

## 黑茶调节脂质代谢的物质基础及机理研究进展

陈智雄, 齐桂年\*, 邹瑶, 李建华

四川农业大学园艺学院, 四川 雅安 625014

**摘要:** 黑茶调节脂质代谢的作用已在各类研究中被报道, 关于其活性物质及作用机理的研究也已逐渐展开。本文总结了黑茶中主要活性成分及特殊成分的化学特性和含量差异, 并对黑茶的安全性作了评价。在此基础上, 结合各类成分的功能机理研究, 探讨了它们调节脂质代谢的途径或方式, 同时对黑茶多成分、多途径的降脂机制进行了归纳和总结。

**关键词:** 黑茶; 活性成分; 脂质代谢; 机理

中图分类号: TS272.5<sup>+</sup>9; Q54

文献标识码: A

文章编号: 1000-369X(2013)03-242-11

## Research Advance on Mechanism of Regulating Lipid Metabolism by Active Ingredients of Dark Tea

CHEN Zhi-xiong, QI Gui-nian\*, ZOU Yao, LI Jian-hua

College of Horticulture, Sichuan Agriculture University, Ya'an 625014, China

**Abstract:** The effect of regulating lipid metabolism by dark tea has been proved through various studies, while the active ingredients and mechanism of the effect are explored gradually. In this paper, the chemical and quantitative characteristics of the active and special ingredients in dark tea have been summarized, and the safety assessment of dark tea has also been made. Based on these, the way of regulating lipid metabolism by these ingredients has been discussed according to the researches on their mechanisms of function. The lipid-lowering mechanism of dark tea, and its multiple effect of various active ingredients were discussed and concluded in this paper.

**Keywords:** dark tea, active ingredients, lipid metabolism, mechanism

黑茶作为一类特殊消费群体的生活必需品, 自然有其区别于其他茶类的特殊功能。随着黑茶功能研究的开展, 其单纯药理作用的验证已不能满足当前研究的需要, 更多的研究重点已转向活性物质的探索及作用机理的研究。黑茶特殊的渥堆工序使其粗老原料的化学成分发生改变, 包括某些物质的降解和新化合物的产生<sup>[1-3]</sup>, 这些成分造就了黑茶特殊的品质和药理功效, 特别是其降脂作用, 备受研究者

关注<sup>[4-6]</sup>。国内外至今尚未探明黑茶中所有的化学组分, 其中具体发挥作用的物质也不能十分确定, 其确切的作用机制尚未研究透彻。为理清研究思路, 找准突破口, 笔者总结了黑茶中主要活性成分的研究进展, 及其与黑茶降脂作用的关系和机理, 以期为进一步探索黑茶中活性成分的组成、结构及功能机理提供参考。

### 1 黑茶主要活性成分研究进展

收稿日期: 2012-11-20

修订日期: 2013-01-25

基金项目: 国家科技部科技支撑计划项目(2009GJF00047)、四川省科技厅优势特色现代农业产业科技专项(12CGZHGX0579)

作者简介: 陈智雄(1987—), 男, 四川成都人, 硕士研究生, 主要从事茶叶加工技术与理论研究。\*通讯作者: [guinian5612@sina.com](mailto:guinian5612@sina.com)

除了鲜叶原料的成熟度较高外, 黑茶同其他茶类的主要区别在于它的后发酵工艺, 在微生物的参与和湿热作用下, 茶叶中的生化成分发生一系列显著变化, 最终使黑茶中的化学成分在含量、结构、活性等方面有别于其他茶类。

### 1.1 茶多糖 (Tea Polysaccharide, TPS)

茶多糖是从茶叶中提取的活性多糖的总称, 既有酸性多糖又有中性多糖, 其含量随着鲜叶成熟度的增加而增加, 大多是与蛋白质紧密结合的糖蛋白复合物, 分子量主要分布在 4 万~10 万之间。黑茶中的 TPS 主要有两个来源, 一是茶叶本身所固有的及加工过程中转化的; 二是由微生物代谢所生成的, 如酵母菌的细胞壁含有甘露聚糖、葡聚糖成分等<sup>[7]</sup>。

龚加顺等<sup>[8]</sup>研究发现, 普洱茶鲜叶原料中的多糖组分含有较高的糖醛酸, 而成品茶中的多糖组分则含有较高的中性糖和蛋白质。杨泱<sup>[9]</sup>从普洱茶中分离出 TPS-I 和 TPS-II 两种较纯的多糖, 前者为淡黄色粉状的中性糖蛋白, 后者为酸性糖蛋白, 且二者的水解物通过液相色谱检测到均含有鼠李糖、葡萄糖和蔗糖, 它们相应地在 TPS-I 和 TPS-II 中的摩尔比分别为 1.477 : 0.5923 : 0.3202 和 1.469 : 0.7414 : 0.379; 通过对 TPS-I 和 TPS-II 功能活性的初步评价, 认为二者是普洱茶中的主要活性成分。对不同茶类的茶多糖含量测定结果表明, 黑茶的

茶多糖含量最高<sup>[10-11]</sup>, 且活性比其他茶类强<sup>[12]</sup>。在渥堆过程中可能由于糖苷酶、蛋白酶等水解酶的作用, 形成了相对长度较短的糖链和肽链, 而短肽链比长肽链更易被吸收, 且生物活性更强, 这可能是黑茶茶多糖活性优于其他茶类的原因之一。

### 1.2 多酚类物质

#### 1.2.1 黄烷醇类 (Flavanol) 和黄酮类 (Flavonoids) 化合物

从黑茶中分离鉴定出的多酚类化合物主要有简单儿茶素、简单酚性化合物、黄酮类化合物以及黄酮类配糖体等<sup>[13-15]</sup>; 其中表儿茶素 (Epicatechin, EC) 和没食子儿茶素 (Gallocatechin, GC) 是检出率最高的黄烷醇类化合物, 杨梅素 (Myricetin) 是检出率最高的黄酮类化合物<sup>[13-16]</sup>; 而诸如表没食子儿茶素没食子酸酯 (Epigallocatechin gallate, EGCG) 等酯型儿茶素的含量则极低<sup>[16]</sup>。黑茶中能检测出杨梅素、槲皮素 (Quercetin) 和芦丁 (Rutin) 等黄酮类物质<sup>[17-18]</sup>, 但未发现甲基化儿茶素类化合物的存在<sup>[19]</sup>。Zhihong Zhou 等<sup>[15]</sup>还从普洱茶中分离鉴定出两个新的 8-C 取代黄烷-3-醇 (8-C Substituted Flavan-3-ols) 化合物(图 1), 分别命名为普洱茶素 A (Puerins A) 和普洱茶素 B (Puerins B)。

从量上来看, 黑茶中大部分儿茶素的含量以及茶多酚总量均明显低于绿茶、乌龙茶和红

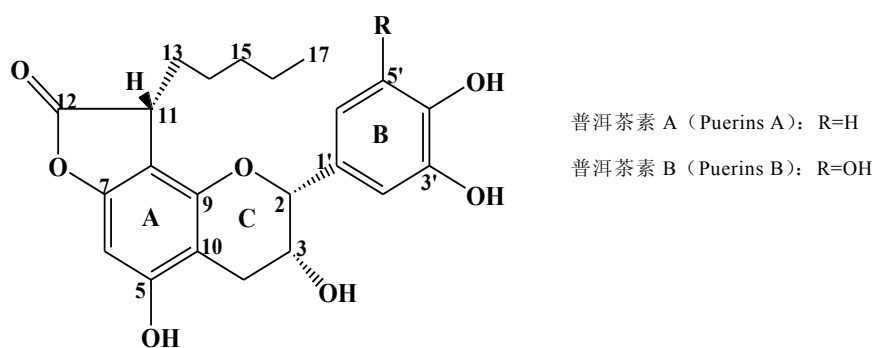


图 1 两个新的 8-C 取代黄烷-3-醇化合物  
Fig. 1 Two New 8-C Substituted Flavan-3-ols

茶<sup>[20-23]</sup>, 唯有 EC 含量存在高于红茶和绿茶的情况<sup>[23]</sup>。齐桂年等<sup>[24]</sup>发现四川黑茶加工过程中茶多酚变化减少的主要是儿茶素类; Yuerong Liang 等<sup>[25]</sup>所分析的 7 个普洱茶样品的平均儿茶素总量只有 8.41 mg/g。

### 1.2.2 没食子酸 (Gallic acid, GA)

黑茶加工过程中, 在以酯型儿茶素为主的多酚类成分氧化衍生生成茶色素的同时, 会伴随着 GA 的大量生成, 使得黑茶中的 GA 含量普遍高于其他茶类<sup>[26-27]</sup>。折改梅等<sup>[28]</sup>研究发现, 老茶树和台地茶的晒青毛茶制成普洱茶后, GA 的含量均显著增加, 其中老茶树晒青毛茶制作的普洱茶 GA 含量增加达 10 倍左右。宋鲁彬<sup>[29]</sup>分析了茯砖、花砖、青砖、黑砖、六堡茶、普洱茶、沱茶的 GA 含量, 发现这些黑茶的 GA 含量均较高, 尤以普洱茶的含量最高。

### 1.3 茶色素

茶色素 (Tea pigments) 是指以儿茶素为主的多酚类化合物在茶叶加工过程中经氧化聚合而形成的水溶性色素混合物, 主要包括茶黄素 (Theaflavins, TFs)、茶红素 (Thearubigins, TRs) 和茶褐素 (Theabrownines, TBs)。在黑茶渥堆和干燥过程中, 多酚类有色氧化产物的转化与积累最快, 其总的趋势是 TF 和 TR 显著下降, TB 大量积累<sup>[30]</sup>。罗龙新等<sup>[31]</sup>测得红碎茶中 (TF+TR) /TB=1.52, 而普洱茶中 (TF+TR) /TB=0.33。尽管黑茶与红茶在原料上具有相似的 HPLC 图谱<sup>[32]</sup>, 加工过程中都有酶促作用和湿热作用的参与, 但在黑茶的 HPLC 图谱上没有找到类似红茶图谱中 TF 和 TR 的特征峰形<sup>[14,32]</sup>, 而采用 MS 又能够从黑茶中检出少量茶黄素和茶黄酸<sup>[14]</sup>, 说明黑茶与红茶在色素类多酚氧化产物的组成与结构上差异很大。

TB 是黑茶的特征成分, 因其来源于多酚类物质、TF 和 TR 等的进一步氧化聚合, 故可推测 TB 的分子量应远超过 TR 的分子量范围 (700~40 000 Da)。现有研究认为, TB 为含有多苯环的苯多酚类高聚物, 结合蛋白质残

基、多糖、甲基和酸类物质 (包括羧酸基以及酚羟基), 而咖啡碱和儿茶素的含量较低<sup>[33-35]</sup>。秦谊等<sup>[36]</sup>利用 BaCl<sub>2</sub> 和 Ca(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub> 沉淀法成功测定了 TB 中的羧酸基 (1.975 mmol/g) 和酚羟基 (5.805 mmol/g), 说明酚羟基为 TB 中的主导酸性官能团。杨大鹏<sup>[37]</sup>用稀盐酸对 TB 进行酸解, 所得产物经分离纯化后得到一种疑似由丙三醇和磷酸盐脱水缩合而成的化合物 C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>Na<sub>2</sub>O<sub>9</sub>P<sub>2</sub>。

### 1.4 主要微生物及其代谢产物

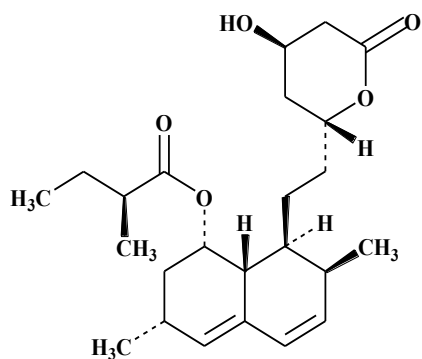
黑曲霉 (*Aspergillus niger*)、青霉属 (*Penicillium*)、酵母属 (*Saccharomyces*) 和根霉属 (*Rhizopus*) 是从各类黑茶中分离出的较为常见的微生物, 其中黑曲霉、青霉属和酵母属对黑茶品质化合物的形成起着重要的作用<sup>[38-39]</sup>。这些微生物的代谢产物包括多种酶类、有机酸、维生素、矿物质、微量元素以及生理活性物质 (如辅酶 I、辅酶 A) 等<sup>[40]</sup>; 而代谢产生的水解酶又可以分解多糖、脂肪、蛋白质、纤维素、果胶等物质<sup>[41]</sup>, 水解产物大多为单糖、氨基酸、水化果胶和可溶性碳水化合物<sup>[31]</sup>。

冠突散囊菌 (*Eurotium cristatum*) 可在茯砖茶“发花”过程中形成黄色闭囊壳, 俗称“金花”<sup>[42-43]</sup>, 是表征茯砖茶品质的重要指标之一, 也是茯砖茶区别于其他黑茶的重要特征<sup>[44]</sup>。尽管陈云兰等<sup>[45]</sup>从康砖茶和青砖茶的成品茶中也分离出冠突散囊菌, 但检出率不高。冠突散囊菌能产生多种胞外酶 (如多酚氧化酶、果胶酶、纤维素酶、蛋白酶等)<sup>[46]</sup>, 其自身提取物及代谢产物均被证实具有生物活性<sup>[47-49]</sup>。

### 1.5 其他活性成分

他汀类化合物已在部分黑茶中被发现, 如普洱熟茶中的洛伐他汀 (Lovastatin)<sup>[50]</sup>, 是普洱茶的重要活性成分之一<sup>[51]</sup>, 它在普洱茶水提物中有内酯环结构 (活性前体结构, 图 2) 和羟羧酸结构 (活性结构, 图 3) 两种存在形式, 而在乙酸乙酯提取物中全部以内酯环结构

存在<sup>[52]</sup>。薛水英<sup>[12]</sup>研究发现, 只有普洱熟茶中才含有洛伐他汀, 普洱生茶、绿茶、红茶中都不含有洛伐他汀, 且不同的普洱熟茶中洛伐他汀的含量差异很大<sup>[53]</sup>; 徐小江<sup>[54]</sup>发现茯砖茶中有与洛伐他汀极性相当的成分存在, 但 HPLC-MS 分析结果显示, 茯砖茶醇提和水提物中均不存在洛伐他汀和辛伐他汀。另外, 黑

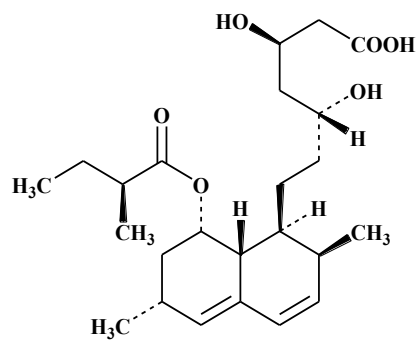


分子式(Formula): $C_{24}H_{36}O_5$ ; 分子量(MW)=404

图 2 洛伐他汀内酯环结构

Fig. 2 Structure of Lovastatin(lactone form)

茶中常见的微量元素如铬 (Cr)、锰 (Mn)、硒 (Se)、锌 (Zn) 等均是对人体有益的微量元素, CARMEN CABRERA 等<sup>[56]</sup>发现普洱茶中的 Cr 含量 (371.4 ng/g) 明显高于其他茶类, 而 Mn、Se、Zn 的含量 (分别为 431.7、55.0、65.1 ng/g) 总体上与其他茶类相差不大, 普洱茶也被视为 Cr 的安全摄入源。



分子式(Formula): $C_{24}H_{38}O_6$ ; 分子量(MW)=422

图 3 洛伐他汀羟基酸结构

Fig. 3 Structure of Lovastatin(hydroxy acid form)

## 2 安全性

### 2.1 黑茶浸出物的安全性

研究者相继从急性毒性和遗传毒性角度研究了普洱茶的饮用安全性, 认为正常剂量的普洱茶是安全无毒的<sup>[57-58]</sup>, 对原核细胞、真核细胞、生殖细胞都没有致突变性<sup>[59]</sup>。温志杰等<sup>[60]</sup>对六堡茶进行急性毒性试验, 证明六堡茶无毒害作用。肖文军等<sup>[61]</sup>采用药物毒理学实验方法研究茯茶对大鼠的毒理反应, 结果表明茯茶对雌雄大鼠均无明显毒副作用, 属实际无毒物。

### 2.2 黑茶中氟含量的安全性

茶叶中氟化物含量因产区、品种、加工方式等不同而存在很大差异<sup>[62]</sup>, 马立锋等<sup>[63]</sup>测得黑茶平均氟含量为 $(296.14 \pm 246.07)$  mg/kg。高大可等<sup>[64]</sup>对黑毛茶样品进行分析表明, 内销产品氟含量基本低于 300 mg/kg; 而边销产品由于原料粗老且拼配比例不同, 故部分产品

氟含量会高于 300 mg/kg。近年来黑茶降氟技术取得了一定进展, 企业根据需要选择相应降氟措施, 均能将产品的氟含量控制在 300 mg/kg 以内<sup>[65]</sup>。在现有的各种降氟手段中, 适当提高原料嫩度并进行合理拼配, 是当前被普遍认同的安全可行的有效降氟措施<sup>[64,66]</sup>。

### 2.3 黑茶微生物的安全性

王志刚等<sup>[67-68]</sup>用卤虫生物测试法先后对冠突散囊菌培养液和菌体提取物进行毒性实验, 证实了冠突散囊菌是无毒的; 许爱清<sup>[69]</sup>对小鼠进行经口急性毒性试验, 证明冠突散囊菌是安全无毒物, 且低剂量冠突散囊菌悬液具有调节肠道菌群功能; 黑曲霉在发酵过程中不产生有害物质, 在食品饮料加工行业中广泛应用<sup>[70]</sup>; 而普洱茶提取物则对革兰氏阳性葡萄球菌和杆状菌<sup>[71]</sup>、李斯特菌 (*Listeria monocytogenes*)<sup>[72]</sup>等影响食品安全的有害细菌具有抑制作用。

### 3 黑茶中活性成分调节脂质代谢的研究

我国边疆少数民族同胞长期食用高脂食物,但肥胖和高脂血症患病率却较低,黑茶作为他们的日常生活必需品,其活性功能因此而备受关注。研究者通过动物实验<sup>[73-75]</sup>、临床实验<sup>[76]</sup>、细胞水平实验<sup>[77]</sup>、高通量筛选<sup>[78]</sup>及分子水平实验<sup>[79]</sup>验证了黑茶具有调节脂质代谢的作用,同时通过动物实验<sup>[80-83]</sup>和细胞水平实验<sup>[84]</sup>发现黑茶的降脂效果优于其他茶类。

#### 3.1 多酚类物质调节脂质代谢的机理

##### 3.1.1 调节脂质代谢相关基因的表达

Tzong-Der Way 等<sup>[85]</sup>研究发现,经分离纯化得到的普洱茶 PR-3-5s 组分可明显降低脂肪酸合成酶(Fatty acid synthase, FAS)基因的表达,同时抑制乙酰辅酶 A 羧化酶(Acetyl-CoA carboxylase, ACC)的活性,使脂肪酸合成途径受限,从而抑制细胞脂质形成。相关研究认为,普洱茶降低 FAS 基因表达的作用途径有两条,一是通过 LKB1 途径提高了腺苷活化蛋白激酶(AMPK)的磷酸化水平<sup>[85-86]</sup>,二是在细胞信号传导过程中抑制了 PI3K/Akt 和 JNK 信号通路<sup>[87]</sup>。普洱茶 PR-3-5s 组分经分析主要为 EGCG、ECG、GCG、CG,这揭示了黑茶中儿茶素(特别是酯型儿茶素)调节脂质代谢的一种途径,但这一类儿茶素在黑茶中的含量远远低于它在绿茶中的含量<sup>[16]</sup>,而黑茶的降脂效果却优于绿茶<sup>[80]</sup>,说明黑茶的降脂功效并非单一途径或单一成分作用的结果,或者黑茶中还存在更高活性的降脂成分。

傅冬和等<sup>[88]</sup>和张冬英等<sup>[89]</sup>对黑茶中提取的单体成分进行高通量药物筛选,发现 GA、ECG、EGCG 对 FXR(法尼酯衍生物 X 受体)模型有显著激活作用,其中 EGCG 的激活倍数最高;而 GA、GC、MDBA(3-甲氧基-4,5-二羟基苯甲酸)对 PPAR $\gamma$ (过氧化物酶增殖体活化受体  $\gamma$ )模型有显著激活作用。已有研究

表明,FXR 和 PPAR $\gamma$  均能通过调控一系列基因的表达,在胆汁酸和脂质等代谢中发挥重要作用。激活 FXR 模型可促进 VLDL(极低密度脂蛋白)和 CM(乳糜微粒)中的 TG 水解,从而降低 VLDL 和 LDL 的水平,增加 HDL 的合成,减少血浆中 TG 的水平<sup>[90]</sup>,同时 FXR 还可通过抑制 SREBP-1c(甾醇调节元件结合蛋白-1c)和激活 PPAR $\alpha$ (过氧化物酶增殖体活化受体  $\alpha$ )来减少 TG 的合成;而激活 PPAR $\gamma$  模型可调节脂肪细胞信号转导,诱导脂肪细胞特异性基因的产生,使细胞中脂肪酸分解代谢增加,从而减少与代谢综合症相关的心血管疾病的发生<sup>[91-92]</sup>。

##### 3.1.2 调节脂肪细胞相关基因的表达

揭国良<sup>[93]</sup>从普洱茶中分离出的特异多酚类组分 PEF8 具有比 EGCG 更强的活性,通过 HPLC 分析没有发现单体多酚、茶黄素和没食子酸;PEF8 可以通过改变细胞内活性氧的含量,诱导肿瘤坏死因子  $\alpha$ (TNF $\alpha$ )和核转录因子- $\kappa$ B(NF- $\kappa$ B)的表达增加,降低磷酸化氨基末端蛋白激酶(P-JNK)的表达,从而引起汇合前的前脂肪细胞的活力降低,抑制前脂肪细胞的增殖,诱导前脂肪细胞的凋亡<sup>[94]</sup>。

##### 3.1.3 抑制胆固醇体内合成途径

Chi-Hua Lu 等<sup>[95]</sup>对黑茶多酚类物质在人肝癌细胞株内抑制胆固醇生物合成进行研究,表明,与简单儿茶素、槲皮素、杨梅素相比,没食子儿茶素及酯型儿茶素具有更强的抑制胆固醇生物合成的能力,它可能是通过抑制甲羟戊酸合成途径中的鲨烯环氧酶而起作用。

##### 3.1.4 抑制消化酶活性,减少对外源性脂肪的消化吸收

Nakai M 等<sup>[96]</sup>发现没食子酰基的存在能增强儿茶素对胰脂肪酶活性的抑制作用,如黑茶中 EGCG 对胰脂肪酶活性的半抑制浓度(IC<sub>50</sub>)为 0.349  $\mu$ mol/L,而表没食子儿茶素双没食子酸酯(Epi-gallocatechin-3,5-digallate)的 IC<sub>50</sub> 值则为 0.098  $\mu$ mol/L,后者表现出更高的抑制活性。黑茶茶多酚通过抑制胰脂肪酶的

活性使食物中脂肪的分解减少, 从而减少小肠对脂质的吸收, 增加外源脂肪的排出。

### 3.2 茶色素调节脂质代谢的机理

黑茶中的茶褐素类物质可显著降低高脂血症大鼠血清中总胆固醇 (TC)、甘油三酯 (TG) 及低密度脂蛋白 (LDL) 水平, 升高高密度脂蛋白 (HDL) 水平, 并减少大鼠肝脏脂肪沉积, 预防脂肪肝形成<sup>[75,97-98]</sup>, 而黑茶茶黄素与茶红素的降脂活性研究则鲜见报道, 关于降脂机理的研究也主要围绕茶褐素展开。

#### 3.2.1 提高脂肪分解代谢酶活性, 促进体内脂肪分解

激素敏感性脂肪酶 (Hormone-sensitive lipase, HSL) 是最早发现和克隆的脂肪细胞内分解甘油三酯的脂肪酶, 是动物脂肪分解代谢的限速酶, 并在脂质代谢的多个环节发挥作用<sup>[99]</sup>。高斌等<sup>[100]</sup>发现大鼠肝脏和附睾脂肪组织中的 HSL 活性及其 mRNA 表达量在普洱茶茶褐素作用下可显著增强, 表明茶褐素能促进体内脂质, 特别是甘油三酯的降解, 起到降血脂效果, 并认为提高机体组织中 HSL 活性及其 mRNA 表达量是茶褐素降血脂的重要作用机理之一。

#### 3.2.2 抑制脂肪酸合成酶活性, 减少脂肪合成

姜波等<sup>[55,101]</sup>研究表明, 以茶褐素为主的四川边茶提取物能抑制脂肪酸合成酶 (FAS) 的活性, 造成丙二酸单酰辅酶 A 浓度的升高, 阻滞生脂通路以减少脂肪的合成; 同时还发现该提取物对 FAS 有可逆和不可逆抑制双重作用, 而 FAS 中的酮酰还原酶 (KR) 结构域并不是该抑制剂的作用位点。

### 3.3 茶多糖的降脂作用

吴文华等<sup>[102]</sup>、吴文俊<sup>[103]</sup>等发现普洱茶中茶多糖能使高脂饮食小鼠血清中 TG、TC、LDL-C 水平全面降至正常值范围, 同时升高 HDL-C 水平, 且茶多糖用量与其降脂效果之间可能存在量效关系。而关于黑茶茶多糖降脂机

理方面的研究却鲜见报道, 黑茶茶多糖在降脂活性方面与其他茶类是否存在差异, 其调节脂质水平的途径及作用靶点等均有待进一步研究。

### 3.4 其他活性成分调节脂质代谢的研究

#### 3.4.1 他汀类药物

普洱茶中存在的洛伐他汀对胆固醇生物合成的第一步限速酶 3-羟基-3-甲基戊二酰辅酶 A 还原酶 (3-hydroxy-3-methylglutaryl coenzyme A reductase, HMGCR) 有竞争性抑制作用, 能阻断甲羟戊酸的合成, 抑制胆固醇的生物合成, 并使得肝细胞中大量表达低密度脂蛋白受体 (Low Density Lipoprotein Receptor, LDLR), 加快清除血液中的 LDL, 起到降血脂作用<sup>[51-52]</sup>。

#### 3.4.2 微量元素

黑茶中富含铬、锰、硒、锌等微量元素<sup>[56]</sup>, 这些有益微量元素的存在与机体的脂质代谢不无关系。例如, 铬能增加人体内胆固醇的分解和排泄; 硒能作为谷胱甘肽过氧化酶的成分而使脂肪酸按正常  $\beta$ -氧化渠道继续氧化下去; 锌酶作为重要的金属酶类参与了体内脂质、碳水化合物和蛋白质等代谢过程。

#### 3.4.3 有益微生物

袁勇等<sup>[47]</sup>对“金花”孢子粉提取物进行降脂效果筛选, 得出醇提物和萃余水层部分分别作用脂肪肝细胞 24、48 h 时都能使细胞内甘油三酯含量降低, 且与阳性药物辛伐他汀和血脂康效果相当, 具有较好的降脂效果。

综上所述, 现今研究对黑茶调节脂质代谢物质基础的认识主要集中在儿茶素、没食子酸、茶褐素、茶多糖、洛伐他汀以及一些特异多酚类物质上。在调节机制方面, 以黑茶多酚类物质的研究较深入, 没食子酸被发现参与了多条调节途径, 而黑茶多糖在这方面的研究较缺乏。这些研究揭示了黑茶能减少外源脂质的消化吸收, 抑制细胞内脂质的生物合成, 同时促进它在体内的氧化分解及转运排出, 其中各成分的作用途径如图 4 所示。

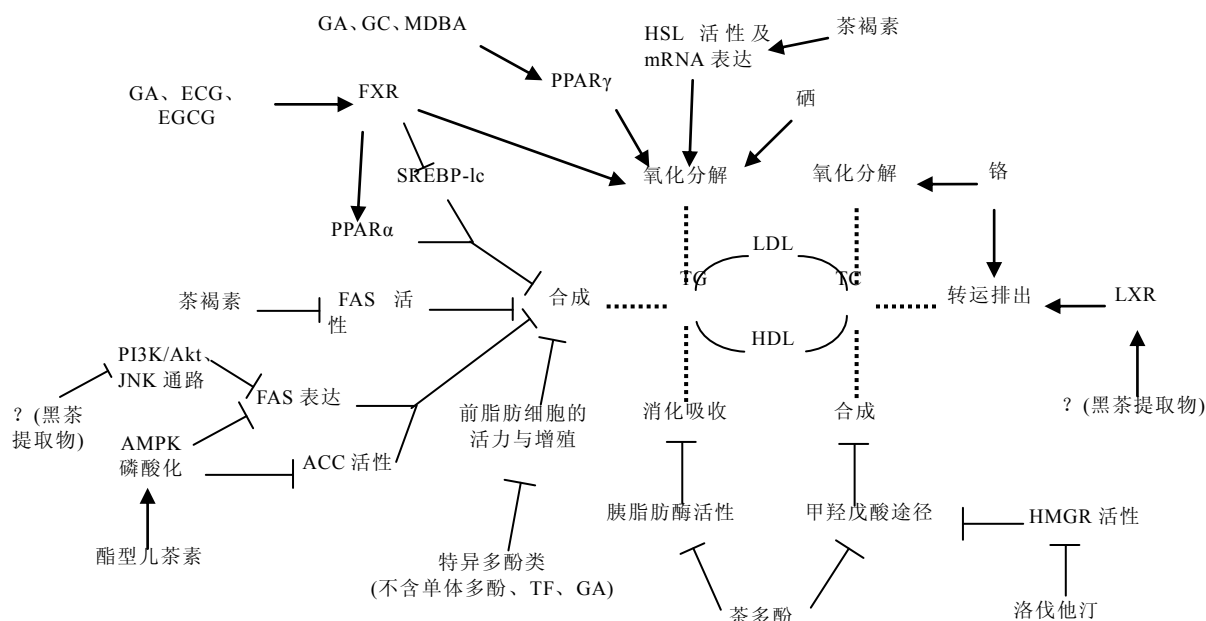


图 4 黑茶中活性成分调节脂质代谢途径示意图

Fig. 4 Diagram of lipid regulating metabolism by active ingredients of dark tea

注:  $\rightarrow$ : 激活或正调控;  $\dashv$ : 抑制或负调控。

Note:  $\rightarrow$  Indicates activation or positive regulation.  $\dashv$  Indicates inhibition or negative regulation.

## 4 问题与展望

### 4.1 特殊成分的活性研究, 活性物质的分离纯化

黑茶中存在的特殊成分, 如没食子酸衍生物<sup>[104]</sup>、普洱茶素 A 和 B<sup>[15]</sup>等是研究黑茶活性功能与机理的重要物质基础, 但这些成分是否存在活性尚不清楚, 仍需通过试验加以探索。在探索途径方面, 除了现有的研究靶点, 还有一些与脂质代谢相关的酶值得关注, 如卵磷脂胆固醇酰基转移酶 (LCAT)、酰基辅酶 A-胆固醇酰基转移酶 (ACAT)、二酰甘油酰基转移酶 (DGAT) 等, 未来可借助代谢组学的方法对其进行研究。

茶多糖、茶褐素以及 3.1.2 中的特异多酚类组分是黑茶中含量高、具活性的复杂多聚体, 但在分离和鉴定上存在很大难度, 这在一定程度上阻碍了其活性功能的研究。因此, 利用现代分离纯化技术及光谱、质谱分析技术,

借鉴植物化学的新型研究手段对这些化合物进行分离纯化及结构鉴定, 也是未来研究的方向。

### 4.2 实验方法设计与材料选择上的问题

在对黑茶降脂效果进行评价的报道中, 不同研究者得出的结论往往存在差异, 如在黑茶能否显著降低 TG 或提高 HDL-C 水平的问题上说法不一, 造成这些差异的原因可能是实验方法设计或所选茶叶本身存在差异。如采用红茶的成分分析方法不适合分析黑茶<sup>[14]</sup>; 黑茶的级别或年份<sup>[81,101]</sup>不同, 其内含成分的含量及活性会存在差异; 普洱茶加工 (生茶与熟茶) 和贮藏 (干仓与湿仓) 方式不同, 其内含成分及活性将发生变化等<sup>[95]</sup>。这些都是造成实验结果不一致的可能原因, 但部分研究对此并未做出明确交代, 在实验设计方面也有所欠缺。因此, 今后的研究应更加注重规范实验设计, 同时确保材料的代表性与可比性, 以提高实验结果的说服力与参考价值。

### 4.3 关于不同茶类提取物及各成分间功能差异的研究

不同茶类调节脂质代谢的效果不同, 如研究者发现黑茶能调节 TG 和 TC 的水平, 且对 TG 的调节作用最显著; 而绿茶对 TC 水平的调节作用强于黑茶, 但对 TG 的调节作用却不显著<sup>[75,80,86]</sup>。尽管现有的研究结论仍不够全面且存在局限性, 但不排除由于不同的活性物质基础而产生不同降脂效果的可能性。因此, 关于不同茶类及其不同成分调节脂质代谢作用的比较研究仍需大量开展, 进而探究造成其功能差异的关键成分和机理。

### 4.4 黑茶中的活性成分对黑茶安全性的影响

黑茶中氟含量的高低及饮茶型氟中毒等问题, 一直是黑茶安全性研究的重要课题。经调查研究发现, 饮茶型氟中毒的临床表现十分多样, 并不同于饮水型氟中毒, 这与黑茶中复杂的抗氧化成分有关<sup>[105]</sup>。张薇等<sup>[106]</sup>发现茶多酚能通过清除氧自由基、提高机体总抗氧化能力、减少脂质过氧化产物等抗氧化作用, 来减轻饮茶型氟中毒引起的大鼠氧化应激损伤, 对饮茶型氟中毒有一定的拮抗作用; 阿斯木古丽·克力木等<sup>[107]</sup>发现 VC 和 VE 均可使大鼠尿氟含量显著增加, 认为 VC、VE 可以促进尿氟的排泄, 减少氟的吸收, 对氟中毒有一定的拮抗作用; 此外, 一定浓度范围内的硒具有拮抗高氟作用, 它能促进尿氟排泄、保护骨骼系统并调整自由基代谢<sup>[108]</sup>。这些活性成分均常见于黑茶中, 故不排除黑茶同样具有拮抗饮茶型氟中毒的作用。因此笔者认为, 关于饮茶型氟中毒的调查和临床试验还需大量深入地展开, 以获得有效的数据支撑和科学论证, 从而有针对性地对我国黑茶的安全氟限量指标进行探讨。

### 参考文献

[1] 王增盛, 张莹, 童小麟, 等. 黑茶初制中茶多酚和碳水化合物的变化[J]. 茶叶科学, 1991, 11(增刊): 23-28.

[2] 王增盛, 谭湖伟, 施玲. 黑茶初制中主要含氮化合物的变化[J]. 茶叶科学, 1991, 11(增刊): 29-33.

[3] 刘仲华, 王增盛, 黄建安, 等. 黑茶初制中主要色素物质的变化与色泽品质的形成[J]. 茶叶科学, 1991, 11(增刊): 34-41.

[4] Yan Hou, Wanfang Shao, Rong Xiao, *et al.* Pu-erh tea aqueous extracts lower atherosclerotic risk factors in a rat hyperlipidemia model[J]. *Experimental Gerontology*, 2009(44): 434-439.

[5] 吴朝比, 黄建安, 刘仲华, 等. 黑茶调节高血脂症作用及机理研究进展[J]. 食品科学, 2011, 32(19): 307-311.

[6] 卓婧, 赵明, 周红杰. 普洱茶降脂功能及活性成分研究进展[J]. 中国农学通报, 2011, 27(2): 345-348.

[7] 龚加顺, 周红杰, 张新富, 等. 云南晒青绿茶的微生物固态发酵及成分变化研究[J]. 茶叶科学, 2005, 25(4): 300-306.

[8] 龚加顺, 胡小静, 彭春秀, 等. 普洱茶及其原料多糖分子组成及光谱学特性研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(7): 1960-1964.

[9] 杨泂. 普洱茶多糖的提取分离及功能评价[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2010: 49-50.

[10] 丁仁凤. 茶叶及其有效成分对糖尿病的影响[D]. 杭州: 浙江大学, 2005: 49.

[11] 叶阳, 陈小强, 苏丽慧, 等. 3 类茶中水溶性多糖及蛋白质的含量分析[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(29): 12761-12762.

[12] 薛水英. 云南普洱茶中有效降血脂成分的检测与评价[D]. 成都: 成都理工大学, 2009: 4.

[13] 林智, 吕海鹏, 崔文锐, 等. 普洱茶的抗氧化酚类化学成分的研究[J]. 茶叶科学, 2006, 26(2): 112-116.

[14] 朱旗, M N Clifford, 毛清黎, 等. LC-MS 分析普洱茶和茯砖茶与红茶成分的比较研究[J]. 茶叶科学, 2006, 26(3): 191-194.

[15] ZHI-HONG ZHOU, YING-JUN ZHANG, MIN XU, *et al.* Puerins A and B, Two New 8-C Substituted Flavan-3-ols from Pu-er Tea[J]. *J Agric Food Chem*, 2005(53): 8614-8617.

[16] PIN-DER DUH, GOW-CHIN YEN, WEN-JYE YEN, *et al.* Effects of Pu-erh Tea on Oxidative Damage and Nitric Oxide Scavenging[J]. *J Agric Food Chem*, 2004(52): 8169-8176.

[17] Masatake Toyoda, Keiko Tanaka, Kaori Hoshino, *et al.* Profiles of Potentially Antiallergic Flavonoids in 27 Kinds of Health Tea and Green Tea Infusions[J]. *J Agric Food Chem*, 1997(45): 2561-2564.

[18] 郭刚军, 龚加顺, 张新富, 等. 云南普洱茶中黄酮含量的测定及槲皮素、芦丁的提取分离[J]. 食品工业科技, 2007, 28(8): 57-61.



- [19] FENG-LAN CHIU, JEN-KUN LIN. HPLC Analysis of Naturally Occurring Methylated Catechins, 3"-and 4"-Methyl-epigallocatechin Gallate, in Various Fresh Tea Leaves and Commercial Teas and Their Potent Inhibitory Effects on Inducible Nitric Oxide Synthase in Macrophages[J]. *J Agric Food Chem*, 2005(53): 7035-7042.
- [20] Jen-Kun Lin, Chih-Li Lin, Yu-Chih Liang, et al. Survey of Catechins, Gallic Acid, and Methylxanthines in Green, Oolong, Pu-erh, and Black Teas[J]. *J Agric Food Chem*, 1998(46): 3635-3642.
- [21] Yuegang Zuo, Hao Chen, Yiwei Deng. Simultaneous determination of catechins, caffeine and gallic acids in green, Oolong, black and pu-erh teas using HPLC with a photodiode array detector[J]. *Talanta*, 2002(57): 307-316.
- [22] J Petersona, J Dwyera, S Bhagwat, et al. Major flavonoids in dry tea[J]. *J Food Comp Anal*, 2005(18): 487-501.
- [23] 吕海鹏. 普洱茶的化学成分分析及其抗氧化活性研究[D]. 杭州: 中国农业科学院茶叶研究所, 2005: 25-28.
- [24] 齐桂年, 田鸿, 刘爱玲, 等. 四川黑茶品质化学成分的研究[J]. *茶叶科学*, 2004(4): 266-269.
- [25] Yuerong Liang, Lingyun Zhang, Jianliang Lu. A study on chemical estimation of pu-erh tea quality[J]. *J Sci Food Agric*, 2005(85): 381-390.
- [26] Zhang L, Li N, Ma ZZ, et al. Comparison of the chemical constituents of aged Pu-erh tea, ripened pu-erh tea, and other teas using HPLC-DAD-ESI-MSn[J]. *J Agric Food Chem*, 2011, 59(16): 8754-8760.
- [27] 吕海鹏, 林智, 谷记平, 等. 普洱茶中的没食子酸研究[J]. *茶叶科学*, 2007, 27(2): 104-110.
- [28] 折改梅, 张香兰, 陈可可, 等. 茶氨酸和没食子酸在普洱茶中的含量变化[J]. *云南植物研究*, 2005, 27(5): 572-576.
- [29] 宋鲁彬. 中国黑茶药理功能评价及活性物质研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2008: 17-18.
- [30] 何国藩, 林月婵. 普洱茶色素类物质及其在渥堆过程中的变化[J]. *中国茶叶*, 1987, 9(4): 6-7.
- [31] 罗龙新, 吴小崇, 邓余良, 等. 云南普洱茶渥堆过程中生化成分的变化及其与品质形成的关系[J]. *茶叶科学*, 1998, 18(1): 53-60.
- [32] 邵宛芳, M N Clifford, C Powell. 红茶及普洱茶主要成分差异的初步研究[J]. *云南农业大学学报*, 1995, 10(4): 285-291.
- [33] 杨新河, 王丽丽, 黄建安, 等. 普洱茶茶褐素的分级及相关性质初步研究[J]. *茶叶科学*, 2011, 31(3): 187-194.
- [34] 谭超, 郭刚军, 李宝才, 等. 普洱茶茶褐素理化性质与光谱学性质研究[J]. *林产化学与工业*, 2010, 30(4): 53-58.
- [35] 杨大鹏, 史文斌, 陈一江, 等. 不同微生物发酵的云南普洱茶样中茶褐素提取物的化学成分分析[J]. *林产化学与工业*, 2010, 30(1): 49-52.
- [36] 秦谊, 龚加顺, 张惠芬, 等. BaCl<sub>2</sub>和Ca(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>沉淀法定量分析普洱茶茶褐素官能团[J]. *林产化学与工业*, 2010, 30(6): 107-112.
- [37] 杨大鹏. 云南普洱茶茶褐素主要化学成分的分离及结构鉴定[D]. 昆明: 云南农业大学, 2006: 51-53.
- [38] 温琼英, 刘素纯. 黑茶渥堆(堆积发酵)过程中微生物种群的变化[J]. *茶叶科学*, 1991, 11(增刊): 10-16.
- [39] 文杰宇, 李宗军, 王远亮, 等. 黑茶中微生物及其相关保健功能研究进展[J]. *食品科学*, 2010, 31(9): 329-332.
- [40] 周红杰, 李家华, 赵龙飞, 等. 渥堆过程中主要微生物对云南普洱茶品质形成的研究[J]. *茶叶科学*, 2004, 24(3): 212-218.
- [41] C J 阿历索保罗, C W 明斯. 真菌学概论[M]. 北京: 农业出版社, 1981: 1-2, 247-256.
- [42] 温琼英. 茯砖茶中优势菌的种名鉴定[J]. *中国茶叶*, 1990, 12(6): 2-3.
- [43] 齐祖同, 孙曾美. 茯砖茶中优势菌群的鉴定[J]. *真菌学报*, 1990, 9(3): 176-179.
- [44] 黄怀生, 田杰. 茯砖茶研究进展[J]. *福建茶叶*, 2008(1): 9-10.
- [45] 陈云兰, 于汉寿, 吕毅, 等. 康砖和青砖茶中散囊菌的分离、鉴定及其生物学特性研究[J]. *茶叶科学*, 2006, 26(3): 232-236.
- [46] 王志刚, 童哲, 程苏云. 茯砖茶中霉菌含量和散囊菌鉴定及利弊分析(续)[J]. *食品科学*, 1992, 13(6): 1-3.
- [47] 袁勇, 黄建安, 徐小江, 等. 茯茶中“金花”孢子粉提取物对体外诱导的非酒精性脂肪肝细胞内甘油三酯代谢的影响[J]. *茶叶科学*, 2011, 31(2): 129-135.
- [48] 李佳莲, 胡博涵, 赵勇彪, 等. 冠突散囊菌发酵液的抑菌作用[J]. *食品科学*, 2011, 32(11): 157-160.
- [49] 欧阳梅, 熊昌云, 屠幼英, 等. 冠突散囊菌对茶叶品质成分及其抗氧化活性影响[J]. *菌物学报*, 2011, 30(2): 343-348.
- [50] L S Hwang, L C Lin, N T Chen, et al. Hypolipidemic effect and antiatherogenic potential of Pu-Erh tea[J]. *ACS Symp Ser*, 2003(859): 87-103.
- [51] 吕海鹏, 谷记平, 林智, 等. 普洱茶的化学成分及生物活性研究进展[J]. *茶叶科学*, 2007, 27(1): 8-18.
- [52] Deng-Jye Yang, Lucy Sun Hwang. Study on the conversion of three natural statins from lactone forms to their corresponding hydroxy acid forms and their determination in Pu-Erh tea[J]. *J Chromatography A*, 2006(1119): 277-284.

- [53] K C Jeng, C S Chen, Y P Fang, *et al.* Effect of microbial fermentation on content of statin, GABA, and polyphenols in Pu-erh tea[J]. *J Agric Food Chem*, 2007, 55(21): 8787-8792.
- [54] 徐小江. 茯砖茶调节脂代谢的研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2011: 4.
- [55] 姜波. 四川边茶对脂肪酸合酶抑制作用的研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2007: 36-37.
- [56] CARMEN CABRERA, RAFAEL GIMEA NEZ, M CARMEN LOA PEZ. Determination of Tea Components with Antioxidant Activity[J]. *J Agric Food Chem*, 2003(51): 4427-4435.
- [57] 刘勤晋, 陈文品, 白文祥, 等. 普洱茶急性毒性安全性评价研究报告[J]. *茶叶科学*, 2003, 23(2): 141-145.
- [58] WANG D, XIAO R, HU X, *et al.* Comparative safety evaluation of Chinese Pu-erh green tea extract and Pu-erh black tea extract in Wistar rats[J]. *J Agric Food Chem*, 2010, 58(2): 1350-1358.
- [59] 陈文品, 刘勤晋, 白文祥, 等. 普洱茶遗传毒性安全性评价研究[J]. *茶叶科学*, 2005, 25(3): 208-212.
- [60] 温志杰, 张凌云, 吴平, 等. 黑茶加工中微生物作用的研究[J]. *茶叶通讯*, 2010, 37(2): 26-29.
- [61] 肖文军, 傅冬和, 任国谱, 等. 茯茶毒理学试验报告[J]. *茶叶科学*, 2007, 27(4): 307-310.
- [62] Cao Jin. Quantification of Fluoride Contents in Xiang Yin Tea and its Signification in Preventing Caries[J]. *Journal of Dental Health*, 1989(3): 290-293.
- [63] 马立峰, 石元值, 阮建云, 等. 我国茶叶氟含量状况研究[J]. *农业环境科学学报*, 2002, 21(6): 537-539.
- [64] 高大可, 刘雪慧, 卢夏英, 等. 黑毛茶氟含量分析与思考[J]. *茶叶通讯*, 2010, 37(3): 28-29.
- [65] 萧力争. 低氟边销茶生产技术与展望[C]//陈宗懋. 中国黑茶产业发展高峰论坛论文集. 2009: 143-149.
- [66] 梅树华, 齐桂年, 李国林. 低氟砖茶的生产方法[P]. 中国: ZL200710050383.3, 2011-09-07.
- [67] 王志刚, 程苏云, 童哲. 茯砖茶中散囊菌的产毒性研究 I: 散囊菌培养液的毒性[J]. *茶叶科学*, 1992, 12(1): 65-70.
- [68] 王志刚, 童哲, 程苏云, 等. 茯砖茶中散囊菌的产毒性研究 II: 冠突散囊菌的菌体毒性测定[J]. *茶叶科学*, 1994, 14(1): 69.
- [69] 许爱清. 茯砖茶的真菌菌群特性及其整肠功能研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2011: 4.
- [70] 赵龙飞, 徐亚军, 周红杰. 黑曲霉与普洱茶品质形成关系的探讨[J]. *食品研究与开发*, 2008, 29(5): 159-162.
- [71] WU Sheching, YEN Gowchin, WANG Borsen, *et al.* Antimutagenic and antimicrobial activities of pu-erh tea[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2007, 40: 506-512.
- [72] 胡永金, 乔金玲, 葛长荣. 普洱茶与绿茶提取物体外抑菌效应的研究[J]. *食品科学*, 2009, 30(13): 56-59.
- [73] 侯艳, 肖蓉, 徐昆龙, 等. 普洱茶对实验大鼠血清中血脂水平和脂质过氧化的影响[J]. *中国食品学报*, 2009(2): 80-86.
- [74] 肖文军, 任国谱, 傅冬和, 等. 茯茶辅助调节血脂作用研究[J]. *茶叶科学*, 2007, 27(3): 211-214.
- [75] 徐甜. 四川边茶茶褐素优化提取及降血脂活性研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2010: 41.
- [76] 叶茂. 应用代谢组学策略研究普洱茶及其对人体代谢的影响[D]. 上海: 上海交通大学, 2008: 88-89.
- [77] 徐小江, 黄建安, 肖力争, 等. 茯砖茶及其配方对脂肪变性 L-02 肝细胞中 TG 含量的影响[J]. *茶叶科学*, 2011, 31(3): 247-254.
- [78] 宋鲁彬, 黄建安, 黄浩, 等. 中国黑茶对 PPARs 的作用研究[J]. *茶叶科学*, 2008, 28(5): 319-325.
- [79] 袁华兵, 钟婕, 易娟, 等. 普洱茶提取物对饮食诱导肥胖大鼠脂质合成相关基因表达的影响[J]. *营养学报*, 2009, 31(2): 167-171, 176.
- [80] KUAN-LI KUO, MENG-SHIH WENG, CHUN-TE CHIANG, *et al.* Comparative Studies on the Hypolipidemic and Growth Suppressive Effects of Oolong, Black, Pu-erh, and Green Tea Leaves in Rats [J]. *J Agric Food Chem*, 2005, 53(2): 480-489.
- [81] 陈玉琼, 张伟, 倪德江, 等. 湖北青砖茶辅助降血脂作用及其抗氧化效果[J]. *茶叶科学*, 2010, 30(2): 124-128.
- [82] 陈玉琼, 张伟, 倪德江, 等. 青砖茶与绿茶对大鼠脂代谢和抗氧化作用的比较研究[J]. *营养学报*, 2010, 32(3): 272-275, 280.
- [83] 王蝶, 黄建安, 叶小燕, 等. 茯砖茶减肥作用研究[J]. *茶叶科学*, 2012, 32(1): 81-86.
- [84] 王冬梅, 程悦, 吴文玉, 等. 不同发酵茶体外降糖及抑制巨噬细胞泡沫化活性初步研究[C]//刘仲华. 2008 茶学青年科学家论坛论文集. 北京: 光明日报出版社, 2008: 57-63.
- [85] Way T D, Lin H Y, Kuo D H, *et al.* Pu-erh Tea Attenuates Hyperlipogenesis and Induces Hepatoma Cells Growth Arrest through Activating AMP-Activated Protein Kinase(AMPK) in Human HepG2 Cells[J]. *J Agric Food Chem*, 2009, 57: 5257-5264.
- [86] Huang H C, Lin J K. Pu-erh tea, green tea, and black tea suppresses hyperlipidemia, hyperleptinemia and fatty acid synthase through activating AMPK in rats fed a high-fructose diet[J]. *Food Funct*, 2012, 3(2): 170-177.
- [87] Chiang C T, Weng M S, Lin-Shiau SY, *et al.* Pu-erh tea supplementation suppresses fatty acid synthase expression in

- the rat liver through downregulating Akt and JNK signaling as demonstrated in human hepatoma HepG2 cells[J]. *Oncol Res*, 2006, 16(3): 119-128.
- [88] 傅冬和, 刘仲华, 黄建安, 等. 茯砖茶降脂功能成分研究[J]. *茶叶科学*, 2012, 32(3): 217-223.
- [89] 张冬英, 邵宛芳, 刘仲华, 等. 普洱茶功能成分单体降糖降脂作用研究[J]. *茶叶科学*, 2009, 29(1): 41-46.
- [90] 李烁, 张志文, 管又飞. 胆汁酸受体 FXR 的研究进展[J]. *生理科学进展*, 2003, 34(4): 314-318.
- [91] Frohnert B I, Hui T Y, Bernlohr D A. Identification of functional peroxisome proliferator-responsive element in murine fatty acid transport protein gene[J]. *J Biol Chem*, 1999, 274: 3970-3977.
- [92] Lapsys N M, Kriketos A D, Lim-Faster M, *et al.* Expression of genes involved in lipid metabolism correlate with peroxisome proliferators-activated receptor expression in human skeletal muscle[J]. *Clin Endocrinol Metab*, 2000, 85: 4293-4297.
- [93] 揭国良. 普洱茶抗氧化作用及减肥作用的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2008: 12-15.
- [94] Guoliang Jie, Zhi Lin, Longze Zhang, *et al.* Free radicals scavenging and protective effect of Pu-erh tea extracts on the oxidative damage in the HPF-1 cell[J]. *J Agric Food Chem*, 2006, 54(21): 8058-8064.
- [95] Chi-Hua Lu, Lucy Sun Hwang. Polyphenol contents of Pu-Erh teas and their abilities to inhibit cholesterol biosynthesis in Hep G2 cell line[J]. *Food Chem*, 2008(111): 67-71.
- [96] Nakai M, Fukui Y, Asami S, *et al.* Inhibitory effects of Oolong tea polyphenols on pancreatic lipase in vitro[J]. *J Agric Food Chem*, 2005, 53(11): 4593-4598.
- [97] Gong J S, Peng C X, Chen T, *et al.* Effects of theabrownin from Pu-erh tea on the metabolism of serum lipids in rats: mechanism of action[J]. *J Food Sci*, 2010, 75(6): 182-189.
- [98] 王秋萍, 龚加顺. “紫娟”普洱茶茶褐素对高脂饮食大鼠生长发育的影响[J]. *茶叶科学*, 2012, 32(1): 87-94.
- [99] Holm C, Kirchgessner T, Svenson K, *et al.* Hormone-sensitive lipase: sequence, expression, and chromosomal localization to 19 cent-q13.3[J]. *Science*, 1988, 241(4872): 1503-1506.
- [100] 高斌, 彭春秀, 龚加顺, 等. 普洱茶茶褐素对大鼠激素敏感性脂肪酶活性及其 mRNA 表达的影响[J]. *营养学报*, 2010(4): 362-366.
- [101] 姜波, 田维熙, 齐桂年. 四川边茶提取物对脂肪酸合酶的抑制作用[J]. *中国科学院研究生院学报*, 2007(3): 291-299.
- [102] 吴文华, 吴文俊. 普洱茶多糖降血脂功能的量效关系[J]. *福建茶叶*, 2006(2): 42-43.
- [103] 吴文俊, 吴镇洲, 吴文华. 普洱茶中茶多糖与茶多酚降血脂功能比较[J]. *福建茶叶*, 2007(3): 42-43.
- [104] Zhongbing Lu, Guangjun Nie, Peter S Belton, *et al.* Structure-activity relationship analysis of antioxidant ability and neuroprotective effect of gallic acid derivatives[J]. *Neurochem Int*, 2006, 48(4): 263-274.
- [105] 李程程, 于光前. 饮茶型氟中毒和砖茶中抗氧化物质拮抗氟作用研究进展[J]. *中国地方病防治杂志*, 2012, 27(3): 188-191.
- [106] 张薇, 高彦辉, 林林, 等. 茶多酚对饮茶型氟中毒大鼠关节软骨氧化损伤的保护作用[J]. *中国地方病学杂志*, 2009, 28(4): 381-385.
- [107] 阿斯木古丽·克力木, 刘开泰, 连军, 等. 维生素 C、E 对氟中毒大鼠尿氟排泄的影响[J]. *新疆医科大学学报*, 2007, 30(4): 352-357.
- [108] 边建朝, 成树梅, 叶平, 等. 硒对氟致机体损伤保护作用的实验研究[J]. *中国地方病学杂志*, 2004, 19(5): 257-260.