

燃烧热科普实验——量热法测定食品的热值^{*}

张来英^{**} 袁汝明^{**} 洪耀青 施雅茜 陈 越 徐晓明

(厦门大学化学化工学院 化学国家级实验教学示范中心(厦门大学) 福建厦门 361005)

摘要 介绍了采用量热法测定食品热值的科普实验,通过操作简单、数据可靠的量热计,对常见食品如米面类和糖类进行热值测定。实验设计不仅可以帮助公众理解热值这一概念,而且将其应用于日常生活,回应大众关切的问题。本实验的目的在于激发公众对化学的兴趣,展示化学与生活的紧密联系,并通过实验教育,让公众深入了解食品与能量的关系,以及化学在解决日常问题中的重要作用。

关键词 食品 热值 量热计 科普实验

DOI: 10.13884/j.1003-3807hxjy.2023100092

“民以食为天”,随着生活水平的不断提高,人们对食物的追求不再局限于满足口腹之欲,对食物口感以及营养的重视与日俱增。生活中不同的食品有不同的营养物质,有不同的热量,对于食品热量的测定有不同的方法。本实验选择日常生活中常见的食品为样品^[1-2]。

米面类加工食品和糖是常见的食品,虽然已成为人们日常生活必不可少的一部分,但人们鲜少关注它们的热值,对热值这一概念的认识较为欠缺。为将热值这一化学概念与生活联系起来,选择了几种常见的食品,包括面、麦片、薯片、普通白砂糖与几类广泛应用于现代食品生产中的替代蔗糖的“0卡糖”——天然甜味剂与人工合成甜味剂,以及几类常见冲泡饮料,并使用量热法对这些食品进行热值的测定。

热值(Calorific Value),又称卡值或发热量,指的是单位质量或体积的物质完全燃烧时所释放出的热量。笔者使用氧弹式量热计对所选择的样品进行热值的测量。通过燃烧样品释放出的能量使周围的水温升高,并通过水温升高值换算出样品的热量。本实验所用材料取于生活,低价易得,且步骤及操作简单易懂,安全系数高。通过实验所得的热值,换算成卡路里,帮助人们更好地认识热值。与此同时,本实验还探究了“0卡糖是否真的0卡”的问题,并通过比较白砂糖与几种常见甜味剂的热值差异进行解答,向大众更好地普及0卡糖的概念,做到将热值应用于生活,利用化学解决问题,

引起人们对于化学的兴趣和正确认识。

1 实验部分

1.1 实验原理

燃烧热是1 mol物质完全燃烧放出的热量,而完全燃烧是指可燃物质中的C完全转化为CO₂(g)、H转化为H₂O(l)、N转化为N₂(g)、S转化为SO₂(g)等^[3]。本实验利用氧弹式量热计测定所选食品的恒容燃烧热。所利用的数据处理公式为:

$$mQ_V = W_{\text{卡}} \Delta T - Q_{\text{棉线}} \Delta L_{\text{棉线}}$$

式中: m 为样品质量; Q_V 为样品恒容燃烧热; ΔT 为燃烧前后温度差; $W_{\text{卡}}$ 为量热计水当量; $Q_{\text{棉线}}$ 为棉线的燃烧热; ΔL 为参与燃烧反应的棉线长度。

1.2 试剂和材料

实验所需水为农夫山泉矿泉水;实验标定物质为苯甲酸(标准值为26 465 J/g)。

本实验所用材料及生产厂家见表1,材料易得,且方便处理。实际科普实验中可根据情况选择各种食材。

表1 实验所需材料及生产厂家

Table 1 Materials and manufacturers for the experiment

材料	生产厂家
方便面	华丰食品有限公司
旺旺仙贝	旺旺食品有限公司
燕麦片	东莞市日隆食品有限公司
鸡蛋挂面	中粮面业有限公司
乐事薯片	百事食品(中国)有限公司

^{*} 教育部第三批虚拟教研室建设试点“101计划”化学测量学实验课程虚拟教研室;2022年度教育部“基础学科拔尖学生培养计划2.0”研究课题;厦门大学本科思政示范课程“基础化学实验(三)——(物理化学部分)”;厦门大学大学生创新创业训练计划项目(2023Y1033)

^{**} 通信联系人, E-mail: wuzhly@xmu.edu.cn (张来英); yuanrm@xmu.edu.cn (袁汝明)

续表 1

材料	生产厂家
白砂糖	厦门古龙食品有限公司
甜菊糖苷	曲阜圣仁药业有限公司
阿斯巴甜（含苯丙氨酸）	安徽维多食品配料有限公司
零卡糖	河北伊唐生物技术有限公司
高钙脱脂奶粉、高钙营养奶粉	双城雀巢有限公司
醇香原味咖啡	上海雀巢有限公司
意式浓醇咖啡、奶香拿铁咖啡	东莞雀巢有限公司

1.3 实验仪器

实验所用仪器见表 2。

表 2 实验所用仪器

Table 2 Instruments of the experiment

仪器名称	型号	生产厂家
全自动量热仪	C6000	IKA
电子天平	ME104E	梅特勒-托利多仪器（上海）有限公司
美的便携式搅拌机	MJ-WBL2501A	广东美的生活电器制造有限公司

表 3 实验样品及所得热值

Table 3 Experimental samples and obtained calorific values

样品号	样品	热值 $Q_V/(J/g)$	样品号	样本	热值 $Q_V/(J/g)$
1	方便面	20 753	8	甜菊糖苷	22 855
2	鸡蛋挂面	15 744	9	零卡糖	17 149
3	乐事薯片	23 940	10	醇香原味咖啡	19 211
4	旺旺仙贝	20 795	11	意式浓醇咖啡	18 730
5	燕麦片	18 497	12	奶香拿铁咖啡	19 259
6	白砂糖	16 509	13	高钙营养奶粉	19 897
7	阿斯巴甜	15 281	14	高钙脱脂奶粉	16 376

1.5 实验结果讨论

1.5.1 米面类食品的热值

米面类食品通常含有丰富的碳水化合物、糖分、膳食纤维、植物蛋白等营养成分。适量食用米面后，其中的碳水化合物和糖分可以迅速为身体提供能量，缓解疲劳；膳食纤维进入肠道后可以促进肠道蠕动，帮助食物消化、排空，有利于增进食欲。由表 3 可知，5 种米面类食品中薯片的热值最大，鸡蛋挂面的热值最小，5 种米面类食品热值大小顺序为：乐事薯片>旺旺仙贝>方便面>燕麦>鸡蛋挂面，旺旺仙贝与方便面的热值相差较小。

选择几种常见食品来测量热值，向大众科普时，可根据不同区域、不同年龄段的对象等实际情况来选择现场的科普样品，实现更好的科普效果。

1.4 实验方法

1.4.1 量热计水当量 $W_{\text{卡}}$ 的校准

用已知燃烧热的苯甲酸作为标准物，称取 2 片苯甲酸片，质量在 1 g 左右，放入氧弹量热仪中进行校准标定。利用公式 $W_{\text{卡}} = (mQ_V + Q_{\text{棉线}} \Delta L_{\text{棉线}}) / \Delta T$ 得到水当量 $W_{\text{卡}}$ ，平行实验 3 次。

实验所得 $\Delta T_1 = 3.325\ 3\ \text{K}$ 、 $\Delta T_2 = 3.332\ 2\ \text{K}$ 、 $\Delta T_3 = 3.329\ 3\ \text{K}$ ，3 次测量取平均值得 $W_{\text{卡}} = 8\ 050.0\ \text{J/K}$ 。

1.4.2 待测样品的热值测定

实验前处理：所选食品用搅拌机磨成粉状。

用天平称取 1 g 左右的样品，记录数值；打开氧弹盖，将装有样品的坩埚放入坩埚座中；将棉线绑在点火导线上，并确保固定时棉线紧贴样品表面；拧紧氧弹盖，将其放入自动量热仪中进行自动化测量，由仪器自动进行充氧、注水、前期平衡、点火、后期排水排气等过程。

对所选样品进行测量，平行实验 3 次，取平均值，所得实验结果见表 3。

1.5.2 关于“0 卡糖是否真的 0 卡”的问题探究

根据实验所测得糖类热值，对大众所关注的问题——“0 卡糖是否 0 卡”展开讨论探究。

本实验所测几种甜味剂及白砂糖热值数据如表 4 所示。

实验结果表明，加工食物、饮品中所使用的“0 卡糖”的热量并不为 0。而甜味剂被广泛认为是“0 卡糖”的原因是什么呢？在对糖分摄入的追求与糖尿病及其他肥胖问题出现的矛盾日益加深时，“0 卡糖”的发现与应用日益受到关注。“0 卡糖”又称甜味剂，可根据来源分为天然甜味剂与人工合成甜味剂。人工合成甜味剂阿斯巴甜能被人体消化，甜度约为蔗糖的 180~220 倍，且其热量低于蔗糖。最多添加 5.6 mg 阿斯巴甜即可获得 1 g

表 4 3 种甜味剂及白砂糖热值数据

Table 4 Calorific value data of three sweeteners and white sugar

样品名称	是否被人体吸收	热值 $Q_V/(J/g)$			热值平均值 $Q_V/(J/g)$	卡路里/(kcal/g) 1 J=0.239 cal
		1	2	3		
白砂糖	是	16 525	16 529	16 473	16 509	3.945 7
阿斯巴甜	是	15 290	15 286	15 268	15 281	3.652 2
甜菊糖苷	否	22 869	22 908	22 789	22 855	5.462 3
零卡糖	否	17 122	17 145	17 182	17 149	4.098 6

白砂糖等同的甜度,热量约为 84 J,而同等甜度的白砂糖热量为 16 509 J,故阿斯巴甜可被视为“0 卡糖”而投入生产食用;甜菊糖苷为天然甜味剂,甜度为蔗糖的 200~350 倍,在体内基本不被消化吸收,进入人体后,胃液和肠道消化液对甜菊糖苷没有降解作用,几乎所有的甜菊糖苷都进入结肠,然后被肠道菌群利用,代谢产物随粪便排出体外,被认为是 21 世纪最理想“第三代糖原”^[4-6]。

1.5.3 5 种冲泡饮料

在超市随机选取市面上比较常见的奶粉和咖啡进行热值测量。

(1) 3 种不同口味咖啡热值比较

由表 3 的实验结果不难看出,实验所选用的 3 种咖啡仅在口味上有所区别,实验测得其热值几乎相近。

(2) 2 种奶粉热值比较

由实验所得,高钙营养奶粉实验热值为 19 897 J/g,高钙脱脂奶粉实验热值为 16 376 J/g,分别与其包装袋上标注的热值 18 400 J/g 和 15 080 J/g 进行对比发现,实验所测得奶粉热值大于包装上所标注的能量,偏差为 8%~9%。该偏差出现的原因可能是测定仪器不同所导致的系统误差。实验所测得脱脂奶粉的热值低于营养奶粉,与大众所认为的脱脂奶粉的热量较低这一认知相符合。可以就这一差距展开研究,结合其营养成分寻找造成奶粉热值差的因素。

对奶粉包装信息进行比对、整理得到营养成分表与配料表(表 5)。可以发现高钙营养奶粉及高钙脱脂奶粉所含维生素与微量元素种类一致,且含量少,差异小,对于后续分析 2 者热值差异的原因影响不大,可不予以考虑。高钙营养奶粉与高钙脱脂奶粉所含蛋白质与碳水化合物含量相近,但高钙营养奶粉脂肪含量为高钙脱脂奶粉的 10.133 倍。

表 5 高钙营养奶粉与高钙脱脂奶粉营养成分含量

Table 5 Nutrient contents of high calcium nutritious milk powder and high calcium skimmed milk powder/(mg/100 g)

	高钙营养奶粉	高钙脱脂奶粉
蛋白质	20 000	20.5
脂肪	15 200	1.5
碳水化合物	55 000	62
膳食纤维	0	6
α -生育酚(维生素 E)	12.5	12
维生素 C	60	62
锌	6.8	5.5
钠	398	410
视黄醇(维生素 A)	560	480
维生素 D	8	8.3
磷	500	480
镁	60	63

注:数据通过 http://www.gov.cn/gzdt/2012-07/09/content_2179396.htm 整理所得。

结合表 6 分析,造成脂肪差异的主要原因可能是高钙营养奶粉所添加的是生牛乳与乳粉,而高钙脱脂奶粉所添加的是脱脂乳粉。其中生牛乳也为生鲜乳,是未经过杀菌、过滤等加工的原生奶;乳粉为全脂奶经过喷雾干燥而形成;而脱脂乳粉则是先使用脱脂离心机将全脂牛奶中的脂肪分离得到脱脂奶,再进行喷雾干燥所获得。故生牛乳与乳粉的脂肪含量高于脱脂乳粉,是导致高钙营养奶粉热值高于高钙脱脂奶粉的主要原因。

2 科普展示和互动方案

本实验可以采用梯度科普的方式,科普对象包括幼儿园小朋友至初中生、高中生、本科生及社会大众等具有不同知识储备的群体。具体科普方案如下。

2.1 面向初中生及以下群体:观看科普实验过程动画,引导思考与互动

初中生及以下群体了解的化学知识较少,为帮助中小學生更好地认识、了解“热值”这一概念以

表 6 奶粉配料表
Table 6 Milk powder ingredients list

	相同配料	不同配料
高钙营养奶粉	乳清粉、钙（碳酸钙、柠檬酸钙）、铁（焦磷酸铁）、锌（硫酸锌）、维生素 A（醋酸视黄酯）、维生素 D（胆钙化醇）、食品添加剂（磷脂）、维生素 C（L-抗坏血酸钠）、维生素 E（dl- α -醋酸生育酚）、叶酸	生牛乳、白砂糖、植物油、乳粉
高钙脱脂奶粉		固体玉米糖浆、菊粉、食用香精、脱脂乳粉

及具体的实验原理、内容及操作步骤等，可以将动画解说与实际实验操作相结合，向中小學生播放生动的动画视频并进行讲解。讲解完成后，引导中小學生思考，进行互动，从而激发他们对化学的兴趣，形成科学观。具体科普方案如下。

首先，向中小學生播放制作的原理解说动画，向他们普及“热值”这一概念，并从日常生活中的食品引入，介绍实验内容并播放量热法实验操作视频。

其次，进入互动环节。

第一步：向中小學生列举实验中所测部分物质的热值，并引导他们猜测其余同类物质的热值。比如，在糖类中，实验所测的白砂糖的平均热值为 16 509 J/g，引导中小學生猜测人造甜味剂阿斯巴甜与天然甜味剂甜菊糖苷的热值。

第二步：公布实验样品的平均热值。并邀请多位中小學生对这些物质的热值进行大小排序，帮助他们认识到每种物质的热值存在差异，介绍相同质量下不同甜味剂与白砂糖甜度的差异，并比较喝一杯含白砂糖的水与加甜味剂的水人体吸收的热量的差异。同时，引入脂肪与卡路里的关系，1 g 脂肪会产生 9 kcal 的热量，在已满足日常身体所需热量的前提条件下，比较喝下含等量白砂糖与甜味剂的水，人体大概增加的脂肪重量，从而进一步加深对热值这一概念的印象。

2.2 面向高中生及本科生群体：介绍实验原理，进行实验演示，参与实验操作

高中生与本科生均具有一定的化学基础，具有较强的动手能力与学习新知识的能力，也具有更强的探索精神。先进行实验原理的简单介绍，再现场进行实验操作的演示，并鼓励高中生及本科生在相关志愿者的引导帮助下，选择自己感兴趣的样品，使用量热法进行热值测定实验。

高中生及本科生通过选择自己感兴趣的样品，自己动手实验，并通过实验得到所选样品的热值。实验结束后，可以根据实验结果引导学生思考：

（1）米面制品类：对比所得的热值，并将热值

相近的食品进行归类，向参与者简单介绍各类制品所含主要化学物质及其物理、化学性质。

（2）糖类：比较实验所测得的糖类的热值，引导参与者思考造成差异的原因。同时，结合文献现有资料，向参与者引入甜味剂这一概念，介绍其与普通糖类的区别。

（3）奶粉：提供实验所使用奶粉样品的营养成分表及配料表，引导学生思考导致不同奶粉实验差值的主要原因，帮助他们发现生活中的化学，增加学生对化学的兴趣。

2.3 面向社会大众：结合热点解释热值概念，提高群众科学素养

近些年来，市面上出现许多“0 糖 0 脂”饮料，许多奶茶饮品店也相继推出“0 卡糖”饮品。人们不禁生出疑惑：0 卡糖是否真的 0 卡？可以结合热值这一概念，向大众科普“0 卡糖”，增加民众对其的认知，提高公众科学素养。

3 结语

本科普实验简单，易操作，所用实验原料均来源于日常生活之中，绿色、易得，将热值这一化学概念与生活中的常见食品结合起来。考虑到不同阶段人群的特点，采用梯度科普的方法，侧重点也各不相同，设计互动与实操环节，有机地将动画、实验视频与真实实验操作结合起来，生动形象、通俗易懂地介绍食品的热值，并将实验结果与现实生活中的问题联系起来，传播化学知识，全面展示化学源于生活，化学服务于生活，激发青少年对化学的兴趣，拉近人们与化学的距离，提高大众的科学素养。

参 考 文 献

- [1] 粟立丹, 丁捷, 吴华昌, 等. 化学教育 (中英文), 2023, 44 (12): 74—80
- [2] 赵冬艳, 周静峰, 施思. 化学教育 (中英文), 2021, 42 (12): 83—90
- [3] 赵明坚, 王国平, 王永尧, 等. 化学教育 (中英文), 2022, 43 (6): 62—67
- [4] 刘少伟, 阮赞林. 质量与标准化, 2013 (11): 25—26
- [5] 郑舒洁. 现代食品, 2022, 28 (12): 88—91
- [6] 黄伟志. 江苏调味副食品, 2021 (4): 5—9, 13

New Popular Science Design of Combustion Heat Experiment: Determination of Calorific Value of Food by Calorimetry

ZHANG Lai-Ying^{**} YUAN Ru-Ming^{**} HONG Yao-Qing SHI Ya-Xi
CHEN Yue XU Xiao-Ming

(College of Chemistry and Chemical Engineering, Xiamen University, National Demonstration Center for
Experimental Chemistry Education (Xiamen University), Xiamen 361005, China)

Abstract Over the past few decades, there has been a significant change in the nutritional intake structure of residents in China, accompanied by a growing concern for the nutritional value of food. This paper introduces a popular science experiment that uses calorimetry to determine the caloric value of food. With simple operations and reliable data from calorimeters, the caloric values of common foods, such as grains and sugars, are measured. The design of the experiment not only helps the public understand the concept of caloric value but also applies it to daily life, addressing popular concerns. The purpose of this experiment is to excite public interest in chemistry, demonstrate its close connection to life, and through experimental education, deepen public understanding of the relationship between food and energy, as well as the importance of chemistry in solving everyday problems.

Keywords food; calorific value; calorimeter