



同位素技术如何帮助确定蛋白质质量

我该知道什么？

蛋白质与碳水化合物和脂肪一起被称为常量营养素，因为人体必须摄入大量蛋白质才能维持正常功能。蛋白质是维持人体结构和生长、调节器官和组织功能以及预防感染所必需的。它们也是人体遗传物质不可或缺的一部分。人体内所有的酶反应和激素过程都依赖于蛋白质。

两岁时的蛋白质供应不仅决定生长发育，而且还影响以后患肥胖症和非传染性疾病的风险以及急性营养不良的恢复速度。

原子能机构支持成员国利用同位素技术提供

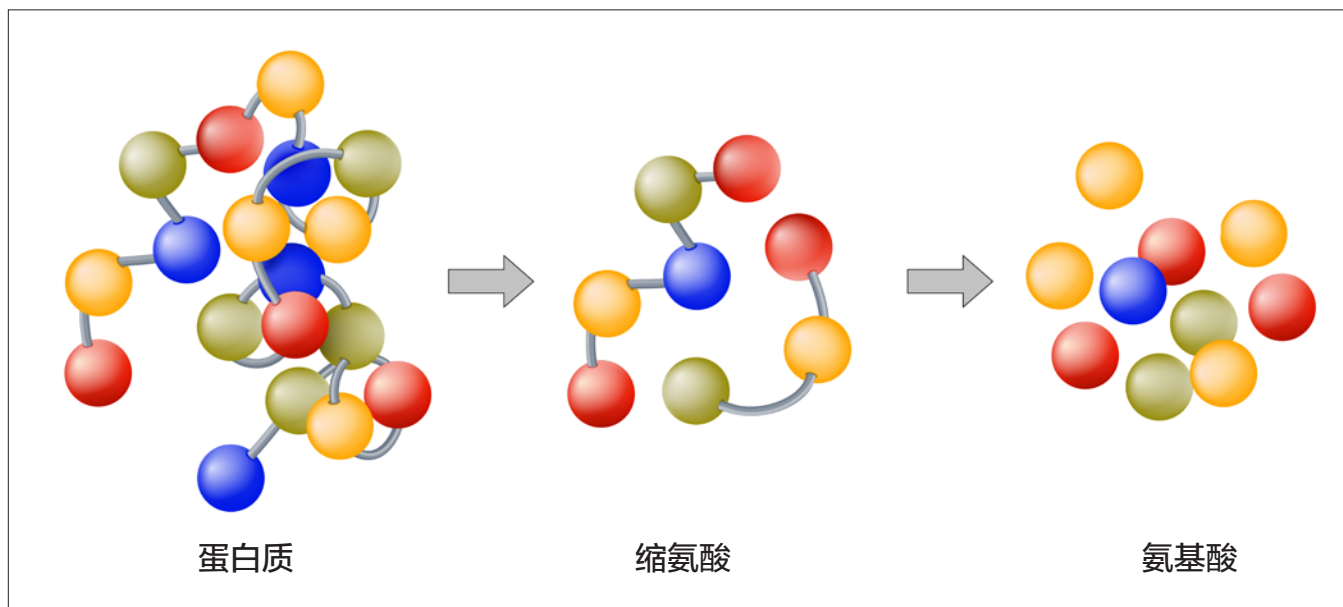
有关蛋白质质量的重要数据，从而有助于改善营养计划。

蛋白质有哪些成分组成？

蛋白质由 20 种氨基酸组成，分为非必需（可有可无）和必需（不可缺少）两类。

非必需氨基酸可以由人体合成，所以不一定要在饮食中存在。它们包括丙氨酸、天冬氨酸、天冬酰胺、谷氨酸和丝氨酸。

然而，必需氨基酸无法由身体产生，因此必须通过饮食和（或）补充剂提供。必需氨基酸包



稳定同位素氮和碳 -13 组合被用来追踪蛋白质消化率。（图片来源：©iStock.com/ttsz）



第一阶段：在豆类生长过程中，通过往灌溉水中加入氘，实现对豆类氨基酸的标记。

(图片来源：W. Kriengsinyos/ 泰国)

括组氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、赖氨酸、蛋氨酸、苯丙氨酸、苏氨酸、色氨酸和缬氨酸。它们以不同的浓度存在于不同的食物中，如肉类、豆类、谷物、坚果和乳制品中。

如何确定蛋白质质量？

蛋白质质量是根据蛋白质来源提供足够数量的必需氨基酸的能力确定的。将某种食物中特定必需氨基酸的存在量与人体消化后吸收的氨基酸比例综合起来，用分数表示出来。谷类食物大多缺乏赖氨酸、苏氨酸和色氨酸等必需氨基酸，豆类食物则缺乏蛋氨酸。与源自植物性膳食的蛋白质相比，蛋、奶、肉等动物源性蛋白质往往更易消化，氨基酸更好吸收。

双稳定同位素示踪技术如何帮助确定蛋白质质量？

作为原子能机构协调研究项目的一部分而开发的新的双稳定同位素示踪技术利用同位素氘和碳-13，将食用测试餐后血液中的氨基酸浓度与已知消化率的标准蛋白质浓度进行比较。

这种方法包括两个步骤。

1. 在动物的饮用水或植物的灌溉水中加入氧化氘 (D_2O)，实现对测试食物（如牛奶或种子）中氨基酸的同位素标记（第一阶段）。

2. 用测试食物的标记可食用部分制备测试餐，然后让研究参与者将测试餐与用另一种同位素(碳-13) 标记的易消化蛋白质源一起食用（第二阶段）。在食用测试餐之前采集血液样本，并在食用测试



第二阶段：用氘标记的豆子制备测试餐，供研究参与者食用，以确定蛋白质消化率。

(图片来源：W. Kriengsinuos/ 泰国)

餐后 5、6、7 和 8 小时再次采集血液样本，分析血液中的氨基酸浓度。此外，采集呼气样本。血液中不同标记的必需氨基酸与食用的测试餐中氨基酸的比例可以确定测试蛋白质的真消化率和吸收率¹。对呼气样本进行分析，可以评估碳 -13 的恢复率，碳 -13 是确定蛋白质消化率的另一个指标。

使用这种技术有什么好处？

根据联合国粮食及农业组织（粮农组织）的建议，测定氨基酸在小肠内的消化率比在大肠的测定更准确。传统的测定小肠氨基酸消化率的方法具有侵入性。而测定蛋白质消化率的双同位素示踪法是微创性的；在 8 小时进食过程中，只需要少量的血液样本。

原子能机构在开发双同位素示踪法方面的作用是什么？

2015 年，原子能机构启动并自此支持了一项为期四年的题为“植物性饮食中蛋白质的生物利用率”的协调研究项目。在法国和英国的专家支持下，该项目在巴西、印度、牙买加、墨西哥、摩洛哥、巴基斯坦和泰国等七个低收入和中等收入国家实施。原子能机构为实地活动提供了财政支持，并为所有协调研究项目站点采购和提供了含有稳定同位素的必要化合物。原子能机构还组织了一次培训讲习班，以促进对所有站点双同位素示踪规程的规范化管理。此外，原子能机构还在维也纳召开了三次研究协调会议，使与会者交流了吸取的经验教训、面临的挑战和取得的成果。

¹ 假设标记过程不改变未标记氨基酸的功能行为。

协调研究项目中确定蛋白质质量的过程是怎样的？

协调研究项目参与者制定了一种方法，即在含氘的水中种植豆类，形成对种子蛋白质的固有标记。采用了规范化程序，所有七个国家都参与了标记过程：印度和泰国的科学家种植绿豆；巴西和墨西哥的科学家种植菜豆；巴基斯坦的科学家种植鹰嘴豆；牙买加的科学家种植芸豆；摩洛哥的科学家种植蚕豆。

所有国家都种植了足够的标记豆，以便在 7 至 10 名成年志愿者中进行实验。同位素标记的豆类种子被制作成当地膳食的一部分，供志愿者食用。根据这一知识，可以计算出测试餐的蛋白质质量评分。

在能力建设和知识共享方面取得了哪些成功？

目前已获得这七个国家豆类蛋白质真消化率的新数据，这将使粮农组织能够制定蛋白质质量建议。已建立了一个基于质谱的分析能力网络，用于分析豆类和实验血液样本中氘和碳-13 的富集情况。

协调研究项目促进了知识和技能的传播，使

人们对稳定同位素技术的使用有了更广泛的了解。这包括泰国玛希隆大学的研究人员在建立蛋白质消化评估的分析能力方面得到了印度班加罗尔圣约翰研究所原子能机构协作中心专家的支持。同样，在《非洲核科学技术研究、发展和培训地区合作协定》框架内设在摩洛哥拉巴特的地区指定营养中心的科学家受益于在巴黎高科农业学院（法国巴黎）的进修和专家技术支持。关于双同位素示踪法及其应用的详细说明已发表在以下三篇经同行评审的文章中：

1. Devi, S. 等 (2018 年). 用双同位素示踪法测定人体蛋白质的消化率. 美国临床营养学杂志, 107 (6): 984–991.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29771297>

2. Shivakumar, N. 等 (2019 年). 印度儿童补充食品的蛋白质质量评价. 美国临床营养学杂志, 109 (5): 1319–1327.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30920607>





3. Kashyap, S. 等 (2019). 用双同位素示踪法确定印度成年人对豆类的回肠真消化率. 美国临床营养学杂志, 110 (4): 873–882.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31374575>

《国际原子能机构情况说明》由新闻和宣传办公室编写

编辑：Aabha Dixit • 设计和排版：Ritu Kenn

欲了解原子能机构及其工作的更多信息，请访问：www.iaea.org

或通过以下方式关注我们：    

或阅读原子能机构旗舰出版物《国际原子能机构通报》：www.iaea.org/bulletin

地址：IAEA, Vienna International Centre, PO Box 100, 1400 Vienna, Austria

电子信箱：info@iaea.org • 电话：+43 (1) 2600-0 • 传真：+43 (1) 2600-7