

左旋肉碱脂肪代谢协同增效物质的研究进展

黄傲¹, 胡崑¹, 林叶新^{2,*}

(1. 广西民族大学相思湖学院 运动与营养学系, 广西 南宁 530008; 2. 南宁职业技术学院 旅游学院, 广西 南宁 530008)

摘要: 研究表明左旋肉碱在人体脂肪的有氧代谢过程中具有重要的中介作用。目前我国相关研究主要集中在评价左旋肉碱的减脂效果和对运动能力的影响上, 而协同促进左旋肉碱脂肪有氧代谢效率的研究则较少有开展。本文通过对国内外研究文献进行收集整理, 梳理出左旋肉碱增效物质的类别和机理, 分析起效的机制并给出展望。结果发现, 目前能与左旋肉碱协同促进脂肪代谢效率的物质可归类为7大类物质: 生物碱类、多酚类、天然产物类、矿物质元素类、维生素类、脂肪酸类和其他类, 并按增效机理的不同归入增加机体基础代谢、控制脂肪的分解和脂肪酸转运及氧化等方面来阐述。经过归类后, 左旋肉碱脂肪代谢协同增效物质的研究和开发思路会更明确, 有利于围绕左旋肉碱设计功能产品。

关键词: 左旋肉碱; 脂肪代谢; 协同增效; 研究进展

The Research Progress on Combining L-Carnitine with Its Synergists for Promoting Fatty Catabolism

HUANG Ao¹, HU Wei¹, LIN Ye-xin^{2,*}

(1. Department of Sports and Nutrition, Xiangsihu College of Guangxi University for Nationalities, Nanning 530008, Guangxi, China; 2. School of Tourism, Nanning College for Vocational Technology, Nanning 530008, Guangxi, China)

Abstract: L-Carnitine plays an intermediary role in the fatty oxidational catabolism. At present, research is mainly on the evaluation of carnitine functions and its effect on exercise performance, but few studies focus on L-carnitine synergists for promoting the fatty catabolism. Through collecting and arranging the Chinese and foreign theses, this paper described how synergists cause the synergy for carnitine and offer future prospects by classifying the synergists and summarizing their mechanism for promoting the fatty catabolism. It was found that synergists can be classified into 7 groups: alkaloids, polyphenols, phytochemicals, minerals, vitamins, fatty acids and the others. It provided insights into the future research of treating obesity by combining L-carnitine with its synergists. Developing new synergists will be more pertinent and it will also benefit for designing functional drink whose formula contain L-carnitine.

Key words: L-carnitine; fatty catabolism; synergy; research progress

左旋肉碱(L-carnitine)是一种类氨基酸,在人体内发挥调节线粒体内酰基比例、促进脂肪酸氧化、抗疲劳等功能^[1]。研究表明机体中的游离肉碱与酰基化的脂肪酸结合生成脂酰肉碱,脂酰肉碱在脂酰肉碱转移酶的作用下进入细胞线粒体内进行 β -氧化,也有文

献表明左旋肉碱可以通过诱导与脂肪分解有关酶类的基因表达刺激脂肪细胞增加脂肪分解和 β -氧化水平^[2],从而控制脂肪的代谢速率。左旋肉碱在食品中添加被证明是安全的,可以广泛应用于在婴幼儿食品、中老年人营养补充食品、减肥食品、运动员食品中^[3]。但目前的保健产品往往是单一使用左旋肉碱作为功能成分,其对脂肪代谢的影响效果不是非常显著^[4]。为了加强左旋肉碱在脂肪代谢的效果,可通过左旋肉碱与其它物质联合使用的方法协同促进左旋肉碱的减

作者简介:黄傲(1979—),男(回),讲师,硕士,研究方向:运动营养及饮食文化。

* 通信作者:林叶新(1984—),女(汉),讲师,博士,研究方向:天然产物研究与开发、食品安全。

脂效率。这有可能会成为减脂类保健食品和功能饮料开发的新方向。

1 协同促进左旋肉碱对体脂代谢效果的物质的研究

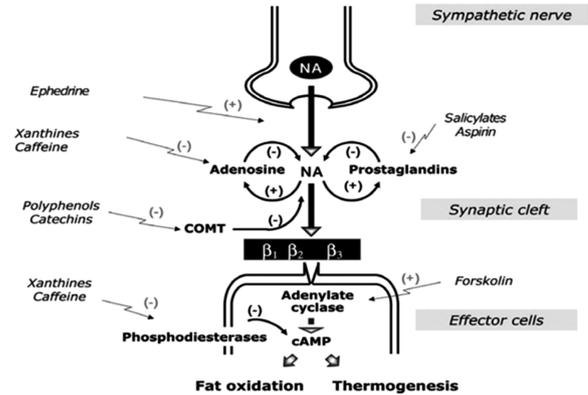
协同促进左旋肉碱对体脂代谢效果的最早研究是 James W. Daily 等在 1998 年开展的。他们的研究发现,同时给豚鼠在补充左旋肉碱和胆碱后,能使体内的组织肉碱浓度增加和体脂减少速率加快^[5]。2002 年 Nobuko Hongu 和 Dileep S. Sachan,则在一项人体脂肪代谢的研究中发现,让运动的健康女性同时摄入胆碱与肉碱,可促进研究对象的血清瘦素水平提高,体脂降低速度加快^[6]。2004 年国内的杜荣等报道,将酵母铬与 L-肉碱同时添加在饲料中,对蛋鸡生产性能及脂质代谢有积极作用,研究结果显示左旋肉碱与酵母铬联用可以有效的降低蛋鸡腹脂、肝脂、血清胆固醇和血清多不饱和脂肪酸的含量,且蛋鸡的脂肪代谢效率能显著提升^[7]。随后不少学者对协同促进左旋肉碱对体脂代谢效果的物质进行了更深入的研究,陆续证实很多物质在与左旋肉碱联合使用的时候,都能发挥脂质代谢的协调增效作用,这些物质主要有:大豆异黄酮(soy isoflavone)、葡萄提取物(活性成分:白藜芦醇 resveratrol)、绿茶提取物(活性成分:儿茶素 catechins)、陈皮苦瓜提取物(Momordica charantia extract、Tangerine peel water extract)、胆碱(choline)、藤黄果(garcinia cambogia 活性成分:HCA hydroxy citric acid)、精氨酸(arginine)、咖啡因(caffeine)、共轭亚油酸(conjugated linoleic acid)、有机铬(有效成分:吡啶甲酸铬),碳水化合物^[8-10]等。

2 增效成分影响脂类代谢的途径

目前关于机体脂代谢干预的机制研究比较丰富,一种增效物质可能有多个干预机制。由于,左旋肉碱主要作用于体内脂肪分解代谢途径中脂肪酸进入线粒体这一过程,所以本文着重介绍涉及脂肪分解代谢的部分,关注脂肪代谢主要途径 β -氧化的上下游的联动,这种方式可能更有利于对肥胖者在进行充分脂肪动员的情况下促进脂代谢效率的提升。

2.1 增加机体基础代谢

基础代谢的增加主要是通过交感神经释放去甲肾上腺素激活细胞膜上的受体,最终作用于 cAMP(环磷酸腺苷),使得脂肪酸氧化和糖原分解产热导致机体基础代谢升高。调节这一机制的控制位点的物质有腺苷、前列腺素、儿茶酚氧位甲基转移酶(COMT)、腺苷酸环化酶和磷酸二酯酶等物质见图 1。



Sympathetic nerve:交感神经;NA:去甲肾上腺素; β_1 、 β_2 、 β_3 :为不同类型的受体;Synaptic cleft:突触间隙;Effector cells:效应细胞;COMT:儿茶酚氧位甲基转移酶;Adenosine:腺苷;Prostaglandins:前列腺素;adenylate cyclase:腺苷酸环化酶;phosphodiesterases:磷酸二酯酶;Caffeine:咖啡因;catechins:儿茶素。

图 1 机体增加基础代谢产热的位点和流程示意图^[17]

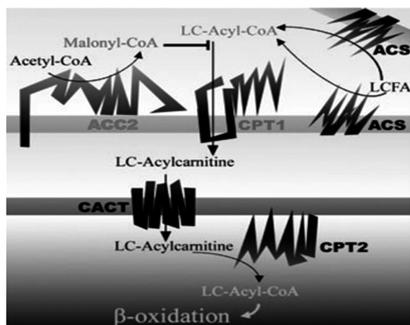
Fig.1 Thermal excite process for basic metabolism of human body

增加基础代谢的增效物质效果一般占 2%~5% 的每日能量消耗,不少作用于这种机制的物质都是从草药中提取出来的天然产物,常常混合使用。通过作用于不同的控制位点,可以增加基础代谢速率^[17]。有助于提高机体基础代谢的物质一般有咖啡因、茶多酚类物质。咖啡因通过调节腺苷来影响去甲肾上腺素的释放和磷酸二酯酶来达到调节能量代谢的功效。已经被实验证明可以提高肥胖、正常体重、之前肥胖人群的能量代谢率,并提高血液中循环的脂肪酸含量,进而提高脂肪酸氧化水平^[18-19]。多酚类物质包括多种多酚类化合物,其中含量较高并对机体基础代谢增加起主要作用的是茶表没食子儿茶素没食子酸酯(EGCG)^[20]。EGCG 通过抑制 COMT 增加去甲肾上腺素的分泌,达到增加 24 h 能量消耗和脂肪酸氧化的功能^[21]。

2.2 控制脂肪的分解和脂肪酸转运及氧化

脂肪细胞的脂解通过细胞表面的受体接受到体内传递的信号,中间涉及 cAMP、PKA、PKG、AMPK 等蛋白激酶,最终调控 HSL(激素敏感脂肪酶)使脂肪滴分解。如神经递质、去甲肾上腺素和肾上腺素通过 β -肾上腺素受体和 α -抗脂解肾上腺素受体来发挥作用。很重要的一点是,刺激脂肪分解的激活物只有在自身可以刺激脂肪酸氧化或有其他化合物达到这一效果的情况下才有治疗肥胖的效果,单纯刺激脂肪分解会使血脂升高,从而产生不利影响^[22]。

细胞内脂肪酸要进入线粒体内进行 β -氧化,必须要在肉碱的参与下反应生成脂酰肉碱才能转运进入线粒体(见图 2)。增加组织内的肉碱浓度就是增加了



ACC2:乙酰辅酶 A 羧化酶; CPT1/2:肉碱脂酰转移酶 1/2; ACS:脂酰辅酶 A 合成酶; CACT:脂酰肉碱移位酶; Acetyl-CoA:乙酰辅酶 A; Malonyl-CoA:丙二酰辅酶 A; LC-Acyl-CoA:长链脂肪酸脂酰辅酶 A; LC-Acylcarnitine:长链脂肪酸脂酰肉碱。

图 2 脂酰肉碱进入线粒体进行 β -氧化示意图^[24]

Fig.2 The way of Acyl-carnitine move into the mitochondria for β -oxidation

生成酰基肉碱反应的底物,进而控制了脂肪酸的代谢效率。脂肪酸从细胞质进入线粒体的转运系统含有多个酶,包括 CPT1(肉碱棕榈酰转移酶 1)、CPT2、CACT(酰基肉碱移位酶)。但不单单是这些酶可以影响脂肪酸氧化,还受底物浓度、ACS、ACC 及其产物丙二酰辅酶 A 的影响。CPT1 是脂肪酸氧化中的限速酶,调控 CPT1 对增加脂肪酸代谢效率有重要意义。可以通过提高 PPAR 或其他蛋白质提高 CPT1 的基因表达,也可以通过抗氧化手段防止其活性被活性氧损害。影响脂肪酸转运及氧化的物质包括胆碱、糖类以及维生素等物质^[23]。

胆碱可以降低尿液中排泄的左旋肉碱,提高左旋肉碱在血浆和肌肉中的含量^[6]。在脂肪动员充分的情况下,机体将会由更多的肉碱与脂肪酸结合成脂酰肉碱而被转运进入线粒体内代谢。糖类物质可增进脂肪代谢的效率可能的原因是糖类物质促使人体产生胰岛素反应,使机体胰岛素水平升高。之前有研究表明胰岛素和左旋肉碱注射入人体内可以增加肌肉中肉碱的含量^[24]。一些研究也表明,某些单糖类物质可以达到这种效果。B 族维生素中, V_{B_3} 、 V_{B_5} 等维生素类物质则分别以烟酰胺腺嘌呤二核苷酸(NAD)、烟酰胺腺嘌呤二核苷酸磷酸(NADP)和黄素腺嘌呤二核苷酸(FDA)等重要辅酶参与脂质的 β -氧化过程和三羧酸循环中。在脂肪氧化代谢的过程中起到 H^+ 吸收和电子传导载体的作用或者辅酶的作用。浓度充足的辅酶或者递氢体存在,能保证脂肪酸的氧化过程维持一定的速率。

2.3 其他具有多种减脂机制的增效物质

其他增效物质的作用机制作用位点比较泛或者

同时作用于多个位点所以将其单独归类分析。这类物质种类很多,包括黄酮类、醇类、脂肪酸或者有机酸等。如染料木黄酮,是大豆异黄酮中的一种成分相比大豆黄酮更加有效。在体外观察到对脂肪的分解和合成代谢都有影响,对合成代谢是通过抑制胰岛素引发的脂肪合成,对分解代谢是通过多种方式完成的,包括增加肾上腺素引起的脂肪分解、降低 cAMP 磷酸二酯酶的活性、通过 PPAR α 使 CPT1 的表达增加 β -氧化水平^[25]。白藜芦醇主要对脂肪细胞生命周期产生影响,作用于前脂肪细胞的多个阶段和成熟脂肪细胞的凋亡。包括抑制前脂肪细胞增殖、分化和脂质形成,成熟脂肪细胞的脂肪分解和凋亡^[26]。共轭亚油酸可以降低脂蛋白脂酶的活性并且增加与脂肪酸 β -氧化相关酶的增加^[27]。脂肪酸 β -氧化相关的酶的数量增加则会使脂肪酸的代谢速率提高。羟基柠檬酸可通过食欲抑制和脂肪酸合成抑制降低体脂进而减少体重^[28-29]。一般产于东南亚的藤黄果中含有比较大量的羟基柠檬酸。

脂肪在体内的代谢包括合成代谢和分解代谢,并与糖代谢和蛋白质代谢相互影响,体内氧化应激反应对代谢过程的影响也不容忽视。通过上述机制的分析后,对目前已有的协同增效物质进行归类可以归为 7 大类物质:(1)生物碱类(2)多酚类(3)天然产物类(4)矿物质元素类(5)维生素类(6)脂肪酸类(7)其他类。其中生物碱和多酚类物质可以增加基础代谢。糖类物质、维生素类、脂肪酸控制脂肪的分解和脂肪酸转运及氧化。其他物质作用比较复杂,例如矿物质元素可能促使有关脂代谢的酶类的活性增加,而天然产物有可能仅仅是清除脂质过氧化产生的自由基,维持整个脂肪酸氧化过程的持续性等。

3 讨论

对于脂类代谢的机理研究不光可以从脂肪的合成与分解代谢的过程开展,还可以深入的分析糖代谢、脂质过氧化对脂质代谢的影响,从与脂肪代谢相关的机理下手,改善肥胖及肥胖诱发的疾病和保护脂代谢的畅通。在脂类代谢中左旋肉碱与脂肪酸的酰基化是细胞内脂肪酸转运进入线粒体进行 β -氧化的关键节点。但是在整个脂肪代谢供能的过程中脂肪动员处于左旋肉碱与脂肪酸酰基化结合的上游, β -氧化和三羧酸循环等过程处于转运过程的下游。若上游的脂肪代谢不充分、或者下游的 β -氧化和三羧酸循环过程受到底物浓度不足、有关酶类的活性不足等的影响,必然也会导致整个脂肪代谢效率的降低。因此与左旋

肉碱协同促进脂肪代谢效率的物质,增效机理主要着眼在脂类分解和氧化过程上。从控制体脂的角度来看,可以选择在脂类分解和氧化上具有功效的物质增强效果。也可以在脂肪生成这一途径上,增强对脂肪分化的抑制来防止脂肪积累。在有氧运动过程中主要使用糖原和脂肪供能,增加脂肪酸氧化的速率不仅可以节约糖原,还可以增加脂肪的消耗。因此采用增加肌肉肉碱浓度促进脂肪的分解代谢来增加对运动减脂的效果会比较显著。在治疗肥胖相关疾病上部分活性物质对某些肥胖诱发的疾病如脂肪肝和心血管疾病具有不错的疗效,添加这些物质可以增加左旋肉碱复合制剂的用途。

4 展望

从收集到的文献来看,左旋肉碱和增效成分的协同作用主要针对肥胖或与肥胖相关的疾病,部分涉及有氧运动。有氧运动下使得细胞线粒体内氧分子的含量变得充分,从左旋肉碱调控的下游的氧化更充分,更有利于增加从脂肪分解、转运和脂肪酸氧化每一个环节的效率。RGTC(resveratrol、儿茶素、carnitine)和RISC(resveratrol、soy isoflavone、carnitine)均对治疗肥胖、非酒精性脂肪肝和心血管疾病有一定疗效。GC(genistein、carnitine)的研究结果表明对肥胖和脂质参数有好的影响。范雪等的研究(有机铬、左旋肉碱及运动)^[30]、赵京杨等的研究(陈皮、苦瓜与左旋肉碱复合制剂)、Kim Y J等(藤黄提取物、大豆多肽及左旋肉碱)、Murosaki等(精氨酸、咖啡因、大豆异黄酮及左旋肉碱)和魏冰等的研究(EGCG、左旋肉碱、运动)^[31]都表明三者的联合对大鼠体重、内脏脂肪有良好的降低作用。这些研究表明了各种天然植物提取物对脂类代谢有着相当重要的影响。在提倡人们健康减脂和缓解全球性肥胖高发的过程中,用天然植物提取物代替药物并结合运动减脂将具有良好的应用前景。

目前为止协同增效成分的研究主要还是集中在各种成熟的对脂肪代谢有影响的物质中,其它许多具有减脂增效的物质仍有待开发,特别是副作用小的和成本低的减脂成分。通过运动配合运动饮料增加脂代谢速率的配方成分研究将是今后的重点研究内容。左旋肉碱作为一种成熟并且毒性极低的影响脂代谢的物质已经被添加在运动饮料中且产品已经开始在市场上销售。但是这些运动饮料都只是单纯的添加了左旋肉碱、简单的矿物质和维生素,配方的丰富程度和对左旋肉碱的协同增效效果研究有待进一步和探讨。

总的来说左旋肉碱在运动饮料中应用的相关科

研工作开展不够深入,特别是在运动条件下左旋肉碱的协同增效研究的文献发表还很少。通过对运动饮料中较多采用的添加物质分析,运动饮料中常用辅料维生素和矿物质与左旋肉碱的增效研究非常值得关注。已经有研究表明硫胺素、核黄素、烟酰胺、V_E对肥胖大鼠脂代谢和抑制体重增加有积极影响^[32-34],同时Fe、Ca、Mg、Cu、Zn、Se、Cr等矿物质元素对高脂饮食的大鼠均具有程度不一的减脂效果^[35-42],这些物质都是功能饮料的常见辅料。所以在功能饮料设计中进一步研究和探讨左旋肉碱与这物质的实际协同增效效果具有很重要的现实意义。

参考文献:

- [1] 杨静. 左旋肉碱的生理功能及在功能性食品中的应用[J]. 农业工程, 2012(1): 54-59
- [2] Lee M S, Lee H J, Lee H S, et al. L-carnitine stimulates lipolysis via induction of the lipolytic gene expression and suppression of the adipogenic gene expression in 3T3-L1 adipocyte [J]. Journal of medicinal-food, 2006, 9(4): 468-473
- [3] 毕伟建,黄金发. 左旋肉碱在食品中的应用[J]. 广西轻工业, 2010(8): 16-17
- [4] Brass E P. Supplemental carnitine and exercise[J]. The American journal of clinical nutrition, 2000, 72(2): 618-623
- [5] Daily J W, Hongu N, Mynatt R L, et al. Choline supplementation increases tissue concentrations of carnitine and lowers body fat in guinea pigs[J]. The Journal of Nutritional Biochemistry, 1998, 9(8): 464-470
- [6] Hongu N, Sachan D S. Carnitine and choline supplementation with exercise alter carnitine profiles, biochemical markers of fat metabolism and serum leptin concentration in healthy women[J]. The Journal of nutrition, 2003, 133(1): 84-89
- [7] 杜荣,秦健,王俊东,等. 酵母铬与L-肉碱对蛋鸡生产性能及脂质代谢的影响[J]. 畜牧兽医学报, 2004(6): 653-659
- [8] Yang J Y, Lee S J, Park H W, et al. Effect of genistein with carnitine administration on lipid parameters and obesity in C57Bl/6J mice fed a high-fat diet[J]. Journal of Medicinal Food, 2006, 9(4): 459-467
- [9] Kang J S, Lee W K, Lee C W, et al. Improvement of high-fat diet-induced obesity by a mixture of red grape extract, soy isoflavone and L-carnitine: Implications in cardiovascular and non-alcoholic fatty liver diseases[J]. Food and Chemical Toxicology, 2011, 49(9): 2453-2458
- [10] Kang J S, Lee W K, Yoon W K, et al. A Combination of Grape Extract, Green Tea Extract and L-Carnitine Improves High-fat Diet-induced Obesity, Hyperlipidemia and Non-alcoholic Fatty Liver Disease in Mice[J]. Phytotherapy Research, 2011, 2(12): 1789-1795
- [11] 赵京杨,曾翠平,戴汉川,等. 陈皮苦瓜提取物与左旋肉碱复合制剂对肥胖大鼠减肥机理的研究[J]. 公共卫生与预防医学, 2012(6): 25-27
- [12] Hongu N, Sachan D S. Carnitine and choline supplementation with

- exercise alter carnitine profiles, biochemical markers of fat metabolism and serum leptin concentration in healthy women[J]. *The Journal of nutrition*, 2003, 133(1): 84-89
- [13] Kim Y J, Kim K Y, Kim M S, et al. A mixture of the aqueous extract of *Garcinia cambogia*, soy peptide and L-carnitine reduces the accumulation of visceral fat mass in rats rendered obese by a high fat diet[J]. *Genes & nutrition*, 2008, 2(4): 353-358
- [14] Murosaki S, Lee T R, Muroyama K, et al. A combination of caffeine, arginine, soy isoflavones, and L-carnitine enhances both lipolysis and fatty acid oxidation in 3T3-L1 and HepG2 cells in vitro and in KK mice in vivo[J]. *The Journal of nutrition*, 2007, 137(10): 2252-2257
- [15] Gvozdjáková K J, Bhagavan H, Palacka P, et al. Synergistic effect of conjugated linoleic acid and L-carnitine on body fat reduction and modulation of kidney and liver mitochondrial function[J]. *Mitochondrion*, 2004, 4(1): 21-22
- [16] Stephens F B, Evans C E, Constantin-Teodosiu D, et al. Carbohydrate ingestion augments L-carnitine retention in humans[J]. *Journal of Applied Physiology*, 2007, 102(3): 1065-1070
- [17] Dulloo A G. The search for compounds that stimulate thermogenesis in obesity management: from pharmaceuticals to functional food ingredients[J]. *Obesity reviews*, 2011, 12(10): 866-883
- [18] Acheson K J, Zahorska-Markiewicz B, Pittet P H, et al. Caffeine and coffee: their influence on metabolic rate and substrate utilization in normal weight and obese individuals[J]. *The American journal of clinical nutrition*, 1980, 33(5): 989-997
- [19] Dulloo A G, Geissler C A, Horton T, et al. Normal caffeine consumption: influence on thermogenesis and daily energy expenditure in lean and postobese human volunteers[J]. *The American journal of clinical nutrition*, 1989, 49(1): 44-50
- [20] Kao Y H, Hiipakka R A, Liao S, et al. Modulation of endocrine systems and food intake by green tea epigallocatechin gallate[J]. *Endocrinology*, 2000, 141(3): 980-987
- [21] 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
- [22] Langin D. Adipose tissue lipolysis as a metabolic pathway to define pharmacological strategies against obesity and the metabolic syndrome[J]. *Pharmacological Research*, 2006, 53(6): 482-491
- [23] Schreurs M, Kuipers F, Van Der Leij F R, et al. Regulatory enzymes of mitochondrial β -oxidation as targets for treatment of the metabolic syndrome[J]. *obesity reviews*, 2010, 11(5): 380-388
- [24] Stephens F B, Constantin-Teodosiu D, Greenhaff P L, et al. New insights concerning the role of carnitine in the regulation of fuel metabolism in skeletal muscle[J]. *The Journal of Physiology*, 2007, 581(2): 431-444
- [25] Szkudelska K, Nogowski L. Genistein—a dietary compound inducing hormonal and metabolic changes[J]. *The Journal of steroid biochemistry and molecular biology*, 2007, 105(1): 37-45
- [26] Baile C A, Yang J Y, Rayalam S, et al. Effect of resveratrol on fat mobilization[J]. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2011, 1215(1): 40-47
- [27] Trigueros L, Pena S, Ugidos A V, et al. Food ingredients as anti-obesity agents: a review[J]. *Critical reviews in food science and nutrition*, 2013, 53(9): 929-942
- [28] Heymsfield S B, Allison D B, Vasselli J R, et al. *Garcinia cambogia* (hydroxycitric acid) as a potential anti-obesity agent: a randomized controlled trial[J]. *Jama*, 1998, 280(18): 1596-1600
- [29] Sullivan A C, Singh M, Srere P A, et al. Reactivity and inhibitor potential of hydroxycitrate isomers with citrate synthase, citrate lyase, and ATP citrate lyase[J]. *Journal of Biological Chemistry*, 1977, 252(21): 7583-7590
- [30] 范雪, 严政. 有机铬、L-肉碱及有氧运动对高脂饮食大鼠脂肪代谢的影响[J]. *南京体育学院学报(自然科学版)*, 2010(1): 29-31
- [31] 魏冰, 白厚增, 靳一哲, 等. 运动、EGCG 和肉碱对肥胖大鼠体重、内脏脂肪及肝脏 CPT1 表达的影响[J]. *中国运动医学杂志*, 2012(4): 331-335, 352
- [32] 李丽花, 胡迎芬, 李勇, 等. 补充烟酰胺与硫胺素对肥胖大鼠体重和能量代谢的影响[J]. *营养学报*, 2014(5): 466-470
- [33] 李丽花, 胡迎芬, 李勇, 等. 硫胺素、核黄素和烟酰胺对大鼠体重增长及脂代谢影响的实验研究(英文)[J]. *现代生物医学进展*, 2014(24): 4656-4661
- [34] 李丽花. 硫胺素、核黄素和烟酰胺对肥胖大鼠能量代谢和空间学习记忆能力的影响[D]. 青岛: 青岛大学, 2014: 34
- [35] 罗楠. 膳食钙防治大鼠肥胖的作用及机理探讨[D]. 南京: 南京医科大学, 2007: 48-51
- [36] 彭晓莉, 吕晓华, 李茂全, 等. 镁对高脂高糖膳食诱导大鼠肥胖的影响及其机理探讨[J]. *成都医学院学报*, 2007(1): 15-19
- [37] 吴碧荔, 刘浩宇, 刘锡仪, 等. 微量元素的生物学作用及其与脂代谢和肥胖的关系[J]. *广东微量元素科学*, 2005(4): 1-6
- [38] 赵丽军, 孙长颢, 张晓红, 等. 膳食铁对饮食诱导肥胖大鼠代谢影响[J]. *中国公共卫生*, 2006(1): 74-76
- [39] 郭中锋. 微量元素锌铜与单纯性肥胖的关系[J]. *微量元素与健康研究*, 2005(6): 56-58
- [40] 王海英, 孙长颢, 周晓蓉, 等. 膳食钙降低饮食诱导肥胖大鼠体重的机制[J]. *中国公共卫生*, 2004(9): 26-27
- [41] 姜丽英, 孙长颢. 微量元素锌与肥胖的关系[J]. *中国公共卫生*, 2004(6): 124-125
- [42] 王锦祥. 富硒、铬益生菌的制备及其对高脂饮食 ICR 小鼠脂代谢的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2009: 45-47