

# 花青素作为饲料添加剂的应用前景

伍树松<sup>1</sup> 贺喜<sup>1</sup> 伍小松<sup>1</sup> 贺建华<sup>1</sup> 侯德兴<sup>1,2\*</sup>

(1. 湖南农业大学饲料安全与高效利用教育部工程研究中心,长沙 410128;2. 日本鹿儿岛大学农学部,日本鹿儿岛 890-0065)

**摘要:** 本文综述了花青素的主要生理功能、花青素在动物体内的吸收和代谢以及国内外一些行之有效的提取工艺及参数,探讨花青素作为饲料添加剂的应用前景,以为花青素在动物饲料中的应用提供参考依据。

**关键词:** 花青素;生理功能;饲料添加剂;提取工艺

**中图分类号:** S816.7

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1006-267X(2011)12-2097-08

花青素(anthocyanidin),又称花色素,其基本的多酚环为2-苯基-苯并吡喃阳离子[C<sub>6</sub>(A环)-C<sub>3</sub>(C环)-C<sub>6</sub>(B环)]构型(图1)<sup>[1]</sup>。自然条件下游离的花青素很少见,常与糖或有机酸结合形成花色苷(anthocyanin),结合的糖主要有葡萄糖、鼠李糖、半乳糖、木糖、阿拉伯糖等<sup>[1]</sup>;结合的有机酸主要有香豆酸、阿魏酸、咖啡酸、对羟基苯甲酸等芳香酸和脂肪酸<sup>[2]</sup>。花色苷属类黄酮类化合物。花青素在植物体内可以和未修饰的无色花青素在无花青素还原酶(LNR)和花青素还原酶(ANR)的作用下生成原花青素(proanthocyanidins,PC)<sup>[3]</sup>,原花青素也叫前花青素,是自然界中广泛存在的一种多酚类聚合物,具有很强的抗氧化能力,在热酸性条件下可分解为花青素单体。花青素结合的取代基团不同,所形成的化合物也多种多样,目前已知的花色苷有500多种<sup>[4]</sup>,但常见的花青素只有6种<sup>[1]</sup>(表1)。

花青素广泛存在于有色水果和蔬菜中,是构成花瓣和果实颜色的主要色素之一<sup>[5]</sup>,在黑莓、蓝莓、越橘、葡萄、红莓、草莓、桑葚、黑豆、红球甘蓝、紫甘薯等蔬菜和水果中均含有较高的花青素<sup>[6]</sup>。花青素能被机体快速吸收,在体内发挥其生理功能,还能通过血脑屏障,直接保护大脑和神经系统<sup>[7]</sup>。目前,花青素主要用于人的保健品,在动物

饲料中的应用很少。本文就国内外研究现状,总结花青素的主要生理功能及其在动物体内的吸收与代谢途径,探讨其应用于动物饲料所能产生的效益和大规模利用的可行性,以为花青素的应用提供参考。

## 1 花青素的主要生理功能

### 1.1 抗氧化功能

研究指出,活性氧攻击细胞和亚细胞膜系统的多烯脂肪酸会导致膜脂过氧化和膜系统的破坏,从而引起一系列的生理生化紊乱,并对一些生物功能性分子造成直接破坏<sup>[8]</sup>。花青素具有很强的抗氧化作用,能清除植物细胞内的氧自由基,从而缓解氧自由基的毒害,是一种很好的氧自由基清除剂和脂质过氧化抑制剂<sup>[9]</sup>。抗氧化是花青素最主要的生理功能,花青素的其他生理功能主要基于其抗氧化活性<sup>[10]</sup>。

国内外许多研究表明,花青素具有很强的抗氧化作用。张俊鸽等<sup>[11]</sup>在研究中人为造成氧化损伤环境,比较PC、维生素C、维生素E提高晶状体抗氧化损伤的能力,发现PC显著优于维生素C和维生素E( $P < 0.05$ )。陈玮等<sup>[12]</sup>研究表明,黑米花青素能显著降低光照致使的大鼠视网膜组织中脂质过氧化终产物丙二醛(MDA)的产生( $P <$

收稿日期:2011-06-07

基金项目:湖南省百人计划创新人才项目(2010)

作者简介:伍树松(1988—),男,湖南新化人,硕士研究生,研究方向为单胃动物营养生理。E-mail: wush688@126.com

\*通讯作者:侯德兴,教授,博士生导师,E-mail: hou@chem.agri.kagoshima-u.ac.jp

0.05),同时能显著提高大鼠视网膜抗氧化酶如超氧化物歧化酶(SOD)和谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)的活性( $P < 0.05$ )。Rivero-peréz等<sup>[13]</sup>发现添加矢车菊花色苷可以预防由 $\text{Cu}^{2+}$ 等金属离子引起的抗坏血酸氧化。Howard等<sup>[14]</sup>指出,花青素通过与金属离子螯合抑制过氧化物的反应,还可以将被氧化脱氢的抗坏血酸盐还原成维生素C,而维生素C可使被氧化的维生素E和巯基恢复成还原型,从而起到间接的抗氧化作用。由此可见,花青素能通过清除体内自由基、影响机体抗氧化酶的活性以及与金属离子结合发挥其抗氧化的生理功能,还可再生维生素C、维生素E等抗氧化剂。

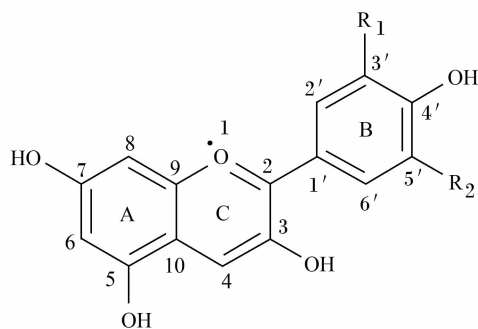


图1 花青素的化学结构

Fig. 1 Chemical structure of anthocyanidins

表1 存在于植物中的几种主要的花青素

Table 1 Major anthocyanidins in plants

名称 Names	简写 Grammalogue	B 环碳 3 键 R <sub>1</sub>	B 环碳 5 键 R <sub>2</sub>	颜色 Color
飞燕草色素 Delphinidin	Dp	OH	OH	蓝-红
矢车菊色素 Cyanidin	Cy	OH	H	橙-红
牵牛花色素 Petunidin	Pt	OCH <sub>3</sub>	OH	蓝-红
芍药色素 Peonidin	Pn	OCH <sub>3</sub>	H	橙-红
锦葵色素 Malvidin	Mv	OCH <sub>3</sub>	OCH <sub>3</sub>	蓝-红
天竺葵色素 Pelargonidin	Pg	H	H	橙

Noda等<sup>[15]</sup>评价了几种主要花青素(Dp、Cy和Pg)的抗氧化能力,发现花青素的羟基体系可与亚铁离子结合,并且能够清除超氧自由基。3种花青素的半数有效浓度(ID<sub>50</sub>)分别为2.4、22.0和456.0 μmol/L。同时,以上3种花青素的化合物还能抑制大鼠脑组织液的脂质过氧化反应,ID<sub>50</sub>分别为0.7、3.5和85.0 μmol/L。由此可见,花青素的抗氧化能力与其B环上的羟基数有关,羟基数

目越多,抗氧化能力则越强。Matsumoto等<sup>[16]</sup>研究表明,花色苷的抗氧化活性与溶液的pH以及糖苷配基(花青素)有关,当pH在6.0~7.0时,花色苷的活性最强;不同糖苷配基形成的花色苷中,以Dp为糖苷配基的花色苷活性最强,这与Noda等<sup>[15]</sup>的结果一致。表2为6种主要花青素在植物可食部分的比例及各自的(水溶性维生素E当量的抗氧化能力值)TEAC<sup>[17-18]</sup>。

表2 6种主要花青素在植物可食部分的比例及其TEAC值

Table 2 The distribution of six anthocyanidins in the edible parts of plants and their TEAC value

名称 Names	比例 Ratio/%	TEAC 值 TEAC value/(mmol/L)
飞燕草色素 Delphinidin	12	4.44 ± 0.11
矢车菊色素 Cyanidin	50	4.40 ± 0.12
牵牛花色素 Petunidin	7	4.38 ± 0.20
芍药色素 Peonidin	12	2.22 ± 0.20
锦葵色素 Malvidin	7	2.10 ± 0.09
天竺葵色素 Pelargonidin	12	1.30 ± 0.10

结合表1和表2可以看出,花青素的抗氧化能力随B环上羟基数目的减少而降低,此外,B环R<sub>1</sub>和R<sub>2</sub>位上的羟基被甲氧基(OCH<sub>3</sub>)取代的花青素

(Pn和Mv)比只有H的Pg抗氧化能力强,说明花青素的B环上的羟基构象与其抗氧化能力也有着密切的关系。Dp的抗氧化活性最强,但是在植物

可食部分中,Cy 的含量最高,因而发挥的抗氧化作用最大。Kong 等<sup>[19]</sup>研究指出矢车菊素-3-葡萄糖苷(C3G)是水果中分布最广泛的花色苷。

## 1.2 抗癌功能

花青素能明显抑制动物结肠癌的发生,且这种抑制作用可能与花青素结构 B 环上的羟基团的数量呈正相关关系。Hou 等<sup>[20]</sup>用 JB6 小鼠表皮细胞探讨花青素抑制癌症发生的分子机制。在小鼠表皮细胞中,促癌物质如 12-O-十四烷酰佛波醋酸酯-13(TPA)、表皮生长因子(EGF)和肿瘤坏死因子- $\alpha$ (TNF- $\alpha$ )等能激活丝裂原活化蛋白激酶(MAPK)从而激活转录活化蛋白(AP-1)并产生致癌性蛋白质,而化学预防剂能抑制 AP-1 的激活和致癌性蛋白质的生产。将经过 TPA 诱导处理的小鼠上皮细胞分别置于 6 种花青素的 0~20  $\mu\text{mol/L}$  的溶液中,发现 Dp、Cy、Pt 均能显著抑制肿瘤转化物质的生成和 AP-1 的激活,但 Pn、Mv、Pg 却没有抑制作用。这说明花青素 B 环上的二羟苯基结构可能与其抗癌功能有关。研究指出,花青素能与蛋白质结合并改变其结构,从而调节代谢途径中的关键酶和蛋白活性,而且能影响氧化还原反应敏感的信号传导途径,改变其基因表达<sup>[21]</sup>。

## 1.3 诱导癌细胞凋亡

研究表明,细胞凋亡在清除严重损伤的细胞和肿瘤细胞中发挥着重要的作用<sup>[22]</sup>。Dai 等<sup>[23]</sup>从黑莓中提取花青素处理体外培养的结肠癌细胞 HT-29,发现花青素在体外可明显抑制其增殖,49.2  $\mu\text{g/mL}$  的花青素作用细胞 72 h 的生长抑制率为 66%,且抑制能力随浓度递增而递增。Huynh 等<sup>[24]</sup>用 PC 处理人体乳腺癌细胞,测得其凋亡数比未处理的同种细胞高的多,而在正常人乳腺细胞样品中,PC 并不明显改变凋亡的数量。表明花青素能有针对性地诱导癌症细胞的凋亡。Hou 等<sup>[25]</sup>用检测抗白血病和抗癌物质的有效模型——人早幼粒白血病 HL-60 细胞来探讨花青素诱导细胞凋亡的机制,当用 100  $\mu\text{mol/L}$  的 6 种不同的花青素处理 HL-60 细胞 6 h 后,发现 Dp、Cy、Pt 均能通过使细胞形态改变和 DNA 变性来诱导细胞凋亡,而 Pn、Mv、Pg 却没有作用。Dp 诱导 HL-60 细胞凋亡的程度与其浓度和处理时间有关,诱导凋亡的最佳条件是 100  $\mu\text{mol/L}$  的 Dp 处理 6 h。机制分析表明 Dp 诱导细胞凋亡与氧化-JNK(c-Jun

氨基末端激酶)信号传导通路有关。从分子结构上的比较可以推断出,花青素诱导凋亡可能与其羟基的数目尤其是 B 环上羟基的数目及结构有关。

## 2 花青素在动物体内的吸收和代谢

### 2.1 花青素的吸收

根据现有研究报道,花青素主要的吸收部位在胃和小肠,但其吸收机制尚不明确。由于胃具有特殊的酸性环境和较小的胃黏膜吸收面积,大多数药物在胃部吸收较差,而花青素却可以快速吸收。Talavera 等<sup>[26]</sup>以灌胃的方式给予大鼠高浓度黑莓花青素后,在大鼠胃静脉和主动脉的血浆中观察到黑莓花青素,且发现约 25% 的花青素单糖苷(葡萄糖苷或半乳糖苷)从胃中吸收。EI Mohsen 等<sup>[27]</sup>在给予大鼠 Pg 2 h 后,测得其总的吸收率为 18%,且大部分位于胃部。研究指出,存在于胃壁上皮细胞的一种有机阴离子转运载体胆移位酶(bilitranslocase)可能参与这种吸收<sup>[28]</sup>。

小肠是绝大多数药物吸收的场所。花青素多以糖苷形式存在,曾经长期认为花色苷为亲水性化合物且相对分子质量较大,口服花色苷不能在小肠吸收,只有被下段肠道的细菌糖苷酶水解成苷元或进一步被降解转化为酚酸后才能被吸收。最近的研究表明,花色苷具有较大的疏水性,可以通过被动扩散直接被小肠吸收。Talavera 等<sup>[29]</sup>采用原位灌注大鼠空回肠法研究发现,花色苷可直接被小肠吸收,且作为糖苷配基的花青素化学结构对其吸收率有很大的影响。除胃和小肠的吸收外,还有大量的花青素进入直肠,因此肠道菌群在花青素的转化和吸收中也起着重要作用。

### 2.2 花青素的代谢

花青素进入动物机体后,迅速被吸收、转运和代谢,大部分可通过羟基的甲基化、与葡萄糖醛酸等有机酸结合成酯而进行代谢,还有小部分以原形排出体外。Talavera 等<sup>[26]</sup>以灌胃的方式给予大鼠高浓度黑莓花青素后,对胆汁样品进行了分析,发现摄入花青素 20 min 后,即在胆汁中观察到花青素原形及其代谢产物。Frank 等<sup>[30]</sup>在 7 位健康志愿者中研究了单体花青素在尿液中的药物动力学。志愿者在饥饿条件下一一次性服用 150 mL 浓缩接骨木果汁(含 3.57 g 总花青素),24 h 尿液中的原形矢车菊素-3,5-二葡萄糖苷、C3G、矢车

菊素 3-接骨木糖苷(C3S)和总花青素分别为摄入剂量的 0.16%、0.06%、0.05% 和 0.06%；尿液中的低排泄率(低于 1%)表明摄入的绝大多数花青素在进入循环前已经代谢。Passamonti 等<sup>[31]</sup>给麻醉的大鼠灌胃 8 mg/kg 纯化的葡萄花青素,混合物在胃中停留了 10 min,检测发现不仅在血浆中[(176.4 ± 50.5) ng/mL],而且在脑中[(192.2 ± 57.5) ng/g]都有花青素,表明葡萄花青素在摄入后几分钟内即可到达大脑。Kalt 等<sup>[7]</sup>在猪的饲料中添加蓝莓粉,饲喂 4 周后,屠宰检测眼、肝脏、大脑皮层和小脑等组织中是否含有花青素,结果发现在以上被检测的组织中,均检测出完整花青素的存在。说明花青素除常规转运外,还可以通过血脑屏障,直接保护大脑免受自由基的损伤。

### 3 花青素对动物生长性能的影响

花青素作为饲料添加剂应用于饲料中,主要作用是促生长、抗炎与提高免疫力,其作用机制可能与花青素的抗氧化和清除自由基的功能有关。有研究指出,花青素对由乙醇、酸、碱所引起的胃黏膜损伤及多种试验性胃溃疡均有较好的保护作用,具有明显的抗溃疡作用<sup>[32]</sup>。此外,花青素能有效促进胃肠道功能,并增加消化腺酶的分泌;促进血红蛋白、血清蛋白的合成,即具有抗贫血和改善蛋白质代谢的作用,从而提高营养物质的利用效率<sup>[33]</sup>。

#### 3.1 提高生长速度

国内外有关花青素促进动物生长的研究较少,但已有报道表明,花青素对动物生长起着较好的促进作用。江立方等<sup>[34]</sup>从松针中提取 PC,将其混合物添加于猪饲料中,与基础饲料进行对照试验,发现添加 300 g/t PC 混合物能显著提高猪的平均日增重( $P < 0.05$ ),并降低料重比。梁卫花<sup>[35]</sup>用添加有花青素添加剂的饲料饲喂肉鸡,与饲喂基础饲料的肉鸡进行对照试验,发现花青素能促进肉鸡的生长,且二者之间差异极显著( $P < 0.01$ )。林荣海等<sup>[33]</sup>也有类似报道,且添加花青素组平均日增重高于添加抗生素组。

#### 3.2 抗炎与提高免疫力

Hou 等<sup>[36]</sup>评价了 5 种花青素(Dp、Cy、Pn、Mv、Pg)在小鼠巨噬细胞中抑制环氧合酶-2(COX-2)表达的能力,发现 Dp 和 Cy 能显著抑制由脂多糖(LPS)诱发的 COX-2 表达( $P < 0.05$ ),

但 Pn、Mv、Pg 却不具有抑制能力。这说明花青素 B 环上的正二羟苯基结构跟这种抑制能力有关。免疫印迹法分析表明 Dp 能减少抑制蛋白- $\alpha$ (IkB $\alpha$ )的降解、CCAAT 增强子结合蛋白  $\delta$ (C/EBP $\delta$ )和 p65 蛋白的核转移以及 c-Jun 蛋白的磷酸化。此外,Dp 还能抑制丝裂原活化蛋白激酶(MAPK)的活化,包括 JNK、胞外信号调节激酶(ERK)和 p38 激酶,来防止 LPS 诱发的 COX-2 表达。这说明 LPS 通过活化 MAPK 从而诱导 COX-2 表达,而 Dp 能阻碍 MAPK 介导的信号通路。这是首次对具有正二羟苯基结构的花青素的抗炎分子机制做了阐述。

何颖辉等<sup>[37]</sup>在研究樱桃花青素苷对佐剂性关节炎大鼠免疫功能和炎症因子的影响时指出,樱桃花青素苷对佐剂性关节炎大鼠模型的 T 淋巴细胞亚群和免疫功能有调节作用,并能显著降低炎症细胞因子白介素 6(IL-6)水平,从而减轻大鼠的关节炎损伤。梁卫花<sup>[35]</sup>研究从松针中提取出的 PC 对肉仔鸡增重和免疫作用的影响,发现饲喂添加花青素饲料组的 T 淋巴细胞总数大于对照组( $P < 0.01$ ),而且花青素能显著增强白细胞的吞噬功能( $P < 0.05$ )。张海晖等<sup>[38]</sup>研究莲房原花青素对小鼠免疫功能的影响,发现 PC 可以提高免疫器官(胸腺、脾脏)的增长指数,并且具有抗体生成能力;当 PC 的给药剂量为 90 mg/kg 时表现为差异显著( $P < 0.05$ ),120 mg/kg 时差异极显著( $P < 0.01$ )。以上结果均表明,在动物饲料中添加花青素能提高动物的非特异性免疫能力,从而提高动物健康水平。

综上所述,在动物饲料中添加花青素,能起到促生长、抗炎和提高动物免疫力的作用。但目前实证还不够充分,无法具体阐述花青素对动物生产性能的影响,需要进一步重复试验。

### 4 花青素的提取工艺

花青素能否大规模利用,关键在于其提取工艺,近年来,国内外不少研究者对花青素的浸提参数进行反复比较,得出从不同植物中提取花青素的最佳工艺参数,为花青素的提取提供了有效的参照。乙醇浸提法是国内用的最多,也是较简单而有效的提取方法,适合大规模提取,但提取所需时间相对较长,且花青素损耗较多。表 3 为不同植物花青素的乙醇浸提法最佳提取参数。

表3 花青素的浸提最佳工艺参数  
Table 3 Optimal processing parameters of anthocyanins extraction

材料 Materials	溶剂 Solvent	料液比 Solid:Liquid	温度 Temperature /℃	pH	提取时间 Extraction time/min	提取率 Extraction ratio/%	研究者 Researchers
蓝莓果 Blueberry	50% 乙醇	ND	50	3.5	60	5.80	王兆雨等 <sup>[39]</sup>
黑莓籽 Blackberry seed	70% 乙醇	1:6	60	4.5	80	4.81	李莹等 <sup>[40]</sup>
紫甘薯皮 Purple sweet potato peel	70% 乙醇	1:10	80	6.0	120	1.40	黄琼等 <sup>[41]</sup>
红松树皮 Pinus koraiensis bark	60% 乙醇	1:7	50	ND	60	9.84	宋应华等 <sup>[42]</sup>
高粱种皮 Kaoliang hull	60% 乙醇	1:20	70	ND	90	4.14	孔庆新等 <sup>[43]</sup>
油菜籽皮 Rapeseed hull	70% 乙醇	1:7	ND	ND	60	2.90	吴娟等 <sup>[44]</sup>

ND 表示研究者未提供相关参数。ND means that researchers had not provide correlation parameters.

从表3可以看出,提取的原材料不同,提取工艺的最佳参数也不同,这可能与各种植物中花青素的结构不同有关。提取花青素的乙醇溶液浓度并不是越高越好,这主要因为水起着穿透植物组织细胞的作用,如果溶剂中水的含量过低,会导致花青素的渗出量降低,从而影响提取率。一般来说,溶剂的用量越大,提取量越大,但是过高的料液比会造成溶剂的浪费,并给后面的浓缩带来困难。从理论上来看,温度越高,分子运动速率越快,花青素渗透、扩散、溶解速度也越快,因而提取率愈高;但花青素极易氧化,温度越高,花青素的酚结构被破坏的程度越大,活性成分损失就越多,而且高温下固体原料本身会起化学变化,从而使杂质过多。花青素的浸提时间需要把握恰当,时间过短会造成提取不完全,时间过长则造成杂质的增多和有效成分的损失。

花青素提取方法的改进也是提高花青素的提取率的有效途径。近年来不少研究者发现了许多新的提取方法,与传统方法相比,其提取率和纯度均有很大提高。Lopes 等<sup>[45]</sup>采用一种活性黏土(tonsil terrana 580 FF)吸附法对甘蓝中的花青素进行了分离纯化,与 Amberlite 柱层析 XAD-7 提取法相比,花青素的提取率提高了大约 21%。Corrales 等<sup>[46]</sup>采用不同的提取方式对葡萄中花青素的提取率进行了比较研究,发现相同条件下,高压

(600 MPa)辅助提取或超声波辅助提取花青素等多酚类的提取率可以比热提取法(70 ℃)提高近 50%,且其产物的抗氧化活性约为热浸提物的 3 倍。Sun 等<sup>[47]</sup>用微波辅助提取法,用盐酸和乙醇的混合液做提取溶液,在 1.5 mol/L 的盐酸溶液与 95% 的乙醇比例为 15:85 的条件下,最佳提取参数为微波功率 366 W,料液比 1:4,温度 55 ℃,提取时间 12 min。

## 5 小 结

随着我国生活水平的不断提高,人们对动物产品的安全性日益重视,尤其近年屡次发生的违禁动物饲料添加剂事件,使人们谈肉色变。到目前为止,尚没有花青素给动物机体带来有害影响或添加过量以致造成中毒的报道。由此可见,花青素作为饲料添加剂,不仅能提高动物生产性能,还是一类纯天然、无残留、无污染的天然产物添加剂,此类饲料添加剂正是未来饲料行业发展的必然趋势。此外,花青素在植物果实的皮中含量最高,而大多数植物果实的皮(如紫甘薯、茄子等)是不食用的,因此从果实的皮中提取花青素可以达到废物利用。近期不少研究发现松针等来源广泛的植物中也含有较高花青素,这为花青素的大规模使用提供了条件。进一步拓展花青素的原料来源,探明花青素在机体内作用的分子机制,总结花

青素简单有效而成本低廉的提取方法将是决定花青素能否大规模应用的关键。

### 参考文献:

- [ 1 ] HOU D X. Potential mechanisms of cancer chemoprevention by anthocyanins [ J ]. *Current Molecular Medicine*, 2003, 3(2):149 – 159.
- [ 2 ] ESCRIBANO-BAILON M T, SANTOS-BUELGA C, RIVAS-GONZALO J C. Anthocyanins in cereals [ J ]. *Journal of Chromatography A*, 2004, 1054: 129 – 141.
- [ 3 ] BOGS J, JAFFE F W, TAKOS A M, et al. The grapevine transcription factor VvMYBPA1 regulates proanthocyanidin synthesis during fruit development [ J ]. *Plant Physiology*, 2007, 143(3):1347 – 1361.
- [ 4 ] ANDERSEN M, MARKHAM K R. *Flavonoids: chemistry, biochemistry and applications* [ M ]. Boca Raton, USA: CRC Press LLC, 2006.
- [ 5 ] TAKOS A M, JAFFE F W, JACOB S R, et al. Light-induced expression of a MYB gene regulates anthocyanin biosynthesis in red apples [ J ]. *Plant Physiology*, 2006, 142:1216 – 1232.
- [ 6 ] WU X L, BEECHER G R, JOANNE M, et al. Concentrations of anthocyanins in common foods in the United States and estimation of normal consumption [ J ]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2006, 54:4069 – 4075.
- [ 7 ] KALT W, JEFFREY B, BLUMBER G, et al. Identification of anthocyanins in the liver, eye, and brain of blueberry-fed pigs [ J ]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2008, 56:705 – 712.
- [ 8 ] CHO U, SEO N. Oxidative stress in *Arabidopsis thaliana* exposed to cadmium is due to hydrogen peroxide accumulation [ J ]. *Plant Science*, 2004, 168: 113 – 120.
- [ 9 ] NEILL S O, GOULD K S, KILMARTIN P A, et al. Antioxidant activities of red versus green leaves in *Elatostema rugosum* [ J ]. *Plant, Cell and Environment*, 2002, 25:539 – 547.
- [ 10 ] KONDO K, KURIHARA M, MIYATA N, et al. Mechanistic studies of catechins as antioxidants against radical oxidation [ J ]. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 1999, 362(1):79 – 86.
- [ 11 ] 张俊鸽, 李平华. 原花青素抗晶状体氧化损伤的实验研究 [ J ]. *重庆医科大学学报*, 2007, 32(4):387 – 391.
- [ 12 ] 陈玮, 凌文华, 李茂全, 等. 黑米花青素在大鼠视网膜光化学损伤中的抗氧化作用研究 [ J ]. *营养学报*, 2010, 32(4):341 – 349.
- [ 13 ] RIVERO-PERÉZ M D, MUNIZ P, GONZALEZ-SANJOSE M L. Contribution of anthocyanin fraction to the antioxidant properties of wine [ J ]. *Food and Chemical Toxicology*, 2008, 46(8):2815 – 2522.
- [ 14 ] HOWARD M M, GARY R B. Measurement of food flavonoids by high-performance liquid chromatography: a review [ J ]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2000, 48(3):577 – 599.
- [ 15 ] NODA Y, KANEYUKI T, MORI A, et al. Antioxidant activities of pomegranate fruit extract and its anthocyanidins: delphinidin, cyanidin, and pelargonidin [ J ]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2002, 50(1):166 – 171.
- [ 16 ] MATSUMOTO H, NAKAMURA Y, HIRAYAMA M, et al. Antioxidant activity of black currant anthocyanin aglycons and their glycosides measured by chemiluminescence in a neutral pH region and in human plasma [ J ]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2002, 50(18):5034 – 5037.
- [ 17 ] PASCUAL-TERESA S D, SANCHEZ-BALLESTA M T. Anthocyanins: from plant to health [ J ]. *Phytochemistry Reviews*, 2008, 7(2):281 – 299.
- [ 18 ] 凌关庭. 氧化·疾病·抗氧化(三十三) [ J ]. *粮食与油脂*, 2006, 5:49 – 52.
- [ 19 ] KONG J M, CHIA L S, GOH N K, et al. Analysis and biological activities of anthocyanins [ J ]. *Phytochemistry*, 2003, 64:923 – 933.
- [ 20 ] HOU D X, KAI K, LI J J, et al. Anthocyanidins inhibit activator protein 1 activity and cell transformation: structure-activity relationship and molecular mechanisms [ J ]. *Carcinogenesis*, 2004, 25(1): 29 – 36.
- [ 21 ] SIMONETTI P, CIAPPELLANO S, GARDANA C, et al. Procyanidins from *Vitis vinifera* seeds; *in vivo* effects on oxidative stress [ J ]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2002, 50(21):6217 – 6221.
- [ 22 ] GALATI G, TENG S, MORIDANI M Y, et al. Cancer chemoprevention and apoptosis mechanisms induced by dietary polyphenolics [ J ]. *Drug Metabolism and Drug Interact*, 2000, 17(1/2/3/4): 311 – 349.
- [ 23 ] DAI J, PATEL J D, MUMPER R J. Characterization of blackberry extract and its antiproliferative and anti-inflammatory properties [ J ]. *Journal of Medicinal Food*, 2007, 10(2):258 – 265.

- [24] HUYNH H T, TELL R W. Selective induction of apoptosis in human mammary cancer cells (MCF-7) by pycnogenol[J]. *Anticancer Research*, 2000, 20(4): 2417-2420.
- [25] HOU D X, OSE T, LIN S, et al. Anthocyanidins induce apoptosis in human promyelocytic leukemia cells; structure-activity relationship and mechanisms involved[J]. *International Journal of Oncology*, 2003, 23(3): 705-712.
- [26] TALAVERA S, FELGINES C, TEXIER O, et al. Anthocyanins are efficiently absorbed from the stomach in anesthetized rats[J]. *Journal of Nutrient Metabolism*, 2003, 133(12): 4178-4182.
- [27] EI MOHSEN M A, MAKS J, KUHNLE G, et al. Absorption tissue distribution and excretion of pelargonidin and its metabolites following oral administration to rats[J]. *British Journal of Nutrition*, 2006, 95(1): 51-58.
- [28] PASSAMONTI S, VRHOVSEK U, VANZO A, et al. The stomach as a site of anthocyanins adsorption from food[J]. *FEBS Letters*, 2003, 544: 210-213.
- [29] TALAVERA S, FELGINES C, TEXIER O, et al. Anthocyanins are efficiently absorbed from the small intestine in rats[J]. *Journal of Nutrient Metabolism*, 2004, 134(9): 2275-2279.
- [30] FRANK T, SONNTAG S, STRASS G, et al. Urinary pharmacokinetics of cyanidin glycosides in healthy young men following consumption of elderberry juice[J]. *International Journal of Clinical Pharmacology Research*, 2005, 25(2): 47-56.
- [31] PASSAMONTI S, VRHOVSEK U, VANZO A, et al. Fast access of some grape pigments to the brain[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2005, 53(18): 7029-7034.
- [32] 陈佳铭, 林荣海, 黄顺捷, 等. 前花青素饲料添加剂增强断奶仔猪免疫力的试验研究[J]. *中兽医学杂志*, 2009(增刊): 58-62.
- [33] 林荣海, 陈佳铭, 黄顺捷, 等. 前花青素饲料添加剂促进断奶仔猪生长增重的试验研究[C]//福建省农业工程学会 2009 年学术年会论文集. 福州: 福建省农业工程学会, 2009: 48-51.
- [34] 江立方, 吴德峰, 张国华. “前花青素”饲料添加剂饲喂肉猪试验[J]. *上海畜牧兽医通讯*, 2005(6): 21.
- [35] 梁卫花. 松针提取物(前花青素)对肉仔鸡增重和免疫作用的试验研究[D]. 硕士学位论文. 福州: 福建农林大学, 2009.
- [36] HOU D X, YANAGITA T, UTO T, et al. Anthocyanidins inhibit cyclooxygenase-2 expression in LPS-evoked macrophages: structure-activity relationship and molecular mechanisms involved[J]. *Biochemical Pharmacology* 2005, 70(3): 417-425.
- [37] 何颖辉, 周静, 王跃生, 等. 樱桃花青素苷对佐剂性关节炎大鼠免疫功能和炎症因子的影响[J]. *中草药*, 2005, 06: 874-878.
- [38] 张海晖, 段玉清, 邓乾春, 等. 莲房原花青素对小鼠 S180 肉瘤及其免疫功能影响的研究[J]. *食品科学*, 2005, 26(11): 220-223.
- [39] 王兆雨, 徐美玲, 朱蓓薇. 蓝莓花青素的提取工艺条件[J]. *大连轻工业学院学报*, 2007, 26(3): 196-198.
- [40] 李莹, 朱丹宇, 周剑忠. 黑莓籽中原花青素的提取[J]. *江苏农业科学*, 2009(3): 315-317.
- [41] 黄琼, 陈婵, 彭宏. 紫色甘薯皮中原花青素提取工艺研究[J]. *江西农业学报*, 2009, 21(7): 130-133.
- [42] 宋应华, 陶冶, 罗小武. 红松树皮中原花青素提取工艺研究[J]. *天然产物研究与开发*, 2010, 22: 339-342.
- [43] 孔庆新, 祝冬青. 高粱种皮中原花青素的提取及其活性研究[J]. *粮食与饲料工业*, 2010(1): 25-32.
- [44] 吴娟, 魏和平, 许远. 油菜籽皮中原花青素的提取及稳定性分析[J]. *中国油脂*, 2010, 35(3): 67-69.
- [45] LOPES T J, QUADRI M G N, QUADRI M B. Recovery of anthocyanins from red cabbage using sandy porous medium enriched with clay[J]. *Applied Clay Science*, 2007, 37(1/2): 97-106.
- [46] CORRALES M, TOEPFL S, BUTZ P, et al. Extraction of anthocyanins from grape by-products assisted by ultrasonics high hydrostatic pressure or pulsed electric fields: a comparison[J]. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2008, 9(1): 85-91.
- [47] SUN Y Z, LIAO X J, WANG Z F, et al. Optimization of microwave-assisted extraction of anthocyanins in red raspberries and identification of anthocyanins of extracts using high-performance liquid chromatography-mass spectrometry[J]. *European Food Research and Technology*, 2007, 225(3/4): 511-523.

## The Use of Anthocyanins as a Feed Additive

WU Shusong<sup>1</sup> HE Xi<sup>1</sup> WU Xiaosong<sup>1</sup> HE Jianhua<sup>1</sup> HOU Dexing<sup>1,2\*</sup>

(1. *Engineering Research Center of Feed Safety and Efficient Utilization, Ministry of Education, Changsha 410128, China;*

2. *Department of Biochemical Science and Technology, Faculty of Agriculture, Kagoshima University, Kagoshima 890-0065, Japan*)

**Abstract:** This paper reviewed primary physiological functions, absorption and metabolism of anthocyanins, as well as influences of anthocyanins as feed additives on animal immunity and production performance. The latest effective extraction processes for anthocyanins are also summarized. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2011, 23(12):2097-2104]

**Key words:** anthocyanins; physiological function; feed additive; extracting process

\* Corresponding author, professor, E-mail: hou@chem.agri.kagoshima-u.ac.jp