

左旋肉碱的生理功能及在功能性食品中的应用

杨 静

(浙江大学生物系统与食品科学学院, 杭州 310058)

摘 要: 左旋肉碱是一种人体内的天然物质, 能够加速脂肪酸的代谢, 具有减肥等多种生理功能。该文主要介绍了左旋肉碱的化学结构和生理功能, 并对其在保健食品中的应用进行了阐述。

关键词: 左旋肉碱; 化学结构; 生理功能; 保健食品应用

中图分类号: R151 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-1795(2012)01-0054-06

Physiological Function and Application of L-Carnitine in Functional Food

Yang Jing

(Biological Systems Engineering & Food Science College, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

Abstract: L-carnitine is a natural substance for human's body, which can speed up the metabolisms in transferring fatty acids into energy and this way supports lose weight and relative functions. In this paper, chemical structures, physiological functions and application of L-carnitine in functional food were summarized.

Key words: L-carnitine, Chemical Structure, Physiological functions, Application in functional food

0 引言

左旋肉碱 (L-carnitine), 又称左卡尼汀、肉毒素或维生素 BT, 是一种促使脂肪转化为能量的类氨基酸, 对人体无不良反应。它广泛存在于机体中, 肉碱属于类维生素, 是人体自身合成的营养。左旋肉碱是一种天然的, 身体脂肪代谢必需的内在物质。在流行的低脂高碳饮食以及高压工作环境, 每天从膳食中摄入的左旋肉碱不到 50 mg, 而为了使身体达到理想的健康状态, 普通成人每日膳食应不少于 500 mg 的肉碱, 事实上, 只靠人体合成和普通饮食来源目前还不能达到最理想的肉碱摄入水平。

近年来, 左旋肉碱作为一种新型的机能性食品添加剂风靡欧美日等地。由于其安全、稳定性好, 左旋肉碱作为一种人体营养强化剂和补充物正受到有关方面的重视, 得到了广泛应用, 为世界各国普遍接受, 国内也有含肉碱的婴儿奶粉及营养品上市。左旋肉碱主要添加于婴儿奶粉、老年人食品及运动员、高强度作业者食品和饮料中, 或用于肥胖者以及糖尿病患者的食品等。它不仅用于食品, 而且在饲料^[1-5]和医疗方面^[6-10]也有应用, 具有非常广阔的市场前景。本文将从左旋肉碱的结构、来源、生理功能及作为功能性食品的应用等方面进行阐述。

1 左旋肉碱的化学结构与来源

1.1 左旋肉碱的化学结构

肉碱有 L 型、D 型和 DL 型, 但在水中肉碱拥有 L 型和 D 型两种形式, 自然界中只存在 L 型, 哺乳动物中也只存在 L 型。只有 L 型肉碱才具有生物活性, D 肉碱和 D 左旋肉碱完全无活性, 且它们是左旋肉碱的竞争性抑制剂, 抑制左旋肉碱的利用, 因此通常所指的肉碱都是指左旋肉碱。

左旋肉碱为肉碱系季胺 (3-羟基- α -三甲基-氨基丁酸), 化学名为 (3R)-(-)-3-羟基-4-三甲铵丁酸 (β -羟基- γ -氨基丁酸)^[9], 英文名为 (3R)-(-)-3-hydroxy-4-(trimethylammonio) butanoate, 化学式 $C_7H_{15}O_3N$, 分子量为 162.2, 熔点 210 ~ 212 °C, 旋光度 $[\alpha]_{D_{20}} = -29.5 \sim 32.00$ (200 °C, 0.1, H_2O)^[11], 分子结构式见图 1。

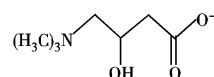


图 1 左旋肉碱的分子结构式

Fig.1 Structures of L-carnitine

当 pH 为中性时, 左旋肉碱以内酯的形式存在, 左旋肉碱 (内酯) 表现为白色结晶粉末, 易吸潮,

略有特殊腥味，为两性化合物，稳定性较好，可在 pH 3~6 的溶液中放置 1 年以上，能耐 200 ℃ 以上的高温，它的组合键和官能团具有较好的溶水性和吸水性。在皮肤上展示出高的保湿性能，因此可以在各种保湿的霜膏、柔肤水中使用^[12]。

1.2 左旋肉碱的来源

肉碱属于类维生素，左旋肉碱广泛存在于动植物、微生物体内，是微生物、动物及植物的基本成分之一。人体主要有 2 种来源：①从膳食中摄取。其中以肉类和乳制品最丰富，蔬菜、谷类和水果含量极微甚至无。成人体内含肉碱 20 g 左右，机体主要是靠红色肉类补充。通常植物性食物中肉碱含量低，动物性食物中肉碱含量高。动物性食品中，肉类中含量最高（如山羊肉中左旋肉碱的含量为 2 100 mg/kg），内脏次之，蛋类中极少。大多数动物体有能力合成左旋肉碱，哺乳动物在骨骼肌肉、心脏肌肉含有大量的左旋肉碱。②内源性合成。在赖氨酸（其中以 L-赖氨酸为主）、蛋氨酸、维生素 C、烟碱、维生素 B₆ 和还原铁等的参与下，由人体的肝、肾、脑等主要部位，经过 5 步反应合成左旋肉碱^[13]。由于赖氨酸对热敏感，因此我国人民的饮食习惯容易造成肉碱的缺乏，而肉碱的缺乏会引发许多疾病^[13-14]。

肉碱的生物合成起始于体内必需氨基酸、赖氨酸和甲硫氨酸，富含赖氨酸的蛋白质在蛋白质甲基化酶的催化下，由 S-腺苷甲硫氨酸供给甲基将多肽链中的赖氨酸转化为 ϵ -三甲赖氨酸，随后通过体内蛋白酶水解生成三甲赖氨酸，三甲赖氨酸再经过 4 步酶促反应生成肉碱^[15]（图 2）。

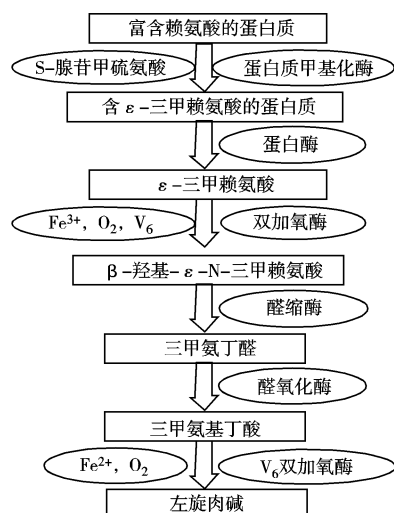


图 2 左旋肉碱在体内的生物合成

Fig. 2 Biosynthesis of L-carnitine in vivo

2 左旋肉碱的生理功能

左旋肉碱是一种天然存在的类维生素的营养素，

与动物体内的脂肪酸代谢密切相关，具有多种生理功能的氨基酸物质^[16-18]。

2.1 调节线粒体内酰基比率

线粒体内酰基 CoA/CoA 比率^[19]的稳定对能量代谢有重要作用，若线粒体基质中的乙酰基不及时运出，乙酰 CoA/CoA 比率上升，对丙酮酸脱氢酶有抑制作用，从而影响能量代谢。

肉碱作为载体以酰基肉碱形式将线粒体内的短链酰基运送到膜外，起到调节线粒体内酰基 CoA 与 CoA 比率的作用，并为细胞质中脂肪酸合成提供乙酰基^[20-21]。脂肪酸经内质网及线粒体外膜上脂酰辅酶 A (CoA) 合成酶催化生成脂酰 CoA，脂酰 CoA 与左旋肉碱经线粒体外膜上的左旋肉碱脂酰转移酶 I 催化合成脂酰左旋肉碱，脂酰左旋肉碱可在线粒体内膜脂酰左旋肉碱转位酶作用下通过内膜进入线粒体基质，并在线粒体内膜内侧的肉碱脂酰转移酶 II 作用下生成脂酰 CoA，并释放出左旋肉碱^[22]（如图 3 所示）。

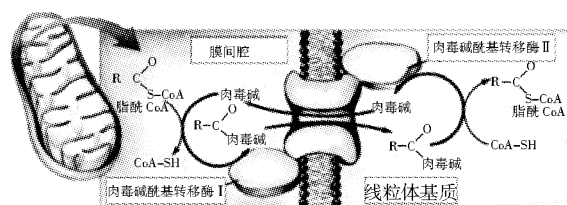


图 3 肉毒碱运载脂酰基进入线粒体

Fig. 3 L-Carnitine carry fat acyl into mitochondria

2.2 促进脂肪酸 β -氧化

长链脂肪酸是脂肪的主要成分，在人体内代谢时以甘油三酯的形式由淋巴管进入静脉，被输送并储存在人体各组织中，容易累积形成脂肪。左旋肉碱在脂肪酸分解过程中起着关键性的作用，如果缺乏，脂肪酸的分解供能将中断，生命活动将发生障碍^[23-24]。左旋肉碱主要的功能是作为载体以脂酰肉碱的形式将长链脂肪酸从线粒体膜外转运到膜内，在线粒体内进行 β -氧化^[25]。促进三羧酸循环的正常进行，从而产生三磷酸腺苷功能^[16]，协助细胞完成正常的生理功能和能量代谢^[26]。

2.3 抗疲劳功能

乳酸是机体糖无氧酵解的终产物，是导致机体疲劳的重要原因。乳酸在体内积累的程度取决于乳酸产生大于清除的速度。左旋肉碱能够明显延长小鼠负重游泳时间，具有抗疲劳作用^[27]，而其抗疲劳的作用机理主要与左旋肉碱能够增加肌糖原储备，减少运动后肌糖原消耗，抑制乳酸生成，加速乳酸和尿素氮清除有关。左旋肉碱可以通过增加脂肪酸氧化供能减少肌糖原的无氧酵解，抑制乳酸生成，同时加速消除运动中积累的乳酸，而延缓运动性疲劳的产生。

2.4 排毒作用

肉碱可参加支链氨基酸代谢产物的运输,从而促进了支链氨基酸的正常代谢^[23]。左旋肉碱可排出体内过量的或非理性的酰基团,消除机体因酰基积累而造成的代谢毒性;还能促进乙酰乙酸的氧化,在酮体的消除和利用中起作用;防止动物体内过量氨产生的毒性,可作为生物抗氧化剂清除自由基,维持膜的稳定,提高动物的免疫力以及抗病抗应激的能力。研究发现肉碱有类似精氨酸、鸟氨酸的作用,促进尿素循环,使氨降解为尿素,解除氨的毒性^[28]。

2.5 影响氨基酸的代谢

一些支链酰基是亮氨酸、异亮氨酸和缬氨酸的代谢产物,支链酰基的及时运出有利于这些氨基酸的正常代谢。左旋肉碱在体内由蛋氨酸和缬氨酸等原料合成^[29],它们的代谢起负反馈调节作用;另外,线粒体内的一些支链酰基是亮氨酸、异亮氨酸和缬氨酸的代谢物,左旋肉碱作为载体把支链酰基及时运出,有利于这些氨基酸的正常代谢。可参加支链氨基酸代谢产物的运输,从而促进了支链氨基酸的正常代谢。

2.6 其他生理功能

左旋肉碱有储存能量和把能量从一个器官细胞传到另一个器官细胞的功能^[19]。左旋肉碱和乙酰左旋肉碱合用治疗减少弱精子症,可显著提高每次射精中前向运动精子和运动精子总数^[20],提高女方临床妊娠率,安全有效^[30]。研究表明,左旋肉碱对脂溶性维生素及钙、磷的吸收也有一定作用^[19]。向腹透液中加入左旋肉碱,一方面可以改善尿毒症患者肉碱缺乏所致的一系列症状,同时改善腹透液长期高糖作用对腹膜上皮细胞增值的抑制,减少高糖诱导腹膜间皮细胞凋亡^[26]。尿毒症患者由于合成减少,摄入不足可导致体内肉碱缺乏。左旋肉碱对高血脂、急性氨中毒和神经系统疾病也有效果^[31]。

3 左旋肉碱作为功能性食品的应用

左旋肉碱作为脂肪酸氧化的载体,可以改善代谢综合症的腹部肥胖、血脂异常等症状,如提高血液中的高密度脂蛋白水平,有效地降低胆固醇和三酰甘油水平,保护血管。若由于体内肉碱缺乏,脂肪代谢紊乱,一方面会造成肌肉功能不足机体疲劳及相关的心血管疾病;另一方面还会造成脂类物质在肌纤维和肝脏中积累产生肥胖、脂肪肝等。低热量饮食和运动可使体重减轻,但这些都会诱发左旋肉碱缺乏。近年研究证实,左旋肉碱具有减肥、改善缺血性心肌功能和代谢、降血脂、增强精子活力等多种保健功能^[32-37]。因此将左旋肉碱作为功能性食品添加或服用将有重大的意义。

3.1 用于减肥、健美等保健食品

随着人们生活水平的提高,物质生活有了很大程度的提高,导致了肥胖人数的增加,而肥胖带来的一系列“富贵病”问题又给我国现行的医疗带来了很大的压力。目前肥胖已成为发达国家最重要的医学公共卫生学问题之一,据报道,美国儿童的肥胖患病率为5%~25%^[38]。

调查研究表明,人越胖,脂肪越多,身体里的左旋肉碱就越少,说明了肥胖人士更加应该补充左旋肉碱。研究表明,荷叶提取物和左旋肉碱的混合物可以减少三酰甘油在人体脂肪细胞的积聚,这种混合物有可能治疗与肥胖相关的疾病;用魔芋精粉加左旋肉碱配方对肥胖患者进行膳食干预,也有很好的减肥效果^[39]。

左旋肉碱是优良的减肥活性物质,是膳食的正常成分,其主要功能是帮助长链脂肪酸进行脂肪酸的 β -氧化,有利于人体对脂肪的利用,包括燃烧多余的脂肪用作能量,可用作减肥功能食品,且对身体无副作用。补充左旋肉碱同时注意加强锻炼^[40],可以使体内积累的脂肪被氧化利用^[41],从而达到减肥的功。它可以减轻体重,减轻体内脂肪含量,具有减肥作用,并且是一种很理想的不用节食、不厌食、不乏力、不腹泻的减肥方法^[14]。

3.2 用于婴儿食品强化营养剂

研究表明,左旋肉碱不仅在能量产生和脂肪代谢过程中起重要作用,而且在维持婴儿生命及促进婴幼儿发育的某些生理过程,如生酮作用、氮代谢等方面均具有一定的功能^[42]。一般来说,成人能够自己合成维持正常代谢所需的左旋肉碱浓度,但婴幼儿体内合成左旋肉碱能力极低,只有成人的15%,尤其是早产儿,因其生化合成机能未完整,不能满足其正常代谢需要,所以每日给婴儿补充肉碱是必需的,因此需要在婴儿配方食品中添加适量的左旋肉碱以满足其生理需要。母乳中左旋肉碱含量较高,婴儿自身不能合成肉碱,主要靠母乳供给。但随着社会的发展,许多母亲由于工作等原因不能母乳哺喂婴儿,往往选用市售奶粉喂养婴儿^[43]。现今绝大多数婴儿都不同程度地选择婴儿配方食品,进行左旋肉碱的强化非常重要,尤其是婴幼儿配方食品。因为大豆中左旋肉碱的含量很低(我国对以豆类为基础的婴儿配方食品的左旋肉碱限量为70~90 mg/kg (GB14880-1994)),目前,世界上已有22个国家和地区在婴儿奶粉中加入左旋肉碱,国内也有添加左旋肉碱的乳化奶粉上市。

3.3 用作中老年人的营养补充剂

中老年人随着年龄的增长,体内左旋肉碱的含量

不断减少,老年人也很容易患肉碱缺乏症。左旋肉碱的减少将导致心肌细胞活力减退,同时老年人体内合成能力下降,如果不注意补充,会增加心血管疾病以及心脏病的发病率。

老年人易患老年性神经系统病症(老年痴呆症、帕金森症等),肉碱的衍生物与神经传递—乙酰胆碱的生成有关,并且该衍生物极易通过血脑屏障进入大脑组织。通过增加肉碱衍生物可以增加乙酰胆碱,从而起到治疗神经系统疾病的作用。故需补充左旋肉碱以利于心肌能力的增强^[44]。

3.4 素食主义者营养强化剂

左旋肉碱是人体需要的重要营养食品强化剂,FDA评价其属于安全物质,ADI值为 $20\text{ mg/kg}\cdot\text{d}^{-1}$,成人每日摄入量最大为 1200 mg/人 ,可作食品营养强化剂^[13]。素食者虽然减少了饱和脂肪酸和胆固醇的摄入量,减少了冠状动脉等疾病发生的潜在威胁。但蔬菜中肉碱含量很少,会引起肉碱缺乏症。人体每日的需求量来自于饮食摄入和人体的生物合成。在正常条件下,每日通过饮食吸收的肉碱量约为 50 mg ,生物合成的肉碱量约为 20 mg 。绝对素食主义者每天吸收的肉碱量约为 5 mg ,对肉碱的需求几乎完全依赖于肉碱的生物合成。

3.5 用于运动员的营养补充剂

左旋肉碱是膳食的正常成分,其主要功能是帮助长链脂肪酸进行脂肪酸的 β -氧化,有利于人体对脂肪的利用。体育运动后人体肌肉组织中的游离肉碱浓度下降 20% 左右,可以通过补充外源左旋肉碱而得到改善,从而促进体内脂肪氧化产能,提高运动成绩。左旋肉碱是运动员的重要补充营养物质,运动时肌肉中的左旋肉碱含量增加,使其转化,可最大限度地提高人体摄氧量,使体能充分发挥。目前,国内外均有以L-肉碱为生理活性成分的运动员饮料,一日摄取左旋肉碱 $7.5\sim 10\text{ g}$,有相当好的增强体力、抗疲劳能力、耐受力及增强爆发力的效果。在国内的运动界,许多人已开始注重补充左旋肉碱,主要用于减脂、增强耐力和抗疲劳。若想通过肉碱增加耐力,则应在赛前数周就开始连续服用^[45]。

3.6 糖尿病患者专用食品

代谢综合症(metabolic syndrome, MS)是伴随心血管疾病和代谢危险因素聚集的一种复杂的临床病理状态,会增加心血管疾病和II型糖尿病的患病风险^[46-47],肥胖也可以引起糖尿病。糖尿病存在着部分脂肪代谢紊乱现象,而且还能够引起很多并发症,如糖尿病型神经病,通过服用肉碱的某种衍生物可以治疗或减轻该类疾病。

糖尿病人以及患有肾功能疾病的人尿液排泄过多,体内左旋肉碱的消耗量大,靠自身的合成不能满足需要,易导致左旋肉碱缺乏,需要长期补充左旋肉碱以满足身体的需求。研究表明,服用左旋肉碱可以降低糖尿病大鼠血清游离脂肪酸和体质量^[48],2型糖尿病患者口服左旋肉碱可以降低氧化低密度脂蛋白胆固醇水平^[49],西布曲明+左旋肉碱比单独使用西布曲明在糖尿病患者中能更好地控制血脂、胰岛素抵抗参数、血糖和体质量^[50]。

3.7 抗疲劳食品

由于左旋肉碱是肌肉的天然成分,过量摄入损伤甚微,且左旋肉碱可以转运活化的长链脂肪酸进入线粒体内膜,促进有氧代谢和无氧代谢。补充左旋肉碱对正常人和运动员的血液生化指标影响很小,但却可以提高人体最大摄氧量。赵亚明等^[51]对经临床确诊的血浆左旋肉碱含量低于正常的慢性疲劳综合症患者补充左旋肉碱,结果10例病人全部有效,其中7例完全治愈,3例症状明显改善,全部病人的血浆左旋肉碱含量达到正常水平。解放军总后勤部军需装备研究所研制了添加大豆低聚肽和左旋肉碱的功能性饮料,其中大豆低聚肽易于消化,能提供全面高效的蛋白营养,而左旋肉碱能迅速分解脂肪,释放能量,恢复体力,获得了较好的试验效果,将在部队训练等军事活动中推广应用。在进一步研究左旋肉碱的最佳使用剂量和方式的基础上,左旋肉碱在运动医学及抗疲劳食品的研究开发上将会有良好的应用前景^[28]。

4 展望

膳食中补充左旋肉碱有增加脂肪分解的作用,但在膳食中同时添加左旋肉碱、魔芋精粉和膳食纤维可以在功能上互补,达到双重的效果,使得减肥的效果加强,既减少摄入量,又加快脂肪燃烧,因此左旋肉碱可以做成减肥食品,控制体质量,服务广大肥胖患者和糖尿病患者。

目前左旋肉碱仅有瑞士、意大利和日本等少数国家生产,国内的需求全靠进口,价格昂贵。国内对此产品的研究开发甚少,亟待国内科研人员投入到左旋肉碱的研究和开发工作中,以填补国内在这一领域的空白。随着医疗科学技术水平的不断进步,人民生活水平的提高,左旋肉碱新的用途还将得到更大的拓展。

参考文献

- [1] 胡梦红,王有基. 新型水产饲料添加剂-左旋肉碱[J]. 现代渔业信息, 2006, 21(6): 18-23.

- Hu Menghong, Wang Youji. The prospect of L-carnitine as a additive in fish diets [J]. *Modern Fisheries Information*, 2006, 21 (6): 18-23.
- [2] 李成良, 张海燕, 周安国. L-肉碱在动物营养中的质和量[J]. *养殖与饲料*, 2006(12): 27-31.
- [3] 李海军, 邵庆均, 聂月美. L-肉碱在水产动物中的应用[J]. *饲料工业*, 2006, 27(10): 56-58.
- Li Haijun, Shao Qingjun, Nie Yuemei. Application of L-carnitine in marine lives[J]. *Feed Industry*, 2006, 27(10): 56-58.
- [4] 王立新, 周继术, 王涛, 等. L-肉碱对鲫鱼生长和肌肉营养成分的影响[J]. *淡水渔业*, 2005, 35(5): 19-21.
- [5] 杨彩梅. 半胱胺、L-肉碱对肥育猪生长性能和胴体品质的影响[J]. *养猪*, 2005(4): 17-19.
- [6] 罗正茂, 王寅, 张虹, 等. 左旋肉碱在维持性血透患者治疗中的作用[J]. *广东医学*, 2005, 26(9): 1 225-1 226.
- [7] 顾谊铮, 朱萍. 左旋肉碱在血液透析患者中的应用[J]. *中国中西医结合肾病杂志*, 2007(11): 654-655.
- [8] 金惠敏. 左旋肉碱对血透中低血压和血 C 反应蛋白的影响[J]. *中华肾脏学杂志*, 2005, 21(11): 640.
- [9] 李军, 张玲霞, 王永怡. 左旋肉碱对肝脏疾病的治疗[J]. *传染病信息*, 2005, 18(S1): 56.
- [10] 王陆, 王可平, 于长青, 等. 左-旋肉碱与促红素合用治疗尿毒症肾性贫血的疗效观察[J]. *大连医科大学学报*, 2005, 27 (6): 433-435.
- Wang Lu, Wang Keping, Yu Changqing, et al. L-carnitine effects on anemia in uremic patients treated with erythropoietin[J]. *Journal of Dalian Medical University*, 2005, 27(6): 433-435.
- [11] 王鸳鸯, 赵彦华. L-肉碱研究现状及其应用[J]. *食品科技*, 2006, 31(3): 136-139.
- Wang Yuanyang, Zhao Yanhua. Current situation about the study of L-carnitine and its application[J]. *Food Science and Technology*, 2006, 31(3): 136-139.
- [12] 吴兴人. 左旋肉碱在化妆品中的应用[J]. *中国洗涤用品工业*, 2005(3): 84-85.
- [13] 高建峰, 顾文秀. 左旋肉碱: 新型多功能营养添加剂[J]. *化学教学*, 2005(10): 37-39.
- [14] Goudriaan J R, Den Boer M A, Rensen P C, et al. CD 36 deficiency in mice impairs lipoprotein lipase-mediated triglyceride clearance[J]. *J Lipid Res*, 2005 (46): 2 175-2 181.
- [15] 范晶晶, 吕超, 滕文娇, 等. 左旋肉碱与代谢综合征关系的研究进展[J]. *医学综述*, 2011, 17(15): 2 356-2 357, 2 360.
- Fan Jingjing, Lv Chao, Teng Wenjiao, et al. Development of the studies on relationships between L-carnitine and metabolic syndrome [J]. *Medical Recapitulate*, 2011, 17 (15): 2 356-2 357, 2 360.
- [16] Bremer J. Carnitine; metabolism and functions[J]. *Physiol Rev*, 1983(63): 1 420-1 480.
- [17] Kaneko T, Yoshida R. On the absolute configuration of L-carnitine [J]. *Bull Chem Soc Jpn*, 1962(35): 1 153-1 155.
- [18] 江恒. 左旋肉碱对顺铂损伤大鼠肾脏保护作用的实验研究[D]. 重庆: 第三军医大学, 2006.
- Jiang Heng. Protective effects of L-carnitine on the cisplatin-induced kidney damage in rats [D]. Chongqing: Third Military Medical University, 2006.
- [19] Ji H, Bradley T M. Atalantic salmon(salmon salar)fed L-carnitine exhibit altered intermediary metabolism and reduced tissue lipid, but no change in growth rate[J]. *Journal of Nutrition*, 1996, 126 (8): 1 937-1 950.
- [20] Jeltje R Goudriaan, Marion A M den Boer, Patrick C N Rensen, et al. CD 36 deficiency in mice impairs lipoprotein lipase-mediated triglyceride clearance[J]. *The Journal of Lipid Research*, 2005 (46): 2 175-2 181.
- [21] 刘晓庚, 王四清. L-肉碱研究和应用进展[J]. *粮食与油脂*, 2005(9): 41-43.
- Liu Xiaogeng, Wang Siqing. Progress in studies and application of L-carnitine[J]. *Journal of Cereals & Oils*, 2005(9): 41-43.
- [22] 施健, 刘苏, 谢渭芬. 左旋卡尼汀与肝病[J]. *中华肝脏病杂志*, 2005, 13(7): 556-558.
- [23] Brass E P, Beyerinck R A. Effects of propionate and carnitine on the hepatic oxidation of short-and medium-chainlength fatty acids [J]. *Biochem J*, 1988(250): 819-825.
- [24] Colquhoun A. Induction of apoptosis by polyunsaturated fatty acids and its relationship to fatty acid inhibition of carnitine palmitoyltransferase I activity in Hep2 cells[J]. *Biochem Mol Biol Int*, 1998 (45): 331-333.
- [25] Helms R. Enhanced lipid utilization in infants receiving oral L-carnitine during long-term parenter nutrition [J]. *J Pediat*, 1986 (109): 984.
- [26] 马犁, 马健飞, 丁红, 等. 左旋肉碱对高糖条件下人腹膜间皮细胞增值、凋亡及纤维连接蛋白分泌的影响[J]. *中国医科大学学报*, 2006, 35(4): 27-28, 36.
- Ma Li, Ma Jianfei, Ding Hong, et al. Effects of L-carnitine on proliferation, apoptosis, and fibronectin secretion of human peritoneal mesothelial cells under high glucose condition[J]. *Journal of China Medical University*, 2006, 35(4): 27-28, 36.
- [27] 周筱燕, 陈静, 刘常秀, 等. 左旋肉碱抗疲劳实验研究[J]. *热带医学杂志*, 2011, 11(7): 740-742.
- Zhou Xiaoyan, Chen Jing, Liu Changxiu, et al. Empirical study on anti-fatigue effect of L-Carnitine[J]. *Journal of Tropical Medicine*, 2011, 11(7): 740-742.
- [28] 王贺元, 钱雪松. 左旋肉碱的抗疲劳作用[J]. *实用医学杂志*, 2005, 21(9): 994-995.
- [29] Kanter M M, Williams M H. Antioxidants, carnitine and cholines as putative ergogenic aids [J]. *Int J Nutr*, 1995, 5 (6): 120-131.
- [30] 李铮, 陈国武, 商学军, 等. 左旋肉碱和乙酰左旋肉碱合用治疗少弱精子症有效性与安全性的多中心随机对照临床研究[J]. *中华男科学杂志*, 2005, 11(10): 761-764.
- Li Zheng, Chen Guowu, Shang Xuejun, et al. A controlled randomized trial of the use of combined L-carnitine and acetyl-L-carnitine treatment in men with oligoasthenozoospermia [J]. *National Journal of Andrology*, 2005, 11(10): 761-764.
- [31] 杭军, 田素清. L-肉碱作为饲料添加剂的应用现状及发展趋势[J]. *畜禽业*, 2006(6): 25-27.
- [32] 张宝花. L-肉碱配合运动对女性身体形态的影响[J]. *山西大同大学学报: 自然科学版*, 2010, 26(2): 83-96.
- Zhang Baohua. The influence of L-carnitine on the body shape of women[J]. *Journal of Shanxi Datong University: Natural Science Edition*, 2010, 26(2): 83-96.
- [33] 黄宗锈, 林健, 林春芳. 左旋肉碱对肥胖人员减肥作用的效果

- 观察[J]. 预防医学论坛, 2007, 13(1): 6-8.
- Huang Zongxiu, Lin Jian, Lin Chunfang. Assessment of L-carnitine's weight control function in obese population[J]. Preventive Medicine Tribune, 2007, 13(1): 6-8.
- [34] 袁兆新, 李金成, 孙连坤. 左旋肉碱在心肌缺血-再灌注损伤中的疗效分析[J]. 中国医药研究, 2004, 2(6): 24-26.
- [35] 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, 9(1): 29-31.
- Fan Xue, Yan Zheng. The effect of organic chromium, L-carnitine and aerobics exercise on the lipid metabolism of rats with high fat diet[J]. Journal of Nanjing Institute of Physical Education: Natural Science, 2010, 9(1): 29-31.
- [36] 李延兵, 梁奕铨, 秦婉文, 等. 左旋肉碱在超重2型糖尿病病人中的作用[J]. 中山医科大学学报, 2000, 21(3): 215-218.
- Li Yanbing, Liang Yiquan, Qin Wanwen, et al. L-carnitine in overweight type 2 diabetes mellitus[J]. Journal of Sun Yat-Sen University of Medical Sciences, 2000, 21(3): 215-218.
- [37] 柳建明, 姜辉, 洪锴, 等. 男性不育患者精浆中游离睾酮、游离左旋肉碱水平与精液参数的相关性分析[J]. 第二军医大学学报, 2010, 31(7): 767-769.
- Liu Jianming, Jiang Hui, Hong Kai, et al. Correlation analysis of seminal plasma free testosterone and L-carnitine with semen parameters[J]. Journal of Second Military Medical University, 2010, 31(7): 767-769.
- [38] Prentice A M. The emerging epidemic of obesity in developing countries[J]. Int J Epidemiol, 2006(35): 93-99.
- [39] 乔玲, 卢锋, 欧阳春花. 魔芋精粉和左旋肉碱对肥胖人膳食干预的效果[J]. 解放军预防医学杂志, 2005, 23(2): 86.
- Qiao Ling, Lu Feng, Ouyang Chunhua. Dietary intervention of conjac and L-carnitine on obese people [J]. Journal of Preventive Medicine of Chinese People's Liberation Army, 2005, 23(2): 86.
- [40] Ji H, Outterbridge L V, Friedman M I. Phenotype-based treatment of dietary obesity: differential effects of fenofibrate in obesity-prone and obesity-resistant rats[J]. Metabolism, 2005, 54(42): 1-9.
- [41] Dourmashkin J T, Chang G Q, Hill J O, et al. Model for predicting and phenotyping at normal weight the long-term propensity for obesity in Sprague-Dawley rats[J]. Physiol Behav, 2006 (87): 666-678.
- [42] 周书凤, 何志谦, 刘建平, 等. 左旋肉碱对肥胖青少年体重综合征性控制的影响[J]. 营养学报, 1997, 19(2): 146-150.
- Zhou Shufeng, He Zhiqian, Liu Jianping, et al. L-carnitine's effect on comprehensive weight loss program in obese adolescents [J]. Acta Nutrimenta Sinica, 1997, 19(2): 146-150.
- [43] 邱树毅, 王广莉. 一种新型食品营养强化剂-左旋肉碱[J]. 广州食品科技, 1998, 14(2): 51-53.
- [44] 田景莹. 左旋肉碱在医疗、保健食品领域的研究应用新进展[J]. 现代生物医学进展, 2006, 6(2): 95-96.
- Tian Jingxuan. Application of levo-carnitine in medical treatment and health food [J]. Progress in Modern Biomedicine, 2006, 6(2): 95-96.
- [45] 王泽军, 褚昕宇, 徐明. 肉碱在体育运动与身体健康中的作用研究进展[J]. 内蒙古民族大学学报: 自然科学版, 2005, 20(3): 348-350.
- Wang Zejun, Chu Xinyu, Xu Ming. The effect of carnitine on metabolism and exercise ability[J]. Journal of Inner Mongolia University for Nationalities: Natural Sciences, 2005, 20(3): 348-350.
- [46] Pei D, Kuo S W, Wu D A, et al. The relationship between insulin resistance and components of metabolic syndrome in Taiwanese Asians[J]. Int J Clin Pract, 2005, 59(12): 1 408-1 416.
- [47] Sheu W H, Chuang S Y, Lee W J, et al. Predictors of incident diabetes, metabolic syndrome in middle-aged adults: a 10-year follow-up study from Kinmen, Taiwan[J]. Diabetes Res Clin Pract, 2006, 74(2): 162-168.
- [48] 王丽敏, 葛杰, 尹锡玲, 等. 左旋卡尼汀对糖尿病大鼠血糖及游离脂肪酸影响[J]. 中国公共卫生, 2008, 24(10): 1 248-1 249.
- Wang Limin, Ge Jie, Yin Xiling, et al. Effects of L-Carnitine on FPG and FFA in diabetes mellitus rats[J]. Chinese Journal of Public Health, 2008, 24(10): 1 248-1 249.
- [49] Malaguranera M, Vacante M, Avitabile T, et al. L-carnitine supplementation reduces oxidized LDL cholesterol in patients with diabetes[J]. Am J Clin Nutr, 2009, 89(1): 71-76.
- [50] Derosa G, Maffioli P, Salvadeo S A, et al. Sibutramine and L-carnitine compared to sibutramine alone on insulin resistance in diabetic patients[J]. Intern Med, 2010, (49): 1 717-1 725.
- [51] 赵亚明, 刘占东, 陈珺, 等. 左旋肉碱治疗慢性疲劳综合征的研究[J]. 临床和实验医学杂志, 2004, 3(3): 133.
- Zhao Yaming, Liu Zhandong, Chen Jun, et al. Studying of therapy with L-carnitine in chronic fatigue syndrome [J]. Journal of Clinical and Experimental Medicine, 2004, 3(3): 133.