

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2020.05.043

蓝莓的功能成分、保健作用及其开发利用

Functional components, health function and utilization of Blueberry

金永学¹ 冯建国² 郑 淘¹JIN Yong-xue¹ FENG Jian-guo² ZHENG Tao¹曾艺琼¹ 郑 慧¹ 杨 勇^{1,2,3}ZENG Yi-qiong¹ ZHENG Hui¹ YANG Yong^{1,2,3}

(1. 湖南中医药大学药学院食品药品工程系, 湖南 长沙 410208; 2. 怀化恒祺农业发展有限公司, 湖南 怀化 418100; 3. 湖南省药食同源功能性食品工程技术研究中心, 湖南 长沙 410208)

(1. Department of Food and Drug Engineering, School of Pharmacy, Hunan University of Traditional Chinese Medicine, Changsha, Hunan 410208, China; 2. Huaihua Hengqi Agricultural Development Co., Ltd., Huaihua, Hunan 418100, China; 3. Hunan Provincial Medicine & Food Homologous Functional Food Engineering and Technology Research Center, Changsha, Hunan 410208, China)

摘要:文章综述了蓝莓的主要功能成分、保健作用及其在食品、医药、化妆品等领域的研究及应用现状,指出提高多酚保留率是蓝莓加工领域的研究方向。

关键词:蓝莓;功能成分;保健作用;开发利用

Abstract: The main functional components, health care function, and application status of blueberry in food, medicine, cosmetics and other fields were reviewed, and the research direction of blueberry processing is to improve the polyphenol retention rate was also proposed.

Keywords: blueberry; functional components; health function; utilization

蓝莓为杜鹃花科越橘属植物,蓝莓果实富含多酚类物质为主的多种功能性成分,其保健功效涉及抗氧化、心脑血管保护、辅助降血脂、增强记忆、增强免疫力、抗肿瘤和缓解视疲劳等^[1-6],为FAO推荐的五大健康水果之一。文章拟对蓝莓的主要功能成分、保健作用及其开发利用现状进行系统综述,旨在为蓝莓的深度开发与利用提供参考。

基金项目:湖南省现代农业产业体系建设(2019);湖南省药食同源功能性食品工程技术研究中心开放基金(编号:2018YSTY03)

作者简介:金永学,男,湖南中医药大学在读硕士研究生。

通信作者:郑慧(1982—),女,湖南中医药大学讲师,硕士。

E-mail: 39760461@qq.com

杨勇(1972—),男,湖南中医药大学教授,硕士生导师,博士。E-mail: yangyong@hnu.edu.cn

收稿日期:2020-02-09

1 蓝莓的功能成分

1.1 花青素

蓝莓中含有的花青素为一种水溶性黄酮类色素,广泛存在于被子植物。花青素分子结构中具有非配对电子,可将电子和氢供给自由基,因此可有效终止机体内的活性氧自由基。花青素的抗氧化能力是V_E的50倍,V_C的200倍^[7],是人类至今为止发现的抗氧化效果最好的天然植物成分之一。叶红玲等^[8]利用超声提取蓝莓果渣中的花青素并进行分析得到5种花青素,即锦葵色素、飞燕草色素、矢车菊色素、矮牵牛色素和芍药色素,蓝莓果皮色泽即由花青素类化合物的比例和含量决定。田密霞等^[9]对采自吉林的60种蓝莓果的花色苷含量进行了分析,发现蓝莓鲜果花青素平均含量高达5.378 mg/g。花青素被认为是蓝莓抗氧化、视力保护、抗癌、抗辐射、抗衰老、增强免疫力等作用的主要物质基础^[10-11]。蓝莓功能性新产品研发契合当前消费者对抗衰老、抗肿瘤及美容养颜等健康产品的巨大市场需求,而蓝莓花青素的工艺损耗控制也成为蓝莓加工的核心关注点。

1.2 酚酸

酚酸是一类结构中含有酚环的有机酸,多为羟基苯甲酸和对羟基肉桂酸的衍生物。酚酸是蓝莓的主要功能性成分之一,具有很强的抗氧化作用,能有效清除人体细胞内自由基,降低氧化损伤;酚酸还具有抗菌、预防心血管疾病、降压、兴奋中枢神经系统等功能。天然酚酸类物质是当前营养学、医学及食品科学等领域的研究热点,被广泛应用于保健食品、化妆品、药品等领域^[12-13]。蓝莓

酚酸种类和含量丰富,是蓝莓多种保健功能的物质基础。刘翼翔等^[14]研究发现大兴安岭野生蓝莓含有 11 种以上酚酸类物质,并分别鉴定出绿原酸、没食子酸、咖啡酸、肉桂酸、阿魏酸、原儿茶酸和对香豆酸 7 种酚酸物质。Mattila 等^[15]利用 HPLC 法测定得到蓝莓中酚酸含量为 85 mg/100 g。

1.3 熊果酸

熊果酸又称乌索酸和乌苏酸,是一种五环三萜类化合物,在植物中以游离苷元或糖苷存在,熊果酸具有抗菌、辅助降血糖、保肝等多种生物学效应及抗氧化作用,已被广泛应用于临床。Geon-Hee 等^[16]研究表明,熊果酸可通过降低胆固醇的作用抑制肝癌细胞的生长,可用于肝癌和固醇相关慢性疾病的预防和治疗。孟艳秋等^[17]采用 MTT 法研究熊果酸的体外抗肿瘤作用时发现熊果酸对 HeLa、HepG2 和 BGC-823 细胞增殖具有一定程度的抑制作用,且明显高于已上市药物吉非替尼的活性。熊果酸还可以通过提高小鼠肌细胞 GLUT4 蛋白的转运及表达来改善 2 型糖尿病^[18];对中枢神经有明显的安定与降温作用,能够显著降低小鼠体温,减少小鼠活动^[19]。有研究^[20]测得蓝莓干果中熊果酸含量为 11.8 mg/100 g。基于抗肿瘤的自由基理论,蓝莓多酚类物质的抗氧化作用可与蓝莓熊果酸协同发挥抗肿瘤作用。

1.4 绿原酸

绿原酸是由咖啡酸与奎尼酸组成的缩酚酸,又名咖啡单宁酸。绿原酸广泛存在于金银花、向日葵、蓝莓、咖啡等植物中,是植物有氧呼吸过程中经莽草酸生物合成途径生成的一种苯丙素类化合物,为许多中草药消炎、清热解毒的主要活性成分^[21]。龙妍等^[22]利用 HPCL 法测定得蓝莓果实中绿原酸含量为 0.69 mg/g,蓝莓叶中的绿原酸含量显著高于果实中的含量^[23]。药理试验表明绿原酸具有抗氧化、消炎、保肝、抗凝血和抗肿瘤等多种生理活性^[24];绿原酸可与铝离子发生螯合,其抗氧化作用可减弱氯化铝对 PC12 的细胞毒性^[25],故摄入富含绿原酸的食物可以降低铝对神经系统的损伤。

1.5 鞣花酸

鞣花酸是一种多酚二内酯,是没食子酸的二聚衍生物,以游离、缩合等形式广泛存在于各种软果、坚果等植物组织,具有抗氧化、抑制癌细胞增殖、抗菌、抗病毒等多种生物学效应^[26-27]。刘艳等^[28]用高效液相色谱法测定蓝莓果实中鞣花酸的平均含量为 6.893 mg/g。鞣花酸具有美白淡斑作用,能抑制酪氨酸酶活性而阻断黑色素生成,有效清除老年斑和太阳斑^[29]。

1.6 紫檀芪

紫檀芪(3,5-二甲氧基-4'-羟基二苯乙烯)是蓝莓和葡萄等浆果的功能性成分之一,Rodríguez-Bonilla 等^[30]利

用 RP-HPLC 法得出蓝莓中的紫檀芪含量为 110 mg/100 g。紫檀芪是白藜芦醇甲基化衍生物,该类成分比白藜芦醇的亲脂性高而更易被机体细胞摄取^[31]。紫檀芪具有抗肿瘤、降血脂、抗炎等多种生物活性,在日光损伤、抗真菌、皮肤肿瘤等皮肤科疾病方面应用前景广泛^[32]。

1.7 超氧化物歧化酶

超氧化物歧化酶(Superoxide Dismutase,SOD)是一种生物体内广泛存在的抗氧化性金属蛋白酶,每 100 g 新鲜蓝莓中 SOD 的含量可达 5.39 IU^[33]。SOD 可以催化自由基歧化生成氧和过氧化氢,在体内氧化与抗氧化平衡中起到关键作用,与人体多种疾病的发生与发展密切相关。根据金属离子的不同,SOD 可分为 3 类:呈蓝绿色真核细胞细胞质内 Cu,Zn-SOD,呈粉红色的线粒体 Mn-SOD,呈黄褐色细胞核内 Fe-SOD。研究^[34]证实,SOD 在预防疾病、提高人体免疫力、抗衰老、抗肿瘤、抗炎症等方面在人体内发挥着非常重要的生理作用。

1.8 果胶物质

果胶为聚半乳糖醛酸多糖,以原果胶,果胶和果胶酸等形态广泛存在于植物的果实、根、茎中。果胶具有抑制脂肪消化吸收、调节血糖、抑制肿瘤等生理作用,低分子果胶还有一定的醒酒防醉效果^[35],可作为护肝解酒产品开发的功能性原料。蓝莓果胶总含量可达 4.1 g/kg^[36],果胶是一种重要的功能性膳食纤维,能赋予蓝莓食品以优良口感,而且有益于降低热量摄入促进人体肠道健康。

1.9 维生素及矿物质

蓝莓含 V_A 81~100 IU/100 g, V_E 2.7~9.5 $\mu\text{g}/100\text{ g}$,远高于葡萄和苹果含量^[37]。蓝莓微量元素种类及含量丰富,含量分别为钙 220~920 $\mu\text{g}/\text{g}$,铜 2.0~3.2 $\mu\text{g}/\text{g}$,磷 98~274 $\mu\text{g}/\text{g}$,锆 0.8~1.2 $\mu\text{g}/\text{g}$,镁 114~249 $\mu\text{g}/\text{g}$,铁 7.6~30.0 $\mu\text{g}/\text{g}$,锌 2.1~4.3 $\mu\text{g}/\text{g}$ ^[37]。

1.10 其他营养成分

除上述主要功能性成分以外,蓝莓还含有果糖、脂肪、氨基酸、蛋白质和纤维素等成分,蓝莓中的蛋白质含量为 400~700 mg/100 g,含有 19 种氨基酸且 8 种必需氨基酸比例适当,脂肪含量为 500~600 mg/100 g,总酸量 1.6%~2.7%^[37]。

2 蓝莓保健功能

2.1 抗氧化

自由基氧化理论是人体衰老及多种疾病机制的理论基础,80%~90%的衰老相关性疾病都与人体内的自由基有关,而蓝莓富含的花青素、鞣花酸等多酚类物质具有很强自由基清除能力。周笑犁等^[38]从蓝莓皮渣中提取花色苷粗提物并测定了其抗氧化活性,表明蓝莓花色苷自由基抑制率与 V_C 相近,对脂质的抗氧化作用比 V_C 更

强。张卓睿等^[39]灌胃给予小鼠蓝莓花青素 30 d 后发现,喂食花青素的小鼠肝脏总抗氧化能力、总超氧化物歧化酶活力与对照组比较明显增加,说明富含花青素、酚酸类多酚物质的蓝莓具有良好的体内抗氧化作用。自由基及抗氧化是目前衰老、肿瘤和心血管病等疾病的重要理论基础,蓝莓富含的多酚类成分及其良好的抗氧化活性使其在疾病预防和健康维护方面具有广阔的应用价值和前景。

2.2 辅助改善记忆

老年人认知功能衰退和退行性神经疾病的发生率随着老龄化加深而增加。研究^[40]表明蓝莓对与衰老性瞬间失忆症有明显改善及预防作用,具有辅助增加记忆力作用。杨红澎等^[41]发现蓝莓花色苷单体可以显著改善小鼠记忆功能,其机制与减少脂褐质的积累及提高抗氧化防御等有关。李亚巍等^[42]研究进一步表明,蓝莓花色苷能够降低东莨菪碱诱导小鼠海马组织 NF- κ B p65 和 Cleaved caspase-3 蛋白的表达,从而显著改善小鼠学习记忆障碍,可有效减少小鼠的跳台错误次数,明显延长潜伏期。记忆减退与衰老相关疾病密切相关,蓝莓及其花色苷辅助改善记忆的保健功能可能与其体内自由基消除作用有关。

2.3 消除眼睛疲劳与改善视力

蓝莓花青素可促进血液循环,维持正常的眼球压^[43]。花青素可促进视网膜细胞中的视红素再合成,从而提高人眼暗适应能力,蓝莓对视疲劳、弱视等都有辅助治疗作用,每天摄入 40~80 g 蓝莓,对眼睛视力有保护作用^[44]。花青素可用于治疗屈光不正、白内障、青光眼等眼科疾病^[45]。由于城市光污染的日趋严重导致各类视力问题日益突出,基于花青素及其功能开发蓝莓为原料的护眼功能食品将极大地满足潜在的巨大市场需求。

2.4 预防心脑血管疾病

近年来,高血压、高血脂及动脉粥样硬化等心脑血管疾病的发病率逐年攀升且呈年轻化发展,这些疾病的发生和发展与现代人们的饮食习惯密切相关。研究^[46]发现,蓝莓所含的黄酮类物质具有明显的降血脂活性。李颖畅等^[47]发现摄入蓝莓花色苷后,高脂血症大鼠血脂水平和动脉粥样硬化指数均较高脂组显著降低,而血清和肝脏 T-AOC、SOD 和 GSH-Px 活性明显增强,MDA 的生成量显著减少。蓝莓花色苷可调节血管收缩,并维持人体正常血压范围,从而保护血管并维持毛细管的渗透性,按剂量 200 g/d 持续食用蓝莓 30 d,可有效改善心血管功能,降低收缩压^[48]。蓝莓花色苷降血脂功能和抗氧化作用可能是其降低动脉粥样硬化危险性的主要原因和机制。

2.5 预防及治疗癌症

花青素显著的抗癌效果主要通过清除活性氧,以减

少 DNA 氧化加合物的生成、油脂过氧化,以及阻断细胞增殖等^[49]。研究^[49]发现,花青素可通过诱导癌细胞凋亡来有效抑制前列腺癌的发生,通过阻断亚硝酸盐的合成和清除亚硝酸盐来预防胃癌的发生。林杨等^[50]研究认为蓝莓花色苷能够显著地抑制人结肠癌细胞增殖,上调抑癌基因 p53 表达,有效发挥结肠癌细胞抑制作用。癌症的治疗和预防是当今医疗保健领域的难点和热点,安全有效的肿瘤防治产品广受市场欢迎,花青素、鞣花酸和紫檀芪等蓝莓活性物质在预防和治疗癌症方面作用机制明确且食用安全性高,作为抗肿瘤相关产品的开发应用价值凸显。

2.6 减肥

肥胖已正式被认定为一种流行性疾病,蓝莓花青素的减肥功能与机制研究广受关注。杨晗等^[51]研究野生蓝莓和花青素提取物对高脂饮食小鼠肠道菌群的影响时,发现蓝莓花青素提取物可有效改善高脂饮食小鼠肠道微生态失调,发挥调节肠道菌群功能,具有潜在的减肥消脂作用。还有研究^[52]表明花青素可抑制前脂肪细胞的增殖及分化成熟,调节脂肪细胞调控酶活性,从而抑制肥胖。蓝莓花青素干预肥胖的机制还可能与抑制脂肪酸合成基因表达、上调氧化脂质基因表达、降低肥胖相关因子分泌有关^[53]。

2.7 增强免疫力

蓝莓花青素具有促进小鼠脾细胞增殖和协同 ConA 促进小鼠脾细胞分泌干扰素- α 和白细胞介素-2 活性,且呈一定的剂量相关性^[54]。紫檀芪能够和 V_D 协同作用,提高环磷酸腺苷基因的表达,促进人体免疫功能^[55]。胡向阳等^[56]研究紫檀芪对应激负荷+高脂血症小鼠的免疫功能影响,发现小鼠脾脏 T 淋巴细胞免疫指标有不同程度升高,可以认为紫檀芪对免疫有一定影响作用。因此,蓝莓紫檀芪和花青素可能是影响免疫的主要成分。

2.8 辅助降血糖

糖尿病是以高血糖为主要特征的代谢紊乱综合征,其病理过程涉及多器官病变。田密霞等^[57]研究发现蓝莓花青素可以显著降低试验性糖尿病小鼠的血糖含量和肝脏中的 MDA 含量,同时保持肝细胞的完整性。因此,蓝莓花色苷具有一定增强肝脏组织的抗氧化能力和保护肝细胞作用。花青素可能通过促进葡萄糖吸收及糖原合成,调节脂质、肠道菌群平衡、胰岛素合成和分泌,以及胰岛 β 细胞增殖等,以实现对糖尿病的控制。

3 蓝莓的开发利用

3.1 蓝莓普通食品

由于蓝莓果实出汁率高达 80% 以上,适宜于饮料制造,目前蓝莓普通食品开发主要以饮料、果酒及果酱等产品形式为主。目前市场上蓝莓饮料主要有果汁饮料、清

汁饮料、浊汁饮料、茶饮料、果肉饮料、果醋饮料、固体饮料、乳酸菌发酵饮料和复合型功能饮料等。

蓝莓果酒产品因其良好的保健功能和口感正在成为果酒饮料行业新的消费热点,蓝莓果酒、蓝莓果啤、蓝莓复合果酒等产品的研究与开发日益增加。郑万明^[58]对蓝莓果酒工艺进行研究,确定了最佳酶解工艺条件为果胶酶添加量 40 mg/L、酶解温度 55 ℃和酶解时间 60 min,最佳发酵工艺为酵母接种量 7%、初始含糖量 220 g/L、初始 pH 4.0 和主发酵时间 8 d。张方艳^[59]研究了蓝莓—猕猴桃复合果酒的生产工艺,获得果香浓郁、透明清亮、风味独特的蓝莓复合果酒。

蓝莓富含高甲氧基果胶,适于制作各种果冻及果酱食品。夏其乐等^[60]研发的蓝莓大果粒果酱配方为蓝莓鲜果 40%、半干果粒 10%、白砂糖 25%、果葡糖浆 20%、水 5%、黄原胶 1%、海藻酸钠 1%、柠檬酸 0.2%,该工艺耗时短、适合工业化生产。寇灿等^[61]研制的低糖型蓝莓玫瑰花复合保健果酱具有蓝莓风味和玫瑰花特有的香气和口感,甜酸适口,适合糖尿病人食用。

3.2 蓝莓保健食品

蓝莓保健品开发主要基于蓝莓的花青素成分及其抗氧化作用,主要产品有蓝莓花青素咀嚼片、蓝莓花青素护眼胶囊、蓝莓叶黄素酯咀嚼片、蓝莓决明片、蓝莓口服液等。邓怡等^[62]以蓝莓为主要原料,复合黄精、山药、葛根、枸杞等研制了一款具有益肾功效的保健饮料;刘君军^[63]制备了一款人参与蓝莓复合的功能性饮料,并对其抗疲劳功能进行了评价。

3.3 蓝莓化妆品

蓝莓花色苷、原花青素、黄酮类、超氧化物歧化酶、熊果酸和熊果苷等活性成分均可用于化妆品。蓝莓熊果苷及黄酮类物质能抑制黑色素形成,可有效去除黑头、疤痕、黑眼圈。花青素等提取物可促进肌源蛋白形成,使皮肤光滑有弹性,可做成抗皱修复面膜。蓝莓精油独特的清香味可用于湿巾、面膜和口红等化妆品,产品具有清新淡雅的味道。

3.4 其他

伍锦鸣等^[64]发现蓝莓花青素加入香烟可显著增加烟的滑润感及清晰度、减少刺激、强化果香、提升甜香香韵。蓝莓花青素因兼具抗氧化和抑菌作用,也被用于天然抗氧化包装材料产品的开发。

4 结束语

近几年中国蓝莓种植扩展迅速,原料资源不断增长。然而,由于产品精深加工技术与能力不足,尚未形成完整产业链,导致保健功能明确的高附加值蓝莓产品很少;另外,由于多酚类物质的加工稳定性差,提高多酚保留率成为蓝莓加工领域的关键技术研究方向。

生存环境与生活方式变化使人类的疾病谱、医学模式和医疗模式等发生重大改变,随着科技发展和生活水平的不断提高,人们对健康的认识不断提高,对健康的追求日益增强。蓝莓及其产品非常符合现代人群对健康产品提出的天然绿色、美味可口、疾病预防等多维身心需求,因此蓝莓产业蕴藏着很大开发利用和市场发展空间。

参考文献

- [1] SARAH A Johnson, ARTURO Figueroa, NEGIN Navaei, et al. Daily blueberry consumption improves blood pressure and arterial stiffness in postmenopausal women with pre- and stage 1-hypertension: A randomized, double-blind, placebo-controlled clinical trial[J]. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 2015, 115(3): 369-377.
- [2] HINA Kausar, JEYAPRAKASH Jeyabalan, FARRUKH Aqil, et al. Berry anthocyanidins synergistically suppress growth and invasive potential of human non-small-cell lung cancer cells[J]. *Cancer Letters*, 2012, 325(1): 54-62.
- [3] ABDUL Basit Baba, JAGANATHAN Kowshik, JAYARAMAN Krishnaraj, et al. Blueberry inhibits invasion and angiogenesis in 7,12-dimethylbenz[a]anthracene (DMBA)-induced oral squamous cell carcinogenesis in hamsters via suppression of TGF- β and NF- κ B signaling pathways[J]. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 2016, 35: 37-47.
- [4] LEE Chi-ming, SU Yen-hao, HUYNH Thanh-tuan, et al. Blueberry isolate, pterostilbene, Functions as a potential anticancer stem cell agent in suppressing irradiation-mediated enrichment of hepatoma stem cells[J]. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine: ECAM*, 2013, DOI: 10.1155/2013/258425.
- [5] GABRIELA Debom, MARTA Gazal, MAYARA Sandrielly, et al. Preventive effects of blueberry extract on behavioral and biochemical dysfunctions in rats submitted to a model of manic behavior induced by ketamine[J]. *Brain Research Bulletin*, 2016, 127: 260-269.
- [6] 李斌,雷月,孟宪军,等. 蓝莓营养保健功能及其活性成分提取技术研究进展[J]. *食品与机械*, 2015, 31(6): 251-254.
- [7] 吕芳楠,温靖,徐玉娟,等. 蓝莓果实的营养价值和药理作用及其加工利用[J]. *安徽农业科学*, 2016, 44(18): 85-87.
- [8] 叶红玲,姚军,刘冬,等. 蓝莓果渣花青素的超声提取及组成分析[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(10): 105-108, 130.
- [9] 田密霞,李亚东,胡文忠,等. 60 种蓝莓花青素的含量及抗氧化性的比较研究[J]. *食品研究与开发*, 2014, 35(21): 1-6.
- [10] 韦艳双,田密霞,张美娇,等. 蓝莓花青素对糖尿病小鼠器官抗氧化能力的研究[J]. *食品与机械*, 2016, 32(6): 156-159.
- [11] 景志行,吕留庄,许剑锋,等. 野生蓝莓总花青素生物活性

- 研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(7): 132-135, 195.
- [12] 金振萍, 林单, 王小昕, 等. 蓝莓发酵液中 7 种功能性酚酸含量 SPE-UPLC 测定方法研究[J]. 食品科技, 2016, 41(8): 280-284.
- [13] 乔丽萍, 傅瑜, 叶兴乾, 等. 酚酸生物活性研究进展[J]. 中国食品学报, 2013, 13(10): 144-152.
- [14] 刘翼翔, 吴永沛, 刘光明, 等. 野生蓝莓酚酸成分鉴定及其清除细胞内自由基活性研究[J]. 中国食品学报, 2015, 15(12): 173-179.
- [15] MATTILA Pirjo, HELLSTRÖM Jarkko, TÖRRÖNEN Riitta. Phenolic acids in berries, fruits, and beverages[J]. Pubmed, 2006, 54(19): 7 193-7 199.
- [16] KIM Geon-hee, KAN Sang-yeon, KANG Hyeji, et al. Ursolic acid suppresses cholesterol biosynthesis and exerts anti-cancer effects in hepatocellular carcinoma cells[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2019, 20(19): 4 767.
- [17] 孟艳秋, 李思竹. 熊果酸衍生物的合成及抗肿瘤活性的研究[J]. 药学研究, 2016, 35(9): 514-516.
- [18] 王冠梁, 李迪, 王琳, 等. 熊果酸通过葡萄糖转运体改善 KKAy 小鼠胰岛素抵抗的机制[J]. 中华中医药杂志, 2013, 28(3): 787-790.
- [19] 马艳萍, 郭才, 徐呈祥. 蓝莓的功能、用途及有机栽培研究进展[J]. 金陵科技学院学报, 2009, 25(2): 49-54.
- [20] ZHANG Feng, DAIMARU Eisuke, OHNISHI Masao, et al. Acid and ursolic acid in commercial dried fruits[J]. Japanese Society for Food Science and Technology, 2013, 19(1): 113-116.
- [21] 郭秋娟, 金邦荃, 陈和平. 绿原酸生物活性与提取方法的研究进展[J]. 食品工业科技, 2009, 30(8): 346-348.
- [22] 龙妍, 姜自军, 单纪平, 等. HPLC 法测定蓝莓中绿原酸的含量[J]. 中国食物与营养, 2011, 17(3): 60-62.
- [23] 张盈娇, 陈建, 夏陈, 等. 高效液相色谱法测定蓝莓叶中绿原酸的含量[J]. 中国食物与营养, 2017, 23(3): 34-36.
- [24] 杨靖怡, 杨守博, 康庄, 等. 绿原酸在脑胶质瘤治疗中的应用前景[J]. 中国肿瘤临床, 2018, 45(5): 256-259.
- [25] 程代, 张馨予, 王硕. 绿原酸对氯化铝诱导 PC12 神经细胞凋亡的保护作用[C]// 中国食品科学技术学会. 中国食品科学技术学会第十五届年会论文摘要集. 北京: 中国食品科学技术学会, 2018: 200-201.
- [26] CHEN Hong-sheng, BAI Ming-han, ZHANG Tao, et al. Ellagic acid induces cell cycle arrest and apoptosis through TGF- β /Smad3 signaling pathway in human breast cancer MCF-7 cells[J]. International Journal of Oncology, 2015, 46(4): 1 730-1 738.
- [27] 阿米娜·阿不拉, 斯拉甫·艾白, 古力娜·达吾提, 等. 鞣花酸体外抗真菌活性及对小鼠白色念珠菌感染模型的治疗作用研究[J]. 中国药理学通报, 2016, 32(3): 399-403.
- [28] 刘艳, 宋立秋, 范俊娟, 等. HPLC 法测定蓝莓中鞣花酸含量[J]. 江苏农业科学, 2008(3): 217-219.
- [29] 戴彦韵, 顾宇翔, 胡子峰, 等. 化妆品中的鞣花酸检测方法研究[J]. 香料香精化妆品, 2016(3): 51-55.
- [30] RODRÍGUEZ-BONILLA P, LÓPEZ-NICOLÁS J M, MÉNDEZ-CAZORLA L, et al. Development of a reversed phase high performance liquid chromatography method based on the use of cyclodextrins as mobile phase additives to determine pterostilbene in blueberries[J]. Elsevier BV, 2011, 879(15): 1 091-1 097.
- [31] CHEN Rong-jane, LEE Yu-hsuan, YEH Ya-ling, et al. Autophagy-inducing effect of pterostilbene: A prospective therapeutic/preventive option for skin diseases[J]. Journal of Food and Drug Analysis, 2017, 25(1): 125-133.
- [32] ESTRELA J M, ORTEGA A, MENA S, et al. Pterostilbene: Biomedical applications[J]. Critical Reviews in Clinical Laboratory Sciences, 2013, 50(3): 65-78.
- [33] 胡雅馨, 李京, 惠伯棣. 蓝莓果实中主要营养及花青素成分的研究[J]. 食品科学, 2006(10): 600-603.
- [34] 朱秀敏. 超氧化物歧化酶的生理活性[J]. 当代医学, 2011, 17(15): 26-27.
- [35] 李英华, 朱威. 不同酯化度和分子量的果胶解酒效果的比较研究[J]. 天然产物研究与开发, 2014, 26(11): 1 868-1 871, 1 888.
- [36] 张秀凤, 魏建春, 李云芳. 蓝莓的保健功能及蓝莓食品开发利用现状[J]. 农业机械, 2013(29): 78-81.
- [37] 王姗姗, 孙爱东, 李淑燕. 蓝莓的保健功能及其开发应用[J]. 中国食物与营养, 2010(6): 17-20.
- [38] 周笑犁, 杜斌, 周艳, 等. 蓝莓皮渣花色苷粗提物的抗氧化性[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(6): 181-186.
- [39] 张卓睿, 毛迪锐, 高晗, 等. 蓝莓花青素对小鼠抗疲劳及体内抗氧化作用[J]. 食品科学, 2017, 38(21): 207-211.
- [40] 卜庆雁, 周晏起. 浅析蓝莓的营养保健功能及开发利用前景[J]. 北方园艺, 2010(8): 215-217.
- [41] 杨红澎, 蒋与刚, 庞伟, 等. 蓝莓花色苷单体改善老龄小鼠学习记忆的研究[J]. 营养学报, 2009, 31(6): 583-587.
- [42] 李亚巍, 金瑛, 梁承武, 等. 蓝莓花色苷对东莨菪碱诱导小鼠学习记忆障碍的影响[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(2): 196-199.
- [43] 刘欢. “浆果之王”蓝莓的营养保健作用研究[J]. 中国新技术新产品, 2009(19): 228.
- [44] 周婷婷. 蓝莓花青素分析及抗氧化活性研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2014: 10.
- [45] 姚佳宇, 李志坚. 蓝莓花青素在眼科疾病的研究进展[J]. 国际眼科杂志, 2016, 16(12): 2 234-2 236.
- [46] 王雪竹, 郭晓君, 赵光远. 蓝莓叶总黄酮降血脂作用的研究[J]. 医药论坛杂志, 2016, 37(5): 15-16.
- [47] 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.
- [48] 曹淑芬. 吃蓝莓有助于降血压和软化血管[J]. 人才资源开

- 发, 2019(9): 29.
- [49] 孙园园. 花青素与癌症预防[J]. 轻工科技, 2012, 28(1): 17-18.
- [50] 林杨, 杨平, 张琦, 等. 蓝莓花色苷对脂多糖诱导 RAW 264.7 细胞炎症及结肠癌细胞增殖、凋亡的影响[J/OL]. 食品科学. [2019-10-28]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20191012.1122.040.html>.
- [51] 杨晗, 孙晓红, 吴启华, 等. 野生蓝莓和花青素提取物对高脂饮食小鼠肠道菌群的影响[J]. 微生物学通报, 2015, 42(1): 133-141.
- [52] 曾画艳, 马思思, 王娟秀, 等. 花青素抑制肥胖作用机制研究进展[J]. 食品科技, 2014, 39(6): 214-218.
- [53] 吴涛. 花色苷对肥胖的干预及其相关机理的研究[D]. 镇江: 浙江大学, 2014: 128-129.
- [54] 潘利华, 王建飞, 叶兴乾, 等. 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.
- [55] 杨柯君. 常食用红葡萄和蓝莓可增强免疫力[J]. 上海医药, 2013, 34(22): 36.
- [56] 胡向阳, 舒晓春, 马义. 紫檀芪对应激负荷具有高脂血症模型小鼠血脂及免疫功能的影响[J]. 中成药, 2011, 33(8): 1400-1402.
- [57] 田密霞, 李亚东, 胡文忠, 等. 蓝莓花色苷对实验性糖尿病小白鼠肝脏抗氧化功能的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(1): 210-213.
- [58] 郑万明. 蓝莓果酒制备工艺优化研究[D]. 哈尔滨: 黑龙江大学, 2018: 49.
- [59] 张方艳. 蓝莓—猕猴桃复合果酒酿造工艺的研究[J]. 酿酒科技, 2016(12): 87-90.
- [60] 夏其乐, 陈剑兵, 邢建荣. 蓝莓大果果酱开发工艺研究[J]. 食品科技, 2017, 42(9): 86-91.
- [61] 寇灿, 莫新春, 李琼, 等. 低糖型蓝莓玫瑰花复合保健果酱的研制[J]. 食品工业, 2017, 38(7): 134-137.
- [62] 邓怡, 孙汉巨, 谢玉鹏, 等. 蓝莓复合保健饮料的工艺研究[J]. 饮料工业, 2015, 18(4): 29-34.
- [63] 刘君军. 人参蓝莓饮料的制备及其抗疲劳活性研究[D]. 长春: 吉林大学, 2017: 41.
- [64] 伍锦鸣, 卓浩廉, 普元柱, 等. 蓝莓花青素超声提取工艺优化及在卷烟中的应用研究[J]. 食品工业, 2012, 33(4): 30-33.

(上接第 220 页)

- [46] 谭荣欣, 崔术新, 王慧, 等. 4 种含钛的多金属酸盐的合成及抗肿瘤活性研究[J]. 分子科学学报, 2013, 29(2): 152-155.
- [47] SABARINATHAN C, KARTHIKEYAN M, HARISMA B R, et al. One pot synthesis of luminescent polyoxometalate supported transition metal complex and biological evaluation as a potential larvicidal and anti-cancer agent [J]. Journal of Molecular Structure, 2019, 127(22): 486-495.
- [48] QI Yan-fei, ZHANG Hong, WANG Juan, et al. In vitro anti-hepatitis B and SARS virus activities of a titanium-substituted-heteropolytungstate[J]. Antiviral Research, 2012, 93(1): 118-125.
- [49] QI Yue, XIANG Yu, WANG Juan, et al. Inhibition of hepatitis C virus infection by polyoxometalates[J]. Antiviral Research, 2013, 100(2): 392-398.
- [50] WANG Juan, LIU Yang, XU Kun, et al. Broad-spectrum antiviral property of polyoxometalate localized on a cell surface[J]. Acs Applied Materials & Interfaces, 2014, 6(12): 9785-9789.
- [51] 刘霞, 赵军, 冯长根. 含有磺胺的多金属酸盐的合成及抑制前列腺癌细胞 PC-3M 作用的研究[J]. 化学学报, 2006, 64(19): 1988-1991.
- [52] 刘霞, 赵军, 熊宇迪. 磺胺多金属酸盐对人宫颈癌 Hela 细胞的抑制作用[J]. 化学研究, 2008, 19(2): 96-98.
- [53] TATIANA M. Applications of polyoxometalates in medicine and their putative mechanisms of action[D]. Faro: Universidade do Algarve, 2015: 10-35.

(上接第 230 页)

- [35] CAI Xian-bin, HAYASHI S H, FANG Chong-ye, et al. Pu-erh tea extract-mediated protection against hepatosteatosis and insulin resistance in mice with diet-induced obesity is associated with the induction of de novo lipogenesis in visceral adipose tissue[J]. J Gastroenterol, 2017, 52(12): 1240-1251.
- [36] KUBOTA K, SUMI S, TOJO H, et al. Improvements of mean body mass index and body weight in preobese and overweight Japanese adults with black Chinese tea (Pu-Erh) water extract[J]. Nutr Res, 2011, 31(6): 421-428.
- [37] JENSEN G S, BEAMAN J L, HE Y, et al. Reduction of body fat and improved lipid profile associated with daily consumption of a Pu-erh tea extract in a hyperlipidemic population: A randomized placebo-controlled trial [J]. Clin Interv Aging, 2016, 11: 367-376.
- [38] 陈亚蓝. 普洱茶茶色素对 SD 大鼠脂质代谢的影响及其作用机理研究[D]. 天津: 天津商业大学, 2016: 19-56.
- [39] WU En-kai, ZHANG Ting-ting, TAN Chao, et al. Theabrownin from Pu-erh tea together with swinging exercise synergistically ameliorates obesity and insulin resistance in rats[J]. Eur J Nutr, 2019, DOI: 10.1007/s00394-019-02044-y.
- [40] HU Wen-yi, MA Xiao-hui, ZHOU Wang-yi, et al. Preventive effect of Silibinin in combination with Pu-erh tea extract on non-alcoholic fatty liver disease in ob/ob mice[J]. Food Funct, 2017, 8(3): 1105-1115.