

## 减肥三十六计，左旋肉碱为上计？

陈川秀丽，侯嘉希，张媛媛，刘兴阳，唐佑林，倪浩洲，黄莉秦，张笛，张园园，  
刘东芳\*

西华大学理学院，成都 610039

**摘要：**左旋肉碱，细胞城的“能量使者”，负责将长链脂肪酸送入线粒体进行 $\beta$ -氧化，释放能量。本文拟人化地描绘了其生物合成、组织分布、运输机制及在脂肪酸代谢中的关键作用，强调其在促进减肥和健康改善中的重要性，旨在普及左旋肉碱的科学知识，提升公众对其重要性的认识。

**关键词：**左旋肉碱；脂肪酸代谢； $\beta$ -氧化

**中图分类号：**G64；O6

## Thirty-Six Strategies for Weight Loss: Is L-Carnitine the Ultimate Solution?

Chuanxiuli Chen, Jiaxi Hou, Yuanyuan Zhang, Xingyang Liu, Youlin Tang, Haozhou Ni, Liqin Huang,  
Di Zhang, Yuanyuan Zhang, Dongfang Liu \*

School of Science, Xihua University, Chengdu 610039, China.

**Abstract:** L-Carnitine, the “energy messenger” of the cellular city, plays a crucial role in transporting long-chain fatty acids to the mitochondria for  $\beta$ -oxidation and energy release. This article employs an anthropomorphic approach to describe its biosynthesis, tissue distribution, transport mechanism, and pivotal role in fatty acid metabolism. It emphasizes the significance of L-carnitine in promoting weight loss and improving health, aiming to popularize scientific knowledge about L-carnitine and enhance public awareness of its importance.

**Key Words:** L-Carnitine; Fatty acid metabolism;  $\beta$ -Oxidation

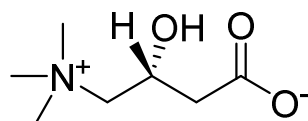
### 1 揭开化学小探险家的神秘面纱

在奇妙细胞城里，左旋肉碱的故事，无疑是一段传奇。1905年，在现实的科学世界里，Gulewitsch和Krimberg从肉类提取物中首次发现了L-肉碱(也就是左旋肉碱)<sup>[1]</sup>。这位身怀绝技的探险家，不仅拥有独特的化学结构(如图1)，而且还是促使脂肪转化为能量的类氨基酸使者。他的诞生地是奇妙细胞城中的肝脏、肾脏和大脑区域。在这里，他是必需氨基酸——赖氨酸和蛋氨酸这两位忠诚伙伴的参与下内源性合成的<sup>[2,3]</sup>。心脏和骨骼肌为他的两处大本营，储存量高达95%<sup>[4]</sup>，而在肝脏、肾脏和血浆中的浓度则要低得多。然而，在细胞城中的生物合成研究所中<sup>[5]</sup>，左旋肉碱的生物合成量仅占日常需求的25%<sup>[6,7]</sup>。为了保证细胞城中居民能健康快乐地生活下去，则需要从饮食或营养补充剂中获取。可以从动物膳食，尤其是红色肉类中补充，而植物膳食中的含量较少<sup>[8]</sup>。

收稿：2024-12-11；录用：2025-03-04；网络发表：2025-08-26

\*通讯作者，Email: liudongfang@xhu.edu.cn

基金资助：西华大学2023年度教育教学改革研究项目(xjgg2023082)；四川省研究生教育教学改革项目(YJGXM24-B028)



L-carnitine

图1 左旋肉碱化学结构式

## 2 守护使者的生理功能与使命

随着时间的推移，细胞城的居民们逐渐了解了左旋肉碱，其最基本的功能就是对长链脂肪酸的氧化作用，这一过程是在线粒体内产生的，其他生物分子也有类似的功能<sup>[9]</sup>，而左旋肉碱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，于线粒体基质内进行 $\beta$ -氧化，从而产生能量<sup>[10]</sup>。同时，它还有助于加速人体的新陈代谢，促使体内的脂肪燃烧，并清理肠道内的有毒物质、抑制脂肪的形成等多种功能。

在细胞城的某个角落，有一个名叫胖仔的脂肪细胞。他因为过度肥胖而经常受到其他细胞的嘲笑和排挤。胖仔感到非常自卑和沮丧，他渴望能够改变自己，成为一个健康、自信的细胞。

胖仔在公园跑步的时候遇到了左旋肉碱能量使者。左旋肉碱看着胖仔无助的眼神，决定帮助他走出困境。他向胖仔介绍了自己的能力，并承诺帮助他减肥，重拾自信。

于是，左旋肉碱开始带领胖仔进行一系列的锻炼和饮食调整。首先，他带领胖仔了解他自己的身体，然后慢慢学会控制自己体内的物质。胖仔很疑惑：“这样做有什么意义吗？”左旋肉碱只是笑而不语，依旧帮助胖仔慢慢学会掌控自己。在胖仔能彻底掌控自己后，左旋肉碱便让胖仔将自己体内多余的脂肪酸与辅酶A在细胞质中汇集并调集一定量的三磷酸腺苷(ATP)，在胖仔惊奇的目光注视下脂肪酸的羧基( $-\text{COOH}$ )与辅酶A中的巯基( $-\text{SH}$ )在三磷酸腺苷(ATP)与脂酰辅酶A合成酶(硫激酶)的作用下缓慢地发生分子间脱水并通过高能磷酸键形成硫代酯，具体过程左旋肉碱与辅酶A通过酯键结合，形成酰基肉碱。酯键发生水解，释放出游离的左旋肉碱和酰基辅酶A。随后，酰基辅酶A与巯基结合，形成硫代酯键，大量单磷酸腺苷(AMP)与焦磷酸(PPi)也随之一同产生<sup>[11]</sup>(图2)。简单来说，左旋肉碱就像是一个“搬运工”，帮助脂肪酸进入线粒体进行燃烧，产生能量。

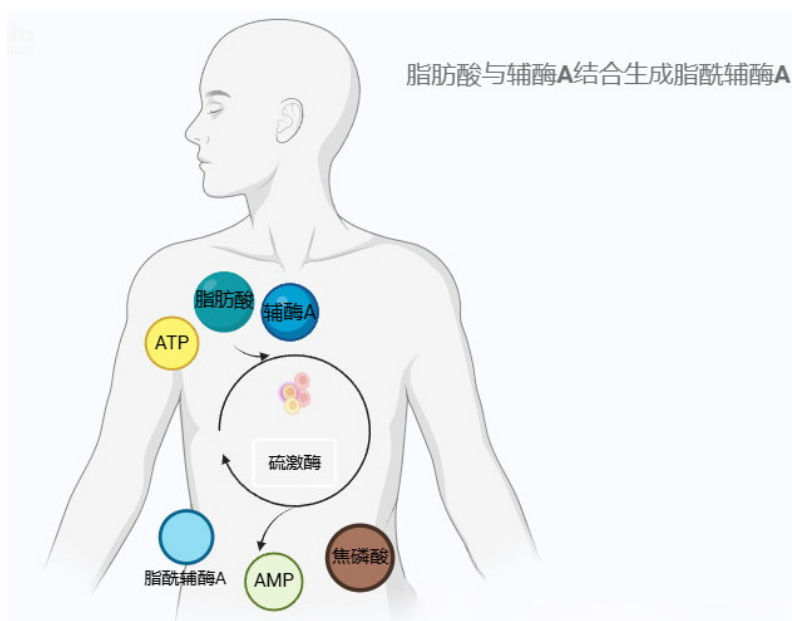


图2 脂肪酸与辅酶A结合生成脂酰辅酶A

随后焦磷酸迅速发生水解，使得更多的脂肪酸被活化。左旋肉碱见自己发挥作用的前提已经满足，便立即进入胖仔体内召集更多的同伴们将反应合成的脂酰辅酶A聚集到线粒体外膜上，在自己的得力助手肉碱棕榈酰转移酶 I (CPT I) 的帮助下将脂酰辅酶A上的脂酰基( $R-COO-R_1$ )连接到自己身上形成脂酰肉碱，并通过线粒体内膜上的移位酶(CACT)进入线粒体基质，由其中的肉碱棕榈酰转移酶 II (CPT II) 将自己身上的脂酰辅酶A卸下重新变回左旋肉碱后，最后通过移位酶(CACT)穿出线粒体膜<sup>[12]</sup> (图3)。

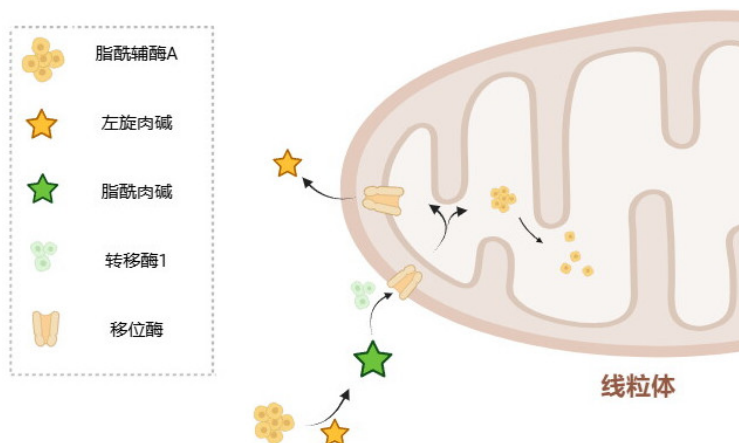


图3 左旋肉碱辅助长链脂肪酸进入线粒体的机理图

回到胖仔身边，亲眼目睹了这一切的胖仔有些说不出话来：“这……”左旋肉碱轻轻一笑道：“不用这么惊讶，我这是帮助你并让你自己成功完成了一遍完整的脂肪酸 $\beta$ -氧化分解过程，只要你接下来能够正常且自主完成这一过程并持之以恒，我相信你一定能够减肥成功瘦下来的！”与此同时，他耐心地指导胖仔进行有氧运动，帮助他消耗多余的脂肪，还鼓励胖仔多吃富含膳食纤维的食物，以促进肠道蠕动，减少脂肪的吸收。

在左旋肉碱的帮助下，胖仔逐渐感受到了身体内脂肪酸的消耗，脂肪酸经过 $\beta$ -氧化分解过程产生的大量能量逐渐充盈他的身体，他的自信心也逐渐恢复。他不再害怕与其他细胞交流，甚至开始主动参加细胞城的各种活动。

### 3 能量补充征途的波折

在细胞城的深处，许多细胞都渴望通过补充左旋肉碱来获得更多的能量和活力。然而，并不是所有的补充都是安全无害的。一些细胞在盲目追求效果的过程中，陷入了危机四伏的补充之路。

有一天，细胞城里新加入了一位名叫小强的健身细胞。他热衷于各种高强度运动，希望通过补充左旋肉碱来提高自己的运动表现。小强听说红色肉类中富含左旋肉碱，于是开始大量食用牛肉、羊肉等肉类。起初，小强确实感受到了身体的变化。他的肌肉变得更加结实，运动耐力也显著提高。然而，随着时间的推移，小强开始出现晚上睡眠质量不佳同时，感到胃部不适，经常出现胃痛、胃胀等症状。他意识到，可能是自己的饮食习惯出了问题。小强决定去找细胞城的医生咨询。医生经过检查发现，小强因为过度摄入红肉，导致肠胃负担过重，引发了消化不良和胃炎。同时，由于红肉中含有较高的脂肪和胆固醇，小强的血脂水平也开始升高，增加了心血管疾病的风险。医生告诉小强，虽然左旋肉碱确实对运动表现有积极作用，但并不意味着可以无限制地摄入，长期使用左旋肉碱可能会对食物产生厌恶感，导致营养缺失，进而出现营养不良的情况。过度摄入左旋肉碱可能会加重肾脏的负担，甚至严重时引发肾功能损害。医生建议小强适量摄入红肉，并结合其他富含左旋肉碱的食物，如鸡肉、鱼肉等，以保持营养的均衡。

然而，危机并没有结束。在细胞城里，还有一些细胞因为盲目追求左旋肉碱的效果，而陷入了更加严重的危机。他们听信了某些不良商家的宣传，购买了所谓的“高效左旋肉碱补充剂”。这些补充剂中往往含有过量的左旋肉碱或其他不明成分，对身体的危害极大。一些细胞在服用这些补充剂后，出现了心悸、失眠、头晕等症状。建议服用左旋肉碱的剂量在每天1–5 g之间，超过5 g可能会导致腹泻<sup>[13]</sup>。有的甚至因为过敏反应而住进了医院。细胞城的医生们紧急发布了警告，提醒居民们不要盲目购买和使用未经认证的左旋肉碱补充剂。

在危机四伏的补充之路上，细胞城的居民们逐渐认识到了正确补充左旋肉碱的重要性。他们开始更加注重饮食的均衡和运动的适量，避免过度依赖任何营养补充剂。同时，他们也学会了如何辨别和选择正规、安全的左旋肉碱产品，以确保自己的健康和安全。

#### 4 能量小子的奇妙实验

随着能量小子的名声大噪，帮助了许多细胞城居民成功地瘦了下来，减少了肥胖疾病的危害，是当之无愧的关键先生。但这一天神奇的能量小子左旋肉碱却坐在公园的椅子上唉声叹气，原来是他想要帮助更多的细胞更有效地减少脂肪——这是他的发现者们Gulewitsch, Krimberg赋予他的使命。所以能量小子心事重重地看着线粒体先生们在公园里运动锻炼，时不时地还会有葡萄糖变成CO<sub>2</sub>和H<sub>2</sub>O冒出体外，他盯着那些活跃的线粒体，突然灵光一闪：“对呀！我可以尝试在有氧运动状态下，启用我的能力，或许效果会更加好。”这个念头让他一下子跳了起来。回到家后，立刻开始查找资料找到了高强度间歇式(HIIT)的有氧运动和中强度持续(MICT)的有氧运动这两种对于燃烧脂肪有用的方法。然后能量小子便发动名气的力量，召集来了一批志愿者细胞，将细胞们分成四组HIIT左旋肉碱组、HIIT空白组、MICT左旋肉碱组、MICT空白组。通过观察他们一周运动能量的消耗速率和脂肪利用率的一系列测定。能量小子得出了几个重要结论<sup>[14]</sup>：剧烈运动的细胞比仅进行步行的细胞减脂效果更好，并且在左旋肉碱辅助下运动的细胞身体恢复得更快。

于是能量小子左旋肉碱得出结论：在与有氧运动的联合下，能更有效地减脂。此结论一出，很快细胞城就陷入到运动当中去，而我们的能量小子的传奇仍在继续。

#### 5 结语

在细胞城的奇妙冒险中，左旋肉碱这位“能量使者”不仅揭示了其在细胞能量代谢中的关键角色，也向我们展示了其在促进健康和预防疾病方面的巨大潜力。细胞城的居民们通过左旋肉碱的帮助，不仅改善了自身的能量代谢，还学会了如何通过科学的饮食和运动来维持健康的生活方式。探险队的勇敢探索和科学家们的不懈努力，最终找到了稳定可靠的左旋肉碱来源，为细胞城的未来奠定了坚实的基础。最终，细胞城的居民们在左旋肉碱的帮助下，不仅增强了身体素质，也提升了生活质量，共同创造了一个更加和谐、健康的细胞社区。

#### 参 考 文 献

- [1] Gulewitsch, W.; Hoppe-Seyler, Z. *Physiol. Chem.* **1905**, *45*, 326.
- [2] Bremer, J. *Physiol. Rev.* **1983**, *63*, 1420.
- [3] Tanphaichitr, V.; Broquist, H. P. *J. Biol. Chem.* **1973**, *248*, 2176.
- [4] Brass, E. P. *Clin. Ther.* **1995**, *17*, 176.
- [5] 陈子鹏, 赵钰沁, 王宸, 王秀秀, 魏炜, 赵劲. *大学化学*, **2022**, *37* (3), 2110003.
- [6] Vaz, F. M.; Wanders, R. J. *Biochem. J.* **2002**, *361*, 417.
- [7] Tein, I.; Bukovac, S. W.; Xie, Z. W. *Arch. Biochem. Biophys.* **1996**, *329*, 145.
- [8] 朱静华, 丛林, 张兆臣. *田径*, **2020**, No. 9, 84.

- [9] 李玖瑾, 傅熙容, 郑雪, 刘语涵, 李宝. 大学化学, **2024**, *39* (9), 35.
- [10] 余强兵, 叶青. 浙江大学学报(农业与生命科学版), **1999**, No. 4, 90.
- [11] Adeva-Andany, M. M.; Calvo-Castro, I.; Fernández-Fernández, C.; Donapetry-García, C.; Pedre-Piñeiro, A. M. *IUBMB Life* **2017**, *69*, 578.
- [12] Strijbis, K.; Vaz, F. M.; Distel, B. *IUBMB Life* **2010**, *62*, 357.
- [13] 陈晓云. 科技信息, **2012**, No. 8, 417.
- [14] 刘小琦. 不同运动模式联合左旋肉碱对男性大学生能量代谢和身体成分的影响[硕士学位论文]. 北京: 首都体育学院, 2023.