

食品中花青素在热加工中的降解及其机制研究

彭 斌, 李红艳, 邓泽元*

(南昌大学食品科学与技术国家重点实验室, 南昌 330047)

摘 要: 花青素是广泛存在于植物性食物中的水溶性天然色素, 主要以 2-苯基苯并呋喃阳离子为基础形成的多羟基或多甲氧基衍生物, 属类黄酮化合物。现已知的植物花青素种类主要有 6 种, 天竺葵色素、矢车菊色素、飞燕草色素、芍药色素、牵牛花色素和锦葵色素。目前报道的花青素降解机制多为标准物质的热降解过程, 可能为两种途径, 本文综述了花青素标准物质这两种降解途径的过程。花青素很不稳定性, 易受温度、pH 值、氧气和金属离子影响, 特别是热加工最易引起降解褪色。常见的食品热加工包括蒸、煮、炸和微波等, 这些热加工方式都伴随着不同程度花青素的降解。食品热加工过程中花青素的大量丧失与其降解反应密切相关, 而花青素的降解过程又与不同的热加工方式密切相关。

关键词: 花青素; 黄酮化合物; 降解机制; 热加工

Degradation of anthocyanins in foods during heating process and its mechanism

PENG Bin, LI Hong-Yan, DENG Ze-Yuan*

(State Key Laboratory of Food Science and Technology, Nanchang University, Nanchang 330047, China)

ABSTRACT: Anthocyanins, a type of water-soluble natural pigment from plant foods, are multi-hydroxyl or multimethoxyl flavonoids compounds mainly formed on the basis of 2-phenylbenzofuran cationic. There are 6 species of plant anthocyanins being known, including pelargonidin, cyanidin, delphinidin, peonidin, petunidin, and malvidin. Previous studies about the degradation mechanism of anthocyanins are based on the thermal degradation process of the standard samples. In the present paper, the differences between the 2 kinds of degradation pathways of pure anthocyanins were summarized. Anthocyanins are chemically instable and highly susceptible to temperature, pH value, oxygen, and metal ions, especially heating process, which may lead to loss of color. Common methods in food heating process include steaming, boiling, frying and microwave, etc, and all these heating process are accompanied by different levels of anthocyanin degradation. The great loss of anthocyanins is correlated with the degradation reaction during the food heating process, while the degradation process of anthocyanins is correlated with the heating process methods.

KEY WORDS: anthocyanin; flavonoid compounds; degradation mechanism; heating process

基金项目: 国家自然科学基金项目(31671853)

Fund: Supported by the National Natural Science Foundation of China (31671853)

*通讯作者: 邓泽元, 教授, 主要研究方向为食品营养与安全、功能食品。E-mail: dengzy@ncu.edu.cn

*Corresponding author: DENG Ze-Yuan, Professor, State Key Laboratory of Food Science and Technology, Nanchang University, No.235, Nanjing East Road, Qingshan Lake District, Nanchang 330047, China. E-mail: dengzy@ncu.edu.cn

1 引言

花青素是一种强有力的抗氧化剂，能够保护人体免受自由基等有害物质的损伤。研究表明，膳食中添加一定量的花青素，能有效改善循环系统和增进皮肤的光滑度，增强血管弹性和关节柔韧性，抑制过敏和机体炎症^[1, 2]。近年来，花青素的有益生理功能越来越受到普遍关注，居民在选择膳食时喜欢富含花青素的食物。中国营养学会公布的花青素推荐摄入量为每天 100 mg^[3]。

然而，食品中的花青素对加工条件(温度、pH 值、金属离子等)十分敏感，特别在高温条件下，稳定性差，易降解^[4]。食品热加工过程中花青素的降解过程很难监测，降解产物存在种类多、分离鉴定困难等问题^[5]。花青素降解的产物可能含有带苯环的醛类等物质，而这些化合物对人体健康可能存在危害。了解花青素在热加工中的降解规律，帮助认识食物中黄酮类化合物的变化规律，对指导选择合适的热加工方式，开发花青素稳定技术，保持花青素色泽和功能，增进人体健康具有非常重要的科学价值。

2 花青素的分类及结构

花青素是广泛存在于植物性食物中的水溶性天然色素，主要以 2-苯基苯并咪唑阳离子为基础形成的多羟基或多甲氧基衍生物，属类黄酮化合物^[6]。

花青素又称为花色素、花色苷，在蓝莓、葡萄皮、紫薯、茄子皮和越橘等中均存在^[7, 8]。花青素作为一类天然的食用色素，安全无毒，具有抗氧化、抗突变、保护肝脏、预防心血管疾病等功效^[9-13]。现已知的植物花青素苷元主要有天竺葵色素(pelargonidin)、矢车菊色素(cyanidin)、飞燕草色素(delphinidin)、芍药色素(peonidin)、牵牛花色素(petunidin)及锦葵色素(malvidin)^[14]。花色苷的化学结构如图 1 所示。

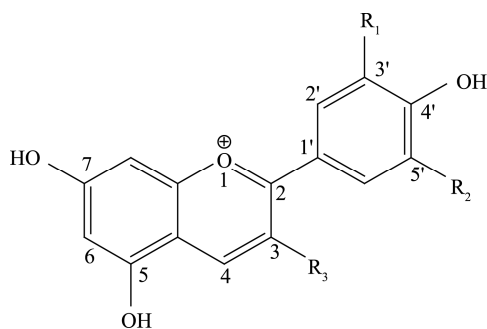


图 1 花色苷的化学结构

Fig.1 The chemical structure of anthocyanins

花青素中的酚羟基基团，既是羟基供体，也是一种自

由基清除剂^[15]。它能和蛋白质结合防止过氧化；也能和金属离子螯合，淬灭单线态氧；还能提供质子，有效清除脂类自由基，切断脂类氧化的链式反应，防止 DNA 受氧化而损害^[16]。

国内常见的富含花青素类的食物有紫甘薯、葡萄、紫甘蓝、蓝莓、茄子皮、樱桃、草莓、桑葚、黑米等深色食品^[17, 18]。紫薯和茄子作为副食、蔬菜的代表，其花青素结构各有特点，可作为天然食品主要的花青素结构的代表。紫薯和茄子中，花青素苷元类型不同(表 1)^[19]，其中紫薯以芍药色素和矢车菊色素为主，含量分别占 60%和 30%左右^[20]。茄子以飞燕草色素和牵牛花色素为主，含量分别占 90%和 5%左右^[21]。此外，茄子中主要的花青素结构比较简单，花青素苷元与糖基直接连接，而紫薯中的花青素主要是花青素苷元同时结合不同的糖基和酚类化合物组成。

表 1 紫薯和茄子主要花青素组成

Table 1 The major anthocyanins of purple potato and eggplant

主要花青素组成	
紫薯	芍药素-3-(6"-咖啡酰-6"-阿魏酰槐糖苷)-5-葡萄糖苷；
	矢车菊素-3-(6"-咖啡酰-6"-阿魏酰槐糖苷)-5-葡萄糖苷；
	芍药素-3-(6"-阿魏酰槐糖苷)-5-葡萄糖苷；
	矢车菊素-3-(6"-阿魏酰槐糖苷)-5-葡萄糖苷
茄子	飞燕草色素-3-葡萄糖苷；
	飞燕草色素-3-芸香糖苷；
	牵牛花色素-3-半乳糖苷

3 花青素的降解途径

对花青素的降解机制研究，现局限在花青素纯物质的研究上，而实际食物中花青素降解所处环境为混合物等复杂体系，食品热加工过程中花青素的降解过程很难监测，降解产物存在种类较多、分离鉴定困难等问题。目前报道花青素标准品的一种热降解过程可能是花青素的 C₃ 糖苷首先水解，然后花青素苷元发生水合反应生成花青素的假碱形式，再异构化生成查耳酮及其同分异构体 α-二酮，但是产物中还存在查耳酮糖^[22]。另一种降解机制是花青素首先生成假碱葡萄糖苷，接着开环生成查耳酮糖苷，查耳酮糖苷继续脱去糖苷成为查耳酮及其同分异构体 α-二酮，最后彻底降解生成酚酸和醛类^[23]，矢车菊色素-3-葡萄糖苷和天竺葵色素-3-葡萄糖苷的降解过程如图 2 所示^[24]。

Furtado 等^[25]研究对矢车菊色素、天竺葵色素、锦葵色素和飞燕草色素在酸性溶液中的热降解，花色苷热降解的终产物为苯甲酸类和 2,4,6-三羟基苯甲醛，4 种花青素的降解终产物不同(表 2)。

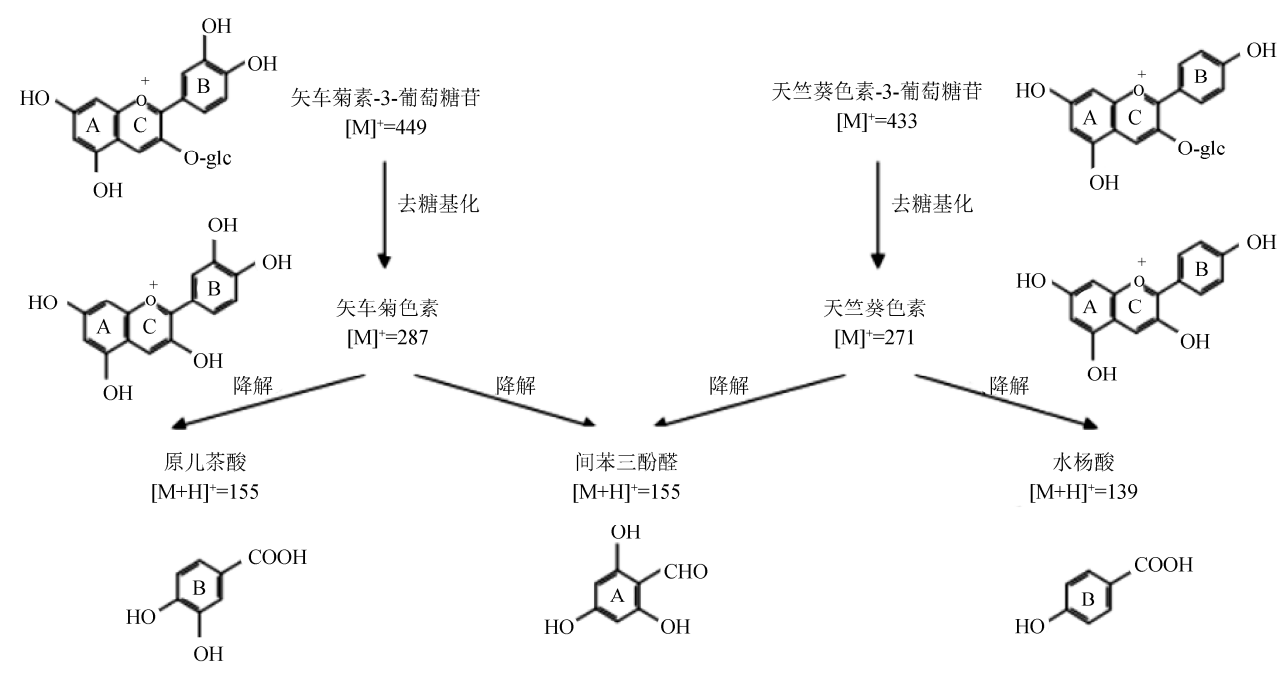


图 2 矢车菊素-3-葡萄糖苷和天竺葵色素-3-葡萄糖苷标准品可能的热降解途径

Fig. 2 The possible thermal degradation pathway of cornflower pigment-3-glucoside and geranium pigment-3-glucoside standard samples

表 2 4 种花色素的降解产物

Table 2 Degradation products of 4 kinds of anthocyanins

花色素	降解终产物
矢车菊素	A 环形成 2,4,6-三羟基苯甲醛; B 环形成 3,4-二羟基苯甲酸
飞燕草色素	A 环形成 2,4,6-三羟基苯甲醛; B 环形成 3,4,5-三羟基苯甲酸
天竺葵色素	A 环形成 2,4,6-三羟基苯甲醛; B 环形成 4-羟基苯甲酸
锦葵色素	A 环形成三羟基苯甲醛; B 环形成二甲氧基苯甲酸

Deng 等研究飞燕草素和牵牛花素标准品降解途径(论文待发表), 标品经过 100 ℃水浴加热处理后, 两种花青素均发生了裂解反应, 产生了新的物质, 且两种花青素发生裂解的途径相似, 飞燕草素和牵牛花色素可能降解途径如图 3 和图 4 所示。

食品中的花青素热降解过程中易受环境 pH 值的影响, 一般而言, pH 值较小时会对花色苷的热降解机制产生影响, 而弱酸性的条件更适合花青素稳定性的保持^[26-31]。Furtado 等^[25]研究矢车菊素、天竺葵色素、锦葵色素和飞燕草色素在酸性溶液中的热降解时发现, 在极酸条件(pH<4)下, 花青素的热降解反应过程可能是: 首先在 C₄ 位上发生水解, 继续降解得到苯甲酸和 α-羟苯乙酮, α-羟苯乙酮继续水解生成苯甲酸^[31,32]。天竺葵素-3-葡萄糖苷在温度 95 ℃、pH 值分别为 1 和 3.5 时, 可能的热降解途径见图 5, A 环形成 2,4,6-三羟基苯甲醛, B 环形成 4-羟基苯甲酸。

热加工过程中, 金属离子也能影响花青素的稳定性进而影响其降解机制, 金属离子如 Al³⁺、Zn²⁺、Cu²⁺、Fe³⁺

等对花青素具有破坏作用, 影响色素的稳定性。其中 Fe³⁺可引起花青素溶液变黑, Fe³⁺、Pb²⁺、Sn⁴⁺、Bi³⁺可引起花青素溶液生成沉淀^[33]。

4 热加工对食物中花青素降解机制的影响

食物中花青素很不稳定性, 易受温度、光、pH 值、氧气和金属离子影响, 特别是热加工最易引起降解褪色^[34]。常见的食品热加工包括蒸、煮、炸和微波等, 这些热加工方式都伴随着不同程度花青素的损失^[35,36]。

Mahsa 等^[37]在研究加热对黑加仑中花青素吸光度的影响时发现, 85 ℃条件下加热 150 min, 吸光度降低了 20%, 95 ℃加热 150 min 则降低了 53%。

周宝利等^[38]研究茄子中花青素的热稳定性时发现, 当水浴温度小于 60 ℃时, 花青素较稳定, 当水浴温度大于 80 ℃时, 花青素的最大吸收值开始明显下降, 茄子中花青素开始发生降解; 而在室温下当 pH 值小于 4 或大于 11 时, 茄子皮中花青素的含量明显下降。

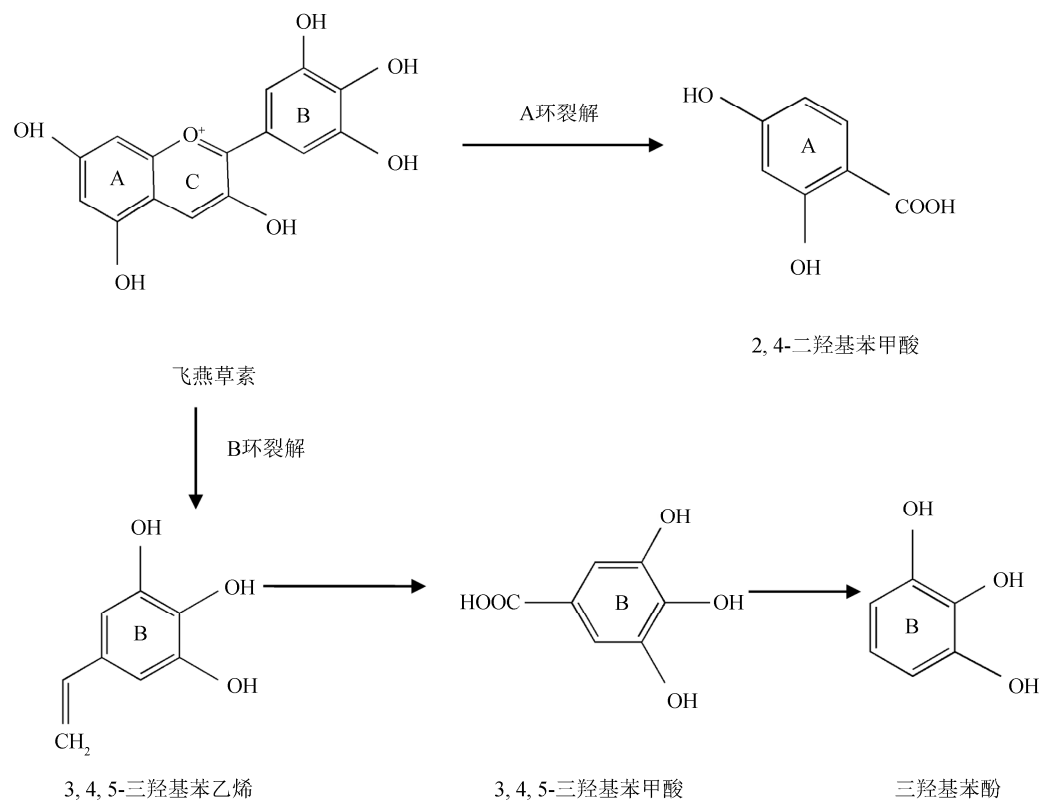


图 3 飞燕草素可能的裂解途径
Fig. 3 The possible degradation pathway of delphinidin

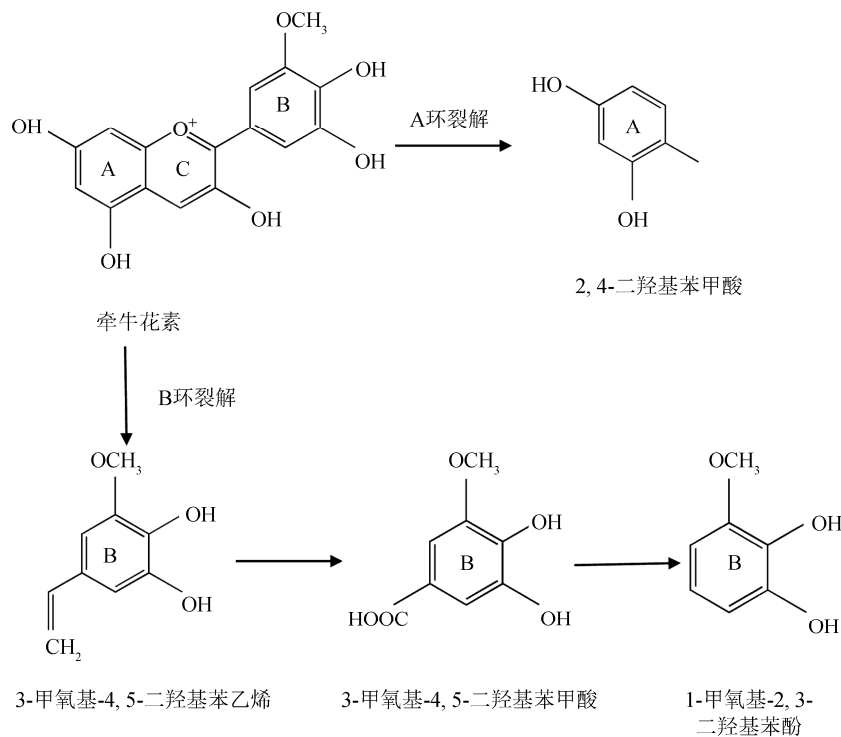


图 4 牵牛花素可能的裂解途径
Fig. 4 The possible degradation pathway of petunidin

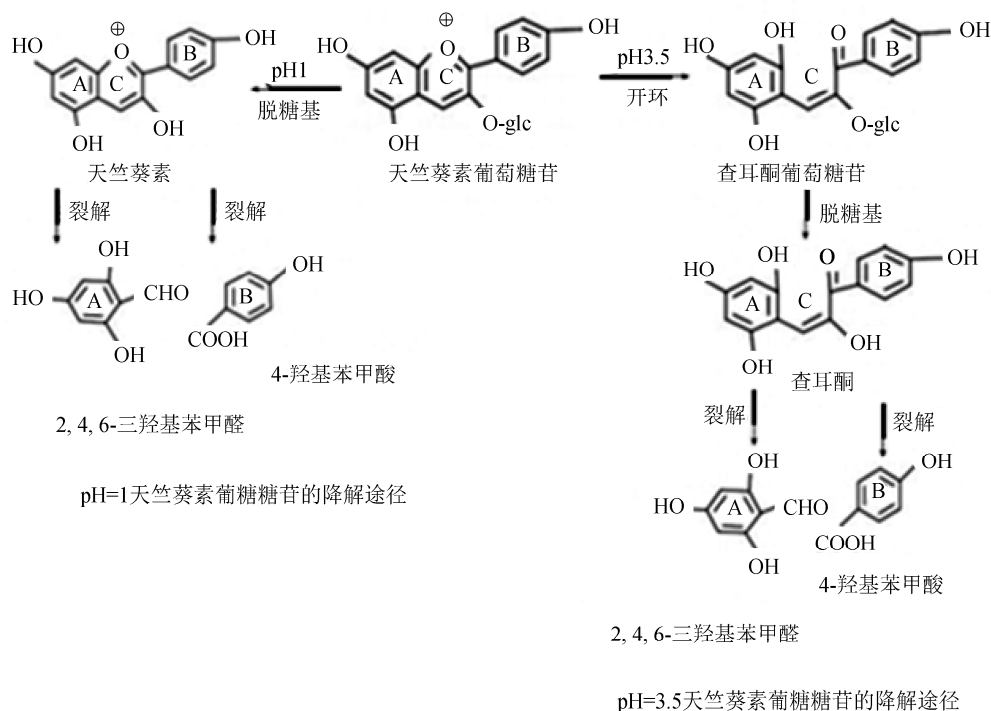


图 5 pH 1 和 pH 3.5 条件下天竺葵素-3-葡萄糖苷标准品的热降解途径

Fig. 5 The thermal degradation pathways of geranium element-3-glucoside standard samples under the condition of pH 1 and pH 3.5

杜连启等^[39]对紫甘薯色素的研究结果则表明, Fe^{3+} 、 Zn^{2+} 、 Cu^{2+} 3 种离子对色素稳定性有一定影响, 随放置时间的延长, 影响越大, 金属离子加速了食物中花青素的降解或作用于花青素。同样, 在复杂的食品热加工过程中, 食品中花青素的含量也有不同程度的降解。Burgos 等^[40]在研究水煮对红薯中花青素的影响时, 发现水煮 20~25 min 后, 总花青素含量下降了 23%。在 121 °C 下热烫 10 min 后, 紫薯中花青素的含量降为原来的一半^[41]。

Wojdyło 等^[42]报导草莓在微波(240、360 和 480 W)加工后, 花青素含量也有显著下降。Alex Martynenko 等^[43]采用水热动力加热 (hydrothermodynamic) 蓝莓, 80 °C 以上, 花青素显著降解, 而花青素的减少及其降解产物的增加会进一步影响食品的抗氧化活性。在 70 °C 条件下分别加热草莓和黑莓 2 min, 总花青素的含量分别降低了 28.2% 和 3%, 自由基清除率分别降低了 25.2% 和 2.8%^[44]。将紫薯分别置于沸水加热 1 h、微波 20 min 和 204 °C 焙烤 1 h 后, DPPH 抗氧化能力分别降低了 42.2%、50.5% 和 63.7%^[45,46]。

任虹等^[47]研究了蒸汽加热和微波加热处理对紫甘蓝花色苷及其清除自由基活性的影响, 发现蒸汽加热和微波加热对紫甘蓝花色苷组分种类均无明显影响, 而对其相对含量有所影响。微波加热较蒸汽加热对两种花色苷组分芥子酰矢车菊素-3-槐糖苷和二芥子酰矢车菊素-3-槐糖苷-5-

葡萄糖苷影响显著, 而对花色苷组分矢车菊素-3-槐糖苷和芥子酰矢车菊素-3-槐糖苷相对含量无明显影响。微波加热和蒸汽加热对花色苷清除自由基活性有一定的影响, 且蒸汽加热较微波加热对花色苷清除自由基效果明显。不同的加热方式对紫甘薯中花色苷种类无影响而对其花色苷组分相对含量有所影响, 热加工方法增加了芥子酰矢车菊素-3-槐糖苷和二芥子酰矢车菊素-3-槐糖苷-5-葡萄糖苷, 降低了芥子酰矢车菊素-3-槐糖苷-5-葡萄糖苷和芥子酰矢车菊素-3-槐糖苷-5-葡萄糖苷相对含量, 这可能在热加工过程中, 花色苷发生了相互转化, 花色苷组分增加与减少的差值, 可能是花色苷部分降解, 食物中花青素的降解也可能与花色苷的相互转化降解和清除自由基活性变化能力有关。

由此可见, 热加工方式的不同, 食物主要表现在受热的温度和时间不同, 还有所处压力、pH 等环境的不同。不同热加工方式如蒸汽、微波、油炸和熬煮等对食品中花青素的含量和活性影响较大^[48-50], 然而目前对不同热加工方式下, 食品中花青素的降解产物及其降解机制研究甚少。根据国内外研究报道, 食品中花青素降解产物可能是一些含苯环的醛类衍生物, 可能是单羟基苯甲醛、对羟基苯甲醛或三羟基苯甲醛等, 这些产物对细胞有刺激作用, 可能引起肝脏损伤^[21]。

5 展 望

食品热加工过程中花青素的大量丧失与其降解反应密切相关,而花青素的降解过程又与不同的热加工方式密切相关。现已知的花青素降解过程大都在相对简单条件下如纯化合物在单一条件下获得的,但食品热加工是在复杂体系下、即使一种食品(复杂体系)也是在不同加工条件(介质、热、酸和金属离子等)下完成的,其降解产物和降解机制有较大的差别,复杂食品体系中纤维素、淀粉、植物油、蛋白质和蔗糖等主要食品成分对花青素的降解又存在怎样的影响,研究尚未可知。目前有限的研究主要集中于花青素标准品的降解过程,那么,如何综合理解不同条件下热加工过程食品体系中花青素的降解过程,进而明确其降解机制,是一直以来没有解决的问题。在食品热加工如蒸煮、微波、油炸和熬煮等复杂体系下,花青素的降解存在什么规律,这些降解产物对机体影响如何,目前没有明确结果,需要进一步采用更科学的研究方法探索研究。

参考文献

- [1] Fernandes I, Faria A, Calhau C, *et al.* Bioavailability of anthocyanins and derivatives [J]. *J Funct Foods*, 2013, 7: 54–66.
- [2] Zhang H, Liu RH, Tao R. Anthocyanin-rich phenolic extracts of purple root vegetables inhibit pro-inflammatory cytokines induced by H_2O_2 and enhance antioxidant enzyme activities in Caco-2 cells [J]. *J Funct Foods*, 2016, 22: 363–375.
- [3] 程义勇. 中国居民膳食营养素参考摄入量[J]. *营养学报*, 2014, 4: 313–317.
Cheng YY. Reference intake of nutrients in dietary for Chinese people [J]. *J Nutr*, 2014, 4: 313–317.
- [4] 王伟, 马雨婷, 张婷. 新疆木纳格葡萄皮中花青素微波提取工艺及其稳定性研究[J]. *中国调味品*, 2011, 11: 92–97.
Wang W, Ma YT, Zhang T. Study on microwave extraction technology and stability of pigment from Xinjiang munage grape skin [J]. *J Chin Seas*, 2011, 11: 92–97.
- [5] 张懋, 廖红梅. 果蔬食品加工贮藏过程中易变色素的降解及调控机理研究与展望[J]. *中国食品学报*, 2011, 9: 258–267.
Zhang M, Miu HM. The degradation of processing and storage of fruit and vegetable food processing variable pigment and regulation mechanism research and prospect [J]. *J Inst Food Sci Technol*, 2011, 9: 258–267.
- [6] 贾赵东, 马佩勇, 边小峰, 等. 植物花青素合成代谢途径及其分子调控[J]. *西北植物学报*, 2014, 7: 1496–1506.
Jia ZD, Ma PY, Bian XF, *et al.* Biosynthesis Metabolic pathway and molecular regulation of plants anthocyanin [J]. *J Northwest Plants*, 2014, 7: 1496–1506.
- [7] Agnieszka K, Anna Bąkowska-B, Karel H, *et al.* The effect of frying on anthocyanin stability and antioxidant activity of crisps from red- and purple-fleshed potatoes (*Solanum tuberosum* L.) [J]. *J Food Comp Anal*, 2013, 32(2): 169–175.
- [8] Chen J, Zhao Y, Tao XY, *et al.* Protective effect of blueberry anthocyanins in a CCL4-induced liver cell model [J]. *LWT - Food Sci Technol*, 2015, 60(2): 1105–1112.
- [9] Carina A M, Veridiana VR, Débora E, *et al.* Anthocyanins as inflammatory modulators and the role of the gut microbiota [J]. *J Nutr Biochem*, 2016, 33: 1–7.
- [10] Ma T, Hu N, Ding CX, Zhang QL, *et al.* *In vitro* and *in vivo* biological activities of anthocyanins from *Nitraria tangutorun* Bobr. fruits [J]. *J Food Chem*, 2016, 194: 296–303.
- [11] Judit R. Homoki, Andrea N, *et al.* Anthocyanin composition, antioxidant efficiency, and α -amylase inhibitor activity of different Hungarian sour cherry varieties (*Prunus cerasus* L.) [J]. *J Food Chem*, 2016, 194: 222–229.
- [12] Li HY, Deng ZY, Zhu HH, *et al.* Highly pigmented vegetables: Anthocyanin compositions and their role in antioxidant activities [J]. *J Food Res Int*, 2012, 46: 250–259.
- [13] Li HY, Deng ZY, Wu T, *et al.* Microwave-assisted extraction of phenolics with maximal antioxidant activities in tomatoes [J]. *J Food Chem*, 2012, 130: 928–936.
- [14] 高燕会, 黄春红, 朱玉球, 等. 植物花青素苷生物合成及调控的研究进展[J]. *中国生物工程杂志*, 2012, 8: 94–99.
Gao JH, Huang CH, Zhu YQ, *et al.* The research progress of plant cyanin biosynthesis and regulation [J]. *J Chin Biotechnol*, 2012, 8: 94–99.
- [15] 吴莉. 花青素类化合物抗氧化活性的密度泛函理论研究[D]. 新乡: 河南师范大学, 2015.
Wu L. Density functional theory calculations on the antionxidant activity of anthocyanins [D]. Xinxiang: Henan Normal University, 2015.
- [16] Júlia RS, Débora PJ, Isabel C, *et al.* Effects of ohmic and conventional heating on anthocyanin degradation during the processing of blueberry pulp [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2013, 51(1): 79–85.
- [17] 楚俊. 七类食物有助防辐射[J]. *健康向导*, 2011, 5: 50.
Chu J. Seven kind of food prevented radiation [J]. *Health Guide*, 2011, 5: 50.
- [18] 严毅梅. 有益健康的花青素[J]. *健康博览*, 2013, 4: 54.
Yan YM. The health benefits of anthocyanins [J]. *Health Expo*, 2013, 4: 54.
- [19] 蒋海伟. 深色农产品抗氧化协同作用的研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2015.
Jiang HW. Research of synergistic antioxidant among highly pigmented agricultural products [D]. Nanchang: Nanchang University, 2015.
- [20] 孙文娟. 紫薯花色苷的提取、脱味、稳定性及其结构初步鉴定[D]. 无锡: 江南大学, 2015.
Sun WJ. Extraction, deodorization, stability and initial structure identification of anthocyanins from purple sweet Potato [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2015.
- [21] Li HY, Deng ZY, Zhu HH, *et al.* Highly pigmented vegetables: Anthocyanin compositions and their role in antioxidant activities [J]. *J Food Res Int*, 2012, 46: 250–259.
- [22] Cavalcanti RN, Santos DT, Meireles MAA. Non-thermal stabilization mechanisms of anthocyanins in model and food systems-An overview [J]. *J Food Res Int*, 2011, 44(2): 499–509.
- [23] Adams JB. Thermal degradation of anthocyanins with particular reference to the 3-glycosides of cyanidin. I. in acidified aqueous solution at 100 °C [J]. *J Sci Food Agric*, 1973, 24(7): 747–762.
- [24] Sadilova E, Stintzing FC, Carle R. Thermal degradation of acylated and nonacylated anthocyanins [J]. *J Food Sci*, 2006, 71(8): 504–512.
- [25] Furtado P, Figueiredo P, Nevus HCD. Photochemical and thermal

- degradation of anthocyanidins [J]. J Photochem Photobiol A: Chem, 1993, 75(2): 113–118.
- [26] Li HY, Deng ZY, Liu RH, *et al.* Characterization of phytochemicals and antioxidant activities of a purple tomato (*Solanum lycopersicum* L.) [J]. J Agric Food Chem, 2011, 59: 11803–11811.
- [27] 汪志慧, 孙智达, 谢笔钧. 莲房原花青素的稳定性及热降解动力学研究[J]. 食品科学, 2011, 7: 77–82.
- Wang ZH, Sun ZD, Xie BJ. Stability and thermal degradation kinetics of procyanidins from lotus seed pods [J]. Food Sci, 2011, 7: 77–82.
- [28] 林文超, 王德森, 刘维信. 不同环境条件对紫色大白菜花青素稳定性的影响[J]. 山东农业科学, 2012, 1: 51–53.
- Lin WC, Wang DS, Liu WX. Effects of different environment condition on stability of anthocyanin in purple Chinese cabbage [J]. J Shandong Agric Sci, 2012, 01: 51–53.
- [29] 崔同, 李喜悦, 王荣芳, 等. 山楂原花青素的热降解动力学及稳定性研究[J]. 食品科技, 2015, 8: 278–282.
- Cui T, Li XY, Wang RF, *et al.* Hawthorn procyanidins thermal degradation dynamics and stability study [J]. J Food Sci Technol, 2015, 8: 278–282.
- [30] 潘月. 温度和 pH 值对蓝莓果提取物组分稳定性的影响[D]. 北京: 北京林业大学, 2015.
- Pan Y. Temperature and pH value influence on the component stability of blueberry fruit extraction [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2015.
- [31] 许相雯. 微波辅助萃取蓝莓中花青素及纯化的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2012.
- Xu XW. Studies on constitutes of blueberry anthocyanidin by microwave-assisted extraction and purification [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2012.
- [32] 宋会歌, 刘美艳, 董楠, 等. 食品中花色苷降解机制研究进展[J]. 食品科学, 2011, 13(32), 355–359.
- Song HG, Liu MY, Dong N, *et al.* Research progress on degradation mechanism of anthocyanins in foods [J]. Food Sci, 2011, 13(32), 355–359.
- [33] Lachman J, Hamouz K, Musilová J, *et al.* Effect of peeling and three cooking methods on the content of selected phytochemicals in potato tubers with various colour of flesh [J]. J Food Chem, 2013, 138: 1189–1197.
- [34] Xu J, Fan XR, Ning YW, *et al.* Effect of spring dextrin on retrogradation of wheat and corn starch gels [J]. J Food Hyd, 2013, 33: 361–367.
- [35] 齐敏玉, 郭莹, 李书艺, 等. 不同中式烹饪热加工方式对鲜食及加工紫薯花色苷含量影响分析[J]. 中国食物与营养, 2015, 05: 28–31.
- Qi MY, Guo Y, Li SY, *et al.* Different mode of Chinese cooking hot working on the table and processing purple potato anthocyanins content in impact analysis [J]. J Chin Food Nutr, 2015, 05: 28–31.
- [36] 齐敏玉. 鲜食/加工紫薯品质分析及花色苷加工稳定性研究[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2015.
- Qi MY. Characteristics and anthocyanins process stability of purple sweet potatoes used for fresh cooking or manufacturing [D]. Wuhan: Wuhan Light Industry University, 2015.
- [37] Mahsa ZD, Russly AR, Chin PT, *et al.* Effect of blanching on enzyme activity, color changes, anthocyanin stability and extractability of mangosteen pericarp: A kinetic study [J]. J Food Eng, 2016, 178: 12–19.
- [38] 周宝利, 张琦, 叶雪凌, 等. 不同品种茄子果皮花青素含量及其稳定性[J]. 食品科学, 2011, 32(1), 99–103.
- Zhou BL, Zhang Q, Ye XL, *et al.* Different cultivars of eggplants: A comparative study of anthocyanidin content and stability in fruit skin [J]. Food Sci, 2011, 32(1): 99–103.
- [39] 杜连启, 李润丰, 程浩, 等. 紫甘薯色素的提取工艺及其稳定性研究[J]. 中国调味品, 2006, 6, 46–50.
- Du LQ, Li RF, Cheng H, *et al.* Study on the extraction technology and stability of purple sweet potato pigment [J]. J Chin Seas, 2006, 6: 46–50.
- [40] Burgos G, Amoros W, Muñoz L, *et al.* Total phenolic, total anthocyanin and phenolic acid concentrations and antioxidant activity of purple-fleshed potatoes as affected by boiling [J]. J Food Comp Anal, 2013, 30: 6–12.
- [41] Heon WK, Jung B Kim, Soo Muk Cho, *et al.* Anthocyanin changes in the Korean purple-fleshed sweet potato, Shinzami, as affected by steaming and baking [J]. J Food Chem, 2012, 130: 966–972.
- [42] Wojdyło A, Figiel A, Oszmia J. Effect of drying methods with the application of vacuum microwaves on the bioactive compounds, color, and antioxidant activity of strawberry fruits [J]. J Agric Food Chem, 2009, 57: 1337–1343.
- [43] Alex Martynenko, Chen YG. Degradation kinetics of total anthocyanins and formation of polymeric color in blue berry hydrothermodynamic (HTD) processing [J]. J Food Eng, 2016, 171: 44–51.
- [44] Patras A, Brunton NP, Da Pieve S, *et al.* Impact of high pressure processing on total antioxidant activity, phenolic, ascorbic acid, anthocyanin content and color of strawberry and blackberry purées [J]. J Innov Food Sci Emerg Technol, 2009, 10(3): 308–313.
- [45] Perla V, Holm DG, Jayanty SS. Effects of cooking methods on polyphenols, pigments and antioxidant activity in potato tubers [J]. LWT-Food Sci Technol, 2012, 45(2): 161–171.
- [46] Yaoqi Tian, Yin Li, Frank A. *et al.* Influence of β -cyclodextrin on the short-term retrogradation of rice starch [J]. J Food Chem, 2009, 116: 54–58.
- [47] 任虹, 李婷, 李强, 等. 加热方法对紫甘蓝花色苷组分及其清除自由基活性的影响[J]. 中国食品学报, 2016, 6: 231–240.
- Ren H, Li T, Li Q, *et al.* Effects on the activity of scavenging free radicals by Heating method on purple cabbage anthocyanins component [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2016, 06: 231–240.
- [48] 冀晓龙. 杀菌方式对鲜枣汁品质及抗氧化活性的影响研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014.
- Ji XL. Effect of different sterilization methods on physicochemical properties and antioxidant capacity of fresh pear jujube juice [D]. Yangling: Northwest Agriculture and Forestry University of Science and Technology, 2014.
- [49] 郭兴峰, 傅茂润, 杜金华, 等. 不同干燥方法对荷花花瓣抗氧化活性和化学成分的影响[J]. 食品与发酵工业, 2010, 02: 145–149.
- Guo XF, Fu MX, Du JH, *et al.* Antioxidant activity and the influence of chemical composition by different drying methods on the lotus petals [J]. J Food Ferment Ind, 2010, 02: 145–149.
- [50] 张燕, 徐茜, 王婷婷, 等. 不同工艺提取树莓花青素的品质比较[J]. 食品与发酵工业, 2011, 6: 201–205.
- Zhang Y, Xu Q, Wang T, *et al.* Quality comparison of anthocyanins extracts from different raspberry extraction technologies [J]. J Food Ferment Ind, 2011, 6: 201–205.

(责任编辑: 杨翠娜)

作者简介



彭 斌, 硕士研究生, 主要研究方向
为功能食品。
E-mail: 876536205@qq.com



邓泽元, 教授, 主要研究方向为食品
营养与安全、功能食品。
E-mail: dengzy@ncu.edu.cn

《农产品加工质量控制与检测技术专题》征稿函

食品安全链涉及原料、加工、贮运、销售等所有环节,任一环节出问题都会影响最终产品。食品安全是前提,质量和营养价值是根本,确保人民健康是最终目的,从食品与农产品生产经营到餐桌的全程严格检测、控制和监管,是保障食品安全与质量的社会需求,广大民众的期望。

鉴于此,本刊特别策划了“农产品加工质量控制与检测技术”专题,由河南科技大学食品与生物工程学院刘建学教授担任专题主编,本专题围绕(1)农产品中微生物、农兽残、重金属等有害元素、生物毒素等污染监测、检测与控制的新思路、新方法和新仪器;(2)农产品品质和营养成分检测的新方法与仪器设备等;(3)食品添加剂、非法添加物筛查、转基因农产品检测的新方法与仪器;(4)食品生产中各种在线分析检测过程控制技术与仪器设备;(5)我国与农产品质量安全相关的检验检测、认证认可、监控追溯和监管系统等进行论述,多方面展开讨论,计划在 2017 年 1 月出版。

鉴于您在该领域的成就,刘建学教授和主编吴永宁研究员特邀请您为本专题撰写稿件,综述、研究论文、研究简报均可,以期进一步提升该专题的学术质量和影响力。请在 2016 年 12 月 15 日前通过网站或 Email 投稿。我们将快速处理并经审稿合格后优先发表。

投稿方式:

网站: www.chinafoodj.com

Email: jfoods@126.com

《食品安全质量检测学报》编辑部