

植物多酚抗肥胖作用的研究进展

高 航, 徐 虹*

(北京工商大学 食品添加剂与配料北京高校工程研究中心, 食品风味化学北京市重点实验室, 北京 100048)

摘 要: 植物多酚是一类广泛存在于植物体内的次生代谢产物, 具有抗癌、抗氧化、抗菌、抗病毒等生物活性。随着肥胖发生率的急速增加, 抗肥胖药物或功能性食品的研究成为了热点。植物多酚类化合物抗肥胖效果显著, 近年来其抗肥胖机理也得到了进一步的阐明, 本文对植物多酚在调节代谢酶活性、刺激机体产热、调节机体信号和肠道微生物菌群方面的抗肥胖研究进展进行综述。

关键词: 植物多酚; 抗肥胖; 机理

Progress in Understanding Anti-obesity Effects of Plant Polyphenols

GAO Hang, XU Hong*

(Beijing Key Laboratory of Flavor Chemistry, Beijing Higher Institution Engineering Research Center of Food Additives and Ingredients, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China)

Abstract: Plant polyphenols, a class of natural secondary metabolites widely presented in plants, have anti-cancer, anti-oxidant, anti-bacterial, anti-virus and other bioactivities. In recent years, the development of anti-obesity functional foods or drugs has become a hot topic due to the increasing obesity rate all over the world. Currently, many researchers have reported that plant polyphenols show significant anti-obesity effects, and the mechanisms have been revealed gradually. This paper reviews the recent progress in understanding the anti-obesity effects of plant polyphenols through modulating metabolic enzyme activities, stimulating thermogenesis and regulating the signaling pathways and intestinal microbial flora in the body.

Key words: plant polyphenol; anti-obesity; mechanism

中图分类号: TS201.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2014) 21-0334-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201421063

肥胖已成为全球最主要的公共健康问题之一, 其发生的根本原因是能量的摄入与输出不平衡, 导致体内脂肪积累过多, 基因、内分泌、生理、营养和社会环境等多种因素都会引起能量失衡^[1]。在过去的5年中, 一些国家超重和肥胖的发病率增加了近一倍, 全世界超重和肥胖率已经超过42%, 其中女性所占比率远高于男性^[2]。根据2002年中国居民营养与健康状况调查(209 849人)统计, 与1992年相比, 10年间我国居民的超重和肥胖率分别上升了38.6%和80.6%, 患病人数增加1亿人, 超重和肥胖已经影响到了我国近2亿6千万人口^[3]。肥胖还是诱导高血压、血脂异常、II型糖尿病、心血管疾病、失眠和呼吸暂停等慢性疾病发生的主要危险因素之一^[4-7]。因此, 肥胖干预工作成为全社会重点关注的问题。

随着制药工业的发展, 奥利司他、西布曲明和利莫那班3种药物被美国食品药品监督管理局认可, 并批准在

世界范围内长期使用。但是, 欧洲药品管理局又先后停止西布曲明和利莫那班的使用, 其原因是这两种药物导致较为严重的心脏问题或引起精神方面的副作用^[8-9]。显然, 改变生活方式以及控制脂肪摄入是最好的抗肥胖方法, 然而由于现代生活节奏的加快、工作压力的增加以及药物治疗安全性和耐受性的限制, 越来越多的人追求具有抗肥胖效果的功能性食品。目前, 植物资源的开发利用受到了功能性食品领域的关注, 天然产物及其生理活性的研究成为近年来国内外的热点, 其中的植物化学成分被公认是安全的, 并且在一定浓度范围内没有副作用。越来越多的研究表明, 植物多酚可达到预防或治疗肥胖的效果^[10-12]。

植物多酚又名植物单宁, 是植物体内种类最多的一种次生代谢产物, 普遍存在于蔬菜、水果、中草药及植物种子中, 尤其在茶叶、咖啡、红葡萄、芸豆、红酒中

收稿日期: 2014-05-14

基金项目: 北京市优秀人才培养资助项目(2012D005003000009); “十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAD34B05-09); 北京市属高等学校创新团队建设与教师职业发展计划项目(IDHT20130506)

作者简介: 高航(1992—), 女, 硕士研究生, 研究方向为功能性食品。E-mail: gaohang0928@163.com

*通信作者: 徐虹(1977—), 女, 副教授, 博士, 研究方向为食品营养与安全。E-mail: xuhong@th.btbu.edu.cn

含量丰富。植物多酚是以苯酚为基本骨架,以苯环的多羟基取代为特征,包括低分子质量的简单酚类和分子质量大至数千道尔顿的聚合单宁类^[13]。因此,植物多酚是一类种类繁多的化学物质,有多种不同的分类原则,其中常见的分类方法是根据其基本结构上碳原子的多少,分为简单酚、香豆素类、萜醌类、夹氧杂蒽醌类、异黄酮类、黄酮类、木脂素类、单宁(包括水解单宁和缩合单宁)和酚酸类(苯甲酸类和肉桂酸类)衍生物等13类^[14]。

近年来,不断有研究者从苹果、茶叶、葡萄、蓝莓等大量植物中提取到了多酚物质。多酚具有抗氧化、抗菌和抗病毒等活性^[15-17];在实际应用中,具有抗褐变、降血糖、降血压、预防心血管疾病等功效^[18-21]。在食品工业中,植物多酚作为抗氧化和清除自由基的活性物质,可以阻止油脂的自动氧化,对油脂和含油脂食品具有良好的抗氧化作用^[22]。此外,植物多酚也有很好的抑菌效果。据报道,番石榴多酚能够有效地抑制虾肉糜中细菌的繁殖,延缓虾肉糜的腐败变质,延长虾肉糜在冷藏条件下的保质期^[23];茶多酚对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌、枯草杆菌等都有很好的抑制作用^[24-26],并对肉类及其腌制品也具有有良好的保质抗损效果,尤其对罐头类食品中耐热芽孢杆菌等具有显著的抑制和杀灭作用,因此可作为保鲜剂广泛应用于含有丰富动植物油脂食品等的防腐保鲜中^[27]。

除上述研究之外,近年来国内外学者对植物多酚物质在抗肥胖功能方面亦进行了探索研究,其抗肥胖机理也得到了进一步阐明。本文将对酚类物质抗肥胖的功效及机理进行综述。

1 调节代谢酶活性、减少脂肪吸收或转化

1.1 调节胰脂肪酶活性

植物多酚对胰脂肪酶的抑制作用引起了众多学者的关注。食物中大约50%~70%的甘油三酯在胰脂肪酶的作用下被水解和吸收。因此,胰脂肪酶是脂肪水解过程中的关键酶,而通过与胰脂肪酶活性部分相结合,抑制胰脂肪酶的活性,减少食物中甘油三酯的消化和吸收,可达到控制和治疗肥胖的目的^[28]。Sugiyama等^[29]从苹果多酚中提取原花青素进行体外抑制胰脂肪酶活性的研究,并在小鼠及人体内进行甘油三酯吸收实验。结果显示,苹果多酚中原花青素具有较强的体外抑制胰脂肪酶活性的作用;当苹果多酚和甘油三酯同时摄入时,小鼠及人体模型血浆中甘油三酯水平都受到抑制。Nakai等^[30]研究发现,乌龙茶中两种典型的酯多酚Oolonghomobisfalavans A和Oolongtheanin 3'-O-gallate对胰脂肪酶显示出了良好的抑制活性,半抑制浓度(IC₅₀)分别为0.048、0.068 μmol/L。Gondoin^[31]和Tenore^[32]等则比较了白茶、

绿茶和红茶对胰脂肪酶的体外抑制能力,结果表明白茶的抑制效果最佳,绿茶次之,红茶的效果不显著,质谱分析表明小木麻黄素(strictinin)在对胰脂肪酶的抑制过程中可能起了关键作用。Mcdougall等^[33]从一系列浆果中提取多酚物质进行体外抑制胰脂肪酶活性测定。越橘、北极荆棘、黄莓、草莓和树莓具有相当强的抑制作用,其中黄莓的多酚提取物半数有效浓度(EC₅₀)为5 μg/mL,鞣花单宁(ellagitannins)被推测是其中的主要活性成分。黑荆树中含有丰富的多酚物质,从黑荆树中提取的多酚化合物可明显抑制脂肪酶活性,IC₅₀为0.95 mg/mL;在动物实验中,口服黑荆树多酚可以有效抑制口服橄榄油小鼠血清中甘油三酯浓度的升高,这可能与黑荆树多酚能抑制胰脂肪酶对脂肪的水解有关^[34]。张忠^[35]研究了茶多酚对胰脂肪酶活性的抑制特性,茶多酚对胰脂肪酶活性具有明显的抑制作用,其IC₅₀为1.16 mg/mL,且抑制类型为非竞争性抑制。Wu等^[36]发现富含多酚的荔枝水提物可以降低体外脂肪酶的活性并成功控制大鼠体内脂肪组织的生长。另外,来源于荷叶中的多酚类物质对脂肪酶也有显著的抑制作用^[37]。

1.2 调节胰α-淀粉酶活性

α-淀粉酶抑制剂能有效抑制体内淀粉的消化吸收,降低餐后血糖,减少糖向脂肪的转化,可用于防治肥胖病、高血脂症和糖尿病。刘杰超等^[38]研究了苹果多酚提取物对α-淀粉酶的抑制作用,当苹果多酚质量浓度在0.071~5.357 g/L范围内时,其最大抑制率可达88.01%,IC₅₀为1.48 g/L,且抑制作用类型为竞争性抑制。张文芹^[39]采用HP20大孔吸附树脂依次用水和70%乙醇对苦丁冬青苦丁茶多酚类物质进行初步分离纯化,依次洗脱出的组分为:单咖啡酰奎宁酸化合物和二咖啡酰奎宁酸化合物,其对α-淀粉酶、胰脂肪酶均有显著抑制作用,且对α-淀粉酶活性抑制强弱顺序均为:苦丁冬青苦丁茶多酚>二咖啡酰奎宁酸化合物>单咖啡酰奎宁酸化合物。聂坤伦等^[40]以雅安藏茶为材料,用体积分数70%乙醇溶液提取后经系统萃取分离得到7种雅安藏茶组分,并测定各个组分的主要成分对α-淀粉酶活性的影响。结果显示,雅安藏茶抑制α-淀粉酶的活性成分是儿茶素、茶褐素和咖啡碱,对α-淀粉酶活性抑制能力依次为儿茶素>茶褐素>咖啡碱。张永军等^[41]研究了绿茶多酚对胰α-淀粉酶活性的抑制作用,结果提示绿茶多酚对胰α-淀粉酶具有明显的抑制作用,其IC₅₀为0.82 mg/mL,抑制类型为可逆性非竞争性抑制,抑制常数K_i为1.08 mg/mL。

1.3 调节α-葡萄糖苷酶活性

α-葡萄糖苷酶抑制剂在小肠中可竞争性的抑制葡萄糖苷酶,降低多糖及双糖分解生成葡萄糖,以减少碳水化合物的吸收,阻止糖转化为脂肪,虽然这一过程效果并非强烈,但对抗肥胖亦起到一定的辅助作用^[42]。

林珠灿等^[43]从青钱柳和养心草两种中药中提取的酚及多酚类物质证实具有抑制 α -葡萄糖苷酶作用。王会^[44]测定了香蕉花多酚提取物对 α -葡萄糖苷酶活性的抑制率,结果表明在不同浓度下,香蕉花多酚提取物对 α -葡萄糖苷酶活性有不同程度的抑制作用,最高抑制率可达到88.56%,且 α -葡萄糖苷酶抑制剂的抑制类型是竞争性抑制,米氏常数 $K_m=674.074\text{ }\mu\text{g/mL}$ 。李臻^[45]研究了溪黄草多酚对 α -葡萄糖苷酶的作用,结果显示,随着溪黄草多酚质量浓度的增加, α -葡萄糖苷酶的活性逐渐降低,当溪黄草多酚质量浓度为 $48\text{ }\mu\text{g/mL}$ 时,对 α -葡萄糖苷酶的抑制率为44.15%。Yilmazer-Musa等^[46]研究发现茶提取物中的表儿茶素没食子酸酯能够强烈抑制 α -葡萄糖苷酶活性。Lordan等^[47]评估了海藻多酚提取物对 α -葡萄糖苷酶的抑制作用,其中,墨角藻提取物被认为是 α -葡萄糖苷酶的强力抑制剂, IC_{50} 为 $0.49\text{ }\mu\text{g/mL}$,且抑制效果与多酚含量呈正相关。

2 刺激机体产热、加速能量消耗

还有一些研究表明,多酚类物质具有抗肥胖的功效可能与其刺激体内产热有关。产热是由一系列调节机制实现的,该机制通过增强去甲肾上腺素的水平来增强交感神经系统活性,使食物中的能量消耗而非脂肪积累,从而提高饱腹感并且增强产热,降低饥饿感,增加脂肪氧化^[48]。傅冬和等^[49]发现茶多酚可增强体内脂蛋白酶活性,促进去甲肾上腺素诱导脂肪细胞中的脂肪分解,提高激素敏感性脂肪酶的活性,加速体内脂肪组织的氧化分解,刺激产热,达到抗肥胖效果。Dulloo等^[48]调查了绿茶多酚提取物是否可以在人体内增加能量消耗和脂肪氧化,结果显示,相对于安慰剂,绿茶提取物显著增加了24 h内的产热,并且在24 h内去甲肾上腺素分泌较高。因此绿茶提取物通过增加并延长交感神经刺激产热,可以有效使体质量及脏器周围脂肪沉积减少。不仅如此,Dulloo等^[50]还指出,绿茶提取物刺激棕色脂肪组织产热的程度极大,产热过程主要是由于儿茶素和咖啡因协同作用促进去甲肾上腺素的释放,从而达到控制体质量的目的。总之,咖啡因和儿茶素可以延长脂肪去甲肾上腺素和能量代谢的刺激效果。但是根据现有文献报道可知,国内外对于植物多酚刺激产热达到抗肥胖效果的研究较少,其机理也并未完全明朗,因此需要更多的研究来证明。

3 调节机体生理信号、抑制细胞分化或分子表达

通过摄取食物可以调节机体的一些生理功能,如利用功能性成分抑制进食信号或增强厌食信号也可以达到减少能量摄入,控制体质量增加的效果^[51]。高远^[52]从乌龙茶中提取了乌龙茶多酚、表没食子儿茶素没食子酸酯

和甲基化儿茶素,研究了以上3种多酚对3T3-L1前体脂肪细胞增殖和分化的抑制作用,通过对细胞的培养及四甲基偶氮唑蓝实验,测定了用3种样品分别处理24、48、72、96 h后细胞的增殖情况。并通过加入胰岛素、地塞米松和3-异丁基-1-甲基黄嘌呤诱导细胞分化为脂肪细胞的同时加入样品,来检测样品能否抑制前体脂肪细胞向脂肪细胞的转化,以及对已经分化的脂肪细胞生长的影响。经实验证明,3种样品对3T3-L1细胞的增殖和分化均有较好的抑制作用。孙昕祈^[53]研究发现苦丁冬青苦丁茶中提取的绿原酸粗品、单取代的咖啡酰奎宁酸化合物和二取代的咖啡酰奎宁酸化合物对3T3-L1细胞的分化均有抑制作用,且二取代的咖啡酰奎宁酸化合物效果最强烈;在细胞分化完成后分别加入3种物质,发现其均能抑制脂肪细胞的生长,说明苦丁冬青苦丁茶可能具有预防肥胖的作用。还有一些研究关注了甘草和甘草根中的甘草黄酮油(licorice flavonoids oil, LFO)。Nakagawa等^[54]表明2%的LFO可以有效抑制肥胖糖尿病模型动物的肥胖,也可能会刺激或者抑制肽或活性受体分泌水平,进而达到控制体质量的目的。Ahn等^[55]探讨了姜黄素在3T3-L1脂肪细胞中抑制脂肪生成的机制,发现姜黄素抑制了丝裂原活化蛋白激酶(mitogen-activated protein kinases, MAPK)磷酸化作用,且在分化过程中与Wnt信号因子 β -连环素成剂量、时效关系,且Wnt信号途径参与了姜黄素抑制脂肪生成,降低了3T3-L1脂肪细胞的活性。易娟等^[56]则认为绿茶多酚和红茶多酚可通过调节与脂肪细胞分化的相关基因,逆转脂肪细胞的分化,达到抗肥胖的作用,且绿茶多酚抗肥胖作用强于红茶多酚。Oh等^[57]发现葡萄籽中的多酚提取物可以有效调节脂肪细胞分化中转录因子PPAR- γ 的表达,从而起到抗肥胖的效果。

4 选择性促进益生菌的增殖、调节肠道微生物菌群

人体消化道是大量微生物的聚集场所,尤其是肠道的末节。根据实验获得的结果以及受试人体的情况来看,肠道中的益生元和益生菌可能参与控制与肥胖有关的代谢疾病的发展。一些证据表明,有些肠道微生物可分解未消化的食物并从中获得热量,然后储存在脂肪组织中,以备日后使用。刘祥等^[58]研究显示,肥胖人群肠道内拟杆菌数量明显高于正常或消瘦人群,随着人体体质指数增加,大肠杆菌、乳酸杆菌和双歧杆菌数量呈下降趋势,尤其是大肠杆菌和乳酸杆菌最为明显,因此拟杆菌可能具有促进脂肪积累和肥胖形成的作用,而大肠杆菌、乳酸杆菌和双歧杆菌则具有相反作用。Backhed等^[59]认为,拟杆菌可能通过促进多糖的消化吸收,并抑制引发禁食脂肪细胞因子酶的产生,从而导致脂肪积累,促进肥胖形成,因此拟杆菌在机体脂肪累积和肥胖发生过程中发挥重要作用,

并可能成为治疗肥胖的新靶点。据报道,多酚及其代谢产物会影响肠道菌群的增殖,如茶多酚对产气荚膜梭菌(*C. perfringens*)、金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus* Rosenbach)及副溶血弧菌(*Vibrio parahaemolyticus*)都有抑制作用,绿茶的甲醇提取物可选择性增强双歧杆菌(*Bifidobacterium* spp.)的生长,多酚代谢产物3-苯基丙酸、4-羟基苯乙酸等能够抑制肠道中葡萄球菌(*Staphylococcus* spp.)和沙门氏菌(*Salmonella* spp.),单体黄烷-3-醇能够促进乳酸菌(*Lactobacillus* spp.)的增殖,抑制肠杆菌和梭状芽孢杆菌(*Clostridium* spp.)的生长,白藜芦醇可促进乳酸菌和双歧杆菌的生长^[60],因此多酚可能通过调节改善肠道微生物的种类和数量进而起到控制体质量的效果。

5 结 语

综上所述,目前国内外学者们已经从各类植物中筛选得到了大量的具有抗肥胖功效的活性多酚类化合物,并且在植物多酚通过调节代谢酶活性、刺激机体产热、调节机体信号和肠道微生物菌群4种途径发挥抗肥胖作用的研究方面也已取得一定的成就,但上述的研究大多在体外完成,体内实验尤其是临床实验数据仍不够完善,真正将其开发成抗肥胖功能性食品或配料的实例也并不多。但我们相信,随着未来研究的深入,凭借其来源广泛且相对安全性较高的优势,在当前全球超重和肥胖人口极速增加的背景下,植物多酚日后必将在新型减肥药品或功能性食品的开发中发挥重要的作用。

参考文献:

- [1] 白树美, 易敏春, 白华秀. 肥胖的原因分析及干预措施[J]. 中国保健营养, 2013(6): 1154-1155.
- [2] World Health Organization. World health statistics annual[M]. Geneva: World Health Organization, 2012: 113-120.
- [3] 马冠生, 李艳平, 武阳丰. 1992至2002年间中国居民超重率和肥胖率的变化[J]. 中华预防医学杂志, 2005, 39(5): 311-315.
- [4] KANG Y S. Obesity associated hypertension: new insights into mechanism[J]. Electrolyte & Blood Pressure, 2013, 11(2): 46-52.
- [5] WENTWORTH J M, FOURLANOS S, COLMAN P G. Body mass index correlates with ischemic heart disease and albuminuria in long-standing type 2 diabetes[J]. Diabetes Research and Clinical Practice, 2012, 97(1): 57-62.
- [6] 魏永莉, 傅应云. 肥胖与睡眠呼吸暂停综合征的关系[J]. 实用医学杂志, 2009, 25(9): 1445-1447.
- [7] 崔妍. 肥胖症及其相关并发症的临床研究以及肥胖症患者不同糖代谢状态下血清相关因子变化的研究[D]. 北京: 北京协和医学院, 2013.
- [8] 李铮, 佟旭光. 西布曲明的不良反应研究进展[J]. 首都医药, 2011(14): 42-43.
- [9] 胡子, 马慧, 诸骏仁. 利莫那班: 从阻断大麻素受体到控制心血管代谢危险因素[J]. 中国实用内科杂志, 2007, 27(17): 1405-1407.
- [10] JADEJA R N, THOUNAOJAM M C, RAMANI U V, et al. Anti-obesity potential of *Clerodendron glandulosum*. Coleb leaf aqueous extract[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2011, 135(2): 338-343.
- [11] WANGSA P, CHAIWARIT J, ZAMALUDIEN A. *in vitro* screening of phenolic compounds, potential inhibition against α -amylase and α -glucosidase of culinary herbs in Thailand[J]. Food Chemistry, 2012, 131(3): 964-971.
- [12] SERGENT T, VANDERSTRAETEN J, WINAND J, et al. Phenolic compounds and plant extracts as potential natural anti-obesity substances[J]. Food Chemistry, 2012, 135(1): 68-73.
- [13] 石碧, 狄莹. 植物多酚[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 1-18.
- [14] 姚瑞祺. 植物多酚的分类及生物活性的研究进展[J]. 农产品加工: 学刊, 2011(4): 99-100.
- [15] 程安玮, 房凯, 王文亮, 等. 蓝莓多酚的萃取及抗氧化活性研究[J]. 北京工商大学学报: 自然科学版, 2012, 30(4): 31-36.
- [16] 王恩智, 缪汉强, 周新辉, 等. 茶多酚对金黄色葡萄球菌的抑制作用[J]. 中国药师, 2010, 13(5): 740-742.
- [17] ZHANG Xiaoli, GUO Yushan, WANG Chunhua, et al. Phenol compounds from *Origanum vulgare* and their antioxidant and antiviral activities[J]. Food Chemistry, 2014, 152(6): 300-306.
- [18] 高航, 高延芬, 徐虹. 莲子红乙醇提物的抗氧化和抗褐变活性[J]. 食品科学, 2013, 34(11): 83-87.
- [19] SALIU J A, ADEMILUYI A O, AKINYEMI A J, et al. *in vitro* anidiabetes and antihypertension properties of phenolic extracts from bitter leaf (*Vernonia amygdalina* Del.)[J]. Journal of Food Biochemistry, 2012, 36(5): 569-576.
- [20] FURUUCHI R, SAKAI H, HIROKAWA N, et al. Antihypertensive effect of boysenberry seed polyphenols on spontaneously hypertensive rats and identification of orally absorbable proanthocyanidins with vasorelaxant activity[J]. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry, 2012, 76(9): 1694-1701.
- [21] 刘婧, 陈登榜. 茶多酚治疗心血管疾病的临床应用研究进展[J]. 中华临床医师杂志, 2010, 4(6): 794-796.
- [22] BETALLELUZ-PALLARDEL I, CHIRINOS R, ROGEZ H, et al. Phenolic compounds from Andean mashua (*Tropaeolum tuberosum*) tubers display protection against soybean oil oxidation[J]. Food Science and Technology International, 2012, 18(3): 271-280.
- [23] 曹增梅. 番石榴多酚的提取分离及保鲜应用研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2013.
- [24] 钱丽红, 陶妍, 谢晶. 茶多酚对金黄色葡萄球菌和铜绿假单胞菌的抑菌机理[J]. 微生物学通报, 2010, 37(11): 1628-1633.
- [25] SUDHA K, RADHA KANTA R, PRINCE S, et al. Effect of black tea (*Camellia sinensis*) on virulence traits of clinical isolates of *Shigella dysenteriae* and *Escherichia coli* EPEC P₂ 1265 strain[J]. European Food Research and Technology, 2010, 231(5): 763-770.
- [26] 王向阳, 周政子, 刘绘景. 茶多酚对萝卜干3种致病菌的抑菌机理研究[J]. 中国食品学报, 2013, 13(8): 96-101.
- [27] 王佩华, 赵大伟, 迟彩霞. 天然抗氧化剂茶多酚在食品贮藏保鲜中的应用[J]. 贵州农业科学, 2011, 39(3): 210-213.
- [28] 姜运耀, 吕国英, 李燕飞, 等. 植物来源的胰脂肪酶抑制剂研究进展[J]. 中国生化药物杂志, 2012, 33(2): 199-202.
- [29] SUGIYAMA H, AKAZOME Y, SHOJI T, et al. Oligomeric procyanidins in apple polyphenol are main active components for inhibition of pancreatic lipase and triglyceride absorption[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55(11): 4604-4609.
- [30] NAKAI M, FUKUI Y, ASAMI S, et al. Inhibitory effects of oolong tea polyphenols on pancreatic lipase *in vitro*[J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 2005, 53(11): 4593-4598.

- [31] GONDOIN A, GRUSSU D, STEWART D, et al. White and green tea polyphenols inhibit pancreatic lipase *in vitro*[J]. Food Research International, 2010, 43(5): 1537-1544.
- [32] TENORE G C, STIUSO P, CAMPIGLIA P, et al. *in vitro* hypoglycaemic and hypolipidemic potential of white tea polyphenols[J]. Food Chemistry, 2013, 141(3): 2379-2384.
- [33] MCDUGALL G J, KULKARNI N N, STEWART D. Berry polyphenols inhibit pancreatic lipase activity *in vitro*[J]. Food Chemistry, 2009, 115(1): 193-199.
- [34] IKARASHI N, TAKEDA R, ITO K, et al. The inhibition of lipase and glucosidase activities by acacia polyphenol[J]. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2011, doi: 10.1093/ecam/ncq043.
- [35] 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.
- [36] WU Y, CHIU C H, YANG D J, et al. Inhibitory effects of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) flower-water extracts on lipase activity and diet-induced obesity[J]. Journal of Functional Foods, 2013, 5(2): 923-929.
- [37] ONO Y, HATTORI E, FUKAYA Y, et al. Anti-obesity effect of *Nelumbo nucifera* leaves extract in mice and rats[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2006, 106(2): 238-244.
- [38] 刘杰超, 焦中高, 王思新. 苹果多酚提取物对 α -淀粉酶和 α -葡萄糖苷酶的抑制作用[J]. 果树学报, 2011, 28(4): 553-557.
- [39] 张文芹. 苦丁冬青苦丁茶多酚类物质抗肥胖作用的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2011.
- [40] 聂坤伦, 何利, 速晓娟, 等. 雅安藏茶抑制 α -淀粉酶的活性级分筛选与评价[J]. 食品科学, 2013, 34(9): 74-79.
- [41] 张永军, 黄惠华. 茶多酚对胰 α -淀粉酶的抑制动力学研究[J]. 食品工业, 2010, 31(1): 7-9.
- [42] 侯树慧, 陈晓东, 潘桂兰. 肥胖与减肥方法研究进展[J]. 包头医学院学报, 2010, 26(5): 131-133.
- [43] 林珠灿, 郭素华. 中药多酚提取物对 α -葡萄糖苷酶抑制作用的研究[J]. 中国现代医药杂志, 2011, 13(2): 8-9.
- [44] 王会. 香蕉花提取物抑制 α -葡萄糖苷酶活性成分研究[D]. 海口: 海南大学, 2013.
- [45] 李臻. 溪黄草多酚的提取、纯化、鉴定及生物活性研究性研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2013.
- [46] YILMAZER-MUSA M, GRIFFITH A M, MICHELS A J, et al. Grape seed and tea extracts and catechin 3-gallates are potent inhibitors of α -amylase and α -glucosidase activity[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(36): 8924-8929.
- [47] LORDAN S, SMYTH T J, SOLER-VILA A, et al. The α -amylase and α -glucosidase inhibitory effects of Irish seaweed extracts[J]. Food Chemistry, 2013, 141(3): 2170-2176.
- [48] DULLOO A G, SEYDOUX J, GIRARDIER L, et al. Green tea and thermogenesis: interactions between catechin-polyphenols, caffeine and sympathetic activity[J]. International Journal of Obesity & Related Metabolic Disorders, 2000, 24(2): 252-259.
- [49] 傅冬和, 刘仲华, 黄建安. 茶叶降脂减肥作用研究进展[J]. 中国茶叶, 2004, 26(2): 8-10.
- [50] DULLOO A G, DURET C, ROHRER D, et al. Efficacy of a green tea extract rich in catechin polyphenols and caffeine in increasing 24-h energy expenditure and fat oxidation in humans[J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 1999, 70(6): 1040-1045.
- [51] SERRANO J, SANCHEZ GONZALEZ I. Trends in functional foods against obesity: functional ingredients, technologically modified foods and complete diets[J]. Revista Espanola De Nutricion Comunitaria-Spanish Journal of Community Nutrition, 2008, 14(3): 193-200.
- [52] 高远. 乌龙茶多酚及其儿茶素单体的降脂减肥作用研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2012.
- [53] 孙昕祈. 苦丁冬青苦丁茶中绿原酸的分离纯化及抗肥胖作用研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2012.
- [54] NAKAGAWA K, KISHIDA H, ARAI N, et al. Licorice flavonoids suppress abdominal fat accumulation and increase in blood glucose level in obese diabetic KK-A^y mice[J]. Biological and Pharmaceutical Bulletin, 2004, 27(11): 1775-1778.
- [55] AHN J, LEE H, KIM S, et al. The anti-obesity effect of quercetin is mediated by the AMPK and MAPK signaling pathways[J]. Biochemical and Biophysical Research Communications, 2008, 373(4): 545-549.
- [56] 易娟, 邓慧君, 曹进. 绿茶和红茶多酚对大鼠脂肪分化相关基因表达影响的比较研究[J]. 营养学报, 2008, 30(6): 582-586.
- [57] OH J, JUNG S R, LEE Y J, et al. Antioxidant and antiobesity activities of seed extract from campbell early grape as a functional ingredient[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2013, 37(4): 291-298.
- [58] 刘祥, 张朝武, 潘素华, 等. 不同体脂人群肠道主要菌群的定量分析[J]. 卫生研究, 2006, 34(6): 724-725.
- [59] BACKHED F, MANCHESTER J K, SEMENKOVICH C F, et al. Mechanisms underlying the resistance to diet-induced obesity in germ-free mice[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2007, 104(3): 979-984.
- [60] 单静敏, 曹雁平, 肖俊松. 多酚通过肠道菌群调节能量代谢研究进展[J]. 食品科学, 2012, 33(3): 300-303.