

牛油果油的营养成分和功效研究进展

陈宏著¹, 邓新宇¹, 黄达荣¹, 刘晓珍², 黎攀¹, 杜冰¹

(1. 华南农业大学 食品学院, 广州 510642; 2. 东莞理工学院 化学工程与能源技术学院, 广东 东莞 523830)

摘要:牛油果是营养价值很高的水果, 富含多种维生素以及钠、钾、镁、钙等多种矿物质元素, 具有较好的保健作用。牛油果油含有不饱和脂肪酸以及植物甾醇、生育酚、角鲨烯, 具有抗氧化、降血脂、降血压、保肝、保护神经等作用, 可应用于食品、化妆品和医药行业。国内对牛油果油功效研究较少, 国外相关研究较为活跃且深入, 但国内外对于牛油果油的功效研究仍不完善。综合国内外有关牛油果油的研究, 对其营养成分和功效进行综述, 展望了牛油果油未来的研究方向与应用前景, 以期对牛油果油传统提取方法的创新、作用机制的深入研究及相关保健品和辅助治疗药物的开发利用提供参考。

关键词:牛油果油; 营养成分; 功效

中图分类号: TS225.1; TQ645.1 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2022)08-0090-07

Progress on nutritional components and efficacy of avocado oil

CHEN Hongzhu¹, DENG Xinyu¹, HUANG Darong¹,
LIU Xiaozhen², LI Pan¹, DU Bing¹

(1. College of Food Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

2. School of Chemical Engineering and Energy Technology, Dongguan University of
Technology, Dongguan 523830, Guangdong, China)

Abstract: Avocado is a fruit with high nutritional value. It is rich in a variety of vitamins, and mineral elements including sodium, potassium, magnesium, calcium, and it has a good health care effect. Avocado oil contains unsaturated fatty acids, phytosterols, tocopherols, and squalene, and it has the functions of antioxidation, lowering blood lipid, lowering blood pressure, protecting liver and neuroprotection. The avocado oil can be used in food, cosmetics and pharmaceutical industries. The research on the efficacy of avocado oil abroad is active and in-depth, while the domestic research is few, and the research on the efficacy of avocado oil at home and abroad is still imperfect. The relevant research on avocado oil at home and abroad was summarized from nutritional components and efficacy, and the future research direction and application prospect of avocado oil were prospected, so as to provide references for the innovation of avocado oil traditional extraction methods, the in-depth research on action mechanism, and the development and utilization of related health products and adjuvant therapeutic drugs.

Key words: avocado oil; nutritional component; efficacy

牛油果(*Persea americana* Mill.), 又称为鳄梨、

油梨、樟梨、酪梨等, 为樟科鳄梨属植物, 属常绿乔木。牛油果原产于热带美洲, 我国广东、海南、福建、台湾、云南及四川等地都有少量栽培。牛油果是营养价值很高的水果, 保健作用较好, 果肉为黄绿色, 气味如牛油, 被称为“森林中的牛油”, 富含蛋白质、脂肪、碳水化合物和维生素, 以及钠、钾、镁、钙等多种矿物质元素^[1-2]。根据牛油果品种的不同, 其油

收稿日期: 2021-06-21; 修回日期: 2022-02-18

作者简介: 陈宏著(1997), 男, 硕士研究生, 研究方向为食品营养与安全(E-mail) chz19970325@163.com。

通信作者: 杜冰, 教授, 博士(E-mail) gzdubing@163.com; 黎攀, 副教授, 博士(E-mail) lp19900815@scau.edu.cn。

脂含量为15%~30%,油中不饱和脂肪酸含量高达80%^[3]。牛油果油是从果肉中提取的,其种子只含2%的油脂^[4]。钱学射等^[5]分析表明牛油果油的油酸含量为34.3%~81.0%,棕榈酸含量为7.2%~38.9%,亚油酸含量为6.0%~26.6%,亚麻酸含量为2.1%~5.8%,不饱和脂肪酸含量为60%~70%。

目前,大部分研究已对不同品种和产地的牛油果油进行了分析比较,为选择较优品种及产地生产牛油果油提供了参考。其中,哈斯(Hass)品种因其脂肪含量较高,已成为全球市场上常见的商业牛油果品种。随着牛油果成熟度的升高,果肉细胞更容易被破坏,从而提高油脂提取率,有利于控制成本^[6-7]。除了压榨法、水代法、浸提法提取牛油果油外,有部分研究采用水酶法、超临界CO₂萃取法提取具有独特风味的牛油果油^[8-11]。近年来,国内对牛油果油的提取工艺和营养成分研究较多,旨在能够保留其活性成分,提高营养价值,而对其功效方面的研究不够深入。因此,本文对牛油果油的营养成分和功效进行综述,以期对牛油果油的深入研究及开发利用提供参考。

1 牛油果油的营养成分

1.1 单不饱和脂肪酸

根据品种、成熟阶段、生长地理位置和提取方法的不同,牛油果油的理化特性及脂肪酸和甘油三酯组成差异较大^[6,12-20]。牛油果油脂肪酸组成和含量与橄榄油相似,富含单不饱和脂肪酸。Fernandes等^[21]检测表明牛油果油中油酸(C18:1 ω 9)含量为45.18%~64.64%,此外, ω 7油酸异构体含量为7.87%~10.08%,其次是棕榈酸,含量为11.64%~21.05%,亚油酸含量为8.25%~16.50%,棕榈油酸(C16:1 ω 7)含量为3.99%~11.41%,还有 ω 9和 ω 11棕榈油酸异构体。油酸作为单不饱和脂肪酸,不易氧化酸败,对人体有降血糖、调节血脂、保护心脏以及减少心脑血管疾病等作用^[22-23]。

1.2 植物甾醇

植物甾醇是植物中一种结构类似胆固醇的化合物,对人体健康十分有益。研究发现,每天摄入1.5~3g的植物甾醇可以降低8%~15%低密度脂蛋白胆固醇;此外,植物甾醇还具有抗癌、抗炎、抗动脉粥样硬化和抗氧化作用,具有重要临床意义^[24-25]。牛油果油所含植物甾醇与大豆油(3.0g/kg)相当,且因油脂提取方法不同有所差异,Chin等^[26]研究发现,超声波辅助水提取法(2.59g/kg)与亚临界CO₂萃取法(3.43g/kg)和溶剂浸提法(3.60g/kg)提取

的牛油果油中植物甾醇含量差异较大且各组分含量为 β -谷甾醇1.91~2.47g/kg, Δ 5-燕麦甾醇0.21~0.38g/kg,菜油甾醇0.28~0.37g/kg,豆甾醇0.19~0.21g/kg。Wong等^[27]研究发现冷榨牛油果油含有高含量的植物甾醇,其中 β -谷甾醇(2.23~4.48mg/g)为主要甾醇。王丽媛^[16]研究发现不同工艺提取的牛油果油中, β -谷甾醇含量顺序为压榨法(496.59mg/100g)>溶剂法(448.11mg/100g)>水酶法(421.65mg/100g)。

1.3 生育酚

生育酚是天然抗氧化剂,有 α 、 β 、 γ 和 δ 等同分异构体,其中以 α -生育酚的活性最强。 α -生育酚具有促进生殖发育、清除过氧自由基、抗炎、抗癌等作用。牛油果油中的主要抗氧化剂是 α -生育酚,含量为70~190mg/kg, β -、 γ -生育酚和 δ -生育酚含量较低^[27]。Fernandes等^[21]研究发现不同品种提取的牛油果油,除了Bacon品种中 γ -生育酚(71.61mg/kg)含量最高外,其余品种主要含 α -生育酚,含量在107.39~141.50mg/kg之间。王丽媛^[16]研究发现不同工艺提取的牛油果油中, α -生育酚含量顺序为溶剂法(25.56mg/100g)>水酶法(24.34mg/100g)>压榨法(23.80mg/100g)。Chin等^[26]的研究结论与王丽媛^[16]的相同,即不同提取方法对牛油果油中生育酚组成和含量有显著影响,其中 α -生育酚含量顺序为亚临界CO₂萃取法(226.69mg/kg)>溶剂法(115.20mg/kg)>超声波辅助水提取法(69.18mg/kg), γ -生育酚含量顺序为亚临界CO₂萃取法(29.62mg/kg)>溶剂法(18.07mg/kg)>超声波辅助水提取法(14.16mg/kg)。

1.4 角鲨烯

角鲨烯是由6个异戊二烯连接而成的不饱和三萜类化合物。角鲨烯能够保护细胞免受自由基损伤,具有促进心血管和皮肤健康、抗肿瘤、耐缺氧和降低有毒物质对机体的损伤等作用^[28]。张素英等^[29]利用气相色谱-质谱法(GC-MS)对超声波辅助乙醚提取的牛油果油进行分析,发现牛油果油含有3.51%的角鲨烯。王丽媛^[16]研究发现不同工艺提取的牛油果油中,角鲨烯含量顺序为溶剂法(113.39mg/kg)>压榨法(102.49mg/kg)>水酶法(83.65mg/kg)。Cicero等^[30]测得市售牛油果油中角鲨烯含量为42.93 μ g/g,高于椰子油和菜籽油。Fernandes等^[21]研究发现牛油果油中角鲨烯含量在190.52~1366.64mg/kg之间,与玉米油的相当。张继光等^[31]比较了云南9种特种木本油脂角鲨烯含量,发现牛油果油中角鲨烯含量(190~258

mg/kg)与普洱茶叶籽油(181 ~ 251 mg/kg)和澳洲坚果油(80.6 ~ 304 mg/kg)的相当。

1.5 其他成分

叶绿素和类胡萝卜素是构成牛油果油颜色的天然色素,其中,类胡萝卜素还具有潜在抗癌作用。牛油果油中叶绿素含量为11 ~ 19 mg/kg,类胡萝卜素含量为1.0 ~ 3.5 mg/kg,主要的类胡萝卜素则是叶黄素,含量为0.5 ~ 3.3 mg/kg^[26]。叶黄素不仅具有抗氧化作用,还可通过大脑屏障对脑功能有保护作用,如维持年长者的认知和语言能力,参与婴幼儿脑部神经发育^[32]。Cicero等^[30]分析发现牛油果油中含有的主要矿物质为Mg(1.64 μg/kg)、Ca(2.83 μg/kg)、Fe(2.90 μg/kg)、Se(0.13 μg/kg)。其中,Se在人体内无法合成,需每天补充以满足人的需求。张素英等^[29]利用GC-MS从不同方法提取的牛油果油中鉴定出66种化学成分,其中有鲸蜡醇和咖啡因等,对于维持牛油果油风味及在美容养颜等方面可能具有重要作用。多酚类化合物是重要的抗氧化物质,总酚含量与抗氧化活性呈极显著相关性,不同方法提取的牛油果油总酚含量差异显著,乙醇浸提法所得总酚含量最高,为545.84 μg/g,水代法的最低,为9.63 μg/g^[19]。

2 牛油果油的功效

2.1 抗氧化

李若等^[33]研究发现水代法提取的牛油果油对羟自由基清除能力和超氧阴离子自由基清除能力均高于抗坏血酸,当浓度为0.5 mol/L时,其对羟自由基清除率达95.1%,而浓度为0.1 mol/L时,其对超氧阴离子自由基的清除率达97.6%。研究表明牛油果去皮与否和果肉干燥方式能够影响牛油果油的品质,尤其是氧化稳定性、抗氧化能力以及油中微量成分的含量,对比烘箱(60℃)、微波和冷冻干燥的未去皮牛油果,微波干燥未去皮的牛油果可以制取高质量和稳定的牛油果油,具有高抗氧化活性,但其出油率减少了约20%^[34]。目前,牛油果油的抗氧化能力多是通过体外实验确定的,很少研究采用体内实验来测定牛油果油的抗氧化能力,需要继续深入研究。

2.2 降血脂

近年来,心血管疾病(CVD)已成为危害人类健康的主要疾病,由血液胆固醇水平升高引起的脂质代谢紊乱是导致动脉粥样硬化(AS)和CVD的重要因素。Chin等^[35]采用饮食诱导的高胆固醇血症大鼠模型研究牛油果油的治疗效果,结果发现在维持高胆固醇饮食的同时,高胆固醇血症大鼠每天摄入

牛油果油450 mg/kg(HL)和900 mg/kg(HH)并持续4周,甘油三酯、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)和总胆固醇水平显著降低,同时高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)水平提高,其中HH具有与10 mg/kg辛伐他汀(HS)相当的效果。Chin等^[36]继续采用尿液代谢组学方法评估牛油果油在高胆固醇血症大鼠模型中的治疗效果,结果发现与高胆固醇血症大鼠组相比,HH和HS组大鼠的乙酸盐水平降低,HL、HH、HS组大鼠的葡萄糖、乳酸、丙氨酸和亮氨酸水平降低,谷氨酰胺、马尿酸盐、葫芦巴碱和尿囊素水平升高,同时改善了三羧酸循环(TCA)中间体,表明牛油果油能够抑制脂肪酸氧化和酮体生成,通过调节能量、氨基酸和肠道菌群代谢来部分恢复高胆固醇血症引起的代谢功能障碍。长期服用治疗高胆固醇血症的他汀类药物可能产生副作用,而作为保健食品的牛油果油降胆固醇作用与辛伐他汀相当,具有临床医用潜力。

牛油果油能够预防心脑血管疾病,与其富含单不饱和脂肪酸、植物甾醇和角鲨烯密切相关。单不饱和脂肪酸能够抑制NF-κB基因的激活,降低介导炎症反应的分子浓度,进而减少内皮细胞损伤;降低饮食后乳糜微粒含量,减弱VII因子的激活作用,抑制血小板的聚集,具有抗血栓作用;显著降低3-羟-3-甲基戊二酰辅酶A(HMG-CoA)还原酶基因转录表达;增强LDL的抗氧化能力,提高LDL受体的活性,更快清除循环中的LDL^[37-38]。饮食中的胆固醇和植物甾醇与胆汁中胆固醇、胆盐等物质在肠腔内混合形成胶束。胶束作为载体将两亲性和亲脂性成分输送到肠壁,由特异性转运蛋白B类I型清道夫受体(SR-BI)和Neiman-Pick C1 Like 1(NPC1L1)将胆固醇和植物甾醇输送到肠细胞。由酰基辅酶A胆固醇酰基转移酶(ACAT)将胆固醇酯化为胆固醇酯,进而结合到乳糜微粒中,分泌到肠系膜淋巴。ATP结合盒(ABC)转运蛋白,如ABC-G5和ABC-G8,将未酯化的胆固醇和大部分植物甾醇输送回肠腔^[39]。植物甾醇因结构与胆固醇类似从而与胆固醇竞争胶束化,进而减少肠道对胆固醇的吸收。外源性角鲨烯可降低HMG-CoA还原酶活性抑制胆固醇的合成,同时通过胆固醇的反馈调节作用加快胆固醇转变为胆汁酸,随粪便排出体外,角鲨烯与胆固醇在固醇敏感结构域靶点竞争结合,进而激活SCAP/SREBP途径,上调低密度脂蛋白受体(LDLR)的表达^[40-41]。牛油果油中角鲨烯可能与植物甾醇具有相似作用,可以与胆固醇竞争靶点,进而抑制肠道对胆固醇的吸收,但其机制尚不清楚,有

待进一步深入研究。

2.3 降血压

高血压是指以体循环动脉血压增高为主要特征,可伴有心、脑、肾等器官的功能或器质性损害的临床综合征。Márquez - Ramírez 等^[42]研究了牛油果油与氯沙坦对高血压大鼠的线粒体氧化应激、血压和肾血管功能的影响,结果发现对比正常大鼠,高血压大鼠线粒体膜电位下降 83.7%,活性氧水平增加 51%,氧化型谷胱甘肽水平增加 48%;而每天摄入 1 mL 牛油果油后,降低了高血压大鼠(体质量 250 g)21.2%的舒张压和 15.5%的收缩压,改善与肾脏线粒体功能增加相关的肾脏内皮依赖性血管舒张,降低了氧化型谷胱甘肽浓度从而减少了复合物 I 中活性氧(ROS)的产生,使线粒体膜电位、活性氧和氧化型谷胱甘肽水平正常化。Olmos - Orizaba 等^[43]进一步研究了牛油果油对高血压肾病的影响,结果发现对比正常大鼠,利用 L - NAME 诱导的高血压大鼠(体质量 250 g)的 NO_x 活性和 ONOO⁻ 水平增加,综合体活性增加且钙吸收过度,而每天摄入 1 mL 牛油果油后减轻了其肾脏损害,降低了 NADPH 氧化酶活性、过氧亚硝酸生成和线粒体钙摄取。有研究^[44]发现,油酸通过控制 G 蛋白介导的信号传导的方式调节膜脂质结构(H_{II} phase propensity)来降低自发性高血压大鼠的血压。因此,牛油果油的降血压作用可能与油酸有关。与氯沙坦相似,牛油果油含有抗氧化物质和油酸,具有 Ang - II 拮抗作用,即通过改善线粒体功能和降低氧化应激来减轻高血压对肾脏的有害影响。

2.4 保肝作用

非酒精性脂肪性肝病(NAFLD)的定义是在没有大量饮酒的情况下肝细胞内脂质积累。非酒精性脂肪肝可导致脂肪性肝炎、纤维化进而肝硬化。目前,对非酒精性脂肪肝的发病机制还未明确,依旧缺少有效治疗方法。牛油果油含有大量不饱和脂肪酸,可以减少脂肪在肝脏中的沉积。Chin 等^[35]采用苏木精 - 伊红染色法对接受高胆固醇饮食的大鼠进行肝脏活组织检测,结果发现,对比正常大鼠的肝脏结构,高胆固醇血症大鼠的肝细胞呈弥漫性微泡和大泡性脂肪变性,而在其每天摄入 450 mg/kg 牛油果油后肝细胞中大、小液滴的形成减少,每天摄入 900 mg/kg 牛油果油后肝细胞内小液滴的积累明显减少。此外,高胆固醇血症大鼠摄入牛油果油后,碱性磷酸酶、谷草转氨酶和谷丙转氨酶水平等肝损伤指数显著降低,具有与辛伐他汀类似的保肝作用。

Garcia - Berumen 等^[45]利用高脂高糖饮食喂养大鼠导致肝脏炎症、膨胀、坏死以及 TNF - α 、IL - 6 的表达增加,并且在线粒体中观察到活性氧和脂质过氧化水平升高,裂变蛋白 Drp1、Fis1 表达增强,融合蛋白 Mfn1/2、OPA1 水平降低;在喂养高脂高糖饮食一个月后每天摄入牛油果油,大鼠各项指标有明显改善,表明牛油果油可通过下调炎症细胞因子以及改善线粒体动力学来改善 NAFLD。牛油果油含有油酸、植物甾醇和各种抗氧化物质,在高血压和糖尿病大鼠模型中能够延缓线粒体功能障碍和氧化应激。高脂状态下线粒体脂肪酸 β 氧化减少,牛油果油可能通过增加线粒体脂肪酸 β 氧化进而改善 NAFLD。

2.5 预防糖尿病及其诱发症

糖尿病是一种代谢性疾病,可以导致高血糖和扰乱体内碳水化合物、脂质和蛋白质代谢,进而引起各种功能障碍。牛油果油因其富含单不饱和脂肪酸,具有降血糖、调节血脂、改善内皮功能以及调节胰岛素作用^[46],从而降低糖尿病发生率,其机制为单不饱和脂肪酸显著增加胰高糖素样肽(GLP - 1)的分泌。Toro - Equihua 等^[47]通过高蔗糖饮食诱导的大鼠模型分析发现,饮食中添加 5% ~ 20% 牛油果油可以降低糖耐量和胰岛素抵抗,其中油酸可有效逆转炎症细胞因子 TNF - α 对大鼠胰腺 β 细胞系 INS - 1 产生的胰岛素抵抗。

摄入牛油果油还能够预防由糖尿病引起的脑、肾和肝的线粒体功能障碍。Ortiz - Avila 等^[48]研究发现牛油果油并不能使胰岛素水平恢复正常,而是保护细胞色素 c + c1 的完整性以及保持电子传递链(ETC)中复合物 III 的活性来改善通过高电位链的电子转移,其方式可能是增加线粒体的抗氧化能力,而不是改变膜脂肪酸的组成;提高了 ETC 的复合物 II - 复合物 III 对 Fe²⁺ 抑制的活性,并以不同于脂质过氧化的方式降低活性氧水平,从而预防由链脲佐菌素(STZ)诱导的 1 型糖尿病大鼠的肾线粒体功能障碍。Ortiz - Avila 等^[49]利用 Goto - Kakizaki 大鼠作为 2 型糖尿病模型,分别灌胃牛油果油 3、6、12 个月,对比糖尿病大鼠,发现摄入牛油果油后可降低大鼠胆固醇、甘油三酯和 LDL 水平,维持 HDL 浓度,改善了大鼠的脂质轮廓,脂联素水平维持较长时间,但对胰岛素水平无影响;牛油果油可部分抵消糖尿病大鼠蛋白尿的增加,而在组织病理学评价中,糖尿病大鼠在第 3 个月后出现肾小球细胞外基质的积累等糖尿病肾病的迹象,摄入牛油果油后则在 6 个月

出现相关迹象。Ortiz - Avila 等^[50]研究发现牛油果油通过抑制糖尿病引起的线粒体呼吸和线粒体膜电位损伤,提高复合物Ⅲ活性,降低糖尿病大鼠活性氧水平和脂质过氧化,提高还原型谷胱甘肽与氧化型谷胱甘肽的比值,改善糖尿病大鼠脑线粒体功能和降低氧化应激。此外,牛油果油还通过增强复合物 I 活性和减少活性氧产生来降低链脲霉素 (STZ) 诱导的糖尿病大鼠肝线粒体中的氧化应激和脂质过氧化^[51]。牛油果油含有油酸、植物甾醇、生育酚等生物活性成分,其中油酸等成分对脂类和碳水化合物的代谢有一定的促进作用,从而能够延缓糖尿病引起的脑、肾、肝病,但其具体机制并不清楚,需要进一步研究。

2.6 神经保护作用

牛油果油对神经发育和功能具有有益作用。Park 等^[52]从牛油果油中鉴定出 20 种化合物,包括两种新的化合物 (2*R*,4*R*,6*Z*) - 1,2,4 - 三羟基十九烷 - 6 - 烯和 (2*R*,4*R*) - 1,2,4 - 三羟基十七烷 - 14,16 - 烯;研究这些化合物对新霉素诱导的耳毒性斑马鱼模型听力损失的保护作用。结果发现化合物 1,2,7,9,14,17 和 19 可使斑马鱼受损耳毛细胞显著恢复,表明牛油果油对新霉素诱导的耳毒性斑马鱼中受损的耳毛细胞具有再生作用。Pham 等^[53]进一步研究牛油果油提取物对新霉素诱导的耳毒性损伤的保护机制,发现与对照组相比,牛油果油提取物可以抑制 TNF - α 或 LPS 诱导的 HEI - OC1 细胞和 THP - 1 细胞 p65 核迁移,显著降低 TNF - α 诱导的炎症趋化因子和白细胞介素基因表达,还能增加 HEI - OC1 细胞的 LC3 - II,降低 p62,即增加自噬通量,表明牛油果油提取物通过直接或间接的抗氧化途径、抑制炎症基因表达和自噬激活来保护听觉毛细胞免受新霉素诱导的损伤。有研究^[54]发现,牛油果油通过逆转氢化可的松 (HC) 诱导的细胞死亡率、降低 HC 诱导的氧化应激和细胞凋亡,对神经母细胞 (SH - SY5Y) 具有重要保护作用。牛油果油富含油酸和 β - 谷甾醇等生物活性物质,但牛油果油对神经功能影响的研究并不多,有待加强。

3 结语与展望

牛油果油富含不饱和脂肪酸,其中大部分是单不饱和脂肪酸,且油酸含量高,与橄榄油的单不饱和脂肪酸含量相似。油脂理化性质、脂肪酸组成和活性成分因牛油果的品种、成熟阶段、生长地理位置和提取方法的不同而差异较大。其中,有部分研究利用天然酶源以及同时提取活性成分来提取牛油果油,使其带有独特风味和功效,具有更广泛的应用前

景。牛油果油还含有多种生物活性成分,特别是 α - 生育酚和 β - 谷甾醇。目前,对于牛油果油的研究主要集中在治疗高胆固醇血症、高血压、糖尿病和非酒精性脂肪肝等疾病方面,其机制上的研究有一定进展,但缺乏分子水平的研究,且对于牛油果油的功效研究仍然不足,还有待深入研究。

综上,未来需要研究人员从以下几点进行牛油果油的进一步研究:①对传统提取方法的创新以及与其他油类复配的功效,使牛油果油具有更广泛的应用前景和开发价值;②探究牛油果油中营养成分与功效间的关系,以及不同生物活性物质间对于同一功效的作用机制,从分子水平上进行深入研究;③从牛油果油的营养成分中探究牛油果油的更多生理活性,应用于新的领域;④随着大健康产业的发展,可将牛油果油作为原料开发保健产品和功能食品。目前,国内对于牛油果油的研究仍处于起步阶段,需广大研究人员共同努力,推动对牛油果油的深入研究和开发利用。

参考文献:

- [1] 景春华. 油梨果实贮藏及加工工艺研究进展[J]. 果树资源学报,2020,1(3):61 - 64.
- [2] 吕田. 带你认识高营养食物牛油果[J]. 中国食品,2014(8):80 - 81.
- [3] WERMAN M J, NEEMAN I. Avocado oil production and chemical characteristics[J]. J Am Oil Chem Soc, 1987, 64(2):229 - 232.
- [4] QIN X L, ZHONG J F. A review of extraction techniques for avocado oil[J]. J Oleo Sci, 2016, 65(11):881 - 888.
- [5] 钱学射, 张卫明, 顾龚平, 等. 鳄梨资源的开发利用[J]. 中国野生植物资源, 2010, 29(5):23 - 25.
- [6] 王佳雅, 尚艳娥, 张丹, 等. 不同产地及成熟度牛油果及其油脂品质比较[J]. 中国油脂, 2018, 43(2):94 - 97, 103.
- [7] YANG S, FULLERTON C, HALLETT I, et al. Effect of fruit maturity on microstructural changes and oil yield during cold - pressed oil extraction of 'Hass' avocado[J]. J Am Oil Chem Soc, 2020, 97(7):779 - 788.
- [8] 许良, 叶丽君, 黄雪松. 菠萝汁处理提高牛油果油产量的工艺研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(8):223 - 227.
- [9] BARROS H D F Q, GRIMALDI R, CABRAL F A. Lycopene - rich avocado oil obtained by simultaneous supercritical extraction from avocado pulp and tomato pomace[J]. J Supercrit Fluid, 2017, 120:1 - 6.
- [10] 陈恺嘉, 陈金明. 利用番木瓜汁提取鳄梨油的工艺优化研究[J]. 中国油脂, 2018, 43(8):15 - 18.
- [11] BARROS H D F Q, COUTINHO J P, GRIMALDI R, et al. Simultaneous extraction of edible oil from avocado and

- capsanthin from red bell pepper using supercritical carbon dioxide as solvent [J]. *J Supercrit Fluid*, 2016, 107: 315–320.
- [12] 葛宇, 司雄元, 胡福初, 等. 7个油梨品种(系)果肉的脂肪酸含量及其相关性[J]. *贵州农业科学*, 2017, 45(8): 104–108.
- [13] 葛宇, 马伏宁, 韩文博, 等. 海南几种油梨果实中的脂肪酸成分测定与评价[J]. *热带农业科学*, 2017, 37(12): 81–86.
- [14] 魏永赞, 王一承, 舒波, 等. 12个引进油梨品种果肉品质的评价[J]. *中国南方果树*, 2017, 46(5): 31–34.
- [15] VILLA – RODRIGUEZ J A, MOLINA – CORRAL J F, AYALA – ZAVA F J, et al. Effect of maturity stage on the content of fatty acids and antioxidant activity of 'Hass' avocado[J]. *Food Res Int*, 2011, 44(5): 1231–1237.
- [16] 王丽媛. 水酶法制取鳄梨油研究及副产物的开发利用[D]. 南宁: 广西大学, 2018.
- [17] KRUMREICH F D, BORGES C D, MENDONCA C R B. Bioactive compounds and quality parameters of avocado oil obtained by different processes [J]. *Food Chem*, 2018, 257: 376–381.
- [18] 崔晓冰. 油梨油的制备及油梨蛋白的提取和性质研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2015.
- [19] 刘义军, 卜梦婷, 谭戈, 等. 不同提取方法对牛油果油理化特性、抗氧化性能及脂肪酸组成的对比研究[J]. *四川农业大学学报*, 2020, 38(2): 161–167.
- [20] CHIN X T, GUN H C, HAZILAWATI H, et al. Comparison of subcritical CO₂ and ultrasound – assisted aqueous methods with the conventional solvent method in the extraction of avocado oil [J]. *J Supercrit Fluid*, 2017, 135: 45–51.
- [21] FERNANDES G D, GOMEZ – COACA R B, PEREZ – CAMINO M C, et al. Chemical characterization of commercial and single – variety avocado oils [J/OL]. *Grasas Y Aceites*, 2018, 69(2): e256 [2021–06–20]. <https://doi.org/10.3989/gya.0110181>.
- [22] 王炜, 张伟敏. 单不饱和脂肪酸的功能特性[J]. *中国食物与营养*, 2005(4): 44–46.
- [23] DONG X Y, ZHONG J, WEI F, et al. Triacylglycerol composition profiling and comparison of high – oleic and normal peanut oils [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2015, 92(2): 233–242.
- [24] QUILEZ J, GARCIA – LORDA P, SALAS – SALCADO J. Potential uses and benefits of phytosterols in diet: present situation and future directions [J]. *Clin Nutr*, 2003, 22(4): 343–351.
- [25] BERGER A, JONES P J, ABUMWEIS S S. Plant sterols: factors affecting their efficacy and safety as functional food ingredients [J/OL]. *Lipids Health Dis*, 2004, 3(1): 5 [2021–06–20]. <https://doi.org/10.1186/1476-511x-3-5>.
- [26] CHIN X T, GUN H C, HAZILAWATI H, et al. Characterization of virgin avocado oil obtained via advanced green techniques: virgin avocado oil characteristics [J/OL]. *Eur J Lipid Sci Tech*, 2018, 120(10): 1800170 [2021–06–20]. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201800170>.
- [27] WONG M, REQUEJO – JACKMAN C, WOOLF A. What is unrefined, extra virgin cold – pressed avocado oil? [J]. *Inform*, 2010, 21(4): 198–203.
- [28] 李颂, 刘洋, 王春玲. 角鲨烯的健康功效及应用[J]. *食品研究与开发*, 2016, 37(14): 206–209.
- [29] 张素英, 何林. GC – MS对不同提取法的牛油果油化学成分的分析[J]. *食品工业*, 2016, 37(6): 284–287.
- [30] CICERO N, ALBERGAMO A, SALVO A. Chemical characterization of a variety of cold – pressed gourmet oils available on the Brazilian market [J]. *Food Res Int*, 2018, 109: 517–525.
- [31] 张继光, 吴万富, 杨学芳, 等. 云南9种特种木本油脂脂肪酸组成和角鲨烯含量比较研究[J]. *中国粮油学报*, 2021, 36(11): 1–14.
- [32] 侯艳梅, 吴桐, 谢奎. 叶黄素生物活性功能的研究进展[J]. *中国食物与营养*, 2021, 27(11): 51–57.
- [33] 李若, 李绍鹏, 吴凡, 等. 响应面优化油梨油提取工艺及其抗氧化性研究[J]. *食品科技*, 2017, 42(3): 251–257.
- [34] SANTANA I, CASTELO – BRANCO V N, GUIMARAES B M, et al. Hass avocado (*Persea americana* Mill.) oil enriched in phenolic compounds and tocopherols by expeller – pressing the unpeeled microwave dried fruit [J]. *Food Chem*, 2019, 286: 354–361.
- [35] CHIN X T, GUN H C, HAZILAWATI H, et al. Hypocholesterolaemic and hepatoprotective effects of virgin avocado oil in diet – induced hypercholesterolaemia rats [J]. *Int J Food Sci Tech*, 2018, 53(12): 2706–2713.
- [36] CHIN X T, GUN H C, HAZILAWATI H, et al. Effect of virgin avocado oil on diet – induced hypercholesterolemia in rats via ¹H NMR – based metabolomics approach [J]. *Phytother Res*, 2018, 32(11): 2264–2274.
- [37] 王娜. 单不饱和脂肪酸对心血管疾病的作用机制[J]. *中国实用医药*, 2010, 5(23): 256–257.
- [38] 时皎皎, 糜漫天, 韦娜, 等. 不同脂肪酸构成对大鼠肝脏HMG – CoAR, SREBP – 1c表达的影响[J]. *西南国防医药*, 2011, 21(8): 813–816.
- [39] JESCH E D, CARR T P. Food ingredients that inhibit cholesterol absorption [J]. *Genes Nutr*, 2017, 22(2): 67–80.
- [40] CHAN P, TOMLINSON B, LEE C B, et al. Effectiveness

- and safety of low - dose pravastatin and squalene, alone and in combination, in elderly patients with hypercholesterolemia[J]. *J Clin Pharmacol*,2013,36(5): 422 - 427.
- [41] 李婷,赵丽萍,余超超,等.角鲨烯对 HepG2 细胞 LDLR 表达的影响及机制初探[J]. *中国药理学通报*,2018,34(7):1020 - 1024.
- [42] MÁRQUEZ - RAMÍREZ C A, HERNÁNDEZ DELAPAZ J L, ORTIZ - AVILA O, et al. Comparative effects of avocado oil and losartan on blood pressure, renal vascular function, and mitochondrial oxidative stress in hypertensive rats[J]. *Nutrition*,2018,54:60 - 67.
- [43] OLMOS - ORIZABA E, MÁRQUEZ - RAMIREZ C A, GARCÍA - BERUMEN C I, et al. Avocado oil alleviates renal damage and decreases NADPH oxidase activity, peroxynitrite production and mitochondrial calcium uptake in hypertension rats[J/OL]. *FASEB J*,2019,33(S1):660 [2021 - 06 - 20]. https://doi.org/10.1096/fasebj.2019.33.1_supplement.660.11.
- [44] BARCELO - COBLIJN G T S, ALCAREZ R B M, HALVERJE B R, et al. Oleic acid content is responsible for the reduction in blood pressure induced by olive oil [J]. *Proc Natl Acad Sci USA*,2008,105:13811 - 13816.
- [45] GARCIA - BERUMEN C I, OLMOS - ORIZABA B E, MARQUEZ - RAMIREZ C A, et al. Avocado oil ameliorates non - alcoholic fatty liver disease by down - regulating inflammatory cytokines and improving mitochondrial dynamics[J/OL]. *FASEB J*,2019,33(S1): 660. 6 [2021 - 06 - 20]. <https://faseb.onlinelibrary.wiley.com>.
- [46] 马方,刘鹏举.单不饱和脂肪酸对糖尿病的有益作用[J]. *中华医学信息导报*,2008,23(8):17.
- [47] TORO - EQUIHUA M D, VELASCO - RODRIGUEZ R, LOPEZ - ASCENCIO R, et al. Effect of an avocado oil - enhanced diet (*Persea americana*) on sucrose - induced insulin resistance in Wistar rats[J]. *J Food Drug Anal*, 2016,24(2):350 - 357.
- [48] ORTIZ - AVILA O, SAMANO - GARCIA C A, CALDERON - CORTES E, et al. Dietary avocado oil supplementation attenuates the alterations induced by type I diabetes and oxidative stress in electron transfer at the complex II - complex III segment of the electron transport chain in rat kidney mitochondria [J]. *J Bioenerg Biomembr*,2013,45(3):271 - 287.
- [49] ORTIZ - AVILA O, SAAVEDRA - MOLINA A, CORTES - ROJO C. Effect of avocado oil on metabolic profile and development of diabetic nephropathy in Goto - Kakizaki rats[J/OL]. *FASEB J*,2019,33(S1):487 [2021 - 06 - 20]. https://doi.org/10.1096/fasebj.2019.33.1_supplement.487.15.
- [50] ORTIZ - AVILA O, ESQUIVEL - MARTINEZ M, OLMOS - ORIZABA B E, et al. Avocado oil improves mitochondrial function and decreases oxidative stress in brain of diabetic rats [J]. *J Diabetes Res*, 2015, 2015: 1 - 9.
- [51] ORTIZ - AVILA O, GALLEGOS - CORONA M A, SANCHEZ - BRIONES L A, et al. Protective effects of dietary avocado oil on impaired electron transport chain function and exacerbated oxidative stress in liver mitochondria from diabetic rats[J]. *J Bioenerg Biomembr*, 2015,47(4):337 - 353.
- [52] PARK S J, JEONG S Y, NAM Y H, et al. Fatty acid derivatives isolated from the oil of *Persea americana* (avocado) protects against neomycin - induced hair cell damage[J/OL]. *Plants*,2021,10(1):171 [2021 - 06 - 20]. <https://doi.org/10.3390/plants10010171>.
- [53] PHAM T N M, JEONG S Y, KIM D H, et al. Protective mechanisms of avocado oil extract against ototoxicity [J/OL]. *Nutrients*, 2020, 12(4): 947 [2021 - 06 - 20]. <https://doi.org/10.3390/nu12040947>.
- [54] MOTTA J R, JUNG I E D C, AZZOLIN V F, et al. Avocado oil (*Persea americana*) protects SH - SY5Y cells against cytotoxicity triggered by cortisol by the modulation of BDNF, oxidative stress, and apoptosis molecules [J/OL]. *J Food Biochem*, 2021, 45(2): e13596 [2021 - 06 - 20]. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13596>.