

DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.031968

引用格式:全文彬,纪昊焱,麦梓锋,等.花青素对眼部保护作用及其机制的研究进展[J].食品与发酵工业,2022,48(19):304-312.
 QUAN Wenbin, JI Haoyao, MAI Zifeng, et al. Research advances in the protective effects of anthocyanins on eyes and their mechanisms[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(19):304-312.

花青素对眼部保护作用及其机制的研究进展

全文彬,纪昊焱,麦梓锋,王娟*

(华南理工大学 食品科学与工程学院,广东 广州,510641)

摘要 花青素是一类广泛存在于植物中的天然色素,研究表明,花青素有助于改善眼部健康问题。该文综述了花青素的化学性质、结构及其在主要眼部疾病如青光眼、白内障、视疲劳、近视等的作用,并从抗氧化、抗炎、促进视紫红质再生、松弛睫状肌等方面对花青素的眼部保护作用机制进行探讨,以期在花青素的应用提供参考。

关键词 花青素;眼部健康;保护作用机制

随着信息技术的不断发展和电子产品的加速普及,人们接触电脑、手机等各类电子产品的时间正不断延长,由此带来的眼部健康问题也日益严重。2019年,全球有22亿人患有各种程度的视力障碍^[1],根据相关预测,到2050年,全球失明人口将达到6100万,4.74亿人患有中度及重度视力障碍^[2]。在中国此类问题更为严重。2019年,全国患有眼病的人数为全球第一,接近2.1亿^[3]。加之教育现代化的推进和经济情况的改善,中国青少年将更多地接触电子屏幕,关于青少年的近视和视疲劳的调查结果不容乐观^[4-6]。除此之外,一些慢性病带来的并发症也会对眼部造成不良的影响^[7],这使得眼部问题愈发常见且棘手。由此可见,眼部相关的健康问题需要得到更大的关注。

花青素是一类水溶性天然色素,主要存在于植物中,与水果、蔬菜和花卉中的大部分主要呈色物质相关,在食品、医药、化妆品等领域有广泛的应用。花青素已被证明具有多种生物活性,包括抗氧化、抗炎、抑菌等^[8],并且对心血管疾病^[9]、眼部疾病^[10]、神经退行性疾病^[11]、癌症^[12]等有所帮助,所以花青素正逐渐成为与人类健康相关的重要成分之一。

本文重点就花青素对眼部疾病的保护作用及其作用机制等方面的研究情况进行综述,以期为后续研究和推广花青素提供参考。

1 花青素的化学结构和来源

花青素属于黄酮类化合物,它的基本结构是带有

羟基或甲氧基的2-苯基苯并吡喃环^[13]。自然状态下花青素以糖苷形式存在,又称花色苷,常见的糖基包括葡萄糖、鼠李糖、半乳糖、木糖和阿拉伯糖^[14]。迄今为止,已经在自然界中鉴定出大约700种不同结构的花色苷,已被鉴定的花青素也近30种^[15],其中有6种花青素在高等植物中较为常见,分别是天竺葵色素、矢车菊色素、飞燕草色素、芍药色素、牵牛花色苷和锦葵色素^[16],它们各自的结构如图1所示。

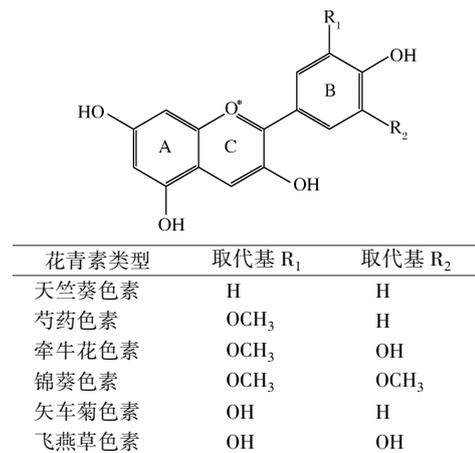


图1 常见花青素的结构^[21]

Fig. 1 Structures of anthocyanidins^[21]

花青素可在不同pH值下呈现不同的结构形式,如图2所示,酸性环境下为黄烺盐呈红色,在pH偏碱性时为醌式结构呈蓝色,碱性继续增强形成的拟碱式和查耳酮式呈无色^[17-18]。花青素在植物中广泛存在,其中黑枸杞、蓝莓、黑桑葚、黑葡萄、紫甘蓝、黑果等深色植物都是花青素的良好来源^[19-20]。

第一作者:本科生(王娟副研究员为通信作者, E-mail: wangjuan@scut.edu.cn)

基金项目:国家级大学生创新创业训练计划项目(202110561128)

收稿日期:2022-04-15, 改回日期:2022-05-24

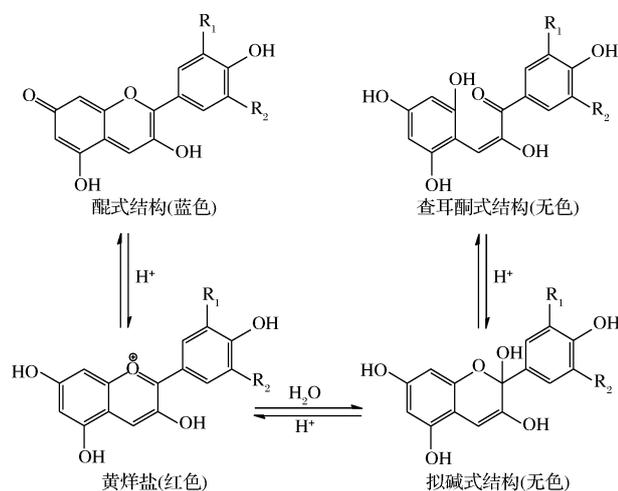


图2 不同 pH 下花青素结构和颜色的变化情况^[14]

Fig.2 Structures and colors of anthocyanidins at different pH^[14]

2 花青素对眼部健康的影响

2.1 花青素对视疲劳的作用

视疲劳常指人在执行超负荷的视觉活动后出现的不良症状,包括头痛、视力模糊、眼干、畏光等^[22]。随着电子屏幕更多地出现在生活中,视疲劳越来越常见。相关研究表明,花青素对视疲劳有一定的缓解作用,能够改善相关症状。有视疲劳症状的受试者连续 30 d 口服花青素饮料,结果表明受试组的眼痛、畏光等症状的有效改善率以及明视持久度显著高于对照组^[23]。SEKIKAWA 等^[24]的实验发现受试者在服用含越橘花青素的胶囊达 6 周后,瞳孔反应得到了改善。花青素与其他对视疲劳有改善作用的营养素复合使用,也表现出了较好的效果。黄宗锈等^[25]比较了受试者服用含花青素与维生素 A 的复方胶囊前后的眼部症状(眼胀、视物模糊、眼干涩等)和明视持久度,服用 35 d 后,受试者的相关指标有明显改善。不仅如此,花青素和叶黄素共同使用时可减轻眼胀、眼痛、畏光等症状^[26-27]。KAWABATA 等^[28]进行的实验显示鱼油、叶黄素和花青素共同使用 4 周可起到上述类似的作用。目前针对花青素对视疲劳的作用的研究主要集中于健康或具有视疲劳症状的人群,具体作用机制仍不明确,这可能与视疲劳的影响因素较多,相互关系较复杂有关。注意到这些研究中所检测的安全性指标均在正常范围之内,说明花青素单独或复合作用于人体时,在保证安全性的前提下,具有较好的抗视疲劳作用。

2.2 花青素对近视的作用

近视是指当眼部放松时,光线平行于眼部轴线进入眼睛,经过折射聚焦于视网膜前的现象^[29]。近视对青少年人群的视力影响极大。花青素对于近视的作用已在多种动物模型中有所体现。有学者^[30-31]分别用越橘花青素和黑果枸杞花青素对豚鼠建立形觉剥夺性近视模型,结果表明花青素可减缓眼轴变长和屈光度向近视漂移,使巩膜胶原排列相对紧密、整齐,表现出对近视的抑制作用。也有研究对雏鸡分别建立了形觉剥夺性近视模型和光学离焦性近视模型,发现黑加仑花青素能够减缓雏鸡眼球长度的增加,从而抑制雏鸡近视的恶化,但不同结构的花青素对不同近视模型的效果呈现出一定的差异^[32]。花青素不仅在近视动物模型中表现出具有减缓眼轴变长的效果,还已经在基于人体的研究中展现出对屈光不正的改善作用。有研究^[33-34]发现蓝莓花青素和黑果枸杞花青素可明显改善青少年的视力,降低屈光度,进而缓解近视的发展。由此可见,不同来源的花青素在不同的研究模型中都表现出改善近视的效果,说明花青素有成为相关保健食品成分的潜质。

2.3 花青素对视网膜的作用

长时间或过强的光照可能会对视网膜造成损伤,随着光的波长、强度和照射方式的不同,对视网膜的损伤也有所不同^[35]。除此之外,一些慢性病如糖尿病等也会诱发视网膜的病变^[36]。

多种来源的花青素被认为对视网膜损伤有保护作用。陈玮等^[37]的实验表明黑米花青素可以抑制光诱导的大鼠视网膜脂质过氧化,提高抗氧化酶的活性。同时,通过对大鼠的视觉电生理检查和组织形态学观察,也发现黑米花青素对视网膜光损伤有保护效果^[38]。还有研究表明蓝莓花青素可抑制视网膜色素上皮细胞的衰老和凋亡,下调血管内皮生长因子(vascular endothelial growth factor, VEGF)的水平,提高视网膜细胞总蛋白含量,增加细胞外核层厚度,对视网膜光损伤有保护作用^[39]。

花青素除了对视网膜光损伤有保护作用外,对化学诱导的视网膜损伤也有效果。KIM 等^[40]发现黑豆花青素可显著降低小鼠视网膜中由 *N*-甲基-*N*-亚硝基脲(*N*-methyl-*N*-nitrosourea, MNU)引发的神经胶质纤维酸性蛋白(glial fibrillary acidic protein, GFAP)和巢蛋白的上调,促进视紫红质的表达。此外,蓝莓花

青素对糖尿病视网膜病变有潜在预防作用。研究表明蓝莓花青素可抑制糖尿病视网膜损伤导致的活性氧(reactive oxygen species, ROS)的增加,提高抗氧化酶的活性,降低 VEGF 和白细胞介素 1 β (interleukin-1, IL-1 β)水平^[41-42]。由此看出,花青素对视网膜光损伤和化学诱导损伤的保护机制大致接近,抗氧化和抗炎效果显著,体现出花青素能够预防视网膜光损伤和糖尿病视网膜病变等疾病,减缓损伤和病变的发展。

2.4 花青素对青光眼的作用

青光眼被视为一种与视神经结构性损伤和多种病理过程导致的视觉功能障碍相关的视神经病变^[43]。青光眼是较为常见的眼部疾病,对人类危害极大,可导致人类失明,根据预测,至 2040 年,全球将有 1.118 亿青光眼患者^[44]。花青素常被认为有助于青光眼的治疗。眼压升高是青光眼的常见症状^[45]。OHGURO 等^[46]对开角型青光眼患者进行了长达 24 个月的研究,发现花青素能降低患者眼内压,抑制青光眼的恶化。YOSHIDA 等^[47]进行的临床实验表明花青素干预能够提高开角型青光眼患者的血清内皮素-1 的浓度,使其恢复正常水平,对青光眼有防护效果。具体而言,花青素对开角型青光眼的一种特殊类型——正常眼压性青光眼有保护效果。有学者探究了口服花青素对正常眼压性青光眼的效果,患者持续 6 个月的实验结果显示,口服花青素可增加眼部血流量,从而有助于正常眼压性青光眼的治疗^[48]。SHIM 等^[49]发现,经过花青素治疗的正常眼压性青光眼患者的最佳矫正视力和 Humphrey Visual Field 测试的平均偏差均得到了改善。由此可见,花青素可以降低患者眼内压^[46],增加青光眼患者眼部血流量^[48]和改善视觉功能^[49],对于正常眼压性青光眼具有一定的治疗效果,但考虑到部分临床研究在开角型青光眼患者的筛选上对眼压有一定限制要求,因此花青素对高眼压开角型青光眼的效果仍有待进一步确认,同时,目前针对花青素对闭角型青光眼的临床研究较少,相关作用仍不明确。

2.5 花青素对白内障的作用

白内障是人类常见的眼病之一,在老年人群中频发,其发病机制与各种因素导致的晶状体蛋白质变性有关^[50]。多种研究模型已被建立,说明花青素能够保护晶状体,从而对于白内障有抑制作用。MORIMITSU 等^[51]将雄性大鼠的晶状体置于高糖环境下培

养,从而模拟糖尿病引发的白内障,实验发现花青素可以减缓晶状体变浑,表现出对白内障的潜在抑制作用。ZHANG 等^[52]用亚硒酸盐诱导大鼠产生白内障,使用花青素后,大鼠晶状体中的超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)和过氧化氢酶(catalase, CAT)活性都显著提高,说明花青素可能通过抗氧化的方式,阻止白内障恶化。还有研究表明黑豆花青素会抑制大鼠晶状体上皮细胞(lens epithelial cells, LECs)的增殖和迁移,促进 LECs 的凋亡^[53]。花青素对人 LECs 除了有上述的效果外,还可抑制上皮间充质转化,有助于减缓白内障发生^[54]。总而言之,花青素能够减缓晶状体浑浊的发展,减小氧化损伤,抑制 LECs 增殖迁移和间充质转化,从而抑制白内障的发展。

3 花青素对眼部健康的影响机制

3.1 抗氧化

由于多种眼病的发病机制与氧化损伤相关,所以花青素对于眼部的保护作用常被认为与其抗氧化能力有关。花青素的抗氧化作用已在多种眼部相关的模型中有所体现。杨剑洁^[55]令小鼠接受电脑电磁辐射,并用蓝莓花青素进行干预,发现蓝莓花青素可以降低小鼠视网膜丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量,减缓过氧化物歧化酶活性的下降,从而减轻电磁辐射对小鼠视网膜的损伤。对 H₂O₂ 氧化损伤的人体视网膜色素上皮细胞-19(adult retinal pigment epithelial cell line-19, ARPE-19)模型的研究也发现了相似的效果,结果表明,加入花青素后,ROS 和脂质过氧化产物 MDA 的水平大幅减少,细胞活力和 SOD、CAT 和谷胱甘肽过氧化物酶(glutathione peroxidase, GSH-Px)含量均有不同程度地提高^[56],表现出较好的抗氧化能力。其他研究显示花青素还可以清除 DPPH、烷基和·OH 自由基^[57]。花青素的抗氧化作用对不同原因造成的氧化损伤也有效果。WANG 等^[58]的研究显示越橘花青素能降低光氧化损伤的 ARPE-19 细胞的 ROS 水平,并且促进与抗氧化相关的血红素加氧酶-1(heme oxygenase-1, HO-1)的表达。目前来看,花青素有助于抑制脂质过氧化,增强抗氧化酶活性,清除自由基,进而降低外界对眼部的氧化损伤,因此抗氧化可能是花青素发挥眼部保护作用的重要机制之一。花青素通过抗氧化保护眼部的作用和机制如表 1 所示。

表1 花青素在眼部的抗氧化作用和机制

Table 1 The antioxidative effects and mechanisms of anthocyanins on eyes

研究对象	样品及剂量	保护作用	保护机制	参考文献
雄性 Sprague-Dawley 大鼠视网膜	600 mg/(kg BW · d) 野樱莓提取物灌胃 28 d	防护碘酸钠诱导的视网膜损伤	降低 MDA 含量, α 晶体蛋白 A 链、 β 晶体蛋白 B2、 β 晶体蛋白 A3、 α 晶体蛋白 B 链和 γ 晶体蛋白 S 表达量增加	[59]
Sprague-Dawley 大鼠视网膜	100 mg BRACs/(kg BW · d) 黑米花青素灌胃 15 d	防护视网膜光损伤	降低 MDA 含量, 提升 SOD、GSH-Px 活性	[37]
Sprague-Dawley 大鼠视网膜	125、250、500 mg/(kg · d) 蓝莓花色苷提取物, 累计灌胃 13 d	预防视网膜光损伤	提高 SOD、GSH-Px 的活性, 降低 MDA 含量, LDH 活性无明显差异	[60]
APRE-19 细胞	125、250 和 500 μ g/mL 野樱莓花色苷提取物处理后培养 48 h	抑制 H_2O_2 诱导产生的视网膜损伤	降低 ROS 水平, 降低 caspase-3 活性, 降低细胞凋亡率	[61]
APRE-19 细胞	蓝莓花青素提取物质量浓度为 1、5、10 mg/L, 保护时间为 6、24 h; 锦葵色素、锦葵色素-3-葡萄糖苷、锦葵色素-3-半乳糖苷质量浓度为 5 mg/L, 保护时间为 6 h	抑制 H_2O_2 诱导产生的视网膜损伤	ROS 水平下降	[62]
APRE-19 细胞	蓝莓花青素提取物、锦葵色素、锦葵色素-3-葡萄糖苷、锦葵色素-3-半乳糖苷质量浓度为 5 μ g/mL, 保护时间为 6 h	抑制 H_2O_2 诱导产生的视网膜损伤	降低 ROS、MDA 水平, 提高 GSH-Px 活性, 锦葵色素和锦葵色素-3-葡萄糖苷可提高 SOD 活性, 锦葵色素和锦葵色素-3-半乳糖苷可提高 CAT 活性	[56]
人体视网膜毛细血管内皮细胞	10 μ g/mL 蓝莓花青素提取物, 锦葵色素、锦葵色素-3-葡萄糖苷, 或锦葵色素-3-半乳糖苷 处理 24 h	预防糖尿病诱导的视网膜病变	降低 ROS, 提高 CAT、SOD 活性	[42]
人晶状体上皮细胞	1、10、100 μ g/mL 花青素溶液处理 12 或 24 h	治疗白内障	降低 ROS 和 MDA 水平, 提高 SOD、GSH-Px 活性, 增加氧化型谷胱甘肽含量, 降低 Ca^{2+} 荧光强度, 增加 α -crystallin 表达量	[54]

3.2 抗炎

炎症是机体对感染或非感染因素, 以免疫机制为基础损伤组织的病理现象^[63], 因此抗炎是治疗疾病的重要方式。在部分研究中, 花青素表现出具有在眼部较好的抗炎活性。核转录因子 NF- κ B 在炎症反应和免疫应答中发挥重要作用, NF- κ B 的活化与青光眼、白内障、眼底病等眼部疾病相关^[64]。WANG 等^[58]的研究表明越橘花青素可以降低兔视网膜中白细胞介素-6 (interleukin-6, IL-6) 的水平, 抑制光诱导的 NF- κ B mRNA 的增加。还有研究发现蓝莓花青素可抑制 NF- κ B 信号通路, 使 NO 和细胞间黏附分子-1 (intercellular cell adhesion molecule-1, ICAM-1) 水平下降^[42]。但也有研究得出了相反的结论, 余小平等^[65]探究发现光照会使大鼠视网膜 NF- κ B p50/p65 mRNA 表达下降, NF- κ B p50/p65 蛋白明显减少, 采用黑米花青素干预可以促进 NF- κ B p50/p65 mRNA 和蛋白增多。NF- κ B 的激活会上调 IL-6、ICAM-1 等的表达, 而它们也能够进一步活化 NF- κ B, 使炎症反应愈发严重, 因此花青素在此方面可有效抑制 NF- κ B 调节的靶蛋白的表达, 但具体对于该信号通路的抑制机制仍不明确。花青素不仅能调控 NF- κ B 信号通路, 还能控制炎症因子的含量, 从而对其他信号通路

如 STAT3、Nrf2/HO-1 等造成影响。MIYAKE 等^[66]的实验结果表明越橘花青素可以抑制信号传导蛋白和转录激活物 (signal transducer and activator of transcription 3, STAT3) 的活化, 这可能与 IL-6 表达减少相关, 从而有助于减缓视紫红质的降解。SONG 等^[41]的研究发现蓝莓花青素可以降低糖尿病大鼠视网膜中 VEGF 和 IL-1 β 的水平, 并增强核因子 NF-E2 相关因子 (nuclear factor-erythroid 2, Nrf2) 和 HO-1 的表达。蓝莓花青素还可抑制蛋白激酶 B (Akt) 的表达, 降低内皮型一氧化氮合酶 (endothelial nitric oxide synthase, eNOS) 的活性^[42]。花青素在其他部位的体内外实验中还展现出更丰富的抗炎机制^[67-69], 其结论是否可推广到眼部作用仍有待进一步研究。花青素通过抗炎保护眼部的作用和机制如表 2 所示。

3.3 促进视紫红质再生

视紫红质是重要的感光色素, 能够将光刺激转化为神经冲动, 从而形成视觉^[72], 可以由 11-顺视黄醛和视蛋白合成, 花青素对眼部健康的作用被认为与其可促进视紫红质再生有关。LEE 等^[73]的研究说明矢车菊素-3-葡萄糖苷 (cyanidin-3-glucoside, C3G) 可提高视紫红质水平。不同结构的花青素的视紫红质再生作用有所差异, 目前来看, C3G 能较好地促进

表2 花青素在眼部的抗炎作用和机制

Table 2 The anti-inflammatory effects and mechanisms of anthocyanins on eyes

研究对象	样品及剂量	保护作用	保护机制	参考文献
健康色素兔	250 和 500 mg/(kg·d) 越橘花青素提取物 光照前灌胃 2 周, 光照后灌胃 1 周	预防视网膜光损伤	降低光诱导的 IL-6 和 NF- κ B mRNA 的增加	[58]
Sprague-Dawley 大鼠 视网膜	100 mg BRACs/(kg BW·d) 黑米花青素 灌胃 15 d	防护视网膜光损伤	NF- κ B p50、p65 mRNA 和蛋白表达增加	[65]
BALB/C 小鼠眼组织	50、100、200 mg/(kg·d) 欧洲越橘提取物, 连续灌胃 5 d	改善葡萄膜炎	降低 NF- κ B p65 mRNA 和蛋白的表达水平, 高剂量组可降低 iNOS mRNA 的表达水平	[70]
6 周大 C57BL/6 小鼠 视网膜	500 mg/kg bw 越橘提取物口服 4 d	改善葡萄膜炎	阻止了视紫红质蛋白的减少, 抑制 STAT3 的 激活, 降低 IL-6 和活化的 NF- κ B 的水平	[66]
雄性 Sprague-Dawley 大鼠视网膜	20、40 或 80 mg/(kg·d) 蓝莓花青素灌 胃 12 周	预防糖尿病诱导的 视网膜病变	降低 VEGF 和 IL-1 β 的水平, Nrf2 和 HO-1 的 mRNA 和蛋白质增加	[41]
Sprague-Dawley 大鼠 视网膜 Müller 细胞	22.8 或 121.1 μ mol/L 花色苷培养 48 h	预防糖尿病诱导的 视网膜病变	减少 VEGF 过度表达和分泌	[71]
人体视网膜毛细血管 内皮细胞	10 μ g/mL 蓝莓花青素提取物, 锦葵色 素, 锦葵色素-3-葡萄糖苷, 或锦葵色 素-3-半乳糖苷处理 24 h	预防糖尿病诱导的 视网膜病变	抑制 NO 的增加, 减缓 eNOS 活性的提高, 锦 葵色素下调血管紧张素转化酶的表达, 锦葵 色素-3-葡萄糖苷, 或锦葵色素-3-半乳糖苷 上调血管紧张素转化酶的表达, 抑制 VEGF、 ICAM-1 和 NF- κ B (p65) 的水平	[42]

视紫红质再生。MATSUMOTO 等^[74]探究了从黑加仑中提取的 4 种花青素对青蛙视杆细胞膜视紫红质的再生作用及其动力学, 结果显示花青素可以促进视紫红质的再生, 但不同结构的花青素的效果不同, 矢车菊色素对视紫红质的再生作用较好, 飞燕草色素效果相对较弱, 这可能与矢车菊色素疏水性更强有关。前人^[75-76]的研究发现 C3G 与视紫红质的作用受 pH 值的影响较大, pH 6 条件下视紫红质再生效果较好, 两者结合物的二级和三级结构稳定性也与 pH 值相关, 并且认为 C3G 对视紫红质再生的促进机制与中间体变视紫红质 (metarhodopsin II, Meta II) 的稳定性关系较小, 可能与蛋白质结构变化有关。由此可见, 不同结构和 pH 下的花青素对视紫红质的作用也有所不同, 其中 C3G 的效果较好。此外, 花青素与其他物质可能产生协同作用, 增强花青素对视紫红质合成的促进效果。何敏菲^[77]的研究表明 C3G 与茶天然产物共同使用可以加快视紫红质的复原, 减缓视紫红质的降解, 两者共同使用的效果优于单独使用 C3G 的效果。因此, 合适的结构、pH 值和共存物质或许能更好地发挥花青素对视紫红质再生的促进作用。

3.4 促进睫状肌松弛

睫状肌与人眼的视觉调节相关, 睫状肌的收缩可以改变悬韧带张力, 使晶状体变形, 进而改变屈光效果^[78]。当光线聚焦在视网膜上时, 人才能看清物体, 因此睫状肌与视觉的形成有一定联系。花青素能够抑制睫状肌的收缩, 但效果与其具体结构相关。MATSUMOTO 等^[79]研究从黑加仑中提取的一种花色

苷——飞燕草素-3-芸香糖苷 (delphinidin-3-rutinoside, D3R) 对牛睫状肌的作用, 将 D3R 作用于因被内皮素-1 (endothelin 1, ET-1) 处理而收缩的牛睫状肌, 观测到牛睫状肌收缩程度降低, 说明 D3R 对 ET-1 诱导的收缩有抑制作用, 矢车菊素-3-芸香糖苷 (cyanidin-3-rutinoside, C3R) 也表现出抑制效果, 但不及 D3R, 考虑到该实验中结构相似的黄酮类物质槲皮素-3-芸香糖苷和杨梅素-3-芸香糖苷未表现出此方面的作用, 所以花色苷的 B、C 环结构可能与其抑制睫状肌收缩的作用密切相关。实验结果显示, D3R 可促进环磷酸鸟苷 (cyclic guanosine monophosphate, cGMP) 的产生, 降低肌球蛋白调节轻链 (myosin regulatory light chain, MRLC) 的磷酸化比率, 并且 D3R 对睫状肌收缩的抑制作用在一氧化氮合酶抑制剂存在时会消失。因此认为 D3R 可能是通过增加 NO 从而降低 MRLC 的磷酸化进而抑制 ET-1 导致的收缩。

4 总结与展望

花青素对眼部健康有一定益处, 并已经在食品领域有所应用。但目前关于花青素对眼部疾病的临床研究还不太充分, 相关数据缺乏, 并且对于其保护作用的具体机制还不够深入了解, 因此未来需要更多的临床实验, 并应加强花青素在眼部细胞的代谢产物、炎症因子等方面的研究。除此之外, 为更广泛有效地发挥花青素食品的健康作用, 需要寻找更多可提高花青素在食品加工及保藏过程中稳定性的方法。

参 考 文 献

- [1] 李建军. 全球视力损伤及几种重要眼病的人数:2019年WHO世界视力报告[J]. 国际眼科纵览, 2019(5):360.
LI J J. Global number of people with visual impairment and several important eye diseases: WHO World report on vision 2019[J]. International Review of Ophthalmology, 2019(5):360.
- [2] BOURNE R, STEINMETZ J D, FLAXMAN S, et al. Trends in prevalence of blindness and distance and near vision impairment over 30 years: An analysis for the global burden of disease study[J]. The Lancet Global Health, 2021, 9(2):e130-e143.
- [3] 陈彬彬, 楼丽霞, 叶娟. 中国眼病疾病负担现状及三十年变化趋势[J]. 浙江大学学报(医学版), 2021, 50(4):420-428.
CHEN B B, LOU L X, YE J. Eye diseases burden in China in the past 30 years [J]. Journal of Zhejiang University (Medical Sciences), 2021, 50(4):420-428.
- [4] 亢泽峰, 陶方方, 景军, 等. 中国青少年近视患病率的Meta分析[J]. 临床眼科杂志, 2016, 24(5):395-399.
KANG Z F, TAO F F, JING J, et al. A meta-analysis for prevalence of myopia among Chinese teenagers[J]. Journal of Clinical Ophthalmology, 2016, 24(5):395-399.
- [5] 曹文婷, 嵇红, 杜娜, 等. 青少年视疲劳现状调查及影响因素分析[J]. 吉林医学, 2021, 42(7):1682-1685.
CAO W T, JI H, DU N, et al. The prevalence and influencing factors of visual fatigue in adolescent[J]. Jilin Medical Journal, 2021, 42(7):1682-1685.
- [6] 李丽, 边思林, 林江. 成都市青羊区3~18岁儿童和青少年屈光状况及眼轴长度的现状分析[J]. 国际眼科杂志, 2021, 21(2):325-330.
LI L, BIAN S L, LIN J. Current situation of refractive status and axial length in children and adolescents aged 3-18 years in Qingyang District of Chengdu[J]. International Eye Science, 2021, 21(2):325-330.
- [7] 张伟, 卢烨华, 占卓, 等. 吉林地区糖尿病性视网膜病变流行病学调查[J]. 中国地方病防治, 2021, 36(4):352-353.
ZHANG W, LU Y H, ZHAN Z, et al. An epidemiological survey of diabetic retinopathy in Jilin Province[J]. Chinese Journal of Control of Endemic Diseases, 2021, 36(4):352-353.
- [8] 辛宇, 孙敬蒙, 张炜煜. 花青素生物活性及制剂的研究进展[J]. 食品工业科技, 2021, 42(17):413-422.
XIN Y, SUN J M, ZHANG W Y. Research progress of physiological activity and preparations of anthocyanins[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(17):413-422.
- [9] CASSIDY A. Berry anthocyanin intake and cardiovascular health[J]. Molecular Aspects of Medicine, 2018, 61:76-82.
- [10] NOMI Y, IWASAKI-KURASHIGE K, MATSUMOTO H. Therapeutic effects of anthocyanins for vision and eye health[J]. Molecules (Basel, Switzerland), 2019, 24(18):3311.
- [11] MATTIOLI R, FRANCIOSO A, MOSCA L, et al. Anthocyanins: A comprehensive review of their chemical properties and health effects on cardiovascular and neurodegenerative diseases [J]. Molecules (Basel, Switzerland), 2020, 25(17):3809.
- [12] BARS-CORTINA D, SAKHAWAT A, PIÑOL-FELIS C, et al. Chemopreventive effects of anthocyanins on colorectal and breast cancer: A review [J]. Seminars in Cancer Biology, 2022, 81:241-258.
- [13] 董姜慧, 谢羽, 何刚, 等. 花青素抗消化道肿瘤的作用机制研究进展[J]. 生命科学, 2019, 31(1):93-98.
DONG J H, XIE Y, HE G, et al. Research progress of the mechanism of anthocyanins against digestive tract tumors [J]. Chinese Bulletin of Life Sciences, 2019, 31(1):93-98.
- [14] ALVAREZ-SUAREZ J M, CUADRADO C, REDONDO I B, et al. Novel approaches in anthocyanin research - Plant fortification and bioavailability issues [J]. Trends in Food Science & Technology, 2021, 117:92-105.
- [15] GOWD V, JIA Z Q, CHEN W. Anthocyanins as promising molecules and dietary bioactive components against diabetes—A review of recent advances [J]. Trends in Food Science & Technology, 2017, 68:1-13.
- [16] KONG J M, CHIA L S, GOH N K, et al. Analysis and biological activities of anthocyanins [J]. Phytochemistry, 2003, 64(5):923-933.
- [17] 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 Q, WANG D B, LIU G H, et al. Influencing factors and improving methods of anthocyanin stability [J]. Food Research and Development, 2020, 41(7):218-224.
- [18] TANAKA Y, SASAKI N, OHMIYA A. Biosynthesis of plant pigments: Anthocyanins, betalains and carotenoids [J]. The Plant Journal, 2008, 54(4):733-749.
- [19] 张辉, 刘奕廷, 张宏林, 等. 16种含花青素植物经济价值评估[J]. 吉林中医药, 2019, 39(7):944-948.
ZHANG H, LIU Y T, ZHANG H L, et al. Economic value evaluation of 16 species of anthocyanins [J]. Jilin Journal of Chinese Medicine, 2019, 39(7):944-948.
- [20] 彭祖茂, 邓梦雅, 严虞虞, 等. 植物中花青素含量测定及种类分布研究[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(17):100-104.
PENG Z M, DENG M Y, YAN Y Y, et al. Study on the determination of anthocyanin content and its species distribution in plants [J]. Food Research and Development, 2018, 39(17):100-104.
- [21] 孙建霞, 张燕, 胡小松, 等. 花青素的提取、分离以及纯化方法研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2008, 34(8):111-117.
SUN J X, ZHANG Y, HU X S, et al. Review on the methods of extraction, isolation and purification of anthocyanins [J]. Food and Fermentation Industries, 2008, 34(8):111-117.
- [22] 冯永, 朱淑丰, 陈韞. 视疲劳主观测量研究发展综述[J]. 中国生物医学工程学报, 2021, 40(5):597-607.
FENG Y, ZHU S F, CHEN F. A review on the development of subjective evaluation of visual fatigue [J]. Chinese Journal of Biomedical Engineering, 2021, 40(5):597-607.
- [23] 马越, 王丹, 张超, 等. 花青素饮料缓解视疲劳作用的人体试验观察[J]. 中国食品学报, 2015, 15(8):42-46.
MA Y, WANG D, ZHANG C, et al. Clinical observation of anthocyanins soft drink on asthenopia relief [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2015, 15(8):42-46.
- [24] SEKIKAWA T, KIZAWA Y, TAKEOKA A, et al. The effect of consuming an anthocyanin-containing supplement derived from Bilberry (*Vaccinium myrtillus*) on eye function: A randomized, double-blind, placebo-controlled parallel study [J]. Functional Foods in Health and Disease, 2021, 11(3):116.
- [25] 黄宗锈, 陈冠敏, 林健. 花青素复方胶囊缓解视疲劳的临床研究[J]. 海峡预防医学杂志, 2013, 19(3):43-44.

- HUANG Z X, CHEN G M, LIN J. A clinical study of anthocyanin compound capsule in relieving visual fatigue[J]. Strait Journal of Preventive Medicine, 2013, 19(3):43-44.
- [26] 金文. 叶黄素—花青素脂质体制备及抗氧化与缓解视疲劳作用[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2012.
- JIN W. preparation of xanthophyll-anthocyanins liposome and its protective functions in antioxidant and alleviating asthenopia[D]. Harbin:Harbin Institute of Technology, 2012.
- [27] 张莉华, 汤小蕾, 陈少军. 叶黄素越橘咀嚼片的制备及缓解视疲劳评价[J]. 中国食品添加剂, 2018(10):150-155.
- ZHANG L H, TANG X L, CHEN S J. Preparation of lutein and bilberry chewable tablet and its evaluation on asthenopia relief[J]. China Food Additives, 2018(10):150-155.
- [28] KAWABATA F, TSUJI T. Effects of dietary supplementation with a combination of fish oil, bilberry extract, and lutein on subjective symptoms of asthenopia in humans [J]. Biomedical Research, 2011, 32(6):387-393.
- [29] FLITCROFT D I, HE M G, JONAS J B, et al. IMI - defining and classifying myopia: A proposed set of standards for clinical and epidemiologic studies[J]. Investigative Ophthalmology & Visual Science, 2019, 60(3):M20-M30.
- [30] 周小娟. 越橘花青素对豚鼠形觉剥夺性近视的防治作用及机制研究[D]. 广州:暨南大学, 2015.
- ZHOU X J. The preventive and therapeutic effect and mechanism of oral bilberry anthocyanin on form deprivation myopia in Guinea pig[D]. Guangzhou:Jinan University, 2015.
- [31] 陈洲一. 黑果枸杞花青素对豚鼠形觉剥夺性近视后巩膜重塑的影响[D]. 咸阳:陕西中医药大学, 2018.
- CHEN Z Y. The Effect of black fruit Lycium barbarum anthocyanin on posterior sclera of guinea pig with form deprivation myopia[D]. Xianyang:Shaanxi University of Chinese Medicine, 2018.
- [32] IIDA H, NAKAMURA Y, MATSUMOTO H, et al. Differential effects of black currant anthocyanins on diffuser- or negative lens-induced ocular elongation in chicks[J]. Journal of Ocular Pharmacology and Therapeutics; the Official Journal of the Association for Ocular Pharmacology and Therapeutics, 2013, 29(6):604-609.
- [33] 杨柳. 花青素对生长发育期儿童视力的影响[J]. 中国基层医药, 2011, 18(17):2381-2382.
- YANG L. Effects of anthocyanin on visual acuity in growing children[J]. Chinese Journal of Primary Medicine and Pharmacy, 2011, 18(17):2381-2382.
- [34] 许伟, 麻华伟, 许婷婷, 等. 黑果枸杞胶囊对青少年中度近视控制的临床观察[J]. 中国中医药现代远程教育, 2015, 13(14):29-30.
- XU W, MA H W, XU T T, et al. Clinical observation of Heiguo Gouqi capsule on control of adolescent mild-to-moderate myopia[J]. Chinese Medicine Modern Distance Education of China, 2015, 13(14):29-30.
- [35] 李一啸, 贾毓琇, 张令坤, 等. 视网膜光损伤发生机制与治疗研究进展[J]. 中国斜视与小儿眼科杂志, 2020, 28(3):44-36.
- LI Y X, JIA Y X, ZHANG L K, et al. The progress of the mechanism of light-induced damage in retina[J]. Chinese Journal of Strabismus & Pediatric Ophthalmology, 2020, 28(3):44-36.
- [36] 邸莎, 王天铭, 逢冰, 等. 糖尿病糖尿病视网膜病变发病机制及治疗的研究进展[J]. 医学综述, 2021, 27(21):4285-4291.
- DI S, WANG T G, PANG B, et al. Research advances in pathogenesis and treatment of diabetic retinopathy[J]. Medical Recapitulate, 2021, 27(21):4285-4291.
- [37] 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):341-344;349.
- CHEN W, LING W H, LI M Q, et al. The antioxidative effects of anthocyanidins from black rice on retina photochemical damage in rats[J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2010, 32(4):341-344;349.
- [38] 程强. 花青素类提取物对大鼠视网膜光损伤的保护作用[D]. 西安:第四军医大学, 2013.
- CHENG Q. The protective effects of anthocyanidin extracts on retinal photic damage of rats[D]. Xi'an: The Fourth Military Medical University, 2013.
- [39] LIU Y X, SONG X, ZHANG D, et al. Blueberry anthocyanins: Protection against ageing and light-induced damage in retinal pigment epithelial cells[J]. The British Journal of Nutrition, 2012, 108(1):16-27.
- [40] KIM T J, KIM K A, KANG S, et al. Anthocyanin-rich *Rhynchosia nulubilis* extracts protect photoreceptor cell against MNU-induced retinal degeneration[J]. Investigative Ophthalmology & Visual Science, 2016, 57:2742.
- [41] SONG Y, HUANG L L, YU J F. Effects of blueberry anthocyanins on retinal oxidative stress and inflammation in diabetes through Nrf2/HO-1 signaling [J]. Journal of Neuroimmunology, 2016, 301:1-6.
- [42] HUANG W Y, YAN Z, LI D J, et al. Antioxidant and anti-inflammatory effects of blueberry anthocyanins on high glucose-induced human retinal capillary endothelial cells [J]. Oxidative Medicine and Cellular Longevity, 2018, 2018:1862462.
- [43] FOSTER P J, BUHRMANN R, QUIGLEY H A, et al. The definition and classification of glaucoma in prevalence surveys [J]. The British Journal of Ophthalmology, 2002, 86(2):238-242.
- [44] THAM Y C, LI X, WONG T Y, et al. Global prevalence of glaucoma and projections of glaucoma burden through 2040: A systematic review and meta-analysis [J]. Ophthalmology, 2014, 121(11):2081-2090.
- [45] 胡群. 关注早期症状, 及时发现青光眼 [J]. 江苏卫生保健, 2020, 22(10):25.
- HU Q. Pay attention to early symptoms and detect glaucoma in time [J]. Jiangsu Health Care, 2020, 22(10):25.
- [46] OHGURO H, OHGURO I, YAGI S. Effects of black currant anthocyanins on intraocular pressure in healthy volunteers and patients with glaucoma [J]. Journal of Ocular Pharmacology and Therapeutics; the Official Journal of the Association for Ocular Pharmacology and Therapeutics, 2013, 29(1):61-67.
- [47] YOSHIDA K, OHGURO I, OHGURO H. Black currant anthocyanins normalized abnormal levels of serum concentrations of endothelin-1 in patients with glaucoma [J]. Journal of Ocular Pharmacology and Therapeutics; the Official Journal of the Association for Ocular Pharmacology and Therapeutics, 2013, 29(5):480-487.
- [48] OHGURO I, OHGURO H, NAKAZAWA M. Effects of anthocyanins in black currant on retinal blood flow circulation of patients with normal tension glaucoma. a pilot study [J]. The Hirosaki Medical Journal, 2007, 59:23-32.
- [49] SHIM S H, KIM J M, CHOI C Y, et al. *Ginkgo biloba* extract and

- bilberry anthocyanins improve visual function in patients with normal tension glaucoma [J]. *Journal of Medicinal Food*, 2012, 15(9):818-823.
- [50] 蔡永民. 白内障发病机制及治疗进展研究[J]. *医学理论与实践*, 2020, 33(15):2450-2452.
- CAI Y M. Advances in pathogenesis and treatment of cataract[J]. *The Journal of Medical Theory and Practice*, 2020, 33(15):2450-2452.
- [51] MORIMITSU Y, KUBOTA K, TASHIRO T, et al. Inhibitory effect of anthocyanins and colored rice on diabetic cataract formation in the rat lenses [J]. *International Congress Series*, 2002, 1:245:503-508.
- [52] ZHANG J, LIANG X L, LI X, et al. Ocular delivery of cyanidin-3-glycoside in liposomes and its prevention of selenite-induced oxidative stress [J]. *Drug Development and Industrial Pharmacy*, 2016, 42(4):546-553.
- [53] 李娟. 黑豆提取物花青素对大鼠晶状体上皮细胞抑制作用的实验研究[D]. 延吉:延边大学, 2018.
- LI J. Inhibitory effect of black soybean extract anthocyanin on rat lens epithelial cells[D]. Yanji: Yanbian University, 2018.
- [54] 周婉祎, 赵一秀, 安娜, 等. 花青素对晶状体上皮细胞氧化应激损伤和上皮间充质转化的抑制作用[J]. *药科学报*, 2018, 53(4):538-545.
- ZHOU W Y, ZHAO Y X, AN N, et al. Inhibitory effects of anthocyanin on oxidative stress injury and epithelial-mesenchymal transition of human lens epithelial cells [J]. *Acta Pharmaceutica Sinica*, 2018, 53(4):538-545.
- [55] 杨剑洁. 蓝莓花青素对电磁辐射小鼠视网膜丙二醛和过氧化物歧化酶损伤的修复研究[J]. *新农业*, 2017(13):9-10.
- YANG J J. Repairing effects of malondialdehyde (MDA) and peroxide dismutase (SOD) damage in retina of mice exposed to electromagnetic radiation by blueberry anthocyanin [J]. *Modern Agriculture*, 2017(13):9-10.
- [56] HUANG W Y, WU H, LI D J, et al. Protective effects of blueberry anthocyanins against H₂O₂-induced oxidative injuries in human retinal pigment epithelial cells [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2018, 66(7):1638-1648.
- [57] HWANG J W, KIM E K, LEE S J, et al. Anthocyanin effectively scavenges free radicals and protects retinal cells from H₂O₂-triggered G2/M arrest [J]. *European Food Research and Technology*, 2012, 234(3):431-439.
- [58] WANG Y, GUO X X, SUN H, et al. Bilberry anthocyanin-rich extract protects against retinal photooxidative damage via activation of HO-1 and inhibition of NF-κB [J]. *Food and Agricultural Immunology*, 2019, 30(1):829-840.
- [59] XING Y, LIANG S, ZHAO Y Y, et al. Protection of *Aronia melanocarpa* fruit extract from sodium-iodate-induced damages in rat retina [J]. *Nutrients*, 2021, 13(12):4411.
- [60] 孟宪军, 毕苑芬, 张琦, 等. 蓝莓花色苷对大鼠视网膜光损伤的保护作用及其机制[J]. *食品科学*, 2013, 34(11):242-245.
- MENG X J, BI W Q, ZHANG Q, et al. Protective effect and mechanism of blueberry anthocyanins against retinal photodamage in rats [J]. *Food Science*, 2013, 34(11):242-245.
- [61] 陈珊珊. 黑果腺肋花楸花色苷提取物对人视网膜色素上皮细胞的保护作用[D]. 沈阳:沈阳农业大学, 2018.
- CHEN S S. Protective effect of *Aronia melanocarpa* anthocyanin extract on human retinal pigment epithelial cells [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2018.
- [62] 吴寒, PAULINA H, 黄午阳. H₂O₂ 诱导 ARPE-19 细胞损伤模型的建立及蓝莓花青素的保护作用[J]. *中国药理学通报*, 2018, 34(2):274-279.
- WU H, PAULINA H, HUANG W Y. Modeling of H₂O₂-induced damage in retinal pigment epithelial cells and protective effects of blueberry anthocyanin [J]. *Chinese Pharmacological Bulletin*, 2018, 34(2):274-279.
- [63] 刘桂蕊. 炎症(Inflammation)(1) [J]. *医学综述*, 2005, 11(1):1-3.
- LIU G R. Inflammation (1) [J]. *Medical Recapitulate*, 2005, 11(1):1-3.
- [64] 王勇, 张明昌. 核转录因子 NF-κB 与眼科疾病[J]. *国外医学(眼科学分册)*, 2004(6):421-424.
- WANG Y, ZHANG M C. Nuclear transcription factor NF-κB and ophthalmic diseases [J]. *International Review of Ophthalmology*, 2004(6):421-424.
- [65] 余小平, 陈玮, 李帅, 等. NF-κB 在黑米花青素防护大鼠视网膜光化学损伤中的表达变化[C]//中国西部第六届营养与健康学术会议论文集, 2011:12-15.
- YU X P, CHEN W, LI S, et al. The alteration of NF-κB expression in retina photochemical damage in rat supplemented with black rice anthocyanins [C]//Proceedings of the 6th Nutrition and Health Conference in Western China, 2011:12-15.
- [66] MIYAKE S, TAKAHASHI N, SASAKI M, et al. Vision preservation during retinal inflammation by anthocyanin-rich bilberry extract: Cellular and molecular mechanism [J]. *Laboratory Investigation*, 2012, 92(1):102-109.
- [67] SOGO T, TERAHARA N, HISANAGA A, et al. Anti-inflammatory activity and molecular mechanism of delphinidin 3-sambubioside, a *Hibiscus anthocyanin* [J]. *BioFactors*, 2015, 41(1):58-65.
- [68] MEDDA R, LYROS O, SCHMIDT J L, et al. Anti-inflammatory and anti-angiogenic effect of black raspberry extract on human esophageal and intestinal microvascular endothelial cells [J]. *Microvascular Research*, 2015, 97:167-180.
- [69] 马蓉. 紫色蔬菜中花色苷抗糖功能及抗炎功能的评价[D]. 西宁:青海大学, 2020.
- MA R. Evaluation of anti-glycemic and anti-inflammatory function of anthocyanin in purple vegetables [D]. Xining: Qinghai University, 2020.
- [70] 姚楠, 李小迪, 李善兵, 等. 欧洲越桔提取物改善小鼠葡萄膜炎的机制研究[J]. *中国药理学通报*, 2011, 27(11):1626-1627.
- YAO N, LI X D, LI S B, et al. The mechanism of bilberry extract on protection of endotoxin-induced uveitis in mice [J]. *Chinese Pharmacological Bulletin*, 2011, 27(11):1626-1627.
- [71] 胡昕倩, 柯敏, 钱志刚. 花色苷对高糖、高胰岛素下 Müller 细胞合成 VEGF 的影响[J]. *眼科新进展*, 2011, 31(2):115-118.
- HU X Q, KE M, QIAN Z G. Effect of cyanin on VEGF in Müller cells under high glucose and high insulin condition [J]. *Recent Advances in Ophthalmology*, 2011, 31(2):115-118.
- [72] 李洁, 梅妍. 视紫红质在视网膜变性疾病中作用机制的研究进展[J]. *四川解剖学杂志*, 2011, 19(4):46-48.
- LI J, MEI Y. The progress of rhodopsin in light induced retina degeneration [J]. *Sichuan Journal of Anatomy*, 2011, 19(4):46-48.
- [73] LEE S H, JEONG E, PAIK S S, et al. Cyanidin-3-glucoside ex-

- tracted from mulberry fruit can reduce *N*-methyl-*N*-nitrosourea-induced retinal degeneration in rats [J]. *Current Eye Research*, 2014, 39(1):79–87.
- [74] MATSUMOTO H, NAKAMURA Y, TACHIBANAKI S, et al. Stimulatory effect of cyanidin 3-glycosides on the regeneration of rhodopsin[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2003, 51(12):3 560–3 563.
- [75] YANAMALA N, TIRUPULA K C, BALEM F, et al. pH-dependent interaction of rhodopsin with cyanidin-3-glucoside. 1. structural aspects [J]. *Photochemistry and Photobiology*, 2009, 85(2): 454–462.
- [76] TIRUPULA K C, BALEM F, YANAMALA N, et al. pH-dependent interaction of rhodopsin with cyanidin-3-glucoside. 2. Functional aspects [J]. *Photochemistry and Photobiology*, 2009, 85(2): 463–470.
- [77] 何敏菲. 花色苷与茶天然产物协同保护视觉损伤活性研究[D]. 杭州:浙江工商大学, 2014.
HE M F. The synergistic protective activity on visual impairment by anthocyanins and tea natural products [D]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University, 2014.
- [78] 刘爱珍, 王小兵, 彭彧华. 人眼调节机制的生物力学研究[J]. *医用生物力学*, 2007, 22(3):320–322.
LIU A Z, WANG X B, PENG Y H. Biomechanics study on human eye accommodation mechanism [J]. *Journal of Medical Biomechanics*, 2007, 22(3):320–322.
- [79] MATSUMOTO H, KAMM K E, STULL J T, et al. Delphinidin-3-rutinoside relaxes the bovine ciliary smooth muscle through activation of ETB receptor and NO/cGMP pathway [J]. *Experimental Eye Research*, 2005, 80(3):313–322.

Research advances in the protective effects of anthocyanins on eyes and their mechanisms

QUAN Wenbin, JI Haoyao, MAI Zifeng, WANG Juan*

(School of Food Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China)

ABSTRACT Anthocyanins are natural pigments, which are widely distributed in plants. According to previous research, anthocyanins are beneficial for the improvement of eye health. This paper summarized the chemical properties, structures of anthocyanins, and their effects on eye diseases such as glaucoma, cataract, asthenopia, myopia, and so on. The mechanisms of these effects were also been discussed, concentrating on oxidation resistance, anti-inflammation, regeneration of rhodopsin, and relaxation of the ciliary muscle, which help to provide references for the application of anthocyanins.

Key words anthocyanin; eye health; protective effects of mechanisms