

以小见大：同位素技术如何帮助提高营养

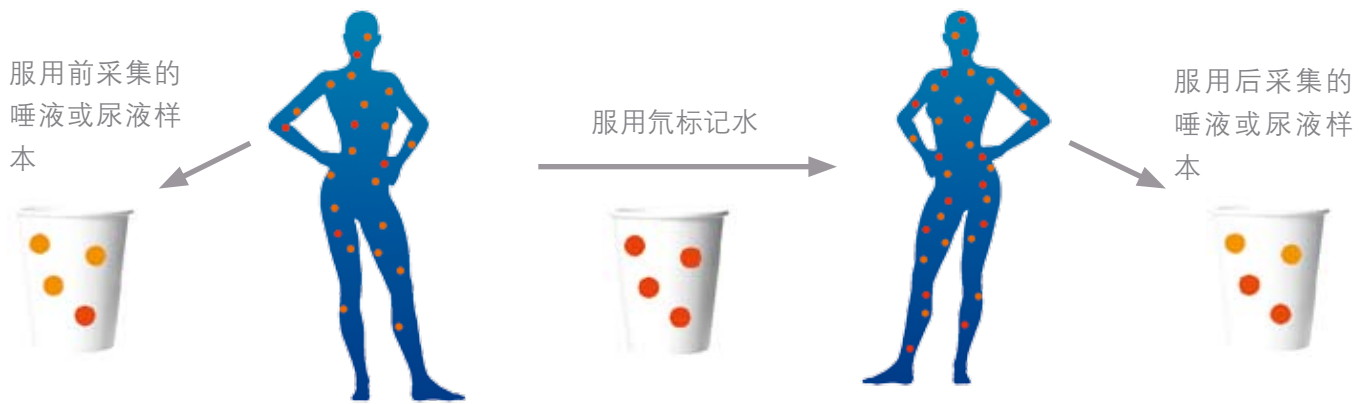


图1 利用同位素测量体内总水量确定人体内的脂肪量

稳定同位素可用于测量人体中的水或其他营养素的量，或是被人体吸收、新陈代谢或排泄分泌的摄取营养素的量，也可用于测量蛋白质、脂肪或碳水化合物化合物的吸收、利用或合成率。

碳、氢、氧、氮、铁和锌的稳定同位素可用于评估营养状况、能量消耗、母乳喂养、微量营养素状况和对食物中营养素的吸收的研究中。

通常使用的稳定同位素包括氘（氢-2）、氧-18、碳-13和氮-15。铁的同位素包括铁-57和铁-58，锌的同位素包括锌-67、锌-68和锌-70。所有的稳定同位素都是天然存在的，但是，元素或化合物可以通过合成实现富集。这些同位素或同位素标记化合物在身体里进行新陈代谢的方式和自然产生的同位素一样，只是增加了可被跟踪的好处。稳定同位素没有放射性，因此对所有年龄段的人群都没有危险。

水由氢和氧的同位素组成。普通水主要由¹H和¹⁶O组成，但也含有微量的²H（氘）和¹⁸O。但可以得到比普通水含更多

氘或氧-18的水。我们说这样的水是经过加浓的。氧化氘（D₂O）是加浓水，其中99.8%的氢原子以氢-2的形式存在。

评估人体组成

利用同位素测定体内水总量（TBW）可以确定人体内的脂肪量。人体可认为由两大类组成：脂肪质量和去脂肪质量。脂肪质量不含水，但去脂肪质量的73~80%是水。新生婴儿的去脂肪质量含有80%的水，以后逐渐减少，到成年时降至73%。这意味着去脂肪体重可通过测得体内水总量后使用适当的水合因子确定。脂肪质量是身体总重和去脂肪质量的差值。有时结果可以用身体总重的百分比表示。

氘稀释法（图1）是先测量人的唾液及/或尿液，然后服用一剂氘标记水，3~5小时后重复测量过程。氘的增加水平反映在人的唾液和尿液样本中。

从试验对象中收集的尿液或唾液样本经过同位素平衡后显示氘的增加水平。3至5小时后氘均匀分布在人体内。

对比服用氘标记水前后的人体唾液或尿液样本，计算人体体内水总量、去脂肪体重和人体最终脂肪量。人体组成是一项很好的健康指标，脂肪质量太大或去脂体质量太小都会使严重健康状况的风险增加。

评估母乳喂养

营养在儿童成长的早期起着重要作用。同位素方法有助于确定婴儿是不是纯母乳喂养，也可以确定婴儿喝下了多少母乳。用常规方法测量婴儿喝下的母乳量非常费时，也会影响婴儿的喂养模式，因为



图2 母亲服用同位素法

母亲服用氧化氘后，氘与她体内的水和母乳混合。氘富集在母亲及婴儿的唾液中。这可通过灵敏仪器测定。

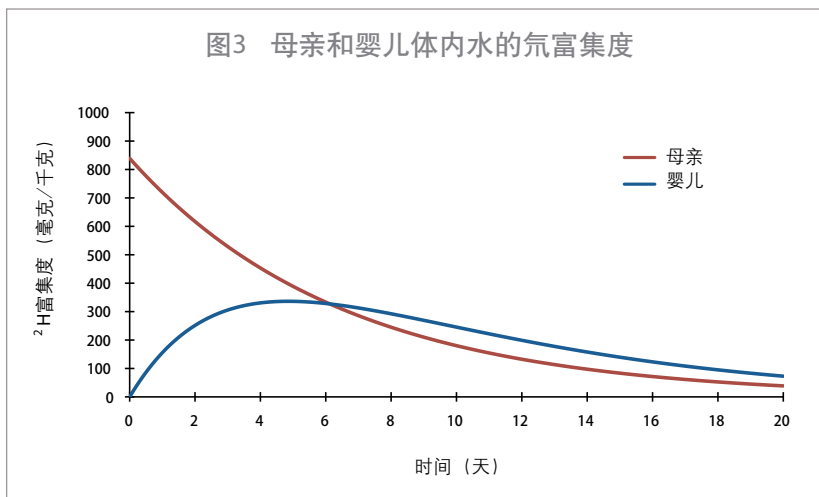


图3 母亲和婴儿体内水的氘富集度

这些方法需要在每次喂食前后对婴儿称重。一种更加精确和获得更好信息的方法是让母亲服氧化氘。这是确定婴儿是否为纯母乳喂养的唯一方法。

哺乳期母亲服用一剂氧化氘，氧化氘均匀分布在她体内并进入母乳（图2）。在14天的时期内，对母亲和婴儿的唾液或尿液采样测定，这会显示同位素浓度的变化。通过这一过程了解婴儿的母乳摄入量，婴儿是否喝了其他来源的水以及母亲的人体组成。

母亲服用一剂标记水后，氘在她体内逐渐消失，出现在婴儿体内（图3）。婴儿体内的氘只来自于哺乳期间摄入的母乳。由于母亲体内的氘消失，母乳中富集的氘下降，因此婴儿体内富集的氘也下降。利用一种数学模型确定母亲体内的氘有多少出现在婴儿的唾液中。这与婴儿吸取的母乳量有关。该模型也能估算（婴儿体内）除母乳以外的其它来源的水量，由此可以确定婴儿是否为纯母乳喂养。

评估总能量消耗

当确定一个人需要多少食物时，首先推断他们消耗多少能量很重要。如果把标记有氢-2的水（氧化氘）和标记有氧-18的水混合，混合物就是双重标记水（DLW）。研究者可以利用双重标记水估计每日消耗的总能量（图4）。总能量消耗也可用于确定一个人的身体活动水平。

参与者服用的双重标记水均匀分布在体内。每当参与者呼吸或运动时，一些标记氧和氢通过尿液、汗液和呼吸排出。氘只能通过水排出，而氧-18却可以通过水和二氧化碳排出。氘和氧-18的排出比率的差值表示二氧化碳产生率，根据二氧化碳产



图4 双重标记水方法

服用一剂双重标记水后，氘和氧-18在体内水中富集。随着时间的增加，氘（橙点）和氧-18（红点）从体内下降消失，下降比率直接显示了能量消耗。

生率可计算出能量消耗（图5）。14天中采集的尿液样本显示引入体内的同位素的下降情况。极缓慢的下降表示能量消耗小，而更加急剧快速的下降则表示能量消耗高。双重标记水技术是测量每日正常能耗总量和日常生活条件的理想方法。国际原子能机构正在将这种方法用于与儿童期肥胖和老年人生活质量相关的项目中。

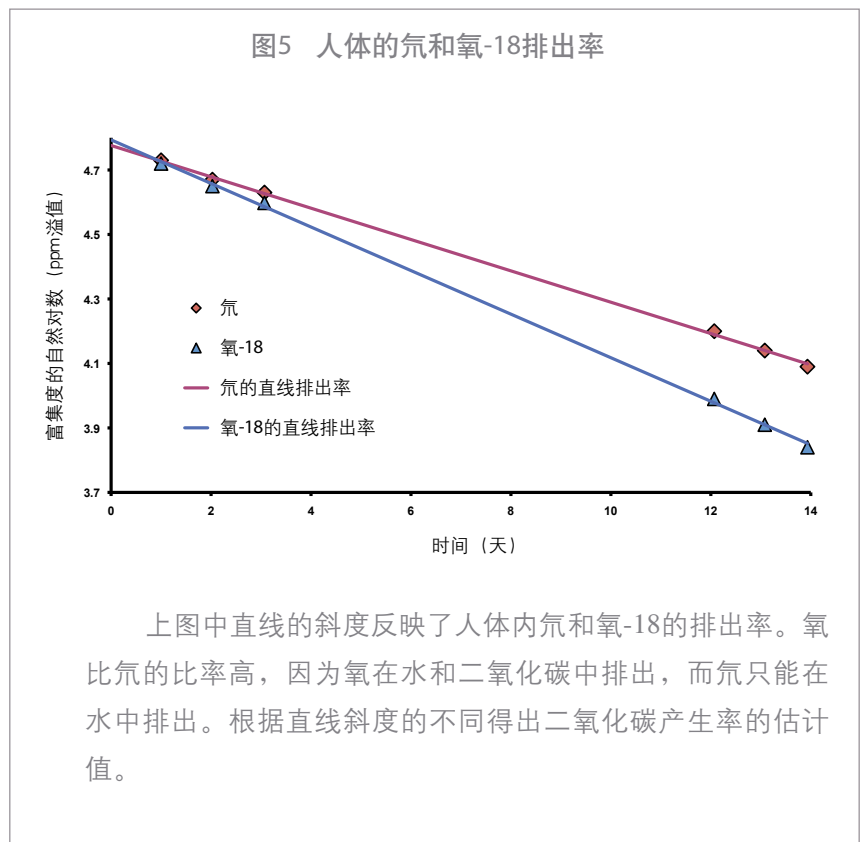
评估人体维生素A储量

在研究中利用稳定同位素稀释技术确定干预期内人体维生素A的变化（例如维生素A强化、补充或鼓励食用品种丰富的营养素的食补方法）。稳定同位素方法（图6）是确定维生素A水平过高的唯一的非侵入方法，可用于对相同群体进行维生素A补充和强化计划。

氢（ ^2H ）和碳（ ^{13}C ）的稳定同位素可用于标记维生素A。

评估铁和锌的生物利用率

评估食品中营养素的生物利用率（吸收和利用）很重要，因为通常人们每次要吃不止一种食物，其中有些可能含有吸收促进剂或抑制剂。利用稳定同位素研究食物中铁和锌的生物利用率，可以反映不同



的食物组合在吸收方面的巨大差异。铁和锌的稳定同位素被用来确定试验食物中矿物质的生物利用率。该试验食物是经过强化或生物强化的，或是含有矿物质吸收的潜在抑制剂（如粗粮、坚果、种子和豆类中的植酸）或潜在强化剂（如维生素C）的相同膳食。铁和锌的稳定同位素可以添加到试验食物中。

图7描述的研究是为评估食用谷物餐

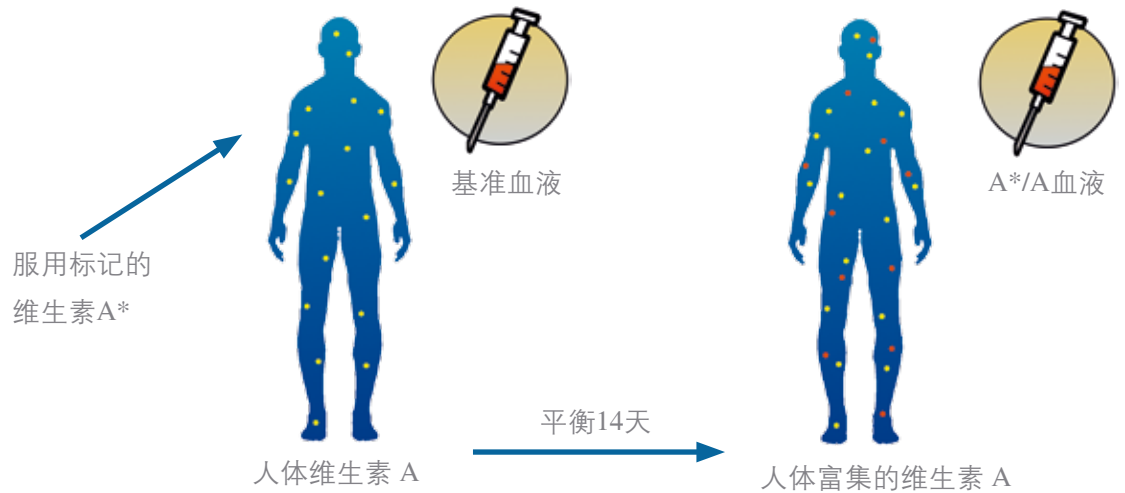


图6 评估维生素A状况

为评估维生素A的状况，采集基准血液样本后，服下一剂用稳定同位素标记的维生素A。在继续采集血液样本进行质谱测量分析前，有必要让服用的维生素A与人体维生素A平衡一段时间。根据精确测量的同位素标记维生素A的稀释，可以计算体内发生交换的维生素A的总量。这是以非侵入方式估计维生素A状况从缺乏到正常到过量的整个变化范围的最灵敏方法。

和加有一个橘子的相同谷物餐后进入红血球的铁。橘子含有的维生素C可促进铁的吸收。

采集基准血液样本，食用试验餐(A)，餐中铁的稳定同位素 (^{57}Fe) 量已知。第二天，食用试验餐 (B)，餐中含有已知量的铁的第二种稳定同位素 (^{58}Fe)和潜在的铁吸收促进剂或抑制剂。一半受试者以相反顺序食用试验餐。

两周后再次采集血液样本。样本经过处理后，使用合适的质谱仪分析铁同位素。食用试验餐前后的稳定铁同位素比率被用于确定从食物中吸收的和进入红血球的铁量，从而揭示餐中促进剂或抑制剂的效果。

国际原子能机构新闻和宣传办公室
Michael Amdi Madsen

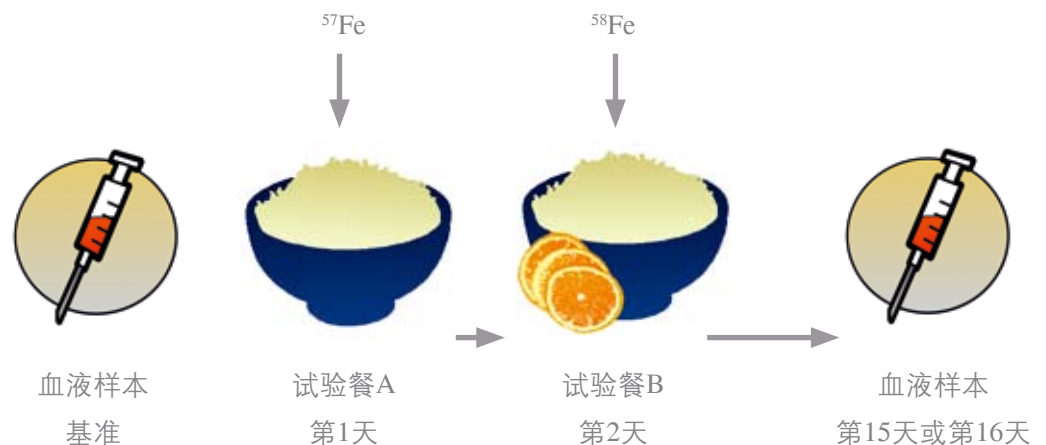


图7 评估铁吸收