

耐力运动的燃料策略：糖类摄入对健康与运动表现的影响深度分析

前言：碳水化合物——耐力运动的基石燃料

碳水化合物，俗称“糖类”，是人体最直接、最高效的能量来源。对于耐力运动员而言，它不仅仅是训练和比赛中的主要燃料，更是决定运动表现和延缓疲劳的关键因素。在运动强度超过最大摄氧量 (VO2 max) 60%时，三磷酸腺苷(ATP)的产生主要依赖于血糖和肌肉肝糖原的氧化分解¹。体内的糖原储备，包括肌糖原和肝糖原，是有限的。如果不通过外界摄入能量，人体内的糖原会在大约18小时内耗尽，而其存量不足是导致疲劳、运动表现下降以及无法持续运动的主要原因³。

本报告旨在超越“多吃碳水”这一笼统概念，从生理学、代谢机制和应用策略三个维度，为耐力运动员提供一份基于权威研究的糖类摄入指南。报告将首先剖析日常饮食中糖的类别及其生理特性，随后深入分析不同糖类对运动表现和健康的双重影响，最终提供一套科学、可操作的糖摄入策略。

第一部分：日常饮食中糖的分类与生理特性解析

1.1 糖类的基本分类与食物来源

从化学结构上看，日常饮食中的糖类可分为三大类：单糖、双糖和多糖⁵。

- 单糖 (Monosaccharides)**：是糖类的基本组成单位，无法再被水解。主要包括葡萄糖、果糖和半乳糖⁵。葡萄糖是其中最重要的单糖，因为它是大脑的主要能量来源，并且是所有双糖和多糖的基本组成单位⁶。果糖以其最高的甜度而著称，主要存在于水果和蜂蜜中⁵。
- 双糖 (Disaccharides)**：由两个单糖分子聚合而成。常见的双糖有：蔗糖（由葡萄糖和果糖结合）、麦芽糖（由两个葡萄糖分子组成）和乳糖（由葡萄糖和半乳糖结合）⁵。蔗糖是日常生活中

最常见的食糖，而乳糖则主要存在于奶制品中⁵。

- **多糖(Polysaccharides)**：由成百上千个单糖分子聚合而成。它们通常以长链或分支链的形式存在。主要包括淀粉、糊精、纤维质和肝糖⁵。淀粉是植物储存能量的形式，主要存在于谷物(如大米、面食)、淀粉类蔬菜(如土豆)和豆类中⁷。

1.2 影响吸收与利用的关键指标：升糖指数(GI)

升糖指数(GI)是衡量食物摄入后血糖升高速度和幅度的重要指标。它将食物分为低GI(55或以下)、中GI(56至69)和高GI(70或以上)三类⁸。一般而言，精细加工的食物GI值较高¹⁰。常见的糖类及其GI值包括：葡萄糖100.0、麦芽糖105.0、绵白糖83.8、蜂蜜73.0、蔗糖65.0¹⁰。

高GI食物(如白米饭、白面包)因其结构简单而能被身体快速消化和吸收，导致血糖水平迅速升高⁸。相比之下，低GI食物(如全谷物、豆类、大部分水果和非淀粉类蔬菜)则由于其复杂的结构，消化吸收速度较慢，能提供更平稳的能量释放⁷。

对于运动员而言，GI值并非一个简单的非标准，而是一种根据运动时机进行策略性选择的“工具”。虽然在日常生活中，高GI食物可能导致血糖快速飙升，增加2型糖尿病的风险⁸，但对于耐力运动员来说，在运动中或运动后立即需要快速补充能量时，这种快速升高血糖的特性恰恰是其优势所在。因此，在运动前，摄入中低GI食物(如全谷物、燕麦)可以提供稳定持久的能量，防止运动中血糖骤降；而在运动中或运动后，高GI的糖类(如葡萄糖、麦芽糊精)则能迅速进入血液，为肌肉提供即时燃料或加速糖原再合成。这表明，GI值的应用是动态且有目的性的，其价值完全取决于应用的时机和目标。

1.3 不同糖类的代谢路径与吸收机制

每种糖类在体内的吸收和代谢路径都有所不同，这正是科学运动营养策略的核心。例如，麦芽糊精可以直接被肌肉吸收，有效补充肌糖原¹¹。而果糖则主要用于促进肝糖原的恢复¹¹。

更深层次的机制表明，葡萄糖和果糖的联合摄入并非简单的能量叠加，而是基于其不同的吸收和代谢路径，从而突破了单一糖源的吸收瓶颈，实现了对不同糖原储备库的精准补充。葡萄糖主要通过一种名为SGLT1的转运体吸收，而果糖则主要通过GLUT5转运体吸收¹²。当单一糖源(如葡萄糖)摄入过多时，其特定转运体(SGLT1)会达到饱和，导致吸收效率下降，并可能造成未消化碳水化合物在肠道内堆积，引发胃肠不适¹³。而当同时摄入葡萄糖和果糖时，身体可以额外利用GLUT5转运体，从而增加总的碳水化合物吸收量和利用率，将每小时碳水化合物氧化率从约1.0克/分钟提高至1.2-1.75克/分钟⁴。这种“双通道”策略不仅提升了运动表现的上限，也显著降低了因

单一大量摄入而导致的胃肠道不适风险。

第二部分：不同糖类对耐力运动员的健康与运动表现影响分析

2.1 对运动表现的短期影响：燃料供应与疲劳延缓

糖类摄入对耐力运动表现的短期影响是直接且显著的。在运动过程中，持续摄入糖类可以有效维持血浆葡萄糖水平，并节省体内有限的糖原储备，从而延缓疲劳的发生⁴。美国运动医学会（ACSM）指出，在运动中每小时摄入约30至60克糖是维持血糖水平的首要目标²。有研究表明，相比纯葡萄糖饮料，蔗糖饮料可以带来更好的胃部舒适感，同时也能维持良好的运动状态¹⁵。

此外，运动本身就是一种强大的生理调节手段，可以提高胰岛素敏感性，使肌肉细胞更有效地利用葡萄糖作为能量¹⁷。这种效应在剧烈运动后尤为明显，身体会积极地将血液中的葡萄糖吸收并重新储存为糖原，以备下次训练之需³。

2.2 对训练适应性的长期影响

除了短期效果，科学的糖类摄入对训练适应性具有长远的积极影响。运动后，补充糖原是帮助身体从训练中恢复并为下次运动做准备的关键步骤²⁰。通过最大化肌糖原储备，运动员可以在耐力比赛中长时间保持高水平的运动量，从而延缓疲劳的出现²⁰。

长期规律的运动训练还能增强身体的代谢健康。研究发现，运动可以改善胰岛素抵抗，调节肝脏的糖脂代谢，减少脂质在肝脏中的沉积，并增强肝脏的抗氧化能力和线粒体功能，从而降低氧化应激水平¹⁸。这种适应性变化意味着，运动将身体对糖的代谢模式从“储存脂肪”转变为“高效利用和储存糖原”，从而为高强度训练提供了坚实的生理基础。此外，足量的碳水化合物摄入可以防止肌肉分解，并与蛋白质协同作用，成为肌肉修复和重建的关键⁴。

2.3 与糖摄入相关的健康风险与管理

尽管高糖饮食是耐力运动员的必需，但相关的健康风险仍需警惕。

- 胃肠道不适：在运动中摄入大量碳水化合物时，胃肠道不适是一个普遍问题。未消化的碳水化合物会导致腹胀、产气和胃排空延迟¹³。脱水会加剧这一问题，因为它会导致肠道供血减少¹³。制定一个经过训练和实践的个性化补给策略是解决这一问题的有效方法¹³。
- 长期健康风险：长期的高糖饮食在普通人群中可能诱发肥胖、2型糖尿病、高血压和高血脂²²。然而，对于耐力运动员而言，运动本身作为一种强大的代谢调节剂，有效地抵消了这些潜在的负面影响，甚至将其转化为促进适应性的积极因素。运动训练极大地提高了身体对葡萄糖的利用效率和胰岛素敏感性，这意味着摄入的糖类被高效地转运到肌肉和肝脏进行储存，而不是在血液中持续高浓度或转化为脂肪。这解释了为何运动员可以接受高糖饮食，而普通人却被警告要避免。
- 口腔健康问题：许多能量饮料和能量棒中的高糖和酸性物质会增加蛀牙和牙齿腐蚀的风险²³。有研究发现，尽管运动员通常有更好的口腔卫生习惯，但其蛀牙比例仍然高于普通人群²⁴。因此，运动员应重视口腔健康，使用含氟漱口水和牙膏，并定期看牙医²⁴。

第三部分：耐力运动员最优糖摄入策略：时机、种类与数量

科学的糖类摄入策略并非一成不变，而是根据训练周期、比赛时长和个人反应进行动态调整。以下是基于运动营养学权威指南的最佳实践。

3.1 每日总体碳水化合物摄入指南

美国运动医学会 (ACSM) 建议运动员的每日糖摄取量为每公斤体重6-10克²。其他来源则建议范围为5-12克/公斤²⁵。这个巨大的摄入量范围提示了耐力训练的“周期性”。真正的最优策略是根据训练负荷进行“营养周期化”：在高强度训练日，摄入量应接近或达到建议范围上限；而在低强度训练日或休息日，则应降至中低水平，以维持体重并避免不必要的体脂增加。

为了提供清晰的实践指导，本报告将运动营养策略分为赛前、运动中和运动后三个关键阶段，并辅以表格形式进行总结。

3.2 运动前燃料准备

- 赛前碳水化合物负荷 (Carbohydrate Loading) : 适用于持续时间超过90分钟或2小时的耐力比赛²⁰。其目的在于最大化糖原储备, 以增强耐力并延缓疲劳²⁰。在比赛前几天, 运动员应将每日碳水化合物摄入量提高到每公斤体重8-10克, 同时降低运动强度和运动量, 进行减量训练⁴。为避免胃肠道不适, 建议在赛前几天改用低纤维的碳水化合物来源, 如白面包和普通面食⁷。
- 赛餐: 在运动或比赛开始前3-5小时, 应摄入一餐富含碳水化合物、低脂肪、低纤维并含有适量蛋白质的餐食, 以维持血糖水平并促进胃排空²。常见的选择包括面包、燕麦、香蕉和蜂蜜等²⁶。

3.3 运动中的能量补给: 精准与高效

运动中的补给是维持运动表现和延缓疲劳的关键。

- 摄入量: 美国运动医学会建议, 进行超过1小时的耐力运动时, 每小时应摄入30-60克糖以维持血糖水平²。对于马拉松等超过2.5小时的比赛, 摄入量可提高至每小时最高90克¹⁴。
- 糖类来源: 为了突破单一糖源的吸收瓶颈, 建议采用多种碳水化合物来源的混合策略, 如麦芽糊精和果糖的混合, 以提高碳水化合物氧化率⁴。
- 补液: 任何补给策略都应包含充足的液体摄入。建议在运动中每小时摄入500-700毫升水¹⁴。

3.4 运动后的快速恢复: 抓住黄金窗口期

运动后的恢复策略是决定训练适应性和下一次运动表现的关键。

- 黄金窗口期: 运动后30分钟内是补充糖原储备的黄金窗口期²。
- 摄入量: 在第一个30分钟内, 建议摄入每公斤体重1.0-1.5克碳水化合物, 并在接下来的4-6小时内每2小时重复一次, 以确保快速补充糖原储备²。
- 糖与蛋白质的协同作用: 研究表明, 运动后同时摄入碳水化合物和蛋白质, 比例约为3-4:1(糖:蛋白质), 能进一步增强肌糖原再合成, 并为肌肉修复提供必需的氨基酸²。

3.5 实践与个体化: 肠道训练与专业指导

运动营养策略的成功实施, 离不开个体化的实践和专业指导。

- 肠道训练(Gut Training):这是一种通过长期、系统的实践来提高身体在运动中对碳水化合物和液体耐受性的方法¹³。通过在训练后进食、逐渐增加每小时碳水化合物摄入量以及保持补水习惯,运动员可以最小化胃肠道不适,从而在比赛中更有效地进行补给¹³。
- 专业指导:鉴于个体差异巨大,建议运动员与运动营养师合作,制定个性化的营养策略,以避免摄入不足或摄入过量²⁰。

表1:常见糖类食物来源与升糖指数一览表

糖类类别	具体糖类	常见食物来源	典型升糖指数(GI)
单糖	葡萄糖	葡萄、玉米糖浆	100.0 ¹⁰
双糖	蔗糖	甘蔗、甜菜、砂糖	65.0 ¹⁰
	麦芽糖	麦芽、淀粉分解产物	105.0 ¹⁰
	乳糖	奶制品、乳汁	未提供 ⁵
	蜂蜜	蜂蜜	73.0 ¹⁰
多糖	淀粉	谷物(米饭、面食)、土豆、豆类	谷物类GI值差异大,从低到高都有 ⁸
	膳食纤维	全谷物、豆类、蔬菜	不可消化, GI值极低 ⁷
加工糖	绵白糖	绵白糖	83.8 ¹⁰

表2:耐力运动员碳水化合物摄入量建议总览

阶段	摄入量建议	时机	糖类种类/目的	参考文献
日常训练	6-10克/公斤体重/天	每日	维持血糖水平,补充肌糖原;根据训练强度进行营养周期化	²

赛前负荷	8-10克/公斤体重/天	比赛前2-4天	最大化糖原储备;选择低纤维碳水化合物	20
运动前餐	高碳水、低脂低纤维	运动前3-5小时	确保胃排空, 提供持久能量	2
运动中	30-60克/小时; 长距离比赛可达90克/小时	运动中	维持血糖, 节省糖原;混合糖源(葡萄糖/果糖)以提高吸收率	2
运动后	1.0-1.5克/公斤体重	运动后30分钟内, 并在随后4-6小时内每2小时重复	快速补充肌糖原;与蛋白质以3-4:1的比例结合, 促进恢复	2

结论

科学的糖类摄入策略是耐力运动员成功的基石。这不仅关乎摄入量, 更关乎摄入的种类、时机和身体的适应性。本报告通过深入分析, 揭示了以下几个关键结论:

1. 糖类选择的策略性: 糖类的GI值并非“好”与“坏”的绝对标准。在日常饮食中, 应以低GI的全谷物为主以维持稳定的能量和健康;而在运动中和运动后, 则应策略性地选择高GI的糖类, 以实现快速的能量补给和糖原再合成。
2. 混合糖源的生理优势: 葡萄糖和果糖的联合摄入策略, 通过利用不同的肠道转运机制, 可以突破单一糖源的吸收瓶颈, 显著提高碳水化合物的氧化率, 从而提供更高的能量供应, 并降低胃肠道不适的风险。
3. 运动的保护作用: 尽管高糖饮食在久坐人群中与多种健康风险相关, 但对于耐力运动员而言, 运动本身就是强大的代谢调节剂, 能够显著提高身体对糖的利用效率和胰岛素敏感性, 从而在生理上保障了其高碳水化合物摄入的安全性。
4. 个体化与实践: 最优的糖类摄入策略并非一成不变, 而是根据训练周期、比赛时长和个人反应进行动态调整。肠道训练是运动员提高对运动补给耐受性的关键实践, 而寻求运动营养师的专业指导则是制定个性化策略, 确保摄入量和种类精准匹配个人需求的有效途径。

总之, 科学的糖类摄入, 是耐力运动员将训练成果转化为赛场表现, 同时保障长期健康的重要基石。

Works cited

1. 給運動員與教練從肝醣代謝看運動表現, accessed September 16, 2025, <https://mag.betery.com.tw/athlete-should-know-glycogen-metabolism/>
2. 加拿大营养师协会(DC)及美国运动医学会(ACSM)的, accessed September 16, 2025, <https://acsm.org/wp-content/uploads/2025/01/Nutrition-and-Athletic-Performance-Simplified.pdf>
3. 糖原- 维基百科, 自由的百科全书, accessed September 16, 2025, <https://zh.wikipedia.org/zh-cn/%E7%B3%96%E5%8E%9F>
4. International Society of Sports Nutrition position stand: Nutrient timing - PMC - PubMed Central, accessed September 16, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2575187/>
5. 醣類食物- 六大類食物- 臺南市政府衛生局-健康飲食運動地圖網, accessed September 16, 2025, https://health-hp.tncghb.gov.tw/nutrition_zone/details/c15123d2-7c69-4372-9854-915ff05f0358
6. 營養素與健康: 碳水化合物糖 - Centre for Food Safety, accessed September 16, 2025, https://www.cfs.gov.hk/tc_chi/multimedia/multimedia_pub/multimedia_pub_fsf_31_02.html
7. 碳水化合物、蛋白质和脂肪- 营养障碍 - 默沙东诊疗手册, accessed September 16, 2025, <https://www.msdmanuals.cn/home/disorders-of-nutrition/overview-of-nutrition/carbohydrates-proteins-and-fats>
8. 低GI食物促进健康: 均衡饮食, accessed September 16, 2025, <https://continentalhospitals.com/zh-CN/blog/boost-health-with-low-gi-foods-a-balanced-approach/>
9. 妙佑医疗国际- 低升糖指数饮食法: 其背后有何依据?, accessed September 16, 2025, <https://www.mayoclinic.org/zh-hans/healthy-lifestyle/nutrition-and-healthy-eating/in-depth/low-glycemic-index-diet/art-20048478>
10. 一文读懂“升糖指数” - 知识天地- 重庆市疾病预防控制中心, accessed September 16, 2025, <https://www.cqcdc.org/index.php?a=shows&catid=175&id=1840>
11. 恢复如初 - Science In Sport, accessed September 16, 2025, <https://www.scienceinsport.com/sports-nutrition/zh/recover-like-a-pro-cyclist/>
12. Cell Metabolism | 果糖代谢(一)_肿瘤细胞_氨基酸代谢_非靶向代谢_脂质_多组学代谢流检测分析_脂肪酸定量_肠道微生物菌群检测-麦特绘谱, accessed September 16, 2025, <https://www.metaboprofile.com/school/5618/>
13. 训练你的肠道, 使其发挥最佳性能 - Science In Sport, accessed September 16, 2025, <https://www.scienceinsport.com/sports-nutrition/zh/training-your-gut-for-optimal-performance/>
14. 马拉松运动员对碳水化合物的需求不同吗? - Science In Sport, accessed September 16, 2025,

- <https://www.scienceinsport.com/sports-nutrition/zh/can-marathon-runners-have-different-carbohydrate-requirements/>
15. 运动饮料提高运动表现效果差甚至不如糖水 - 新华网, accessed September 16, 2025, http://www.xinhuanet.com/world/2015-12/02/c_128487800.htm
 16. (PDF) International Society of Sports Nutrition position stand: Nutrient timing - ResearchGate, accessed September 16, 2025, https://www.researchgate.net/publication/23299029_International_Society_of_Sports_Nutrition_position_stand_Nutrient_timing
 17. 运动如何影响血糖水平 - Continental Hospitals, accessed September 16, 2025, <https://continentalhospitals.com/zh-CN/blog/how-exercise-impacts-blood-sugar-levels/>
 18. 运动干预T2DM肝脏脂代谢作用研究进展 - SciEngine, accessed September 16, 2025, <https://www.sciengine.com/doi/pdf/5388FD0468394FE1BD0538559E7CFF34>
 19. 妙佑医疗国际- 糖尿病与运动: 何时监测血糖, accessed September 16, 2025, <https://www.mayoclinic.org/zh-hans/diseases-conditions/diabetes/in-depth/diabetes-and-exercise/art-20045697>
 20. 您是否应该在运动中摄入碳水化合物? - Mount Elizabeth Hospitals, accessed September 16, 2025, <https://www.mountelizabeth.com.sg/zh/health-plus/article/carb-load-for-sports>
 21. 为什么碳水化合物在运动前后对运动员很重要? | Herbalife 馬來西亞, accessed September 16, 2025, <https://www.herbalife.com/zh-my/wellness-resources/articles/carbohydrates-exercise>
 22. 2022年: 守住身体16条健康「底线」 | 赣州经济技术开发区, accessed September 16, 2025, <https://gzkjq.ganzhou.gov.cn/jkqzf/c105064/202201/93a58004009146f0bc7c76254d17c5.shtml>
 23. 運動員蛀牙多研究: 這種「能量食品」吃太多 - 健康醫療網, accessed September 16, 2025, <https://www.healthnews.com.tw/article/43414/>
 24. 摄入过多含糖量英研究称运动员更容易长蛀牙 - 新浪军事, accessed September 16, 2025, <https://mil.sina.cn/2019-08-30/detail-iicezzrq2267097.d.html?vt=4>
 25. 为您的表现加油: 运动营养的基本原理, accessed September 16, 2025, <https://www.eseibusinessschool.com/zh-CN/%E8%BF%90%E5%8A%A8%E8%90%A5%E5%85%BB%E5%9F%BA%E7%A1%80%E7%9F%A5%E8%AF%86/>
 26. 碳水化合物负荷的好处、技巧和副作用 - Science In Sport, accessed September 16, 2025, <https://www.scienceinsport.com/sports-nutrition/zh/carbohydrate-loading-benefits-tips-and-side-effects/>