DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2020.05.042

普洱茶抗肥胖作用及其相关机制研究进展

New progress on anti-obesity effect and mechanism of Pu'er tea

易娟¹ 刘淼²YI Juan¹ LIU Miao²

(1. 长沙卫生职业学院, 湖南 长沙 410000; 2. 湖南省科学技术信息研究所, 湖南 长沙 410001)

(1. Changsha Health Vocational College, Changsha, Hunan 410000, China;

2. Hunan Institute of Scientific and Technical Information, Changsha, Hunan 410001, China)

摘要:综述了普洱茶抗肥胖作用及其相关机制、临床研究,比较普洱茶与其他茶类、普洱生茶和熟茶的抗肥胖效果,并对其发展前景和研究动向进行了展望。

关键词:普洱茶;肥胖;茶褐素;脂肪组织

Abstract: This review summarizes probable mechanisms and their clinical researches on anti-obesity effect of Pu'er tea. Additionally, those comparative studies of anti-obesity of Pu'er tea and other tea categories, raw and ripened Pu'er tea are discussed. The development prospect and research trend of anti-obesity of Pu'er tea are described.

Keywords: Pu'er tea; obesity; theabrownin; adipose tissue

近年来,肥胖的患病率稳步上升。如何控制肥胖,这个新兴科学正面临着严峻挑战,例如棕色脂肪组织的产热和白色脂肪的褐变,微生物组群的影响,以及肥胖的遗传学、表观遗传学、营养学等都将作为肥胖的可能治疗目标^[1]。

茶富含多酚等营养物质,具有较强的减肥降脂作用。现代普洱茶可分为普洱生茶和普洱熟茶,生茶为自然发酵,熟茶则以云南大叶种晒青毛茶经人工渥堆发酵加工而成,两者茶多酚等活性物质差异显著。发酵过程中,茶多酚、儿茶素、水溶性寡糖等下降,高聚化合物茶褐素显著增加,成为普洱茶的重要活性物质^[2]。研究^[3-6]表明,普洱茶提取物、茶褐素等具有降低体重、调节体脂等的减肥作用。文章拟从普洱茶与其他茶类的减肥作用、不同普洱茶抗肥胖作用、普洱茶抗肥胖相关机制以及普洱茶抗肥胖的临床研究等方面进行综述,并展望其发展前景和研究动向,旨在为普洱茶的深入研究提供依据。

基金项目:湖南省卫生计生委科研计划课题(编号:B2017214)

作者简介:易娟,女,长沙卫生职业学院讲师,硕士。

通信作者:刘淼(1980—),男,湖南省科学技术信息研究所副研究员,硕士。E-mail: 56525433@qq.com

收稿日期:2020-03-06

1 抗肥胖作用

1.1 不同种类普洱茶抗肥胖作用

因加工方式不同,普洱生茶和熟茶茶中化学成分不同。普洱熟茶除茶褐素、茶红素、茶黄素、没食子酸、咖啡碱含量高于生茶外,其他成分均低于生茶,其中生茶的表没食子儿茶素没食子酸酯(EGCG)含量是熟茶的216.32倍,而熟茶的茶褐素是生茶的3.61倍^[7]。高脂动物试验^[3-5]发现,生普、熟普均能显著抑制高脂肥胖小鼠体重,显著减少脂肪。熊昌云等^[3]发现,陈放7年的普洱熟茶减肥降脂作用强于普洱生茶的,而陈放7年的普洱生茶的减肥降脂作用又强于陈放2年的普洱生茶。Cao等^[4]发现普洱熟茶提取物抑制3T3-L1前脂肪细胞的增殖和分化的作用强于普洱生茶的,其作用可能是抑制过氧化物酶的分化并下调增殖激活受体PPAR- γ 和C/EBP- α 的基因表达。刘雅琼等^[5]发现生普抗氧化性强于熟普,且抗氧化能力随陈化时间的增加而增强;生普对脂肪酶和 α -淀粉酶活性的抑制率强于熟普的,且抑制率随贮藏时间的延长而减弱;通过对茶提取物常规生化成分含量、体外抗氧化能力、 α -淀粉酶活性和脂肪酶活性抑制率的相关分析,没有找出决定功能的主要成分,提出可能是系列生化成分的协同作用。

普洱生茶与熟茶减肥作用的差异,发挥主要作用的相关成分,陈化年份对减肥作用的影响差异,都有待进一步研究。此外,白晓丽等^[8]检测了50个普洱熟茶样品(分别自云南不同核心产地和不同等级)的化学成分,发现不同产地和等级的普洱熟茶中多酚化合物的含量差别较大,因此不同产地和不同等级普洱茶减肥作用的比较研究也值得探讨。

1.2 普洱茶与其他茶类抗肥胖作用比较

根据发酵程度,茶可分为不发酵或轻微发酵、半发酵、全发酵和后发酵茶,其多酚类物质等在发酵过程中发生转变,从而产生不同的品质和作用。长期以来,茶抗肥

胖效果的研究多集中于绿茶或 EGCG 等,而关于其他茶类的研究较少,如红茶、普洱茶等。种类和加工方式不同,茶叶茶多酚含量有所差异,未发酵茶茶多酚含量高于半发酵茶和发酵茶,且呈依次递减的变化规律;儿茶素也呈相似规律,EGCG 等儿茶素单体在发酵过程中降解,氧化聚合产物茶黄素、茶红素、茶褐素等增多^[9]。李丹等^[10]发现 EGCG 等酯型儿茶素和没食子酸是不发酵茶提取物的主要抗氧化组分,但不是普洱熟茶和红茶等发酵茶中的主要抗氧化成分。因此,不同茶类化学成分不同,其抗肥胖机制也可能不同。

Liu 等^[11]发现绿茶、红茶、黄茶、白茶、乌龙茶和普洱生茶 6 种不同茶类均能显著降低体重,其中白茶的减肥作用最强;不同类型的茶调节不同的脂质代谢相关蛋白,如黄茶和普洱生茶能明显上调磷酸化腺苷酸活化蛋白激酶(p-AMPK)含量,绿茶、白茶、普洱生茶对脂肪酸合成酶(FAS)有明显抑制作用,白茶、黄茶和乌龙茶上调 CPT-1 等。Yamashita 等^[12]发现红茶、乌龙茶和普洱茶喂饲动物 1 周后,能明显减低雄性小鼠内脏脂肪但不影响其体重,红茶的作用优于乌龙茶和普洱茶,且能通过关键代谢调节因子 AMPK 的磷酸化来抑制脂肪组织和增加白色脂肪组织的褐变。刘家奇等^[13]研究发现,与高脂组(2.0 g/kg)相比,普洱熟茶、铁观音和红茶均能有效抑制试验大鼠体重的增长和腹部脂肪细胞的增大($P < 0.05$),并对摄食量无显著影响($P > 0.05$),其中普洱熟茶的作用最显著。熊昌云^[14]报道普洱熟茶对肥胖大鼠有明显的减肥效应,且作用随剂量的升高而增强,普洱熟茶的减肥作用强于绿茶、乌龙茶和茯砖茶的。Kuo 等^[15]比较了不同茶类的减肥作用,发现普洱熟茶的作用强于绿茶,但未对其相关机制进行探讨。

普洱熟茶与其他黑茶的后发酵工艺相似,但茶树品种和内含物存在差异,因此其抗肥胖作用也不同。Sun 等^[16]分别用速溶黑茶和速溶普洱熟茶喂饲雄性 C57BL/6 小鼠 8 周,结果显示黑茶对体重增长和内脏脂肪的重量抑制作用优于普洱熟茶的,黑茶调节肥胖相关基因的表达优于普洱茶。刘家奇等^[17]比较了普洱茶熟茶、黑茶和六堡茶对高脂饮食导致肥胖大鼠的减肥作用,发现 3 种后发酵茶均能有效抑制体重增长和脂肪细胞增大,六堡茶的减肥作用强于普洱熟茶和黑茶。李祥龙等^[18]报道普洱熟茶茶褐素对脂肪酶活性的抑制作用显著强于六堡茶、康砖和茯砖茶褐素。

普洱熟茶减肥降脂效果或强于其他茶类,或次于其他茶类,尚无定论,亟待更多不同茶类抗肥胖作用及其机制的比较研究。同为黑茶,普洱茶与其他非大叶种黑茶如湖南茯砖茶、四川边茶等的抗肥胖作用及其机制的比较研究也有待进一步深入探讨。

2 抗肥胖作用机制

2.1 影响肠道菌群

肥胖及其并发症与肠道微生物存在密切关联,肠道微生物的改变是造成肥胖的重要原因之一^[19]。茶及其多酚类化合物与肠道微生物在调节肥胖代谢中具有相互促进作用,可在肠道微生物的作用下转化为短链脂肪酸、酚酸等代谢物,也可以调节肠道微生物的多样性、调节食欲和影响宿主能量摄入等^[20]。Xia 等^[21]发现两种不同剂量的生、熟普洱茶均能显著增加微生物的多样性,改变盲肠菌群组成,重建硬壁菌门/拟杆菌比值,证明生普和熟普对饮食引起的肥胖大鼠肠道菌群组成和功能有影响。动物试验^[22-23]表明,饮用普洱熟茶提取物能减轻肥胖小鼠的体重和脂肪堆积、脂肪炎症,改变厚壁菌与拟杆菌比值,同时改善肥胖小鼠肠屏障的完整性;此外,粪便移植试验显示普洱熟茶提取物能显著调节小鼠体重和代谢综合征,说明肠道微生物菌群能介导普洱熟茶提取物的减肥作用。蒋慧颖等^[24]发现,茶黄素、茶红素和茶褐素均能有效控制高脂饮食导致的肥胖,并调节肠道菌群,增加菌群的多样性,降低厚壁菌门的丰度,增加拟杆菌门的丰度,显著降低厚壁菌门与拟杆菌门的比值,说明普洱茶茶中活性物质茶褐素等对肠道菌群有较好的正向调节作用。

2.2 调节相关酶活性

茶及其多酚类化合物可通过调节乙酰辅酶 A 羧化酶(ACC)、脂肪酸合成酶(FAS)、激素敏感性脂肪酶(HSL)等脂肪合成和分解代谢的关键酶,从而抑制脂肪的生成、促进脂肪分解,还可影响胰腺脂肪酶等酶活性,减少机体糖和脂肪的吸收,产生减肥效应。Cao 等^[25]通过 Sprague-Dawley 大鼠动物试验,发现低、中或高剂量的普洱茶提取物能显著降低高脂饮食诱导的肥胖大鼠总体重和各种脂肪含量,明显增加 HFD 致肥胖大鼠附睾脂肪组织中脂蛋白酯酶、肝脂酶和激素敏感脂肪酶活性,从而促进脂肪分解代谢。Oi 等^[26]通过体外试验也证实普洱茶提取物和没食子酸(GA)能抑制胰腺脂肪酶活性,且呈剂量依赖关系;0.6%普洱茶和 0.1% GA 组对小鼠体重增长有明显的抑制作用,说明没食子酸有助于普洱茶提取物的减肥作用。范艺凡等^[27]研究发现,大分子量(> 50 kU)的茶褐素能显著增强大鼠肝脏和脂肪组织中激素敏感性脂肪酶(HSL)活性,抑制乙酰辅酶 A 羧化酶(ACC)和脂肪酸合成酶(FAS)活性,表明大分子量的茶褐素能显著调节高脂饮食大鼠脂质代谢关键酶活性。

2.3 影响脂肪代谢相关基因表达

研究^[28-31]表明,普洱茶控制高脂饮食诱导的肥胖机制可能与下调肝脏和脂肪中脂肪合成分解代谢相关基因有关,如 *DGAT1*、*SCD1*、*SREBP-1c* 和 *FAS* 等。游离脂

脂肪酸(FFA)通常与肥胖的发展密切相关,可导致2型糖尿病和心血管疾病风险增加。Huang等^[29]发现普洱茶能显著下调FFA合成基因表达,上调与参与FFA摄取和 β -氧化的某些基因表达,如*FATP2*、*FATP5*、*PPAR α* 、*CPT1 α* 和*ACOX-1*等,表明普洱茶能减少脂肪酸合成,促进脂肪分解。Shimamura等^[30]发现普洱茶能减肥降脂,降低胆固醇,并降低小鼠肝脏中调节元件结合蛋白(SREBP)-1c和脂肪酸合成酶mRNA的表达,说明普洱茶抑制饮食诱导的C57BL/6J小鼠体脂积累与下调SREBP-1c的成脂作用有关。

腺苷酸活化蛋白激酶(AMPK)是控制多个脂肪合成和胆固醇合成相关酶的上游影响因素,能调节机体内能量代谢,是防治脂质代谢紊乱和肥胖的重要研究靶点。吴雅倩等^[31]发现普洱茶能显著上调腺苷酸活化蛋白激酶(磷酸化水平,抑制脂肪酸合成酶、固醇调节元件结合蛋白1c(SREBP-1c)和羟甲基戊二酰辅酶A还原酶(HMGCR)等mRNA表达($P < 0.01$),其作用存在剂量一效应正相关关系,表明普洱茶能通过激活AMPK蛋白磷酸化抑制脂肪合成,从而产生减肥效应。

2.4 抑制脂肪细胞增殖与分化

在细胞水平上,肥胖主要是由脂肪细胞蓄积甘油三酯和前脂肪细胞分化为成熟脂肪细胞的能力决定的。Cao等^[4]发现生普洱茶和熟普洱茶水提物能抑制3T3-L1前脂肪细胞的增殖和分化,其作用可能是通过抑制过氧化物酶的分化并下调增殖激活受体PPAR- γ 和C/EBP- α 的基因表达。刘春等^[32]研究发现,茶褐素(100 mg/L)不能明显抑制3T3-L1前脂肪细胞增殖,却能显著抑制3T3-L1成熟脂肪细胞的增殖;当前脂肪细胞分化为成熟脂肪细胞达到80%时,使用100 mg/L不同分子质量的茶褐素干预可显著改变细胞中相关通路及其基因表达,且不同分子质量的茶褐素因组成不同而作用差异明显,其中TB2(5 kU < MW < 50 kU)的作用最强,该研究为进一步探讨茶褐素减肥作用的信号转导通路奠定了良好基础。

2.5 调节细胞因子

脂肪组织可分泌许多重要激素和细胞因子,如瘦素、脂联素、TNF- α 、IL-6等,这些因子参与机体的多种生理、病理过程。冯伟等^[33]发现普洱茶对高脂饮食诱导的肥胖大鼠的减肥作用与调节细胞因子作用有关,3种不同浓度的普洱茶水灌胃干预高脂饮食肥胖大鼠42 d,酶联免疫吸附检测发现低剂量[0.83 g/(kg·d)]灌胃普洱茶即可显著减低单纯性肥胖大鼠血清中瘦素水平,从而缓解肥胖导致的瘦素抵抗;此外,普洱茶还可提高肥胖小鼠血清中抗炎细胞因子脂联素水平,降低肿瘤坏死因子- α 和血管内皮生长因子等炎症因子的质量浓度,调节IL-1 α /IL-1 β 比例,从而调节炎症和抗炎平衡。GPR120被报道为具有抗炎特性的不饱和长链游离脂肪酸 ω 3受体,在脂肪

生成、食欲调节和食物偏好等多种生理内稳态机制中发挥着重要作用^[34]。普洱茶能调节脂糖平衡,抑制内脏脂肪组织炎症,下调炎症分子并上调Gpr120表达^[35]。

3 临床研究

通过检索国内外2010年后的文献发现,普洱茶减肥的临床试验稀缺。日本学者Kubota等^[36]发现,摄入普洱茶提取物的受试者平均腰围、体重指数和内脏脂肪值均降低,且未出现任何不良反应(腹胀等),表明普洱茶有助于人体体重的控制和预防肥胖的发展。美国学者Jensen等^[37]研究发现,与安慰剂组相比,普洱茶的摄入与体重显著下降密切相关,手臂、腿和Gynoid区域(臀部/腹部)的脂肪组织随脂肪总量的减少而减少;4周后普洱茶干预组胆固醇和胆固醇/高密度脂蛋白比率轻度降低,甘油三酯和极低密度脂蛋白减少,而8周后血液水平达正常范围并持续至研究结束,空腹血糖或C反应蛋白无明显差异;普洱茶组的食欲短暂下降($P < 0.1$)。由于试验样本量和试验周期不足,亟待更多大样本的随机临床试验来验证普洱茶在人体中的减肥作用。

4 结论与展望

肥胖是一个多因素的综合性代谢疾病,受环境和遗传等多种因素的共同影响。目前有关普洱茶抗肥胖的作用机制仍不够深入,尤其是关于与肥胖相关基因的探讨,仍集中于几个关键的代谢酶和相关基因。近年来发现肥胖发生发展与肠道微生物多样性和构成密切相关,研究也证实普洱茶提取物能调节肠道微生物,发挥减肥作用。此外,肥胖是一个慢性炎症疾病,普洱茶减肥作用与调节部分炎症相关细胞因子有关,而炎症因子多且作用相互关联,还需深入研究。然而,除茶褐素外,茶中还有茶多酚、茶多糖、他汀类等均具有一定的减肥降脂作用^[38],后续可对其减肥降脂作用进行研究,以期普洱茶抗肥胖作用机制提供更多线索。

此外,有研究^[39]报道茶褐素配伍摇摆运动能刺激多巴胺的大量分泌,加速葡萄糖和脂质代谢,因此茶褐素与运动可协同改善代谢从而有效防治肥胖。Hu等^[40]发现,与单独使用水飞蓟宾或普洱茶提取物相比,水飞蓟宾和普洱茶联合使用在调节脂肪代谢方面有较强的疗效,能抑制氧化应激,调节CRTC2、SREBP-1c和SCD-1的mRNA表达抑制脂肪合成。水飞蓟宾联合普洱茶可能是一种新的双管齐下治疗方式。普洱茶提取物通过联合其他潜在抗肥胖物质或结合运动等联合治疗方法,为普洱茶减肥的基础及临床研究提供了新思路。

参考文献

- [1] PALOU A, BONET M L. Challenges in obesity research[J]. Nutr Hosp, 2013, 28(S5): 144-153.
- [2] 谭超, 彭春秀, 高斌, 等. 普洱茶茶褐素类主要组分特征及

- 光谱学性质研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2012, 32(4): 1 051-1 056.
- [3] 熊昌云, 杨彬, 彭远菊, 等. 普洱茶抑肥降脂作用比较研究[J]. 西南农业学报, 2018, 31(5): 1 058-1 062.
- [4] CAO Zhen-hui, YANG Hui, HE Zhan-long, et al. Effects of aqueous extracts of raw pu'erh tea and ripened pu'erh tea on proliferation and differentiation of 3T3-L1 preadipocytes[J]. *Phytother Res*, 2013, 27(8): 1 193-1 199.
- [5] 刘雅琼. 不同陈化期普洱茶降脂减肥功能比较研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2017: 48.
- [6] 张云天, 姚晓玲, 鲁江, 等. 黑茶茶褐素的研究现状及进展[J]. 食品工业科技, 2017, 38(11): 395-399.
- [7] 蒋睿, 罗理勇, 常睿, 等. 普洱生茶和熟茶的品质化学成分分析比较[J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2018, 40(6): 38-47.
- [8] 白晓丽, 张建勇, 江和源, 等. 普洱熟茶化学成分与品质特性相关性分析[J]. 食品与机械, 2017, 33(5): 50-53.
- [9] 普冰清, 徐怡, 杜春华, 等. 不同茶叶中茶多酚类成分及咖啡碱含量研究[J]. 食品工业, 2017, 38(2): 301-303.
- [10] 李丹, 曹永, 王华, 等. 茶叶提取物体外抗氧化活性与其功能性成分含量的相关性研究[J]. 食品与机械, 2018, 34(6): 163-168.
- [11] LIU Chen, GUO Yun-tong, SUN Ling-li, et al. Six types of tea reduce high-fat-diet-induced fat accumulation in mice by increasing lipid metabolism and suppressing inflammation[J]. *Food Funct*, 2019, 10(4): 2 061-2 074.
- [12] YAMASHITA Y, WANG Liu-qing, WANG Li-hua, et al. Oolong, black and pu'erh tea suppresses adiposity in mice via activation of AMP-activated protein kinase[J]. *Food Funct*, 2014, 5(10): 2 420-2 429.
- [13] 刘家奇, 邵宛芳, 赵宝权, 等. 普洱茶(熟茶)、铁观音、红茶减肥作用的研究[J]. 云南农业大学学报: 自然科学, 2013, 28(6): 839-844.
- [14] 熊昌云. 普洱茶降脂减肥功效及作用机理研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2012: 35-60.
- [15] KUO Kuan-li, WENG Meng-shih, CHIANG Chun-te, et al. Comparative studies on the hypolipidemic and growth suppressive effects of Oolong, black, Pu'erh, and green tea leaves in rats[J]. *Agric Food Chem*, 2005, 53(2): 480-489.
- [16] SUN Yue, WANG Yu-wan, SONG Peng-peng, et al. Anti-obesity effects of instant fermented teas in vitro and in mice with high-fat-diet-induced obesity[J]. *Food Funct*, 2019, 10(6): 3 502-3 513.
- [17] 刘家奇, 邵宛芳, 赵宝权, 等. 普洱茶(熟茶)茶粉、黑茶茶粉、六堡茶减肥作用的研究[J]. 中华中医药杂志, 2014, 29(1): 108-112.
- [18] 李祥龙, 李晓梅, 杨煦, 等. 黑茶茶褐素与茶多糖对脂肪酶的抑制作用[J]. 食品与机械, 2018, 34(3): 27-31, 58.
- [19] RIDAURA V K, FAITH J J, REY F E, et al. Gut microbiota from twins discordant for obesity modulate metabolism in mice [J]. *Science*, 2013, 341(6 150): 1241-1244.
- [20] 刘冬敏, 黄建安, 刘仲华. 肠道微生物与茶及茶多酚的相互作用在调节肥胖及并发症中的作用[J]. 天然产物研究与开发, 2018, 30(9): 1 640-1 648.
- [21] XIA Yun, TAN Dong-hong, AKBARY R, et al. Aqueous raw and ripe Pu'erh tea extracts alleviate obesity and alter cecal microbiota composition and function in diet-induced obese rats[J]. *Appl Microbiol Biotechnol*, 2019, 103(4): 1 823-1 835.
- [22] LU Xiao-jie, LIU Jiu-xi, ZHANG Nai-sheng, et al. Ripened Pu'erh tea extract protects mice from obesity by modulating gut microbiota composition[J]. *J Agric Food Chem*, 2019, 67(25): 6 978-6 994.
- [23] 路晓杰, 刘久茜, 曹永国, 等. 普洱熟茶提取物对实验性非酒精性脂肪肝鼠脂代谢指标及肠道菌群的调节作用[J]. 中国兽医学报, 2018, 38(4): 751-758.
- [24] 蒋慧颖, 马玉仙, 曾文治, 等. 茶黄素、茶红素与茶褐素对高脂饮食大鼠肠道菌群的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(20): 274-279, 351.
- [25] CAO Zhen-hui, GU Da-hai, LIN Qiu-ye, et al. Effect of pu'erh tea on body fat and lipid profiles in rats with diet-induced obesity[J]. *Phytother Res*, 2011, 25(2): 234-238.
- [26] OI Y, HOU I C, FUJITA H, et al. Antiobesity effects of Chinese black tea (Pu'erh tea) extract and gallic acid[J]. *Phytother Res*, 2012, 26(4): 475-481.
- [27] 范艺凡, 彭春秀, 冯励, 等. 不同分子量茶褐素对高脂饮食大鼠脂代谢关键酶的影响[J]. 中国食品学报, 2017, 17(11): 9-19.
- [28] 邹晓菊, 丁毅弘, 梁斌. 普洱茶减肥、降脂机制的探讨[J]. 动物学研究, 2012, 33(4): 421-426.
- [29] HUANG Feng-jie, WANG Shou-li, ZHAO Ai-hua, et al. Pu'erh tea regulates fatty acid metabolism in mice under high-fat diet[J]. *Front Pharmacol*, 2019, 10: 63.
- [30] SHIMAMURA Y, YODA M, SAKAKIBARA H, et al. Pu'erh tea suppresses diet-induced body fat accumulation in C57BL/6J mice by down-regulating SREBP-1c and related molecules[J]. *Biosci Biotechnol Biochem*, 2013, 77(7): 1 455-1 460.
- [31] 吴雅倩, 陈亚蓝, 冯伟, 等. 普洱茶对大鼠肥胖的干预和保肝护肝作用[J]. 食品工业科技, 2019, 40(1): 281-285.
- [32] 刘春, 冯励, 彭春秀, 等. 茶褐素对 3T3-L1 成熟脂肪细胞基因差异表达的影响[J]. 中国食品学报, 2018, 18(6): 249-261.
- [33] 冯伟, 王雪青, 陈沛, 等. 普洱茶对膳食诱导肥胖大鼠降低体质量及调节细胞因子的作用[J]. 食品科学, 2019, 40(11): 175-181.
- [34] SONG Tong-xing, YANG Yang, ZHOU Yuan-fei, et al. GPR120: A critical role in adipogenesis, inflammation, and energy metabolism in adipose tissue[J]. *CMLS*, 2017, 74(15): 2 723-2 733.

(下转第 236 页)

- 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]. 浙江: 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.