

王菲, 燕树勋, 王萍. 茶多酚抗肥胖的研究进展 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(16): 474–479. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023100101

WANG Fei, YAN Shuxun, WANG Ping. Research Progress on Anti Obesity Effects of Tea Polyphenols[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(16): 474–479. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023100101

· 专题综述 ·

茶多酚抗肥胖的研究进展

王 菲¹, 燕树勋^{2,*}, 王 萍²

(1. 河南中医药大学第一临床医学院, 河南郑州 450000;

2. 河南中医药大学第一附属医院内分泌科二病区, 河南郑州 450008)

摘 要: 肥胖是糖尿病、心血管疾病、肿瘤等若干慢性疾病的主要风险因素和病理基础, 目前已成为全球公共卫生健康问题之一。随着肥胖率的增高, 对于天然抗肥胖药物的研究和应用已经成为人们持续关注的热点。茶多酚 (Tea Polyphenols, TP) 是茶叶中多酚类物质的总称, 在茶叶中含量丰富、功效显著, 大量研究表明其在抗肥胖方面具有良好的效果, 发展前景广。本文围绕茶多酚抗肥胖, 综述了近年来在体外, 动物和临床研究中的研究进展, 并分别从茶多酚调节肠道菌群的结构和组成, 调节炎症反应, 促进能量消耗, 调控相关酶的活性并抑制脂类的合成和吸收等途径探讨防治肥胖的机制, 以期开发含天然茶多酚的减肥食品或药物奠定基础。

关键词: 肥胖, 茶多酚, 肠道菌群, 炎症反应, 能量代谢

中图分类号: TS201.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)16-0474-06

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023100101

本文网刊:



Research Progress on Anti Obesity Effects of Tea Polyphenols

WANG Fei¹, YAN Shuxun^{2,*}, WANG Ping²

(1. The First Clinical Medical College of Henan University of Traditional Chinese Medicine, Zhengzhou 450000, China;

2. Department Endocrinology Ward II, The First Affiliated Hospital of Henan University of Traditional Chinese Medicine, Zhengzhou 450008, China)

Abstract: Obesity is a major risk factor and pathological basis for several chronic diseases such as diabetes, cardiovascular diseases, and tumors. It has now become a global public health issue. With the increasing prevalence of obesity, research and application of natural anti-obesity drugs have become a continuous focus of attention. Tea polyphenols (TP), collectively known as polyphenolic substances in tea, are abundant and significant in their effects in tea. Numerous studies have shown that tea polyphenols have good anti-obesity effects and promising prospects. This article reviews the research progress on tea polyphenols and their anti-obesity effects in recent years, focusing on *in vitro*, animal, and clinical studies. It discusses the mechanisms of preventing and treating obesity through tea polyphenols, including the regulation of intestinal microbiota composition, modulation of inflammatory response, promotion of energy expenditure, regulation of enzyme activity, and inhibition of lipid synthesis and absorption. The aim is to lay a foundation for the development of natural tea polyphenol-based weight-loss foods or drugs.

Key words: obesity; tea polyphenols; intestinal microbiota; inflammatory response; energy metabolism

近年来, 全世界肥胖症的患病率急剧上升, 由肥胖引起的能量代谢失衡会引起相关的慢性疾病, 如 2 型糖尿病、高血压和心脑血管疾病^[1], 导致生活质量和预期寿命的下降, 对人们的健康和生命构成巨大

威胁^[2]。迄今为止, 多种药物(如奥利司他、利拉鲁肽和司美格鲁肽等)均具有厌食作用, 已被美国食品和药物管理局(FDA)批准用于成人的长期体重管理^[3], 但由于其成本高和副作用大导致患者依从率低^[4], 近

收稿日期: 2023-10-16

基金项目: 河南省科技攻关项目 (232102310431); 河南省中医药传承与创新人才工程 (仲景工程) 中医拔尖人才 (CZ0237-02); 郑州市科技惠民计划 (2021KJHM0017)。

作者简介: 王菲 (2000-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 中西医结合临床防治内分泌疾病研究, E-mail: fei1203022@163.com。

* 通信作者: 燕树勋 (1974-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 中医药防治内分泌代谢疾病, E-mail: ysx982000@163.com。

年来,研究发现许多天然绿色产物具有明确的抗肥胖作用且毒副作用小,作用广,例如多酚类、姜黄素类和维生素类等;因此天然绿色产品抗肥胖的作用机制愈发成为近年来研究的热点。

茶是世界上消费量最高的饮料,其主要成分茶多酚对癌症和糖尿病、神经和心血管疾病及其他疾病的发生具有防治作用。近年来,越来越多的研究把茶多酚的减肥作用作为研究的重点。本文从茶多酚和肥胖的概念,茶多酚在体外、动物和临床研究中对肥胖的影响,茶多酚抗肥胖的作用机制等方面对目前茶多酚抗肥胖的研究进展进行综述,以期茶多酚天然减肥产品的开发提供理论支持,为肥胖的防治提供新的思路与方法。

1 茶多酚概述

茶多酚(Tea Polyphenols, TPs)作为世界上销量最高的茶叶的主要活性成分,其营养和药理等功效均得到了广泛证实^[5]。多酚由黄酮类(如黄烷醇、花青素、异黄酮等)和非类黄酮(如酚酸、二苯乙烯和木脂素)组成^[6]。许多研究者发现茶多酚对人体健康有益,来自细胞、动物、临床和流行病学研究的证据证实茶多酚具有防治慢性病发生的作用,例如癌症,慢性炎症,糖尿病,神经退行性疾病(如阿尔茨海默病)等。此外,大多数临床研究表明,茶多酚的摄入对减轻体重,防治肥胖有积极作用。

随着消费者对绿色天然产品的青睐,同时因为多酚安全的药理作用,TP 的开发前景也愈发广阔,而且对 TP 在医药领域的探索也越来越深入。

2 肥胖及其发病机制

肥胖是由多种因素引起的一种营养代谢性疾病,以体内脂肪组织异常或过量积累和体重超常为特征,当能量摄入超过能量消耗时,就会导致体内脂质的堆积从而产生肥胖^[3]。世界卫生组织(WHO)将肥胖定义为可能损害健康的过度脂肪积累,并在体重指数(BMI) $\geq 30 \text{ kg/m}^2$ 时被诊断为肥胖^[7],但由于 BMI 常受骨骼、肌肉等相关因素的影响,因此可同时采用腰围(wc)男性 $\geq 90.0 \text{ cm}$ 、女性 $\geq 85.0 \text{ cm}$ 协助诊断肥胖^[2]。现代社会,人们的工作节奏越来越快,饮食睡眠的不规律,长期久坐及缺乏锻炼,使得肥胖在我们的生活中越来越普遍,目前已成为全球公共卫生健康问题之一。因此,研发出新型减肥药物和健康产品刻不容缓。

众多研究表明,肥胖的发病机制涉及炎症反应异常,肠道菌群失调,能量代谢失衡,脂肪组织堆积等诸多方面。例如:肥胖患者由于热量超载导致异位组织(例如肝脏、骨骼肌和心脏)和内脏脂肪的堆积,会导致局部炎症的发生^[8]。胰岛素信号通路以磷酸酰基醇 3 激酶(P13K)通路为主要通道调节机体能量代谢平衡,若该通路异常则可引起体内能量代谢障碍,造成脂质积累^[9]。此外,相较于白色脂肪组织(WAT),棕色脂肪组织(BAT)与肥胖患者关系更加密切。若

BAT 的功能障碍,脂肪的摄入超过其氧化供能均会导致肥胖^[10]。同时,肠道菌群与宿主能量平衡和新陈代谢密切相关,肥胖与肠道菌群中的两个主要细菌分支(拟杆菌和厚壁菌)相对丰度的变化有关,拟杆菌和厚壁菌的代谢产物可增加人体脂肪组织中的能量储存而诱导肥胖发生^[11]。

3 茶多酚对肥胖的防治作用

3.1 体外研究

绿茶多酚可通过影响前脂肪细胞 3T3-L1 的增殖分化,减少脂肪的堆积从而影响肥胖。例如,孙世利等^[12]通过培养前脂肪细胞 3T3-L1,并用茶多酚和茶黄素进行干预,结果显示:不同浓度的茶多酚和茶黄素均会不同程度的抑制前脂肪细胞的增殖、生长和分化状态,且细胞中甘油三酯的含量也有所降低。党旭辉等^[13]以黑毛茶为原料,经过体外实验发现,样品可以激活胰脂肪酶,抑制胆固醇酯酶,从而达到降血脂的作用,且茶底中的多酚类是茶叶中降血脂的主要功能成分。这些研究均证实了茶叶防治肥胖的机理,同时表明了茶多酚是茶中发挥减肥作用的主要活性物质。

3.2 动物实验

大量研究报道了茶多酚在动物模型中也具有减重作用。例如,李学鸣等^[14]用不同剂量的茶多酚饲喂肥胖大鼠,发现茶多酚对肥胖大鼠有减重效果且作用呈剂量依赖性。田维等^[15]连续六周喂养各组小鼠不同剂量的绿茶膳食纤维粉,发现各组小鼠的体重,身长和胆固醇含量均有降低,尤其以高剂量组下降最明显。夏燕萍等^[16]通过实验发现茶多酚可以调控肥胖大鼠脂肪组织 PPAR- γ 的表达,并且可以显著改善大鼠的糖脂代谢。Ye 等^[17]以普洱茶提取物(PETe)为研究对象,喂养雄性小鼠 15 周后,发现肥胖小鼠的体重、肝脏重量、附睾和肾周脂肪的积累均显著减少,且生 PETe 和熟 PETe 均能减轻高脂饮食(high-fat diet, hfd)诱导肥胖小鼠的体重增加、脂肪堆积等。上述研究证实了茶多酚可减轻肥胖小鼠的体重,为茶叶类减肥药物的开发提供实验依据和理论支持。

3.3 临床研究

目前,已经有众多学者使用茶多酚或者茶多酚联合运动疗法来治疗肥胖。王娟娟^[18]设计临床试验,筛选出 50 名单纯性肥胖的青少年患者随机分成两组,做同等强度的体育锻炼两个月,再分别服用茶多酚和安慰剂(不会对人体造成任何影响,避免误差),结果发现服用茶多酚的实验组体重、甘油三酯和胆固醇含量均明显下降,说明了茶多酚减肥作用的意义。Hosseini 等^[19]用随机、对照临床试验,旨在研究饮用绿茶(GT)对超重和肥胖女性的影响,研究结论发现:TP 治疗 8 周显著降低了超重女性血清低密度脂蛋白(LDL-C)、甘油三酯(TG)和总胆固醇(TC)水平从而达到减重目的。Xie 等^[20]通过一项随机对

照试验,让 62 名肥胖女孩随机服用安慰剂或脱咖啡因绿茶多酚(DGTP)三个月后,研究者发现,DGTP 组受试者的 BMI、wc 等显著下降,说明了 DGTP 能帮助降低儿童肥胖的发生率。目前单纯使用茶多酚防治肥胖的临床研究较少,但上述临床研究中积极的实验结果都说明了茶多酚对于人体的降脂和减肥具有较为明显的作用。

4 茶多酚防治肥胖的作用机理

4.1 调节肠道菌群的结构和组成

肠道是以细菌为主要菌群的一个复杂生态系统,正常的肠道微环境在维持机体平衡、营养代谢和免疫调节中起重要作用,小肠微生物群也是哺乳动物免疫系统中的重要调节剂^[21]。研究表明,茶多酚的主要成分儿茶素可被小肠直接吸收,但大部分(可能超过 80%)被认为留在肠道内,由肠道细菌代谢,未被吸收的 TP 可以被肠道菌群代谢成多种衍生产物,这些衍生产物可能积累在肠道内而发挥有益作用^[22]。茶多酚通过调节肠道菌群的结构和组成防治肥胖的作用机制如图 1 所示。因此,研究茶多酚和肠道的相互作用关系具有较大的指导意义。

4.1.1 调节肠道细菌微生物群 有许多研究表明,茶多酚及其主要成分儿茶素可以通过刺激和/或阻碍特定肠道细菌的生长达到抗肥胖的作用^[23]。这是因为茶能够促进与肥胖负相关的细菌,抑制与肥胖正相关的细菌。众多研究都证实厚壁菌与拟杆菌的较低比例可以在一定程度上治疗肥胖^[24]。例如:Liu 等^[25]发现,hfd 诱导的肥胖小鼠口服绿茶后可改善肠道微生物多样性;此外,绿茶能够塑造肠道微生物群落结构,增加一些有益细菌(与肥胖负相关)的相对丰度,如

Alistipes、Lachnospiraceae 或拟杆菌。同样,Guo 等^[26]对肥胖小鼠进行了为期三周的绿茶多酚喂养实验,也发现拟杆菌门会随着茶的摄入而增加,而厚壁菌门则逐渐减少。此外,结肠中产生能量的主要方式之一是通过未吸收或未消化的食物的厌氧微生物代谢产生短链脂肪酸(SCFA),从而提高脂质代谢速率^[27],Liao 等^[28]通过研究证实绿茶可以增加小鼠肠道菌群中的双歧杆菌,且双歧杆菌能产生 SCFA,包括乙酸、丙酸和丁酸等,可以刺激产热,刺激脂肪酸氧化分解,减少脂肪生成,达到防治肥胖的作用^[29]。同时,TPs 可能通过改善肠道通透性,降低内毒素循环水平,减轻炎症反应,最终导致体重减轻^[30]。此外,茶可以通过作用于胃肠道微生物群,减少肠胃系统的食欲,减少机体热量的摄入来减肥^[31]。

4.1.2 调节脑-肠-微生物组轴 肠脑轴(gut-brain axis, GBA)包括中枢、肠神经和内分泌之间的双向交流,以及肠道和大脑免疫反应的调节^[32]。在健康个体中,肠道菌群的相对稳定,可以形成宿主-细菌共生。破坏宿主与细菌的共生关系会引起大脑、消化系统和新陈代谢的紊乱。同时昼夜节律与微生物群的功能密切相关,并对宿主的免疫和代谢产生重大影响^[33]。肠道菌群的代谢物 SCFAs 和 G 蛋白偶联受体 43 (GPR43)可刺激瘦素的分泌,下丘脑与瘦素结合可增强饱腹感,减少摄食^[34]。同时,SCFAs 会通过 G 蛋白偶联受体 41(GPR41)引起血液中胰高血糖素样肽-1(GLP-1)和肽 YY(peptide YY, PYY)含量增多,一方面增强肠道蠕动,另一方面通过影响下丘脑弓状核(ARC)来控制食欲^[35]。

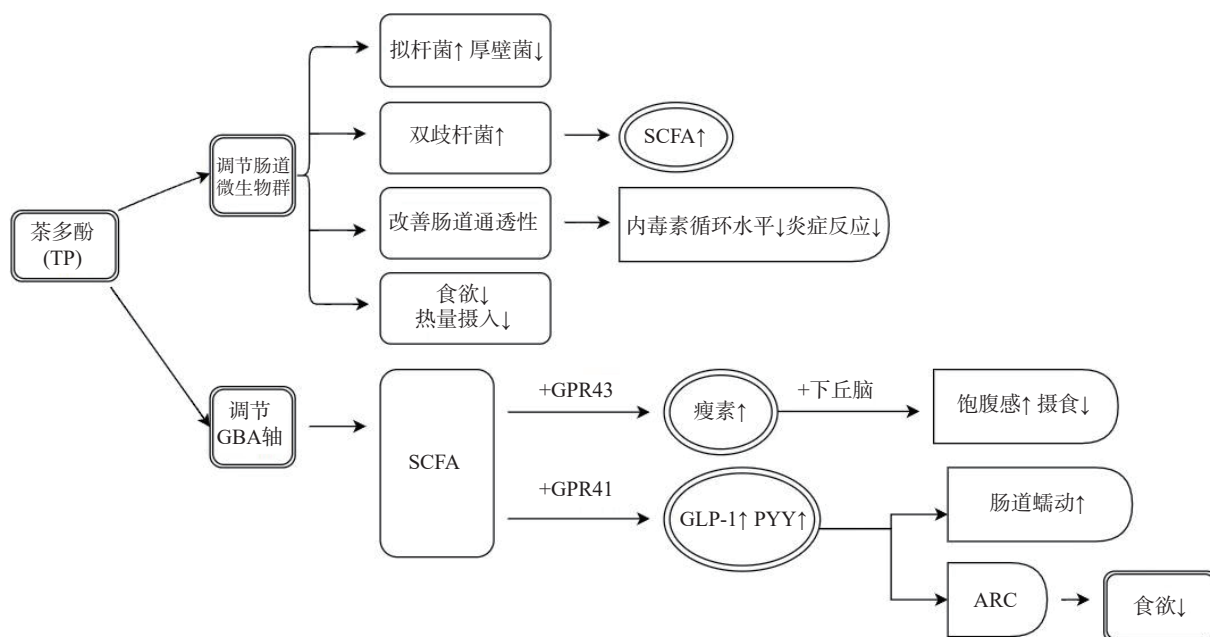


图 1 茶多酚通过调节肠道菌群的结构和组成防治肥胖的作用机制图

Fig.1 Tea polyphenols prevent and treat obesity by modulating the structure and composition of the intestinal microbiota

注: GBA: 肠脑轴; SCFA: 短链脂肪酸; GPR43: G 蛋白偶联受体 43; GPR41: G 蛋白偶联受体 41; GLP-1: 胰高血糖素样肽-1; PYY: 肽 YY; ARC: 下丘脑弓状核。

4.2 调节炎症反应

肥胖通常被认定为一种全身的慢性低度炎症状态,其中脂肪细胞会分泌促炎细胞因子,包括肿瘤坏死因子 $\text{TNF-}\alpha$ 、白细胞介素 IL-6 、 IL-8 等^[36],而茶多酚一方面在炎症反应后期抑制部分免疫细胞因子的生成,防止炎症反应过度;另一方面可以清除因炎症反应产生的自由基从而调节炎症反应^[37]。例如, Li 等^[38]用绿茶多酚(GTP)提取物饲喂 30 只公犬 18 周,结果发现,高脂饲料组公犬肠道炎症因子 $\text{TNF-}\alpha$ 、 $\text{IL-1}\beta$ 和 IL-6 的表达增加,炎症反应明显;而 GTP 补充组的炎症因子表达量显著减少并伴有不同程度的体重降低。该研究从理论层面验证了 TP 的抗炎作用。其次,炎症的减少增加了下丘脑对胰岛素的敏感性,改善饱腹感。

4.3 促进能量消耗

人体日常能量需求的变化与能量消耗的变化有关:如基础代谢率(BMR),食物的热效应(或饮食诱导的产热)以及身体活动的能量成本。白色脂肪组织(WAT)和棕色脂肪组织(BAT)构成了脂肪器官,其中, BAT 能够快速氧化自己的脂肪储存和循环底物,从而产生热量并提高机体代谢率,在调节体温、全身能量消耗和体脂方面发挥作用^[39]。茶多酚可以刺激 WAT 转化为 BAT,增加其氧化,燃烧并通过产热消耗能量^[40]。同时茶多酚还可以激活交感神经系统,促进去甲肾上腺素的分泌,增加脂肪的氧化和能量的消耗^[41]。

4.4 调控相关酶的活性

代谢酶作为人体内的一种蛋白质,可参与体内的任何食物的消化和吸收。人体的肥胖跟体内脂肪代谢酶含量的多少、活性大小有直接关系。胰脂肪酶(PL)是由胰腺分泌的一种主要脂肪酶,它水解消化系统中的膳食脂质,将摄入的油中的三酰甘油底物转化为单甘油和游离脂肪酸,并在肠道内被肠道上皮细胞吸收^[42]。研究发现 EGCG 可增加甘油释放以及参与细胞中脂肪酸 β 氧化的激素敏感脂肪酶和肉碱棕榈酰转移酶-3(CPT-1)的表达,从而增加了对脂肪细胞的分化作用,上调脂肪分解和产热的能力,从而达到减肥目的^[43]。胰脂肪酶是膳食甘油三酯吸收的关键酶,人体肠道吸收的任何膳食脂肪,都必须通过胰脂肪酶的作用进行酶促分解^[44]。同时茶多酚可以非竞争抑制胰脂肪酶的活性,减少食物转化成脂肪,影响人体内的脂肪代谢,从而达到减肥作用^[45]。

4.5 抑制脂类的合成和吸收

脂类既是机体组成的重要活性物质,也是人体日常生命活动能量的主要来源。脂质代谢是体内脂肪通过消化吸收、合成与分解等生化反应,产生机体所需的物质和能量的过程。而异常的脂质代谢会导致机体脂肪堆积,从而引发肥胖、高脂血症等代谢性疾病^[46]。经研究发现,茶多酚主要通过两个通路抑制脂类的合成和吸收。一方面, TP 可以通过下调脂肪

酶的活性,抑制脂质合成^[45];另一方面 TP 有较强的抗氧化作用^[47],抑制肝脏脂质积聚,改善脂肪变性^[48],从而达到减肥效果。例如: Xu 等^[49]采用黄金崖红茶(HJBT)治疗高脂饲料(HFD)小鼠 9 周,测定各种代谢生物标志物和粪便代谢物,结果显示 HJBT 处理小鼠的体重明显下降,这可能与 HJBT 降低了脂肪扩张和脂肪生成,同时增加粪便 SCFAs 的产生,调节粪便代谢组预防肥胖和代谢紊乱。AMP 活化蛋白激酶(AMPK)是肥胖治疗的重要治疗靶点,可参与调节生物能量代谢,也是茶黄素抗肥胖作用的主要靶点。茶多酚可以激活 AMPK 促进脂肪酸氧化并增加脂肪分解减轻肥胖^[50]。

不同的研究结果都发现茶多酚可以抑制脂类吸收,促进脂质的排泄。例如: Chen 等^[51]发现摄入 EGCG 的小鼠粪便中脂质增加,这个现象可以证实 EGCG 降低了饮食中脂质的吸收。Ashigai 等^[52]通过随机、双盲、安慰剂对照、交叉研究后发现,将同样食用高脂膳食的参与者随机分为红茶多酚组和安慰剂组,结果测量两组受试者的粪便发现服用红茶多酚组的脂质排泄量显著高于安慰剂组。

4.6 茶多酚抗肥胖的其他机制

茶多酚可以和咖啡碱组合协同作用于肥胖。杨丽聪等^[53]将不同浓度的茶多酚、咖啡碱和饲料进行混合饲喂发现,咖啡碱与茶多酚组合后小鼠的腹腔内脂肪质量降低,脂肪蓄积减少,从而导致小鼠体重和体重增加显著减少。该文献证实了咖啡碱和茶多酚协同防止肥胖的作用。

其次,众多研究发现茶多酚可以上调肝激酶 B1(LKB1)和 AMPK 的表达并磷酸化,并间接促进 HMG-CoA 还原酶的磷酸化(即失活),以此减少营养物质的摄入并降低血清胆固醇水平^[54],达到防治肥胖的目的。

5 结论与展望

上述研究表明,茶多酚可以通过调节肠道微生物群,改善机体炎症反应,促进能量消耗和机体代谢,调控相关代谢酶的活性同时抑制脂类的合成和吸收等不同作用机制来达到减肥效果。

近年来,茶多酚的提取技术越来越成熟,不仅产品质量和纯度有所保障,成本也越来越低。茶多酚的减肥效果在某些动物或人体实验研究上已经得到证实,然而茶多酚的临床应用仍然存在许多挑战,例如口服时茶多酚的生物利用度较低,并且研究者很难找到将 EGCG 有效递送至靶位点的方法,导致 TP 减肥效果不能得到最大程度地发挥;同时要多关注茶的安全性,避免杀虫剂或重金属等的污染或 TP 高剂量的潜在风险,这些都在一定程度上遏制了茶多酚在肥胖治疗方面的高质量发展。为突破产业发展瓶颈,提高茶多酚的生物利用度,提高用药安全性,未来就需要更多的研究人员在上述机制的支撑下进一步进行基础研究和临床研究,为茶多酚在减肥食品和医药领

域的应用提供更多理论依据和实验支持,将来研究者可以将重心放在开发含茶多酚的天然减肥食品、饮料或药物等,为肥胖患者提供更多的治疗手段选择。

© The Author(s) 2024. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

参考文献

- [1] ZHANG X, HA S, LAU H C, et al. Excess body weight: Novel insights into its roles in obesity comorbidities[J]. *Seminars in Cancer Biology*, 2023, 92: 16–27.
- [2] 中国营养学会肥胖防控分会, 中国营养学会临床营养分会, 中华预防医学会行为健康分会, 等. 中国居民肥胖防治专家共识[J]. *西安交通大学学报(医学版)*, 2022, 43(4): 619–631. [Chinese Nutrition Society Obesity Prevention and Control Section, Chinese Nutrition Society Clinical Nutrition Section, Chinese Preventive Medicine Association Behavioral Health Section, et al. Expert consensus on obesity prevention and treatment in China[J]. *Journal of Xi'an Jiaotong University (Medical Sciences)*, 2022, 43(4): 619–631.]
- [3] LI Z, ZHANG B, WANG N, et al. A novel peptide protects against diet-induced obesity by suppressing appetite and modulating the gut microbiota[J]. *Gut*, 2022, 72 (4): 686–698.
- [4] PERDOMO C M, COHEN R V, SUMITHRAN P, et al. Contemporary medical, device, and surgical therapies for obesity in adults[J]. *Lancet*, 2023, 401(10382): 1116–1130.
- [5] 张晓梦, 倪艳, 李先荣. 茶多酚的药理作用研究进展[J]. *药物评价研究*, 2013, 36(2): 157–160. [ZHANG Xiaomeng, NI Yan, LI Xianrong. Advances in study on pharmacological effects of tea polyphenol[J]. *Drug Evaluation Research*, 2013, 36(2): 157–160.]
- [6] RAJ V, BONKOVSKY H L, AHMAD J, et al. Garcinia cambogia, either alone or in combination with green tea causes moderate to severe liver injury[J]. *Clinical Gastroenterology and Hepatology: The Official Clinical Practice Journal of the American Gastroenterological Association*, 2021, 20(6): e1416–e1425.
- [7] CABALLERO B. Humans against obesity: Who will win?[J]. *Advances in Nutrition*, 2019, 10(Suppl_1): S4–S9.
- [8] LONGO M, ZATTERALE F, NADERI J, et al. Adipose tissue dysfunction as determinant of obesity-associated metabolic complications[J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2019, 20(9): 2358.
- [9] 黄书晨, 汪一波. 肥胖发病机制的研究进展[J]. *中国分子心脏病学杂志*, 2019, 19(5): 3105–3108. [HUANG Shuchen, WANG Yibo. The progress in the pathogenesis of obesity[J]. *Molecular Cardiology of China*, 2019, 19(5): 3105–3108.]
- [10] 徐春花, 何卓俊, 曾立等. 肥胖的发病机制以及药物治疗研究概况[J]. *中国疗养医学*, 2021, 30(2): 131–135. [XU Chunhua, HE Zhuojun, ZENG Li, et al. Research overview of the pathogenesis of obesity and drug therapy[J]. *Chinese Journal of Convalescent Medicine*, 2021, 30(2): 131–135.]
- [11] DELAYE M, ROUSSEAU A, MAILLYGIACCHETTI L, et al. Obesity, cancer, and response to immune checkpoint inhibitors: Could the gut microbiota be the mechanistic link?[J]. *Pharmacology & Therapeutics*, 2023, 247: 108442.
- [12] 孙世利, 凌彩金, 刘军, 等. 茶多酚与茶黄素对前脂肪细胞 3T3-L1 增殖与分化的影响[J]. *广东农业科学*, 2011, 38(12): 137–139, 213. [SUN Shili, LING Caijin, LIU Jun, et al. Effects of tea polyphenols and theaflavins on proliferation and differentiation of 3T3-L1 preadipocytes[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2011, 38(12): 137–139, 213.]
- [13] 党旭辉, 周秦羽, 刘梦圆, 等. 黑茶金花体外抗氧化及降血脂活性研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2022, 13(24): 7927–7933. [DANG Xuhui, ZHOU Qinyu, LIU Mengyuan, et al. Study on antioxidant and hypolipidemic activity in vitro of post-flowering dark tea[J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2022, 13(24): 7927–7933.]
- [14] 李学鸣, 孟宪军, 彭杰. 茶多酚降低小鼠营养性肥胖的效果[J]. *沈阳农业大学学报*, 2009, 40(5): 612–615. [LI Xueming, MENG Xianjun, PENG Jie. Studies on weight reducing induced by tea polyphenols in nutritional obese white mouse[J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2009, 40(5): 612–615.]
- [15] 田维, 张荣涛, 李悦琦, 等. 绿茶膳食纤维粉对大鼠的减肥降脂作用研究[J]. *粮食与饲料工业*, 2019(3): 49–52. [TIAN Wei, ZHANG Rongtao, LI Yueqi, et al. Effects of green tea fiber powder on weight losing and lipid lowering of rat[J]. *Cereal & Feed Industry*, 2019(3): 49–52.]
- [16] 夏燕萍, 陈刚, 俞茂华. 茶多酚对实验性肥胖大鼠脂肪组织 PPAR- γ 表达影响的研究[J]. *中国糖尿病杂志*, 2012, 20(8): 625–628. [XIA Yanping, CHEN Gang, YU Maohua. Changes of PPAR- γ expression in adipose tissue of experimental fatty rats after intervention with tea polyphenol[J]. *Chinese Journal of Diabetes*, 2012, 20(8): 625–628.]
- [17] YE J, ZHAO Y, CHEN X M, et al. Puerh tea ameliorates obesity and modulates gut microbiota in high fat diet fed mice[J]. *Food Research International*, 2021, 144: 110360.
- [18] 王娟娟. 茶多酚联合有氧体育运动对肥胖少年身体素质的影响[J]. *福建茶叶*, 2016, 38(7): 25–26. [WANG Juanjuan. Effects of tea polyphenols combined with aerobic physical exercise on physical fitness of obese adolescents[J]. *Tea in Fujian*, 2016, 38(7): 25–26.]
- [19] HOSSEINI Z, GHAEDI H, AHMADI M, et al. Lipid-lowering effects of concurrent training and green tea consumption in overweight women[J]. *Journal of Obesity & Metabolic Syndrome*, 2020, 29(4): 313–319.
- [20] XIE L Y, TANG Q Y, YAO D, et al. Effect of decaffeinated green tea polyphenols on body fat and precocious puberty in obese girls: A randomized controlled trial[J]. *Frontiers in Endocrinology*, 2021, 12: 736724.
- [21] SUCHODOLSKI J S. Intestinal microbiota of dogs and cats: A bigger world than we thought[J]. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, 2011, 41(2): 261–272.
- [22] ZHAO Y, ZHANG X. Interactions of tea polyphenols with intestinal microbiota and their implication for anti-obesity[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2020, 100(3): 897–903.
- [23] PÉREZBURILLO S, NAVAJASPORRAS B, LÓPEZMADONADO A, et al. Green tea and its relation to human gut microbiome[J]. *Molecules*, 2021, 26(13): 3907.
- [24] 张志勇, 李婷, 朱慧芳, 等. 茶多酚调节肠道菌群及抗肥胖作用研究进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2023, 14(2): 161–167. [ZHANG Zhiyong, LI Ting, ZHU Huifang, et al. Research progress on the regulation of gut microbiota and anti-obesity effect of tea polyphenols[J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2023, 14(2): 161–167.]
- [25] LIU Z B, CHEN Z C, GUO H W, et al. The modulatory effect of infusions of green tea, oolong tea, and black tea on gut micro-

- biota in high-fat-induced obese mice[J]. *Food & Function*, 2016, 7(12): 4869–4879.
- [26] GUO X, CHENG M, ZHANG X, et al. Green tea polyphenols reduce obesity in high-fat diet-induced mice by modulating intestinal microbiota composition[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2017, 52(8): 1723–1730.
- [27] SAAD M J A, SANTOS A, PRADA P O. Linking gut microbiota and inflammation to obesity and insulin resistance[J]. *Physiology*, 2016, 31(4): 283–293.
- [28] LIAO Z L, ZENG B H, WANG W, et al. Impact of the consumption of tea polyphenols on early atherosclerotic lesion formation and intestinal bifidobacteria in high-fat-fed Apoe mice[J]. *Frontiers in Nutrition*, 2016, 3: 42.
- [29] CORADO A G, CHRISTIAN H, FELIPE J M. The human gut microbiota: Metabolism and perspective in obesity[J]. *Gut microbes*, 2018, 9(4): 1–18.
- [30] LIU J Y, HE D, XING Y F, et al. Effects of bioactive components of Pu-erh tea on gut microbiomes and health: A review[J]. *Food Chemistry*, 2021, 353: 129439.
- [31] SIROTKIN A V, A K. The anti-obesity and health-promoting effects of tea and coffee[J]. *Physiological Research*, 2021, 70(2): 161–168.
- [32] HOUSER M C, TANSEY, M G. The gut-brain axis: Is intestinal inflammation a silent driver of Parkinson's disease pathogenesis? [J]. *NPJ Parkinson's Disease*, 2017, 3(1-2): 3.
- [33] YAN R N, HO C T, ZHANG X. Interaction between tea polyphenols and intestinal microbiota in host metabolic diseases from the perspective of the gut-brain axis[J]. *Molecular Nutrition & Food Research*, 2020, 64(14): e2000187.
- [34] CORNEJO-PAREJA I, MUÑOZ-GARACH A, CLEMENTE-POSTIGO M, et al. Importance of gut microbiota in obesity[J]. *European Journal of Clinical Nutrition*, 2019, 72(Suppl 1): 26–37.
- [35] LIU X N, LI X, XIA B, et al. High-fiber diet mitigates maternal obesity-induced cognitive and social dysfunction in the offspring via gut-brain axis[J]. *Cell Metabolism*, 2021, 33(5): 923–938.
- [36] TAYLOR E B. The complex role of adipokines in obesity, inflammation, and autoimmunity[J]. *Clinical Science*, 2021, 135(6): 731–752.
- [37] 赵航晔, 夏琛, 何普明, 等. 茶多酚抗炎和促外伤愈合作用及其机制[J]. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2021, 47(1): 118–126. [ZHAO Hangye, XIA Chen, HE Puming, et al. Effects of tea polyphenols on anti-inflammation and promotion of wound healing and its mechanisms[J]. *Journal of Zhejiang University (Agriculture and Life Sciences)*, 2021, 47(1): 118–126.]
- [38] LI Y, RAHMAN U S, HUANG Y Y, et al. Green tea polyphenols decrease weight gain, ameliorate alteration of gut microbiota, and mitigate intestinal inflammation in canines with high-fat-diet-induced obesity[J]. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 2020, 78: 108324.
- [39] SAITO M, YUKO O. Thermogenic brown fat in humans: Implications in energy homeostasis, obesity and metabolic disorders [J]. *The World Journal of Men's Health*, 2023, 41(3): 489–507.
- [40] L K M, ERIC R. Brown adipose tissue: An update on recent findings[J]. *Current Obesity Reports*, 2017, 6(4): 389–396.
- [41] 叶小燕, 黄建安, 刘仲华. 茶叶减肥作用及其机理研究进展[J]. *食品科学*, 2012, 33(3): 308–312. [YE Xiaoyan, HUANG Jianan, LIU Zhonghua. Anti-obesity effect and mechanism of tea: A review[J]. *Food Science*, 2012, 33(3): 308–312.]
- [42] LIU T T, LIU X T, CHEN Q X, et al. Lipase inhibitors for obesity: A review[J]. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 2020, 128: 110314.
- [43] WANG S, MOUSTAID-MOUSSA N, CHEN L, et al. Novel insights of dietary polyphenols and obesity[J]. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 2014, 25(1): 1–18.
- [44] SUN N N, WU T Y, CHAU C F. Natural dietary and herbal products in anti-obesity treatment[J]. *Molecules*, 2016, 21(10): 1351.
- [45] 张忠. 茶多酚对胰脂肪酶活性的抑制作用[J]. *食品工业*, 2013, 34(8): 168–170. [ZHANG Zhong. The inhibition of tea polyphenol on pancreatic lipase[J]. *The Food Industry*, 2013, 34(8): 168–170.]
- [46] 周永强, 周维, 岳兰昕, 等. 雷公藤红素参与脂质代谢调控的研究进展[J]. *医药导报*, 2021, 40(12): 1704–1709. [ZHOU Yongqiang, ZHOU Wei, YUE Lanxin, et al. Research progress on the role of celastrol in the regulation of lipid metabolism[J]. *Herald of Medicine*, 2021, 40(12): 1704–1709.]
- [47] ABUNOFAL O, MOHAN C. Salubrious effects of green tea catechins on fatty liver disease: A systematic review[J]. *Medicines*, 2022, 9(3): 20.
- [48] NAGASHIMADA M, OTA T. Role of vitamin E in nonalcoholic fatty liver disease[J]. *Iubmb Life*, 2019, 71(4): 516–522.
- [49] XU J, LI M, ZHANG Y, et al. Huangjinya black tea alleviates obesity and insulin resistance via modulating fecal metabolome in high-fat diet-fed mice[J]. *Molecular Nutrition & Food Research*, 2020, 64(22): e2000353.
- [50] 张晓云, 梅晓宏. 板栗壳色素通过 AMPK 信号通路改善肥胖小鼠的脂代谢紊乱[J]. *中国食品学报*, 2023, 23(7): 177–186. [ZHANG Xiaoyun, MEI Xiaohong. Chestnut shells pigment ameliorated lipid metabolism disorder in obese mice through ampk signaling pathway[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2023, 23(7): 177–186.]
- [51] CHEN Y K, CHEUNG C, REUHL K R, et al. Effects of green tea polyphenol (-)-epigallocatechin-3-gallate on newly developed high-fat/Western-style diet-induced obesity and metabolic syndrome in mice[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2011, 59(21): 11862–11871.
- [52] ASHIGAI H, TANIGUCHI Y, SUZUKI M, et al. Fecal lipid excretion after consumption of a black tea polyphenol containing beverage—randomized, placebo-controlled, double-blind, crossover study[J]. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 2016, 39(5): 699–704.
- [53] 杨丽聪, 郑国栋, 蒋艳, 等. 咖啡碱与茶多酚组合对小鼠肝脏脂肪代谢酶活性的影响[J]. *中国食品学报*, 2011, 11(3): 14–19. [YANG Licong, ZHENG Guodong, JIANG Yan, et al. Effects of caffeine and catechins combination on liver lipids metabolism relative enzymes in mice[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2011, 11(3): 14–19.]
- [54] BANERJEE S, GHOSH S, PORTER D T. Phosphorylation of hepatic AMP-activated protein kinase and liver kinase B1 is increased after a single oral dose of green tea extract to mice[J]. *Nutrition Research*, 2012, 32(12): 985–990.