阳.酶解对紫薯汁花色苷稳定性影响[J].中国调味品,2012,37(12):107-110.
- [5] 刘海英,邢子毅,王加华,等.不同有机酸体系中紫薯花色苷热降解稳定性研究[J].食品工业科技,2015,36(10):320-324,334.
- [6] 牛红军,杨官娥.枸杞色素提取工艺研究进展[J].中华中医药学刊,2016,34(10):2348-2351.
- [7] 杨阳,张鑫,吴祖芳,等.响应曲面法优化紫薯中花色苷类物质的提取及抗氧化活性研究[J].食品工业科技,2015,36(10):278-283.
- [8] 石刚,靳璇,周雪映,等.紫薯色素提取与纯化[J].食品科技,2015,40(12):214-217.
- [9] 李小艳,李高阳,任国谱.响应面联合因子设计优化提取紫薯花色苷[J].食品与机械,2015,31(3):194-197,201.
- [10] 刘玮,王华平,李霞,等.赖氨酸磷酸盐水溶液提取紫薯色素的研究[J].化学与生物工程,2015,32(12):42-46.
- [11] 刘翠,刘红芝,刘雨,等.花生红衣多酚的制备及其抗氧化活性研究进展[J].中国粮油学报,2015,30(8):136-142.
- [12] 李雨虹,董文宾,付瑜,等.药食两用植物多糖的研究进展[J].食品研究与开发,2016,37(9):219-221.
- [13] 余凡,杨恒拓,葛亚龙,等.紫薯色素的微波提取及其稳定性和抗氧化活性的研究[J].食品工业科技,2013,34(4):322-326.
- [14] 陈小婕,曾画艳,张晓娇,等.紫薯花色苷提取的响应曲面优化及抗氧化作用[J].食品科技,2013,38(9):179-184.
- [15] 蒋丽施,孟晓,陈艳,等.微波辅助提取紫甘薯色素的研究[J].食品与发酵科技,2015,51(2):52-55.
- [16] 孔祥佳,吴秋莹,谢勇,等.超声波协同酶解提取坛紫菜藻红蛋白工艺优化[J].食品与机械,2017,33(9):156-161,207.
- [17] 景永帅,吴兰芳,王乾,等.远志多糖提取工艺优化及其抗氧化活性研究[J].食品与机械,2016,32(5):152-156,193.
- [18] 李明智,谢雨婷,蒋海伟,等.响应面优化紫薯花色苷超声波辅助提取工艺及其稳定性研究[J].食品科技,2015,40(7):206-211.
- [19] 姜文利,方佩佩,张岩,等.紫甘薯的护色及其色素提取工艺优化[J].青岛农业大学学报:自然科学版,2015,32(3):180-188.
- [20] 楚素平,李晓月,张茂杰,等.超声波辅助提取紫薯色素的工艺条件优化研究[J].粮食加工,2013,38(4):38-40.
- [21] 陈萌,杨湄,刘昌盛,等.菜籽多酚的制备、检验及其在加工过程中的变化研究进展[J].中国粮油作物学报,2013,35(1):102-108.
- [22] 闫唯,刘钰华,李佳,等.西瓜中番茄红素提取技术研究进展[J].山东化工,2016,45(19):36-37.
- [23] 郭城.响应面法优化酶法提取紫甘薯花色苷色素工艺条件[J].食品工业,2014,35(7):98-102.
- [24] 赵晓丹,李嘉.纤维素酶及果胶酶法提取紫薯花色苷的工艺优化[J].食品科技,2015,40(4):277-281.
- [25] 鲍诚,李玲,汤海宾,等.紫甘薯花色苷酶法提取及纯化[J].食品科学,2012,33(16):59-62.
- [26] 王庆发,吴彤娇,梁铎,等.番茄红素提取纯化及稳定性改善技术的研究进展[J].食品工业科技,2017,38(21):307-313.
- [27] 袁茹楠,胡浩斌,韩舜禹,等.响应面法优化超声-微波提取甘草渣总黄酮工艺[J].中成药,2017,39(3):504-508.
- [28] 刘洁,叶婷婷.酶-微波辅助提取紫薯花青素的工艺研究[J].广州化工,2012,40(21):60-63.
- [29] 徐颖,樊凡,阴鹏涛,等.紫薯花青素超声波辅助酶法提取工艺优化及其抗氧化性研究[J].食品与机械,2017,33(3):150-154.
- [30] 王宏兹,李进伟,范柳萍.超声-微波协同萃取法提取紫薯色素[J].安徽农业科学,2010,38(33):18664-18666.
- [31] 黎望,孙培冬,季晓彤,等.黄蜀葵花黄酮抗氧化性及对DNA氧化损伤的保护作用[J].食品与机械,2017,33(2):135-139.
- [32] 何传波,米聪,魏好程,等.紫薯花色苷的提取及抗氧化活性研究[J].热带作物学报,2016,37(5):990-997.
- [33] 薛红玮,牟德华.不同品种紫甘薯花色苷体外抗氧化活性的比较[J].食品与机械,2011,27(1):36-39.
- [34] 李丹丹,王涛涛,彭业芳,等.紫薯色素与防腐剂复配抑菌作用研究[J].中国食品添加剂,2012(6):174-179.
- [35] 蒋丽施,孟晓,杨凡.紫薯花色苷色素抑菌作用的探究[J].中国食品添加剂,2017(10):106-110.
- [36] 古荣鑫,胡花丽,刘雨辰,等.紫甘薯花青素提取工艺及抑菌活性的研究[J].山东农业科学,2012,44(4):107-113.
- [37] 韩永斌,朱洪梅,顾振新,等.紫甘薯花色苷色素的抑菌作用研究[J].微生物学通报,2008,35(6):913-917.
- [38] 王关林,岳静,苏冬霞,等.甘薯花色苷的抗氧化活性及抑肿瘤作用研究[J].营养学报,2006,28(1):71-74.
- [39] 鲍诚.紫甘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.
- [40] 陈文超,刘回民,刘景圣.花青素抗肿瘤活性的研究进展[J].食品研究与开发,2016,37(1):211-214.
- [41] 杨旸,何沙沙,王子久,等.紫薯花青素对小鼠血脂的影响[C]//中国畜牧兽医学会家畜内科学分会第七届代表大会暨学术研讨会论文集(下册).北京:中国畜牧兽医学会,2011:937-943.
- [42] 张慢,潘丽军,姜绍通,等.紫薯花青素降血脂及抗氧化效果[J].食品科学,2014,35(19):246-250.