

Research Progress on the Stability and Function of Anthocyanins

Changyuan Liu, Jing Tang, Liyan Zhao*

College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing Jiangsu
Email: zhlychen@njau.edu.cn

Received: Feb. 13th, 2018; accepted: Feb. 21st, 2018; published: Feb. 28th, 2018

Abstract

Anthocyanins widely found in plants are one of the important natural edible pigments that determine the color of the plant. Because of its higher safety, anthocyanins are often used in food, pharmaceutical and beauty care industries. This article provides an overview of anthocyanin structure, types, sources, properties, stability, health functions and its applications in the food, pharmaceutical and beauty care industries. The purpose is to provide a certain theoretical basis for the industrial application of anthocyanins.

Keywords

Anthocyanin, Stability, Health Function

花青素的稳定性与功能研究进展

刘常园, 汤 静, 赵立艳*

南京农业大学食品科技学院, 江苏 南京
Email: zhlychen@njau.edu.cn

收稿日期: 2018年2月13日; 录用日期: 2018年2月21日; 发布日期: 2018年2月28日

摘 要

花青素广泛存在植物的一类物质中, 是决定植物颜色的重要色素之一。由于其安全性较高的一类天然可食用色素, 常被使用于食品、药品和美容保健行业中。本文对花青素的结构、种类、来源、性质、稳定性、保健功能及其在食品、药品及美容保健行业上的应用进行概述。为扩大花青素的应用提供一定的理论基础。

*通讯作者。

关键词

花青素, 稳定性, 保健功能

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 花青素的主要结构、种类及来源

植源性食物是人类主食之一,除了从中获取的常量营养素之外,植物组织中还含有对人体有益的各种次生代谢物,如:花青素,类胡萝卜素等,这些次生代谢物通常参与植物自身的一些重要的生理功能的实现[1][2]。花青素是一大类植源性、天然的、类黄酮类、水溶性较好的色素。其通常分布在多种颜色较深的水果、蔬菜细胞组织之中,如葡萄、黑枸杞、茄子、黑米、黑豆、血橙、无花果、樱桃、山楂、红甘蓝、蓝莓、紫甘薯、草莓、桑葚等植物的细胞组织之中,参与植物的花色和果实颜色的决定[3]。

花青素的结构如图1所示,属于有机化合物,其基本的碳骨架结构为C₆-C₃-C₆,具有3,5,7-三羟基-2-苯基苯并吡喃阳离子分子结构。花青素中游离的酚羟基,在偏酸性的细胞溶液中以阳离子的形式存在,由于结构中缺失电子,因此具有较强的抗氧化性[4]。花青素性质较活泼,极不稳定,因此自然界很少能发现以游离形式存在的花青素。其一般存在形式是,结构中游离的羟基通过糖苷键连接各种单糖和二糖,生成各种花色苷。花色苷中的糖苷基团和游离的羟基团可被酰基化,形成酰基化的花色苷,其稳定性更好,可以酰基化的物质有:咖啡酸、香豆酸、阿魏酸、对羟基苯甲酸等芳香酸和脂肪酸。已被发现的天然存在的花色苷大约有250种[5][6],花青素最常见的结构主要有六大类:矢车菊素(cyanidin),飞燕草素(delphinidin),天竺葵素(pelargonidin),芍药素(peonidin),牵牛素(petunidin)和锦葵素(malvidin)[7]。六种常见花青素的结构,如表1所示。

矢车菊-3-葡萄糖苷是矢车菊花色苷的一种,是分布最广泛的最常见的一种天然花色苷,是决定黑米、黑豆及紫薯等颜色的主要色素,且在黑米中含量最高[8][9]。山楂的颜色主要由矢车菊素-3-O-半乳糖苷和矢车菊素-3-O-阿拉伯糖苷决定,但这两种色素在成熟山楂果实中含量却不高[10]。天竺葵素其主要来源于红心萝卜皮及草莓,含量均在90%以上,在草莓中主要是天竺葵素-3-O-葡萄糖苷[11][12][13]。飞燕草素是蓝紫色的,主要存在于紫蓝色的植物及植物果实中,如茶叶、石榴、茄子、玫瑰茄等。有研究人员单独研究玫瑰茄纯飞燕草素的抗氧化性,发现飞燕草素-3-O-三糖苷的抗氧化性极强,还有明显的降血糖的作用[14]。芍药素在紫甘薯中含量很高。陈文等人[15]利用液相色谱-质谱联用技术,从紫肉甘薯中分离出6种花色苷,进一步检测发现4种为芍药色素类,2种为矢车菊素类。牵牛花素主要存在于紫色马铃薯中。杨智勇[16]等人在紫色马铃薯中新发现一种新的花色苷:牵牛花素-3-葡萄糖苷占总花青苷含量的64.6%。郭晓倩[17]等从蓝莓中分离出5种花色苷,且以牵牛花素含量最高约34.89%~42.21%。锦葵素主要来源于葡萄皮和蓝莓中。邓洁红[18]研究刺葡萄果皮,发现其总花色苷的含量非常高(2.538 mg/g),比欧美等进口葡萄品种中花青素含量高5~10倍,且主要花色苷成分为锦葵素。冯贵涛[19]分离确定兔眼蓝莓中含有18个单体花色苷,且锦葵素的含量最大,占总花青素的36.93%。

2. 花青素的性质

花青素极性较强,易相似相溶于极性较强的溶液,不易溶于极性较低的溶液。遇醋酸铅试剂会被沉

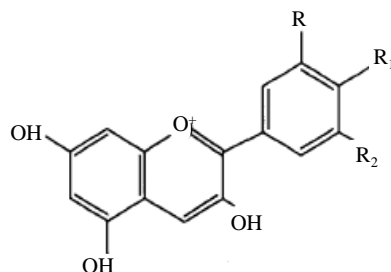


Figure 1. The basic structure of anthocyanins
图 1. 花青素的基本结构

Table 1. The structure of six common anthocyanins

表 1. 六种常见花青素的结构[6]

名称	缩写	R1	R2	R3	相对分子质量
天竺葵素	Pg	H	OH	H	271
矢车菊素	Dp	OH	OH	OH	287
飞燕草素	Pn	OH	OH	H	303
芍药素	Mv	OMe	OH	OH	301
牵牛花素	Pt	OMe	OH	OH	317
锦葵素	Mv	OMe	OH	OMe	330

淀析出，并能被活性炭吸附而丢失或失去活性。花青素在可见光区段和紫外光区段各有一个强吸收波长范围，分别是：500~550 nm 和 270~280 nm [20]。

花青素水溶液的呈色受 pH 影响较大，一般地，在中性环境下为紫色，酸性环境下变红色，碱性环境下变蓝色[21]。花青素的荧光性质和颜色受 Na^+ 、 K^+ 、 Br^+ 、 Mg^+ 、 Ca^+ 、 Mn^+ 、 Zn^+ 等离子的影响不大，而 PO_4^{3-} 、 CO_3^{2-} 、 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 、 Ac^- 等阴离子的存在会影响溶液的 pH 值，因此其荧光强度会受这些阴离子的影响。花青素可与 Cu^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Al^{3+} 、 Fe^{3+} 阳离子发生络合反应，使其共平面结构改变，使其荧光强度下降，且形成的络合物颜色与花青素本身颜色不同[22]。

3. 花青素的稳定性

天然花青素一般是以阳离子形式存在，其基团缺少电子，因而使其具有较强活性。Kay [23]研究发现花青素的平均尿排泄量为摄取剂量的 0.03% 至 4%，消除半衰期为 1.5~3 小时。因此，花青素常表现出低的化学稳定性和短的半衰期以及相对低的生物利用度，加工或保存环境的 pH、温度、VC 浓度、金属离子、氧浓度等外界因素都会影响其稳定性[24]。在这些因素的作用下，花青素易解离，褐变或褪色，改变其溶液颜色和透明度，进一步阻碍花青素色素作为食用增色剂在食品和医疗美容等行业中的使用和发展。故许多研究人员都开始研究去增加花青素的稳定性，以便于扩大其使用范围[25] [26]。

3.1. pH 对花青素的影响

花青素的结构或组成受 pH 影响较大，从而使其呈现出各种不同颜色。有学者研究发现，与单糖结合的花青素 pH < 2 时，其存在形式主要是 2-苯基苯并吡喃阳离子(AH^+)；溶液 pH 为 4~5 时花青素，存在形式主要为醌型假碱或查而酮，此时其呈透明色，pH > 6 时候以醇型存在[27]。由于花青素结构决定着其所呈现的颜色，因此，在不同 pH 条件下，花青素可表现出不尽相同的颜色。在 pH < 2 环境下，表现出鲜亮的红色，中性环境中为紫色，当 pH > 11 环境下，可表现出墨绿色[28]。李金星等[29]研究发现，

pH 值对花青素的保留率有较大影响, 保留率随 pH 值的增加逐渐降低。且 $\text{pH} \leq 3$ 时, 存放 10 d 后花青素的保留率仍保持在 83% 以上, 稳定性很好。因此花青素保存的 pH 条件应为 $\text{pH} \leq 3$ 。程琤等[30]经研究也发现, 花青素保留率受 pH 影响显著。且发现 pH 9.0 时比 pH 为 3.0、5.0 及 7.0 时, 花青素保存率下降较快。这些结果出现的原因可能是, 溶液水解产物过氧化氢离子的存在可能诱发和促进了花青素的降解[31]。从上可以看出, 在酸性环境下花青素稳定性较好, 更适用于作酸性物质的增色剂。

3.2. 温度对花青素的影响

花青素是热不稳定型色素, 受热极易分解失活。已有许多研究证明, 花青素的热降解规律符合一级反应动力学, 花青素的解离速度随着温度的增加或热降解时间的延长而加快[32]。例如, 古明辉[25]等人研究发现, 在 80°C 条件下, 未酰化黑果枸杞花青素和酰化黑果枸杞花青素的半衰期分别为 15.09 h 和 18.32 h。王立志等人[33]发现, 当升温至 90°C 及以上时, 红花龙花青素的保留率下降显著, 产生沉淀, 吸光度下降。Laleh G H [34]等人对温度影响花青素的原因作了如下两种解释: 一是: 高温会促使水解对花青素有保护作用的 3-糖苷结构, 从而使花青素降解; 二是: 高温会使花青素茚环水解会产生白垩, 这也是食品变成棕色的原因。

3.3. 光照对花青素的影响

阳光直射较大程度上影响着花青素的保留率, 而自然光和避光条件下存储时, 花青素含量变化却不大。根据文献报道[35], 长时间光照会诱导花青素碳骨架在 C2 位上断开, 形成 C4 羟基的降解中间产物, 之后被氧化成了查耳酮, 而查耳酮进一步被氧化为苯甲酸及 2,4,6-三羟基苯甲醛等终水解产物, 从而导致花色苷被降解, 颜色消退。Askar K A [31]等人实验结果表明, 花青素光脱色速率随着 pH 的增加而增加, 这种行为的一个可能的原因可能是由于光照过程会形成更多的羟基自由基。因此, 花青素应在酸性、低温、避光条件下保存。

3.4. 金属离子对花青素的影响

金属离子很大程度上能较显著地影响花青素的稳定性。李颖畅[36]研究认为, K^+ 对花青素的吸光值和稳定性没有影响; Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Al^{3+} 可以加深花青素色泽, 但对其稳定性无明显影响; Na^+ 、 Zn^{2+} 、 Mn^{2+} 浓度较高时同样能加深花青素色泽, 而且可以明显提高其稳定性; Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Pb^{2+} 能够改变花青素结构, 使其稳定性降低, 易形成白色沉淀析出。王新广[37]研究紫玉米花色苷, 发现 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Zn^{2+} 对紫玉米花色苷的稳定性影响不大; 但在含 Sn^{2+} 、 Fe^{3+} 溶液中颜色会发生变化, 原因可能是: Sn^{2+} 、 Fe^{3+} 等金属离子可与紫玉米花色苷螯合, 形成螯合物沉淀, 加深溶液颜色。于文娟[38]等人研究发现, 在 80°C 下保温 30 min, Zn^{2+} 对花青素破坏最小, 花青素保存率最高为 93.63%; 除此之外的各种离子对花青素都有不同程度的破坏, 致使其损失率约 10%; 因为 Fe^{3+} 、 Fe^{2+} 和 Cu^{2+} 具有较深的黄绿色和蓝色的金属离子, 对花青素水溶液存在很大颜色干扰。所以为保证所提花青素的纯度及被加工产品的品质, 应保证花青素与 Fe、Cu 离子隔离。

4. 花青素的保健功能

花青素的营养保健价值极高的天然可食用色素。花青素具有抗氧化、去除人体自由基、抗炎、防增生和防突变、抗癌、保护肝脏、降血糖、缓解视觉疲劳等特性, 还能预防心血管疾病、阻止肿瘤细胞扩散、抗动脉粥样硬化及降血脂、增强非特异性免疫和改善记忆力等多种生理活性功能[39] [40] [41] [42] [43]。

4.1. 抗氧化性

花青素具有较强的抗氧化和清除人体自由基的能力, 约比 VE 强 50 倍、比 Vc 强 20 倍左右[44]。古丽巴哈尔·卡吾力等人[45]研究发现, 黑果枸杞花青素的还原力为 64.3%; 清除羟自由基($\cdot\text{OH}$)的能力为 60.5%; 清除超氧阴离子($\text{O}^{2-}\cdot$)的能力为 87.2%; 清除 DPPH \cdot 的能力为 78.3%, 并认为: 在一定质量浓度范围内, 花青素能够起到抗氧化剂的作用, 减少体内自由基的积累, $\cdot\text{OH}$ 具有较强的抗氧化能力。薄艳秋[46]在对发酵的蓝莓酒进行研究时, 发现当酒精度为 9% 时, 发酵酒中花青素含量达到最高值为 325~350 $\mu\text{g/mL}$, 且 DPPH \cdot 及 $\text{O}^{2-}\cdot$ 的消除率达到最大值; 在酒精度为 11% 时, 清除 $\text{OH}\cdot$ 自由基的效果最好; 同时还发现, 发酵蓝莓酒时 SO_2 浓度对花青素的含量也有影响, 且随着 SO_2 的浓度从 60 mg/L 增加到 140 mg/L , 发酵酒中花青素含量先降低后升高, 但在 SO_2 的浓度为 100 mg/L 时候, 抗氧化性最好, 对 DPPH \cdot 、 $\text{OH}\cdot$ 和 $\text{O}^{2-}\cdot$ 的消除率达到最大值; 发酵时间的长短对发酵蓝莓酒中花青素的含量及抗氧化活性也有一定影响。当发酵 36~84 h 时, 花青素保留率较大, 且 DPPH \cdot 、 $\text{OH}\cdot$ 和 $\text{O}^{2-}\cdot$ 的消除率都较高。赵红岩[47]选取常见的、毒性强、难清除的 $\cdot\text{OH}$ 自由基作为对象, 考察紫薯花青素的抗氧化性强弱。结果发现紫薯花青素的抗氧化活性较强, 与 2,6-二叔丁基-4-甲基苯酚(BHT)的抗氧化活性相当, 但相比之下紫薯花青素更安全。罗春丽等[48]人研究发现紫薯花青素的还原力、对 $\cdot\text{OH}$ 和 $\text{O}^{2-}\cdot$ 自由基的清除率随其浓度的升高而变大。同时也发现紫薯花青素具有抑制 H_2O_2 诱导大鼠红细胞溶血现象发生的效用, 抑制率随紫薯花青素质量浓度的升高而不断升高。由此可证明紫薯花青素体外抗氧化能力良好。Seeram [49]等人研究发现, 纯矢车菊苷的抗氧化活性随其结构中糖单位数目的增加而增加。花青素被证明在体外测定中具有强烈的抗氧化作用是因为其酚环中存在的双键, 羟基侧链, 甚至糖基化都有助于清除自由基活性[50]。

4.2. 抗癌

花青素具有良好的防治癌症作用, 已经很多报道称花青素能抑制、防治多种癌症生长, 如: 胃癌[51], 乳腺癌[52], 前列腺癌[53], 肝癌[54], 结肠癌和直肠癌[55], 宫颈癌[56], 肺癌[57], 淋巴瘤[58] [59]。王丽[60]研究紫甘蓝花青素, 发现其主要成分 Cy-3-glu 对抑制雌激素受体的变体和表皮生长因子受体共表达的人三阴性乳腺癌细胞系生长具有特异性, 并能促其衰老、死亡, 但对非三阴性乳腺癌细胞和正常的乳腺上皮细胞没有抑制及破坏作用。用 Cy-3-glu 的紫甘蓝提取物作为饲料, 饲喂肿瘤模型的裸鼠, 发现紫甘蓝提取物饲料对肿瘤细胞生长具有显著抑制, 这一结果与体外实验结果一致。杨洋[61]采用 Cell Counting Kit-8 (CCK-8)法对花青素的抗肿瘤活性进行筛选, 发现高纯度的花青素能很好的抑制肿瘤细胞增殖。且高纯花青素作用 HepG2 肝癌细胞, 使其衰亡一半时的花青素用量(IC_{50})值是 223 $\mu\text{g/mL}$, 作用乳腺癌细胞的 IC_{50} 值为 112.56 $\mu\text{g/mL}$, 作用 RAW264.7 巨噬细胞的 IC_{50} 值是 26.32 $\mu\text{g/mL}$ 。由此可以看出花青素抗癌效果较好。武雪玲[62]等人研究黑果枸杞花青素, 发现其可改善阿尔茨海默症(AD)模型大鼠的记忆损伤, 具有提高记忆力、预防 AD 的功效。Wang L S [63]等人认为花青素的抗癌作用机理与其抗氧化性有关; 在内在途径中, 花青素会使癌细胞线粒体膜电位增加, 细胞色素 c 释放和半胱天冬酶依赖性抗凋亡蛋白和促凋亡蛋白之间的调节。在外在途径中, 花青素可调节癌细胞中 FAS 和 FASL (FAS 配体) 的表达, 导致细胞凋亡。Cvorovic [64]等人的观察提出, 花青素在抗癌作用中起到双重作用, 这取决于细胞类型: 在低基础代谢率的细胞中起到自由基清除剂的作用, 并保护其免受氧化应激; 在恶性细胞中, 作为促氧化剂, 清除活性氧簇(ROS)和触发线粒体凋亡, 从而起到抗癌的作用。

4.3. 改善视力

有研究发现[65], 蓝莓的花色苷可以更有效的促进人眼视网膜上视黄醛与视紫蛋白结合构成的视紫红质被光诱导分解与再结合, 缩短暗适应时间。花色苷可以明显改善近视、远视、老花眼、青光眼、老年

白内障、视网膜退化、夜盲等视力障碍问题,此为花色苷较早被注意的生物活性。刘春民[66]等人,选取326名近视志愿者,将所有人随机分为实验组及空白对照组。每天让实验组服用200 mg的花青素,另一组则服用200 mg的淀粉做空白对照,服用一个月之后,检查眼部症状、视力和眼屈光度的改变情况。发现相比于对照组,口服花青素的实验组的眼部症状得到较显著的改善,视力在对数视力表上平均升高2~3行。但对眼球屈光度的影响并不显著。一些研究者发现,花青素的抗氧化性作用于视网膜组织,可减少丙二醛(MDA)积累,进而降低大鼠眼压,避免视神经损害及缺血再灌注造成的伤害。花青素还可减小NO及C₅H₉NO₄对人视网膜的破坏,减少视网膜的神经节细胞的衰亡,缓解青光眼症状[67]。

4.4. 心血管保护作用

李颖畅[68]等人以雄性大鼠作为实验对象,并将大鼠分成正常对照组,高脂模型组,低、中、高剂量蓝莓花青素组,检测各组大鼠的血液中脂质的浓度及肝脏和血液中总抗氧化能力(T-AOC),超氧化物歧化酶(SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)的活力和MDA含量。结果表明:饲喂蓝莓花青素后患高脂血症的大鼠血液中脂质的浓度和动脉粥样硬化指数(AI)都明显比高脂对照组低,但大鼠血液和肝脏中T-AOC能力、SOD及GSH-Px活力均增加显著,MDA的含量显著降低。焦岩[69]等经研究发现,较高脂对照组,蓝靛果花青素可降低患高脂血症大鼠血液中脂质的浓度,提高抗动脉硬化指数(AAI),增强肝脂酶(HL)、脂蛋白脂肪酶(LPL)、肝脏脂肪酶(LPS)酶活力。所以蓝靛果果渣花青素具有防治高脂血症及动脉粥样硬化功效。

4.5. 抗炎抑菌

研究发现,紫甘薯花色苷分子结构上含有很多还原性比较强的游离的酚羟基官能团,可以破坏蛋白质分子二级结构,从而致使蛋白质失活,影响细胞膜的通透性,细胞质的失水皱缩和解体,最终影响细胞正常生长代谢,故具有一定的抑菌作用[70]。姜秋艳[71]采用滤纸片法,研究花色苷粗提物和矢车菊素-3-葡萄糖苷抑制金黄色葡萄球菌和沙门氏菌的能力的强弱。结果表明:样品对金黄色葡萄球菌和沙门氏菌的抑制率随样品浓度的升高而增强,且对沙门氏菌抑制率最大;在样品浓度小于0.25 mg/mL时,对大肠杆菌属生长繁殖的几乎无较显著的抑制作用。王静[72]等进行动物实验认为,金叶女贞果实花色苷能够抗炎症、缓解疼痛,其作用机制可能是:金叶女贞果实花青素可增强小鼠血液抗氧化活性,抑制NO和制炎性因子PGE₂的产生。在实验浓度范围内连续给药7 d,对肝脏无明显损伤作用,安全性较高。王静[73]等研究发现,花色苷能够缓解由二甲苯积累所诱导的小鼠耳廓肿胀,增加小鼠的痛阈值。其机制可能是:花色苷的分子量较小,易被小鼠小肠上皮细胞吸收,且可穿越血脑屏障,抑制炎症细胞因子的产生。韩永斌等人[74]研究发现,紫甘薯花青素可作用于金黄色葡萄球菌细胞膜结构,增加细胞膜通透性,抑制对数生长期的细胞分裂,致使细胞生长周期中断;并且可使细胞质变稀薄皱缩、细胞解体,菌体死亡;并研究得到紫甘薯花青素对金黄色葡萄球菌的最小抑菌的浓度是200 μg/mL。一些学者对花青素抗炎机制进行了研究, Li Q [75]等人发现当发生炎症反应时, NF-κB 控制各种基因表达。Munoz-Espada A C [76]等人研究树莓提取物及其花青素,发现其能够抑制 LPS 诱导的转录因子蛋白家族(NF-κB)活化和环氧化物水解酶(COX-2)的产生,随后,抑制 COX-2 基因表达可减少促炎性细胞因子 IL-1β, IL-6, IL-8 和 TNF-α 的产生。

5. 花青素的应用

花青素有抗氧化性、消除人体自由基、保护心脑血管、抗炎、抗癌和缓解视疲劳等功效,在食品、药品和美容保健等方面存在着巨大的发展潜力和良好的应用前景[77]。

5.1. 在食品行业的应用

在食品行业中, 食品的色泽是评价其品质的重要感官指标。它可通过刺激口腔分泌消化液、增加消费者食欲。但是食品在加工储存的过程中, 存在许多原因都会改变食品色泽, 影响食品品质。因此食品生产商常为提高食品的色泽及感官特性, 在加工时增添色素[78]。目前, 允许大规模生产和使用的天然花色苷食用色素有紫番薯色素、桑葚色素、紫玉米色素、甘蓝色素、茄子皮色素、葡萄皮色素、黑果枸杞色素、浆果类色素等[79]。在实际生产中, 花色苷作为一类安全性较高的天然色素, 经常被用于葡萄酒、各种食品饮料、果酱、糖果、糕点、冰淇淋等食品的着色剂, 赋予食品各式各样的颜色[80]。姜慧[81]复配出花青素黑豆蛋白营养液, 该产品有着较高的花青素含量, 蛋白质沉淀率、析乳率较低, 稳定性较好, 大大降低了对黑豆固有的营养物质的破坏程度。金鑫[82]将紫甘薯花色苷加入到冰淇淋中, 赋予其独特的色泽, 并发现当用量为 20 mg/100g 时, 冰淇淋的品质达到最佳。由于冰淇淋老化和冷冻冷藏过程并不影响紫甘薯花色苷的稳定性, 因此所制冰淇淋保留花色苷较好的抗氧化性。

5.2. 在药品行业的应用

花青素具有抗氧化性, 消除自由基, 抗癌, 抗炎, 抑菌, 预防心脑血管疾病等生理功能及高安全性的特性, 故具有很好的药用价值, 在临床上和药品中使用的前景十分可观。目前, 药品在生产过程中, 会利用人工合成的色素着色以便识别和区分, 常用色素如: 靛蓝、胭脂红等。但是这些人工合成的色素存在安全隐患, 如果长期或过量摄入, 会在人体内积累诱导癌细胞的产生, 严重威胁人体的健康[83]。而花青素是天然可食用色素, 安全性较高, 因此可以作为部分合成色素的替代品使用, 应用前景很广。

5.3. 在保健美容行业的应用

有研究发现, 花色苷减脂和抑制体内脂肪组织的聚集作用, 缓解由高脂肪、高蔗糖所诱发的高血糖症, 并降低血液中过量的胰岛素。由于花色苷的强抗氧化性, 可清除过量的自由基, 减少自由基对皮肤的攻击, 因此具有延缓衰老、保健美容之功效[84]。吴奇辉[85]研究认为, 紫马铃薯肉及皮花色苷提取物 AEPPF 和 AEPPP 都能明显抑制前脂肪细胞的分化成熟, 并能阻止脂肪在细胞中积累, 具有较好的瘦身功效。弹性蛋白能保持皮肤弹性, 若缺失弹性蛋白则皮肤会松弛, 出现皱褶。大多自由基或弹性蛋白酶可氧化水解弹性蛋白, 葡萄籽花青素可去除自由基, 抑制弹性蛋白酶的合成并抑制其活性, 保护弹性蛋白结构完整性, 从而改善老化皮肤[86]。

6. 展望

许多研究表明, 花青素具有很多生理活性, 对人体有很大的益处, 利用前景很广泛。但由于其稳定性较差, 限制其应用范围。目前已知 pH、温度、光照、金属离子及一些食品添加剂都会对花青素稳定性产生影响, 因此, 需对花青素的稳定性进行研究及改善, 来解决花青素应用的瓶颈问题。目前已经有学者在研究如何去提高花青素的稳定性。例如, 利用双重乳化技术微胶囊化花青素[87], 通过将壳聚糖盐酸盐(CHC)和羧甲基壳聚糖(CMC)复配, 制备花色苷负载的壳聚糖纳米粒子[88]等技术提高花青素的稳定性。但是这些方法因为高成本、安全性等问题还没有推广使用, 因此需进一步对提高花青素稳定性进行研究。关于花青素的生理活性, 值得注意的是, 大部分已发表的研究是在体外试验中进行的, 但是正如我们所知道的那样, 体外抗氧化活性的评估显著的高于应用的测定, 并且一些测定显示与任何生物系统没有相关性。因此, 体内试验模型的确认是必不可少的。对于花青素提取物的抗癌活性的研究较单一且过时, 对其抗菌, 抗胃癌, 抗病毒等生物学活性的相关研究较少, 相关作用机理也不明确, 需要进一步研究, 为更好地开展花青素资源的创新利用和产品开发奠定基础。

基金项目

江苏现代农业(特粮特经)产业技术体系贮藏加工创新团队(SXGC[2017]287)。

参考文献 (References)

- [1] Weber, F. and Larsen, L.R. (2017) Influence of Fruit Juice Processing on Anthocyanin Stability. *Food Research International*, **100**, 354-365. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.06.033>
- [2] 雷静. 基于计算机视觉技术的番茄花青素含量检测[J]. 农机化研究, 2018, 3(3): 193-197.
- [3] 王二雷. 蓝莓花青素高纯提取物的制备技术及诱导肿瘤细胞凋亡作用研究[D]: [博士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2014.
- [4] 李金星, 胡志和. 蓝莓花青素的研究进展[J]. 核农学报, 2013, 27(6): 0817-0822.
- [5] 周婷婷. 蓝莓花青素分析及抗氧化活性研究[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连理工大学, 2014.
- [6] 李敏. 不同花青素提取物的组成、稳定性及抗氧化性比较研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京财经大学, 2013.
- [7] 赵云荣, 王世雷. 植物花青素研究进展[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(8): 3095-3097.
- [8] 刘长姣, 熊湘炜, 郑霞, 等. HPLC 法测定黑米矢车菊素-3-葡萄糖苷[J]. 中国食品添加剂, 2017(9): 210-215.
- [9] 闫征, 李春阳, 黄午阳, 等. 苯甲酰矢车菊素-3-葡萄糖苷的酶法合成及结构表征[J]. 浙江农业学报, 2017, 29(6): 1001-1008.
- [10] 闫述模. 山楂矢车菊素-3-O-半乳糖基转移酶基因筛选、克隆及功能验证[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国中医科学院, 2016.
- [11] 王帅, 王海, 王日为. 天竺葵素与人血清白蛋白相互作用的光谱学研究[J]. 分析科学学报, 2011, 27(5): 627-630.
- [12] 梁姗, 蒋子川, 杨霞, 等. 高效液相色谱法测定胭脂萝卜中天竺葵素含量[J]. 广州化工, 2017, 45(7): 92-93.
- [13] 荣宁宇, 苗立祥, 杨肖芳, 等. 反相高效液相色谱法测定草莓天竺葵素-3-O-葡萄糖苷的含量[J]. 浙江农业学报, 2014, 26(3): 626-631.
- [14] Xu, Y., Hu, D.W., Bao, T., Xie, J.H. and Chen, W. (2017) A Simple and Rapid Method for the Preparation of Pure Delphinidin-3-O-Sambubioside from Roselle and Its Antioxidant and Hypoglycemic Activity. *Journal of Functional Foods*, **39**, 9-17. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.10.002>
- [15] 陈文, 裴彰明, 刘晓宇, 等. LC-MS/MS 分析测定紫薯花色苷方法研究[J]. 中国食品添加剂, 2015(3): 191-194.
- [16] 杨智勇, 李新生, 马娇燕, 等. 紫色马铃薯“黑金刚”中花青苷组分和含量分析[J]. 食品科学, 2013, 34(14): 271-275.
- [17] 郭晓倩, 房子舒, 刘凤娇, 等. 东北野生蓝莓花色苷组分分析及其抗氧化性比较[J]. 现代食品科技, 2016(3): 313-320.
- [18] 邓洁红. 刺葡萄皮色素的研究[D]: [博士学位论文]. 长沙: 湖南农业大学, 2007.
- [19] 冯贵涛. 蓝莓花青素提取、纯化、成分鉴定及抗氧化活性的研究[D]: [硕士学位论文]. 贵阳: 贵州大学, 2016.
- [20] 徐美玲, 赵德卿. 蓝莓花青素的提取及理化性质的研究[J]. 食品研究与开发, 2008, 29(9): 187-189.
- [21] 曾茜茜, 雷琳, 赵国华, 叶发银. 花青素加工贮藏稳定性的改善及应用研究进展[J]. 食品科学, 2017(6): 1-7.
- [22] 刘健. 紫甘蓝中花青素类化合物的理化性质及其在分析化学中的应用研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2012: 13-18.
- [23] Kay, C.D. (2006) Aspects of Anthocyanin Absorption, Metabolism and Pharmacokinetics in Humans. *Nutrition Research Reviews*, **19**, 137-146. <https://doi.org/10.1079/NRR2005116>
- [24] Ge, J., Yue, P., Chi, J., et al. (2017) Formation and Stability of Anthocyanins-Loaded Nanocomplexes Prepared with Chitosan Hydrochloride and Carboxymethyl Chitosan. *Food Hydrocolloids*, **74**, 23-31.
- [25] 古明辉, 陈虎, 李希羽, 高庆超, 王树林. 苹果酸酰化对黑果枸杞花青素稳定性改善的研究[J]. 食品工业科技, 2017(23): 58-68.
- [26] 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.
- [27] Anna, B., Alicja, Z.K. and Jan, O. (2003) The Effects of Heating UV Irradiation and Storage on Stability of the Anthocyanin-Polyphenol Copigment Complex. *Food Chemistry*, **81**, 349-355.
- [28] 陈小全, 周鲁, 左之利, 等. 超声波作用下桑葚红色素的提取及其稳定性实验[J]. 西南民族大学学报(自然科学

- 版), 2004(8): 458-459.
- [29] 李金星, 胡志和, 马立志, 雷颖, 经典. 蓝莓加工过程中出汁率及花青素的稳定性[J]. 食品科学, 2014, 35(2): 120-125.
- [30] 程琤, 刘超, 贺炜, 周耀, 王征. 紫甘薯花青素的稳定性及抗氧化性研究[J]. 营养学报, 2011, 33(3): 291-296.
- [31] Askar, K.A., Alsawad, Z.H. and Khalaf, M.N. (2015) Evaluation of the pH and Thermal Stabilities of Rosella Anthocyanin Extracts under Solar Light. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, **4**, 262-268. <https://doi.org/10.1016/j.bjbas.2015.06.001>
- [32] De, S.M., Berling, C.L., Germer, S., et al. (2018) Encapsulating Anthocyanins from *Hibiscus sabdariffa* L. Calyces by Ionic Gelation: Pigment Stability during Storage of Microparticles. *Food Chemistry*, **241**, 317. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.095>
- [33] 王立志, 化雪艳, 刘文柱, 等. 红花龙胆花色素的提取及性质[J]. 食品科学, 2012, 33(22): 90-94.
- [34] Laleh, G.H., Frydoonfar, H., Heidary, R., et al. (2006) The Effect of Light, Temperature, pH and Species on Stability of Anthocyanin Pigments in Four Berberis Species. *Pakistan Journal of Nutrition*, **5**, 90-92.
- [35] 谢程程, 王勇, 宫立晶. 天然食用色素紫甘薯花青素的稳定性研究[J]. 食品工业, 2012(6): 99-102.
- [36] 李颖畅. 蓝莓花色苷提取纯化及生理功能研究[D]: [博士学位论文]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2008.
- [37] 王新广, 罗先群, 云芸. 海南黑糯玉米色素的提取及其稳定性的研究[J]. 中国食品添加剂, 2003(5): 19-21.
- [38] 于文娟, 王常青, 瞿艳, 等. 紫马铃薯花青素稳定性分析研究[J]. 农产品加工, 2015(8): 58-61.
- [39] 聂文静, 江岩. 桑椹花青素研究进展[J]. 食品工业, 2013(11): 207-210.
- [40] 李佳妮, 江连洲, 邹晓霜, 胡淼, 贾子璇, 王中江, 齐宝坤, 李杨, 隋晓楠. 花青素对大豆蛋白体外胃消化结构的影响[J]. 食品科学, 2017, 8(1): 1-14.
- [41] 潘利华, 王建飞, 叶兴乾, 罗建平. 蓝莓花青素的提取工艺及其免疫调节活性[J]. 食品科学, 2014, 35(2): 81-86.
- [42] 戴思兰, 洪艳. 基于花青素苷合成和呈色机理的观赏植物花色改良分子育种[J]. 中国农业科学, 2016, 49(3): 529-542.
- [43] 王彦平, 韩二芳, 钱志伟, 等. 超声结合酶法提取紫山药花青素工艺优化及其抗氧化活性[J]. 北方园艺, 2017(14): 130-135.
- [44] 杨家干, 吴文平, 辛育毅. 茶树中花青素及高花青素茶研究进展[J]. 贵州茶叶, 2016(3): 17-20.
- [45] 古丽巴哈尔·卡吾力, 常占瑛, 哈及尼沙, 等. 黑果枸杞花青素的提取工艺及抗氧化活性研究[J]. 西北药学杂志, 2017, 32(4): 455-460.
- [46] 薄艳秋. 蓝莓花青素的提取和抗氧化活性研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2012.
- [47] 赵红岩. 紫薯花青素提取工艺和抗氧化活性研究[J]. 现代农业科技, 2017(13): 239-240.
- [48] 罗春丽, 王林, 李杏, 等. 紫薯花青素体外抗氧化及对 H₂O₂ 诱导 HepG2 细胞氧化损伤的保护作用[J]. 食品科学, 2015, 36(17): 225-230.
- [49] Seeram, N.P., Momin, R.A., Nair, M.G., et al. (2001) Cyclooxygenase Inhibitory and Antioxidant Cyanidin Glycosides in Cherries and Berries. *Phytomedicine International Journal of Phytotherapy & Phytopharmacology*, **8**, 362-369. <https://doi.org/10.1078/0944-7113-00053>
- [50] Teng, H., Fang, T., Lin, Q., et al. (2017) Red Raspberry and Its Anthocyanins: Bioactivity beyond Antioxidant Capacity. *Trends in Food Science & Technology*, **66**, 153-165. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.05.015>
- [51] Shih, P.H., Yeh, C.T. and Yen, G.C. (2005) Effects of Anthocyanidin on the Inhibition of Proliferation and Induction of Apoptosis in Human Gastric Adenocarcinoma Cells. *Food and Chemical Toxicology*, **43**, 1557-1566. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2005.05.001>
- [52] Faria, A., Pestana, D., Teixeira, D., de Freitas, V., Mateus, N. and Calhau, C. (2010) Blueberry Anthocyanins and Pyruvic Acid Adducts: Anticancer Properties in Breast Cancer Cell Lines. *Phytotherapy Research*, **24**, 1862-1869. <https://doi.org/10.1002/ptr.3213>
- [53] Lee, J.H., Lim, J.D. and Choung, M.G. (2013) Studies on the Anthocyanin Profile and Biological Properties from the Fruits of *Acanthopanax senticosus* (Siberian Ginseng). *Journal of Functional Foods*, **5**, 380-388. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2012.11.010>
- [54] Longo, L., Platini, F., Scardino, A., et al. (2008) Autophagy Inhibition Enhances Anthocyanin-Induced Apoptosis in Hepatocellular Carcinoma. *Molecular Cancer Therapeutics*, **7**, 2476-2485. <https://doi.org/10.1158/1535-7163.MCT-08-0361>

- [55] Kang, S.Y., Seeram, N.P., Nair, M.G. and Bourquin, L.D. (2003) Tart Cherry Anthocyanins Inhibit Tumor Development in Apc^{Min} Mice and Reduce Proliferation of Human Colon Cancer Cells. *Cancer Letters*, **194**, 13-19. [https://doi.org/10.1016/S0304-3835\(02\)00583-9](https://doi.org/10.1016/S0304-3835(02)00583-9)
- [56] Rugină, D., Sconta, Z., Leopold, L., et al. (2012) Antioxidant Activities of Chokeberry Extracts and the Cytotoxic Action of Their Anthocyanin Fraction on HeLa Human Cervical Tumor Cells. *Journal of Medicinal Food*, **15**, 700-706. <https://doi.org/10.1089/jmf.2011.0246>
- [57] Chen, P.N., Chu, S.C., Chiou, H.L., Kuo, W.H., Chiang, C.L. and Hsieh, Y.S. (2006) Mulberry Anthocyanins, Cyanidin 3-Rutinoside and Cyanidin 3-Glucoside, Exhibited an Inhibitory Effect on the Migration and Invasion of a Human Lung Cancer Cell Line. *Cancer Letters*, **235**, 248-259. <https://doi.org/10.1016/j.canlet.2005.04.033>
- [58] Lee, S.H., Park, S.M., Park, S.M., et al. (2009) Induction of Apoptosis in Human Leukemia U937 Cells by Anthocyanins through Down-Regulation of Bcl-2 and Activation of Caspases. *International Journal of Oncology*, **34**, 1077-1083.
- [59] Shin, D.Y., Lee, W.S., Lu, J.N., et al. (2009) Induction of Apoptosis in Human Colon Cancer HCT-116 Cells by Anthocyanins through Suppression of Akt And Activation of p38-MAPK. *International Journal of Oncology*, **35**, 1499-1504.
- [60] 王丽. 紫甘蓝花青素抑制三阴性乳腺癌和黑色素瘤的机理研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国农业大学, 2016.
- [61] 杨洋. 紫山药主要化学成分测定、花青素提取及抗肿瘤活性的筛选[D]: [硕士学位论文]. 乐山: 西南交通大学, 2017.
- [62] 武雪玲, 李筱筱, 贾世亮, 等. 黑果枸杞花青素对 Aβ₁₋₄₂致痴呆模型大鼠记忆力及抗氧化活性研究. *现代食品科技*, 2017(3): 29-34.
- [63] Wang, L.S. and Stoner, G.D. (2008) Anthocyanins and Their Role in Cancer Prevention. *Cancer Letters*, **269**, 281-290. <https://doi.org/10.1016/j.canlet.2008.05.020>
- [64] Cvorovic, J., Tramer, F., Granzotto, M., et al. (2010) Oxidative Stress-Based Cytotoxicity of Delphinidin and Cyanidin in Colon Cancer Cells. *Archives of Biochemistry & Biophysics*, **501**, 151. <https://doi.org/10.1016/j.abb.2010.05.019>
- [65] 陈介甫, 李亚东, 徐哲. 蓝莓的主要化学成分及生物活性[J]. *药学学报*, 2010(4): 422-429.
- [66] 刘春民, 王抗美, 邹玲. 花青素对近视青少年视疲劳症状及视力的影响[J]. *中国实用眼科杂志*, 2005, 23(6): 607-609.
- [67] 王振军. 单味中药及其有效成分保护青光眼视神经作用机制的研究进展[J]. *医药导报*, 2011, 30(1): 73-78.
- [68] 李颖畅, 孟宪军, 孙靖靖, 等. 蓝莓花色苷的降血脂和抗氧化作用[J]. *食品与发酵工业*, 2008, 34(10): 44-48.
- [69] 焦岩, 王振宇. 蓝靛果花色苷超声波辅助提取优化及其降血脂作用[J]. *中国食品学报*, 2010, 10(2): 52-59.
- [70] 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.
- [71] 娄秋艳. 黑米花青素的组成、对益生菌和致病菌的活性研究[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 合肥工业大学, 2017.
- [72] 王静, 王建安, 姜玉新, 等. 金叶女贞果实花青素抗炎镇痛的作用机制[J]. *中国应用生理学杂志*, 2015, 31(5): 431-436.
- [73] 王静, 马养民, 逯文静. 蓝莓花青素的纯化及镇痛、抗炎药效学研究[J]. *食品工业科技*, 2013, 34(5): 338-340.
- [74] 韩永斌, 朱洪梅, 顾振新, 等. 紫甘薯花色苷色素抑制金黄色葡萄球菌作用初探[J]. *食品科学*, 2008, 29(10): 59-62.
- [75] Li, Q. and Verma, I.M. (2002) NF-κB Regulation in the Immune System. *Nature Reviews Immunology*, **2**, 975-975. <https://doi.org/10.1038/nri968>
- [76] Munoz-Espada, A.C. and Watkins, B.A. (2006) Cyanidin Attenuates PGE₂ Production and Cyclooxygenase-2 Expression in LNCaP Human Prostate Cancer Cells. *Journal of Nutritional Biochemistry*, **17**, 589. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2005.10.007>
- [77] 薛宏坤, 徐浩, 朱广浩, 郑先哲. 微波辅助萃取蓝莓中花青素降解工艺研究[J]. *农机化研究*, 2018, 3(3): 226-237.
- [78] 刘超. 紫甘薯花青素的提取及其稳定性和抗氧化性的研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 湖南农业大学, 2008.
- [79] 唐忠厚, 周丽. 花青素对人类健康影响的研究进展及其前景[J]. *食品研究与开发*, 2009, 30(7): 159-162.
- [80] 钟兰兰, 屠迪, 杨亚, 等. 花青素生理功能研究进展及其应用前景[J]. *生物技术进展*, 2013(5): 346-352.
- [81] 姜慧. 富含花青素黑豆蛋白营养液的研制[D]: [硕士学位论文]. 太原: 山西大学, 2013.
- [82] 金鑫. 紫甘薯花青素在冰淇淋中的应用研究[J]. *食品研究与开发*, 2014(14): 13-16.
- [83] 岳静, 方宏筠, 黄红光. 紫甘薯红色素的研究进展[J]. *辽宁农业科学*, 2003(5): 22-25.

- [84] 刘岱琳, 林纪伟, 张静泽, 等. 天然植物中花色苷的研究应用现状[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(9): 240-244.
- [85] 吴奇辉. 紫马铃薯花色苷分离纯化及降脂减肥活性研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2014.
- [86] 黄立伟, 张翼. 葡萄籽原花青素提取物的生理活性及在美容方面的作用[C]//东南亚地区医学美容学术大会. 东南亚地区医学美容学术大会论文集: 2006 年卷. 杭州: 东南亚地区医学美容学术大会, 2006: 37-41.
- [87] Shaddel, R., Hesari, J., Azadmarddamirchi, S., *et al.* (2018) Use of Gelatin and Gum Arabic for Encapsulation of Black Raspberry Anthocyanins by Complex Coacervation. *International Journal of Biological Macromolecules*, **107**, 1800-1810. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.10.044>
- [88] He, B., Ge, J., Yue, P., *et al.* (2016) Loading of Anthocyanins on Chitosan Nanoparticles Influences Anthocyanin Degradation in Gastrointestinal Fluids and Stability in a Beverage. *Food Chemistry*, **221**, 1671. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.120>

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2166-613X, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>
期刊邮箱: hjfn@hanspub.org