

# 黑莓药理作用研究进展

李铭玉, 刘萍 (南京悠维有机食品有限公司, 悠果维健康研究院, 江苏南京 320115)

**摘要** 黑莓被列为世界第三代水果, 被欧美国家赞誉为“黑钻石”“生命之果”, 是最早用于药用的水果之一, 因其具有多种营养成分和医药疗效, 已成为食品与保健品研究的焦点, 现代药理学研究表明其具有广泛的药理作用。从抗氧化、抗病毒、抗炎抗感染、降血糖、改善血脂异常、抗肥胖、防治与年龄相关的退行性病变、防治心血管疾病、抗癌等方面对黑莓的药理作用研究进展进行综述, 为黑莓的进一步研究和利用提供依据。

**关键词** 黑莓; 营养价值; 药理作用

中图分类号 R 285.5 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2020)05-0021-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.05.006



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

## Research Progress on Pharmacological Action of Blackberry

LI Ming-yu, LIU Ping (Youguowei Health Research Institute, Nanjing Youwei Organic Food Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu 320115)

**Abstract** Blackberry is listed as the third-generation fruit in the world and praised as “black diamond” and “fruit of life” by European and American countries. It is one of the earliest fruits used for medicinal purposes. Because it has a variety of nutritional ingredients and medical effects, it has become the focus of food and health care research. Modern pharmacological research shows that it has a wide range of pharmacological effects. This article reviewed the research progress on the pharmacological effects of blackberry in terms of anti-oxidation, anti-virus, anti-inflammatory and anti-infection, hypoglycemia, improvement of dyslipidemia, anti-obesity, prevention and treatment of age-related degenerative diseases, prevention and treatment of cardiovascular disease, anti-cancer, etc., and provides the basis for further research and utilization of blackberry.

**Key words** Blackberry; Nutrient value; Pharmacology

黑莓(Blackberry)为蔷薇科(Rosaceae)悬钩子属(*Rubus* L.)植物, 原产北美<sup>[1]</sup>, 是当今风靡欧美的第三代小果类果树的重要成员, 在欧美已有 100 多年的栽培历史, 广泛分布于北欧国家不同地区, 并广泛运用于中草药领域, 是最早用于药用的水果之一, 具有很高的营养价值和药用价值。早在 16 世纪, 黑莓果汁就在欧洲被用来治疗口腔和眼睛感染<sup>[2]</sup>。江苏省中国科学院植物研究所于 1986 年开始黑莓的引种利用研究, 历经十年获得成功。目前江苏省南京市溧水种植面积上万亩, 被誉为“中国黑莓之乡”“国内最大的黑莓种植基地”。现代医学研究表明, 黑莓具有抗菌、抗癌、降低血糖、抗氧化等作用<sup>[3]</sup>。目前关于黑莓国内研究较少, 主要是国外研究较多, 笔者就国内外关于黑莓现代药理学研究进行了综述。

### 1 黑莓的营养价值

黑莓是多酚类化合物的丰富来源, 包括花青素、鞣花单宁、黄酮醇、黄烷-3-醇、原花青素<sup>[4]</sup>, 黑莓强大的抗氧化能力以及其他生物活性主要是多酚类化合物起作用的。除多酚类化合物外, 黑莓中还含有酚酸类化合物和少量的木质素类化合物<sup>[5-6]</sup>。据报道, 黑莓之所以表现出高抗氧化能力, 就是与花青素含量以及花青素组成成分有关。黑莓每 100 g 鲜果中总酚类物质含量为 114~1 056 mg<sup>[7]</sup>, 其中黑莓总花青素含量为 1.144~2.415 mg/g<sup>[8]</sup>, 而花青素组成成分中矢车菊素-3-O-葡萄糖苷占到黑莓花青素组成成分中的 94%, 因此与公认抗氧化能力强的蓝莓相比, 黑莓展现出更强的抗氧化能力<sup>[9]</sup>。除有价值的多酚类化合物外, 黑莓中还含有蛋白质、

脂肪、碳水化合物、膳食纤维和几种必需的维生素和矿物质, 脂肪包括总饱和脂肪酸、总单不饱和脂肪酸以及人体必需脂肪酸亚油酸、 $\alpha$ -亚麻酸; 碳水化合物糖类主要是葡萄糖、果糖和蔗糖, 不同的品种糖类的比例也不同; 维生素包括 B 族维生素, 主要有  $V_{B_1}$ 、 $V_{B_2}$ 、 $V_{B_6}$ 、 $V_{B_{12}}$ 、烟酸、泛酸、叶酸以及  $V_A$ 、 $V_C$ 、 $V_K$ ; 矿物质包括人体必需的常量元素磷、钠、镁、钾、钙以及人体必需的微量元素铁、锌、铜、硒和人体可能必需的微量元素锰<sup>[4]</sup>。国外学者 Ahmad 等<sup>[10]</sup>将黑莓与覆盆子相比, 结果发现黑莓在能量、总蛋白、氮、钾、钙、锌的含量方面拥有极高的食用价值, 并且其自由基抑制率达 98.89%, 抗氧化能力强, 可以作为营养补充剂, 以此证明了黑莓的营养价值。另外黑莓中含有不同有机酸, 包括苹果酸、坏血酸、柠檬酸、异柠檬酸以及微量的紫菜酸、富马酸和琥珀酸, 这些有机酸对稳定花青素和抗坏血酸以及延长新鲜和加工浆果的保质期十分重要。

### 2 黑莓的药理作用研究现状

**2.1 降血糖** 张伟等<sup>[11]</sup>通过给小鼠尾静脉注射四氧嘧啶造进行糖尿病造模, 随机分组后分别灌胃不同剂量黑莓籽油以及石油醚、乙酸乙酯和正丁醇部位的黑莓籽, 7 d 后观察黑莓籽油以及石油醚、乙酸乙酯和正丁醇部位的黑莓籽对糖尿病小鼠的血糖、肝糖原、脂质代谢和氧化应激的影响, 结果发现, 除石油醚部位高剂量组外, 黑莓籽油中低剂量组降低餐后血糖无显著性差异; 在一定剂量下黑莓籽油以及石油醚、乙酸乙酯部位的黑莓籽能显著地升高肝糖元的含量, 降低血清甘油三酯、总胆固醇的含量。这表明黑莓籽油以及石油醚、乙酸乙酯部位的黑莓籽虽然对糖尿病大鼠血糖降低作用不显著, 但是对糖尿病的脂质代谢紊乱、氧化应激具有一定的改善作用。Špímolá 等<sup>[12]</sup>体外试验通过抑制 2 型糖尿病相

**作者简介** 李铭玉(1990—), 女, 四川绵阳人, 住院医师, 硕士, 从事食品营养成分研究。

**收稿日期** 2019-08-15; **修回日期** 2019-09-06

关消化酶,观察黑莓提取物对2型糖尿病消化酶的体外抑制作用,并测定了酚类成分、抗氧化活性和细胞毒性,结果发现,黑莓具有50种多酚类物质,其中花青素和鞣花单宁是主要的化合物,矢车菊素-3-葡萄糖苷是主要的降血糖和降血脂成分之一;黑莓甲醇提取物对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶和 $\beta$ -葡萄糖苷酶有较强的抑制作用,但对 $\alpha$ -淀粉酶和胰脂肪酶的抑制作用不如现有药物阿卡波糖;黑莓中黄酮醇、鞣花单宁和花青素苷是葡萄糖苷酶的主要抑制剂,黄酮醇和鞣花单宁是脂肪酶的主要抑制剂,黄酮醇和黄酮-3-醇含量对淀粉酶活性影响较大;黄酮醇和鞣花单宁能够抑制牛血清白蛋白(BSA)的糖基化,是最有效的抗糖基化剂,糖化血红蛋白A1c(HbA1c)水平的升高被认为是导致微血管和大血管并发症(视网膜病变、神经病、肾病)的主要危险因素之一<sup>[13-14]</sup>。结果表明黑莓能够降低血糖和减少糖尿病并发症发生,对2型糖尿病的防治有潜在的有益作用。Ștefănuț等<sup>[15]</sup>将黑莓花青素添加到糖尿病大鼠饮水中,给糖尿病大鼠灌胃5周,5周后发现大鼠血糖水平由360 mg/dL降至270 mg/dL,结果表明黑莓花青素能够有效降低血糖,其抗高血糖机制可能与黑莓中花青素主要成分矢车菊素-3-葡萄糖苷通过增加 $\beta$ 细胞增殖或降低氧化应激来保护 $\beta$ 细胞有关。

**2.2 降血脂** 尹震花等<sup>[16]</sup>通过上午除空白组外给小鼠灌胃高脂乳剂进行高脂血症造模,下午灌胃不同剂量黑莓籽油以及石油醚、乙酸乙酯和正丁醇部位的黑莓籽,14 d后观察黑莓籽油以及石油醚、乙酸乙酯和正丁醇部位的黑莓籽对高脂血症小鼠脂质代谢和脂质过氧化的影响,结果发现,与模型组相比,黑莓籽油以及石油醚、乙酸乙酯和正丁醇部位的黑莓籽在一定剂量下能够降低高脂血症小鼠的血清甘油三脂、总胆固醇、丙二醛以及肝脾系数,提高SOD的活性,表明黑莓籽油以及石油醚、乙酸乙酯和正丁醇部位的黑莓籽在一定程度上能够调节脂质代谢,减少脂质在肝脾的堆积,减少氧化应激,因此对高脂血症具有一定程度上的改善作用。

**2.3 抗菌** 早在16世纪,黑莓果汁就被用来治疗口腔和眼睛的感染<sup>[2]</sup>。黑莓提取物、果汁和叶中含有丰富的多酚类物质,具有抗炎和抗菌作用<sup>[17-18]</sup>。González等<sup>[19]</sup>体外采用水溶性四氮唑-1比色法测定黑莓提取物对10种不同口腔细菌活性的影响,结果发现,350~1 400  $\mu$ g/mL黑莓提取物可降低牙龈卟啉单胞菌、具核梭杆菌和变形链球菌的活性,对口腔上皮细胞活性无影响,表明黑莓提取物能对口腔具有独特的抗菌性能,杀死口腔致病菌的同时不损伤正常的口腔上皮细胞,对常见口腔细菌引起的口腔疾病具有一定的防治作用。Dai等<sup>[2]</sup>体外细胞试验研究黑莓花青素对在不同剂量脂质A诱导的促炎因子白介素-12(IL-12)的抑制作用,结果发现,0~40 g/mL花青素可抑制不管高剂量(10.0 g/mL)还是低剂量(0.1 g/mL)脂质A诱导小鼠骨髓来源树突状细胞释放的IL-12,且抑制作用随着浓度的增加而增强,表明黑莓花青素具有显著的抗炎作用。汪洪涛等<sup>[20]</sup>观察黑莓渣中原花青素对常见致病菌大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、沙门氏菌、蜡样芽孢杆菌、汉逊氏酵母的抑制作用,结果发现,黑莓渣中

原花青素对常见的致病性细菌如金黄色葡萄球菌、大肠杆菌、沙门氏菌和蜡样芽孢杆菌均有不同程度的抑制作用,其抑菌效果与原花青素浓度呈正相关,但对酵母的抑制效果较差,表明黑莓原花青素具有一定的抑菌作用,且抑菌效果与剂量有关。

**2.4 防护肝损伤** 庄晶晶等<sup>[21]</sup>利用DCFH-DA荧光探针检测肝细胞内ROS水平,探讨黑莓黄酮对过氧化氢( $H_2O_2$ )诱导的肝细胞氧化损伤的保护作用,结果发现,与未处理的对照组相比,经200  $\mu$ mol/L  $H_2O_2$ 作用肝细胞LO<sub>2</sub>时,荧光强度明显增强至276.62%,而利用黑莓黄酮40  $\mu$ g/mL+ $H_2O_2$ 作用肝细胞LO<sub>2</sub>时,荧光强度降低至193.25%,黑莓黄酮80  $\mu$ g/mL+ $H_2O_2$ 作用肝细胞LO<sub>2</sub>时,荧光强度降低至139.19%,表明黑莓黄酮能有效降低 $H_2O_2$ 诱导肝细胞氧化损伤,对肝细胞起到一定的保护作用。

**2.5 抗氧化** 赵慧芳等<sup>[22]</sup>研究不同品种不同生长发育阶段黑莓果实对2,2-二苯基苦基苯肼自由基(DPPH)的清除作用,结果发现,不同发育阶段的黑莓果实均表现出了较强的抗氧化活性,发育初期果实的抗氧化能力最强,快速生长期内果实的抗氧化能力迅速下降,生长停滞期内果实的抗氧化能力下降较为缓慢,而成熟期又有一次明显的下降;表明不同发育阶段的黑莓果实均表现出较强的抗氧化能力,其中发育初期的黑莓果实的自由基清除能力最强,总抗氧化能力最高。Chen等<sup>[23]</sup>模拟体外胃肠消化黑莓后观察黑莓对丙酰酰胺(AA)诱导的氧化应激的保护作用,结果发现,体外胃肠消化增加黑莓对AA诱导的氧化应激的保护作用,降低AA诱导的超氧阴离子自由基,保护AA诱导的线粒体膜氧化损伤,减少GSH耗竭,提高SOD和CAT酶活性,表明黑莓具有显著的抗氧化作用,对外源污染物诱导的氧化应激具有保护作用。

**2.6 减肥** Wu等<sup>[24]</sup>以高脂饲料喂养的C57BL/6小鼠为研究对象,在小鼠每日饮食中添加黑莓花青素,为期12周观察时间,研究黑莓花青素(BLA)抗肥胖的分子机制,结果发现,黑莓花青素能够抑制C57BL/6小鼠体重增加,显著降低血清和肝脏脂质水平,增强肝脏超氧化物歧化酶和谷胱甘肽过氧化物酶活性,增加粪便乙酸和丁酸水平,显著降低肿瘤坏死因子- $\alpha$ 、白细胞介素-6和核因子- $\kappa$ B基因的表达,对肝脏脂质代谢和葡萄糖代谢途径(包括甘油磷脂代谢、谷胱甘肽代谢和胰岛素信号通路)也有显著影响,表明黑莓花青素通过减轻氧化应激和炎症以及加速能量消耗,从而改善饮食诱导的肥胖,为黑莓临床改善肥胖症提供了理论依据。

**2.7 保护神经细胞** 研究表明,饮食中补充水果和蔬菜,特别是浆果,对大脑健康有积极影响<sup>[25]</sup>。黑莓中富含花青素,据报道,花青素进入大脑的速度是非常迅速的,因为它们药代动力学非常快,从它们进入胃后10 min就能在大脑中被检测到<sup>[26]</sup>。Figueira等<sup>[27]</sup>研究设计了一种模拟人体胃肠道消化黑莓多酚的模型,观察黑莓多酚能否跨越血脑屏障(BBB)进入大脑,并对脑内的神经细胞起到保护作用,结果发现,黑莓多酚能够跨越血脑屏障,进入大脑,其主要机制是

通过 2 种经典通路起作用的,包括 mTOR 信号通路和未折叠蛋白反应通路,同时试验中首次发现了调控基因 ASNS 和 ATF5 对黑莓多酚神经细胞保护作用也起着调控作用,表明经胃肠道消化后黑莓多酚能够跨越血脑屏障,进入大脑起到保护神经细胞的作用。Shukitt 等<sup>[28]</sup>研究给老年 Fischer 344 大鼠(19 月龄)喂食黑莓 8 周后,发现黑莓能显著提高衰老大鼠空间工作记忆能力和短期记忆能力,改善衰老大鼠的运动和认知能力,试验推测黑莓是通过抗炎和抗氧化减轻衰老导致的运动和空间记忆能力障碍。结果表明黑莓对因为年龄增大导致的运动和空间工作记忆能力的变化有积极的影响。

**2.8 保护血管,减少血管老化** 血管紧张素 II(AngII)信号在机体衰老过程中被激活,导致活性氧(ROS)增加,出现血管老化,这一过程与心血管疾病(CVD)的发生和发展有关。Feresin 等<sup>[29]</sup>研究黑莓多酚提取物对 AngII 诱导的血管老化的抑制作用,并探讨其分子机制,结果发现黑莓多酚可以减少血管平滑肌活性氧(ROS)数量,抑制 AngII 信号传导,减少与衰老相关  $\beta$ -半乳糖苷酶(SA- $\beta$ -GAL)细胞的数量,下调 p21 和 p53 的表达,增加超氧化物歧化酶 1(SOD1)的表达,减少 ANGII 诱导的 Akt、p38MAPK 和 ERK 1/2 蛋白磷酸化,下调 NOX 1 过度表达。黑莓多酚除了抑制 AngII 诱导的血管老化,还能促进血管舒张剂(一氧化氮、内皮衍生超极化因子)的产生,并抑制内皮细胞内血管收缩因子(内皮素-1)的产生<sup>[30]</sup>。结果表明黑莓多酚对 AngII 诱导的血管老化有较强的抑制作用,从而能够起到保护血管、降低心血管疾病的作用,推测黑莓多酚通过降低 ROS 的产生和(或)通过增加细胞的抗氧化能力以及下调 NOX 1 过度表达来抑制 AngII 诱导的血管老化,有可能作为一种预防动脉粥样硬化等年龄和氧化应激相关疾病的替代或补充疗法。

**2.9 抗肿瘤** 黑莓是天然丰富的生物类黄酮和酚类化合物的来源,通常被称为潜在的癌化学预防剂<sup>[31]</sup>。许多文献已报道黑莓具有较好的抗肿瘤特性。Dai 等<sup>[2]</sup>首次研究了黑莓提取物对 HT-29 细胞(人结肠癌细胞)增殖的抑制作用,结果发现黑莓提取物以浓度依赖性的方式抑制 HT-29 细胞的生长,表明黑莓对结肠癌有一定的防治作用。Feng 等<sup>[31]</sup>研究了新鲜黑莓提取物对 12-O-十四烷酰佛波醇-13-乙酸酯(TPA)诱导的肿瘤细胞增殖与分化的影响,并探讨了信号转导途径的机制。通过电子自旋共振,发现黑莓提取物是一种有效的清除自由基方法,包括羟自由基和超氧自由基。黑莓提取物可抑制人肺癌细胞株 A549 的增殖,预防性给予黑莓提取物处理 A549 细胞可抑制紫外线 B(UVB)照射诱导的 8-羟基-2'-脱氧鸟苷(8-OHdG)的生成。黑莓提取物可抑制 TPA 诱导的 JB6 P<sup>+</sup>细胞的肿瘤分化,预防性给予黑莓提取物处理 JB6 P<sup>+</sup>细胞可阻断 UVB 和 TPA 诱导的 AP-1 激活。此外,黑莓提取物还能阻断 UVB 或 TPA 诱导的 ERKs 和 JNKs 磷酸化,而不阻断 p38 激酶。结果表明新鲜黑莓提取物可能抑制肿瘤启动子诱发的癌变及相关细胞信号转导,同时新鲜黑莓的癌化学预防剂作用可能是通过其抗氧化性能阻断活

性氧介导的 AP-1 和有丝分裂原激活蛋白激酶激活。Dai 等<sup>[32]</sup>研究黑莓提取物(ACES)对人结肠癌(HT-29)、乳腺癌(MCF-7)和白血病(HL-60)细胞细胞的杀伤作用,结果发现黑莓提取物对 HT-29、MCF-7 和 HL-60 具有不同程度的杀伤作用,其中 HL-60 细胞对 ACES 最敏感,其 EC<sub>50</sub> 值分别是 MCF-7 和 HT-29 细胞的 5.7 倍和 3.3 倍,表明 ACES 抗增殖活性并不是由于培养基中产生的 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 所致,而是一些活性成分在细胞产生 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 之前迅速被细胞吸收从而诱导细胞毒性。此外,黑莓花青素主要成分矢车菊素-3-葡萄糖苷本身对 ACES 的抗增殖活性作用不大,而是 ACES 中的花青素和非花青素酚类物质在抗癌作用中起协同或加性作用,从而导致癌细胞的细胞毒性。

**2.10 其他药理作用** 研究表明,黑莓还可以抗痢疾、抗腹泻<sup>[3]</sup>、抗病毒<sup>[33]</sup>、抗血栓<sup>[34]</sup>、抗帕金森<sup>[35]</sup>等,药理作用非常广泛。

### 3 展望

综上所述,黑莓药理作用较多,多酚物质、维生素、矿物质、膳食纤维等营养成分丰富,对人体健康有很大的好处,具有很大的开发利用价值。随着国内生活水平和人们对黑莓认知度的提高,黑莓产品将越来越受到国内消费者的欢迎,具有很大的市场潜力,但是目前国内关于黑莓的药理作用研究少且不够深入,国外主要以动物试验及体外试验为主,缺乏临床研究,在实际生活中运用缺乏一定的说服力,同时也面临一些严峻的问题如农药残留量超标、栽培条件差等方面的问题,严重影响黑莓的营养价值,因此,为保证黑莓的营养价值及食品健康,应当选择纯天然绿色有机种植,同时进一步深入研究黑莓的药理作用,加强黑莓临床运用探索,为黑莓的药用价值提供更加有力的科学依据。

### 参考文献

- [1] 赵慧芳,马海燕,吴文龙,等.黑莓果汁离子交换树脂脱酸工艺的条件优化[J].食品安全质量检测学报,2018,9(16):4402-4406.
- [2] DAI J, PATEL J D, MUMPER R J. Characterization of blackberry extract and its antiproliferative and anti-inflammatory properties[J]. J Med Food, 2007, 10(2): 258-265.
- [3] VERMA R, GANGRADE T, PUNASIYA R, et al. Rubus fruticosus (blackberry) use as an herbal medicine[J]. Pharmacogn Rev, 2014, 8(16): 101-104.
- [4] U. S. Department of Agriculture (USDA) national nutrient database for standard reference[EB/OL]. [2019-05-04]. <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search/>.
- [5] ZHAO Y Y. Berry fruit: Value-added products for health promotion[M]. Boca Raton, FL: CRC Press, 2007.
- [6] MAZUR W M, UEHARA M, WÄHÄLÄ K, et al. Phyto-estrogen content of berries, and plasma concentrations and urinary excretion of enterolactone after a single strawberry-meal in human subjects[J]. The British journal of nutrition, 2000, 83(4): 381-387.
- [7] KAUME L, HOWARD L R, DEVAREDDY L. The blackberry fruit: A review on its composition and chemistry, metabolism and bioavailability, and health benefits[J]. J Agric Food Chem, 2012, 60: 5716-5727.
- [8] CHO M J, HOWARD L R, PRIOR R L, et al. Flavonoid glycosides and antioxidant capacity of various blackberry, blueberry and red grape genotypes determined by high-performance liquid chromatography/mass spectrometry [J]. J Sci Food Agric, 2004, 84(13): 1771-1782.
- [9] LEE S G, VANCE T M, NAM T G, et al. Contribution of anthocyanin composition to total antioxidant capacity of Berries[J]. Plant Foods Hum Nutr, 2015, 70: 427-432.
- [10] AHMAD M, MASOOD S, SULTANA S, et al. Report: Antioxidant and nu-

- traceutical value of wild medicinal *Rubus* berries[J]. *Pak J Pharm Sci*, 2015, 28(1): 241-247.
- [11] 张伟, 尹震花, 康文艺. 黑莓籽对四氧嘧啶诱导糖尿病小鼠的影响[J]. *食品工业科技*, 2014, 35(19): 351-354, 358.
- [12] SPÍNOLA V, PINTO J, LLORENT-MARTÍNEZ E J, et al. Evaluation of *Rubus grandifolius* L. (wild blackberries) activities targeting management of type-2 diabetes and obesity using *in vitro* models[J]. *Food Chem Toxicol*, 2019, 123: 443-452.
- [13] KHARROUBI A T, DARWISH H M. Diabetes mellitus: The epidemic of the century[J]. *World J Diabetes*, 2015, 6(6): 850-867.
- [14] KHAZRAI Y M, DEFEUDIS G, POZZILLI P. Effect of diet on type 2 diabetes mellitus: A review[J]. *Diabetes Metab Res Rev*, 2014, 30(S1): 24-33.
- [15] ȘTEFĂNUȚ M N, CĂȚA A, POP R, et al. Anti-hyperglycemic effect of bilberry, blackberry and mulberry ultrasonic extracts on diabetic rats[J]. *Plant Foods Hum Nutr*, 2013, 68(4): 378-384.
- [16] 尹震花, 张伟, 冯发进, 等. 黑莓籽降血脂有效部位研究[J]. *中国实验方剂学杂志*, 2014, 20(24): 194-198.
- [17] DENEV P, KRATCHANOVA M, CIZ M, et al. Antioxidant, antimicrobial and neutrophil-modulating activities of herb extracts[J]. *Acta Biochim Pol*, 2014, 61(2): 359-367.
- [18] AZOFEIFA G, QUESADA S, BOUDARD F, et al. Antioxidant and anti-inflammatory *in vitro* activities of phenolic compounds from tropical highland blackberry (*Rubus adenotrichos*) [J]. *J Agric Food Chem*, 2013, 61(24): 5798-5804.
- [19] GONZÁLEZ O A, ESCAMILLA C, DANAHER R J, et al. Antibacterial effects of blackberry extract target periodontopathogens[J]. *J Periodontol Res*, 2013, 48(1): 80-86.
- [20] 汪洪涛, 陈成, 余芳, 等. 黑莓渣中原花青素的抑菌性与稳定性研究[J]. *酿酒科技*, 2013(12): 85-88.
- [21] 庄晶晶, 陈卫, 李亚, 等. 黑莓黄酮的自由基清除活性与防护肝细胞氧化损伤研究[J]. *中国食品学报*, 2015, 15(7): 46-53.
- [22] 赵慧芳, 吴文龙, 阎连飞, 等. 黑莓果实的抗氧化活性研究[J]. *食品工业科技*, 2013, 34(17): 82-86.
- [23] CHEN W, SU H M, XU Y, et al. *In vitro* gastrointestinal digestion promotes the protective effect of blackberry extract against acrylamide-induced oxidative stress[J]. *Sci Rep*, 2017, 7: 1-11.
- [24] WU T, GAO Y F, GUO X Q, et al. Blackberry and blueberry anthocyanin supplementation counteract high-fat-diet-induced obesity by alleviating oxidative stress and inflammation and accelerating energy expenditure[J]. *Oxid Med Cell Longev*, 2018, 2018: 1-9.
- [25] WILLIAMS R J, SPENCER J P E. Flavonoids, cognition, and dementia: Actions, mechanisms, and potential therapeutic utility for Alzheimer disease[J]. *Free Radic Biol Med*, 2012, 52(1): 35-45.
- [26] PASSAMONTI S, VRHOVSEK U, VANZO A, et al. Fast access of some grape pigments to the brain[J]. *J Agric Food Chem*, 2005, 53(18): 7029-7034.
- [27] FIGUEIRA I, TAVARES L, JARDIM C, et al. Blood-brain barrier transport and neuroprotective potential of blackberry-digested polyphenols: An *in vitro* study[J]. *Eur J Nutr*, 2019, 58(1): 113-130.
- [28] SHUKITT-HALE B, CHENG V, JOSEPH J A. Effects of blackberries on motor and cognitive function in aged rats[J]. *Nutr Neurosci*, 2009, 12(3): 135-140.
- [29] FERESIN R G, HUANG J W, KLARICH D S, et al. Blackberry, raspberry and black raspberry polyphenol extracts attenuate angiotensin II-induced senescence in vascular smooth muscle cells[J]. *Food Funct*, 2016, 7(10): 4175-4187.
- [30] CHONG M F, MACDONALD R, LOVEGROVE J A. Fruit polyphenols and CVD risk: A review of human intervention studies[J]. *Br J Nutr*, 2010, 104(S3): 28-39.
- [31] FENG R T, BOWMAN L L, LU Y J, et al. Blackberry extracts inhibit activating protein 1 activation and cell transformation by perturbing the mitogenic signaling pathway[J]. *Nutr Cancer*, 2004, 50(1): 80-89.
- [32] DAI J, GUPTA A, GATES L, et al. A comprehensive study of anthocyanin-containing extracts from selected blackberry cultivars: Extraction methods, stability, anticancer properties and mechanisms[J]. *Food Chem Toxicol*, 2009, 47(4): 837-847.
- [33] DANAHER R J, WANG C M, DAI J, et al. Antiviral effects of blackberry extract against herpes simplex virus type 1[J]. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2011, 112(3): 31-35.
- [34] WANG J M, LIAN P L, YU Q, et al. Antithrombotic mechanism of polysaccharides in Blackberry (*Rubus* spp.) seeds[J]. *Food Nutr Res*, 2017, 61(1): 1-9.
- [35] FAHIMI Z, JAHROMY M H. Effects of blackberry (*Morus nigra*) fruit juice on levodopa-induced dyskinesia in a mice model of Parkinson's disease[J]. *J Exp Pharmacol*, 2018, 10: 29-35.

## (上接第20页)

- [13] 刘祖贵, 陈金平, 段爱旺, 等. 不同土壤水分处理对夏玉米叶片光合等生理特性的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2006, 24(1): 90-95.
- [14] 杨惠敏, 王根轩. 干旱和 CO<sub>2</sub> 浓度升高对干旱区春小麦气孔密度及分布的影响[J]. *植物生态学报*, 2001, 25(3): 312-316.
- [15] 于文颖, 纪瑞鹏, 冯锐, 等. 不同生育期玉米叶片光合特性及水分利用效率对水分胁迫的响应[J]. *生态学报*, 2015, 35(9): 2902-2909.
- [16] 郑容妹. 沿海沙地引种绿竹等竹子的抗盐抗旱机理研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2003.
- [17] 陈松河, 黄金能, 马丽娟, 等. NaCl 胁迫对竹类植物形态和生长活力的影响[J]. *西北林学院学报*, 2013, 28(3): 84-87.
- [18] 戴胜明, 梁英辉, 穆丹, 等. 盐胁迫对溪荪叶片生长及生理特性的影响[J]. *安徽农学通报*, 2018, 24(7): 13-15, 19.
- [19] 李从娟, 徐新文, 孙永强, 等. 不同生境下三种荒漠植物叶片及土壤 C、N、P 的化学计量特征[J]. *干旱区地理*, 2014, 37(5): 996-1004.
- [20] 钟悦鸣, 董芳宇, 王文娟, 等. 不同生境胡杨叶片解剖特征及其适应可塑性[J]. *北京林业大学学报*, 2017, 39(10): 53-61.
- [21] 屠臣阳, 皇甫超河, 姜娜, 等. 不同生境黄顶菊碳氮磷化学计量特征[J]. *中国农学通报*, 2013, 29(17): 171-176.
- [22] 蒋会兵, 孙云南, 李梅, 等. 紫娟茶树叶片不同发育期花青素积累及合成相关基因的表达[J]. *茶叶科学*, 2018, 38(2): 174-182.
- [23] 邱尔发, 陈卓梅, 洪伟, 等. 不同年龄麻竹阴阳叶生态生理特性[J]. *生态学报*, 2006, 26(10): 3296-3301.
- [24] 陈羨德, 陈礼光, 荣俊冬, 等. 施肥对沿海沙地麻竹笋期叶片养分动态的影响[J]. *福建农林大学学报(自然科学版)*, 2007, 36(6): 585-590.
- [25] 马建军, 于凤鸣, 张立彬, 等. 野生欧李果实发育期不同叶位叶片中主要矿质元素含量的变化[J]. *果树学报*, 2010, 27(1): 34-38.
- [26] 童龙, 李彬, 陈丽洁, 等. 钩梢强度对麻竹生物量分配和生理特性的影响[J]. *应用生态学报*, 2016, 27(10): 3137-3144.
- [27] 童龙, 张磊, 李彬, 耿养会, 等. 钩梢对麻竹叶片 C、N、P 化学计量特征的影响[J]. *北京林业大学学报*, 2018, 40(11): 69-75.
- [28] JOSE, 杨自杰. 栽植密度、叶子部位和管理措施对苹果树叶片养分含量的影响[J]. *国外农学(果树)*, 1980, 7(3): 19-20.
- [29] 张永强, 方辉, 范贵强, 等. 遮阴和种植密度对新疆滴灌冬小麦旗叶生理特性及产量的影响[J]. *麦类作物学报*, 2018, 38(11): 1352-1358.
- [30] 史发猛. 不同养分土壤条件下初选橡胶树优株的生长及对土壤养分利用的研究[D]. 海口: 海南大学, 2013.
- [31] 荣俊冬, 凡莉莉, 陈礼光, 等. 不同用量保水剂对沿海沙地麻竹生理特征的影响[J]. *南方农业学报*, 2019, 50(2): 323-329.
- [32] 罗汉东, 朱从飞, 江亮波, 等. 不同模式施肥对油茶叶片生长及其养分含量的影响[J]. *经济林研究*, 2016, 34(3): 148-152.
- [33] 黄营, 黄林胜, 覃其云, 等. 配方施肥对麻竹叶片营养元素含量的影响[J]. *安徽农业科学*, 2016, 44(17): 190-192.