

# 美味巧克力与粒子加速器

小溪

巧克力是一种深受人们喜爱的甜食。尤其是情人节、圣诞节及各种纪念日,在为爱人、亲人、朋友准备礼物时,首选的就是最能表达爱意的巧克力了。

巧克力的历史可以追溯到数千年前,它的前身是南美洲土著人制作的一种苦涩、带香味的提神饮料,经历了悠长而复杂的发展过程才有了现今如此美味的巧克力。

如果有人说巧克力的美味与粒子加速器相关,你可能会感到惊奇和疑惑,可科学家们说这是真的。

在美国能源部主办的 *Symmetry* 电子期刊上,有篇文章的第一句就是这样写的:如果你的心上人在情人节送给你一盒巧克力,别忘了你还应该感谢粒子加速器,是它给了巧克力美味。

一些历史学家认为巧克力至少已存在了约2000年,但也可能更古老些。1996年出版了一本名为“巧克力的真实历史(*The True History of Chocolate*)”的书,作者对巧克力的起源及发展史作了仔细研究后提出了自己的观点:

关于巧克力的故事最早应可追溯到3000年甚至4000年前。那时,墨西哥及中美洲茂密的热带雨林里生长着一种可可树,当地土著人发现这种树的果实(可可豆荚)里面的“可可豆”(每个果荚里约有30~40颗)干燥后会散发出很独特的香味。他们将可可豆发酵、晒干、烘烤、碾碎,再加上些胡椒、香草、树汁和水制成一种味道苦涩但带有特殊香味的“可可饮料(*Cacahuatl*)”,这种饮料具有能使人迅速恢复体力和精力的神奇功能。

15世纪,随着西班牙对中美洲的征服,可可饮料被引入西班牙,制作技术进行了改良,用糖、肉桂和蜂蜜等替换了原先的胡椒和树汁,可可饮料不再那么苦涩且保留了原来的香味。最初,这种饮料只有王室和贵族才能享用,后来才逐渐在咖啡馆里流

行起来。

当时,从中美洲收购来的可可豆先要进行烘焙,然后去皮碾碎为“可可粒”——这是制作可可饮料的原料。经营可可饮料的商家要将可可粒与各种配料一起烹制后才能产出可可饮料。西班牙商人拉斯科(Lascaux)一直为此烦恼着、探索着。终于,他找到一种方法能将可可粒研磨加热后浓缩成液态的“可可浆”,可可浆冷却后会结成硬块——称为“巧克力特尔(*Chocolatl*)”。商家只要取一小块巧克力特尔用水冲泡调制后即可成为可可饮料。巧克力特尔也可直接放入嘴里吃,这可以算是最原始的巧克力了。

精明的西班牙人因经营可可饮料和巧克力特尔盈利颇丰,他们对配方严加保密,直至约一百年后相关配方才陆续传入意大利、英国、法国等国。因受制作技术所限,当时的可可饮料及巧克力特尔的口味其实还很不尽人意。

1828年,荷兰的范·豪尔顿(*Van Houten*)发明了“脱脂”技术。他使用一种螺旋压力机成功地将可可豆中的脂肪(可可脂)分离出去,脱脂后剩下的可可粉经碱化处理后可使冲泡出来的可可饮料味道更加醇厚。豪尔顿生产的可可粉被称为“荷兰可可”。



图1 可可树、可可果及果荚中的可可豆(图片来自网络)



图2 脱脂后剩下的可可粉与分离出来的可可脂(图片来自网络)

1847年,英国的约瑟夫·弗莱(Joseph Fry)有了新的发现:如果在荷兰可可中按比例加入熔融的可可脂,这样的巧克力浆冷却后制成的固态巧克力就变得不那么粗糙易碎了,巧克力的质量得以大大提高。

1879年,瑞士的鲁道夫·林特(Rudolphe Lindt)发明了“精炼”技术:用能更精细研磨的机器(可可粉颗粒可研磨得小于20微米),根据所需品种的要求在不同温度下(例如:牛奶巧克力约49℃,而黑巧克力约82℃)将加入可可脂的巧克力浆持续研磨几小时甚至几天,精炼后再冷却成型的巧克力品质有了新的飞跃,口感柔滑细腻,入口即化。

不过,巧克力精炼后的冷却成型过程并不像一般人想象的那样简单。

巧克力中的可可脂由多种脂肪酸构成,其中98%为甘三酯,其他成分包括游离脂肪酸、甘二酯、单甘酯、生育酚和磷脂等。可可脂具有多形态结晶的神奇特性,随着温度的不同它竟有六种不同的结晶状态(编号I至VI),每种结晶状态对应不同的熔点:结晶I的熔点17℃,而结晶VI的熔点为36℃。编号越低的结晶状态越不稳定,因结晶V的熔点正好为34℃,室温时是固态,进入人口即能美妙融化,使人得到味觉上的美妙享受。

巧克力制造还需要通过复杂的“调温”工艺,设法让巧克力中尽可能多的可可脂处于结晶V的完美状态,且尽可能地均匀分布。但因结晶V并不是可可脂最稳定的状态,储存过程中一不小心它就会向最稳定的结晶VI状态转化(此时,巧克力表面被蒙上一层白霜,称为反霜)。

反霜的巧克力虽然仍可食用(对人体无害),但它却失去了原来的醇厚香味和口感,吃起来令人“味同嚼蜡”。巧克力的最佳食用期限因此被限制在很短的时间内,如何克服巧克力的反霜已成为令巧克力厂家极为头疼的问题。但是,直至20世纪末,科学家们还不很了解可可脂的晶体结构究竟是什么样的,因而对如何避免巧克力反霜仍束手无策。

荷兰阿姆斯特丹大学的一个研究团队对此问题产生了浓厚的兴趣,他们利用欧洲同步辐射光源ESRF(European Synchrotron Radiation Facility)提供的实验条件,从分子结构的层次开展如何从根本上避免巧克力上形成反霜的研究。

同步辐射光源是基于粒子加速器的大型科研设施,同步辐射光源帮助物理学、化学、地质科学、材料科学等多个学科的科学探索原来人类无法想象的物质细微结构,迄今为止,世界上90%的生物大分子:蛋白质、DNA、RNA、核糖体、核小体或者病毒都是借助同步辐射光了解的。

ESRF是欧洲12个国家共同投资建造的,是世界上首座第三代高能同步辐射光源。它拥有40余条光束线站,为用户提供高亮度、高精度的光源,研究内容涉及生物分子、纳米结构、聚合体等物理、化学、材料科学、生物、医学、地理和地质考古等多个重要领域。

这个来自荷兰的研究团队在ESRF实验站上用“X射线粉末衍射技术”首次确定了可可脂三种主要单不饱和型甘油三酯中的一种——SOS的晶体



图3 位于法国格勒诺布尔的ESRF鸟瞰图(图片来自网络)



图4 ESRF 光束线3D效果图(图片来自网络)

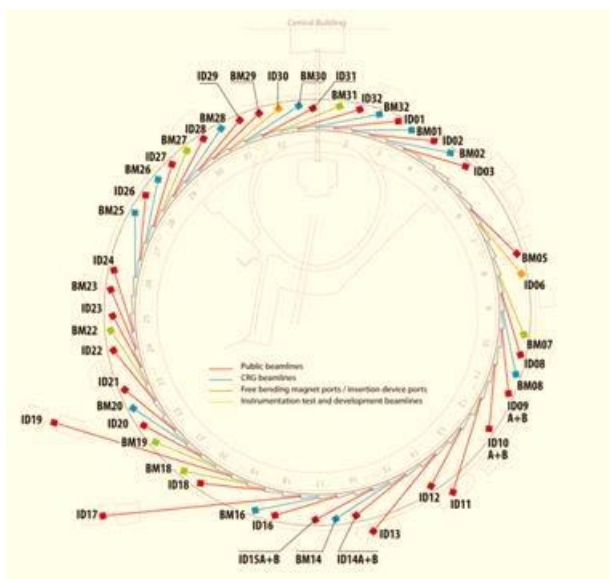


图5 ESRF 的光束线分布示意图(图片来自网络)

结构(约占可可脂的25%,在可可脂的结晶过程中起着重要作用),成功构建了可可脂结晶V的结构模型,为在分子水平上更好地理解巧克力反霜现象的机理打下了基础。这一成果有助于更好地了解可可脂的熔化行为和更好地控制生产过程。

2004年9月,该研究团队在国际知名学术期刊《Journal of Physical Chemistry B》上发表文章,描述了可可脂成分的结构以及最常见可可脂的晶体结构。研究团队的勒内·佩沙尔(Rene Peschar)指出:在一般实验室无法得到这样的结果,真的需要这样

一个同步加速器设施。这是因为ESRF产生的X射线强度比常规X射线源要高上千倍到百万倍,而所需样品的体积却可小几个数量级。在ESRF上进行X射线粉末衍射实验极大地提高了晶体衍射分辨率,并能在短至数秒甚至微秒时间内进行三维结构的研究。ESRF的确是该项研究取得成功的关键。

该项研究成果对巧克力产业产生了直接的影响。基于该研究团队几年来在ESRF上得到的实验数据,参与合作研究的荷兰机械制造公司(该公司所在地区厂商所加工的可可豆占世界总产量的20%以上)获得了一种改进巧克力制造方法的专利,并进行了20→400→1000公斤/小时规模的巧克力生产测试,取得了稳定的成效。该专利技术可使制造的巧克力不发生反霜,还能不断提高巧克力的质感、口感和外观。

所以,当你尝到口味日臻完美的巧克力时,别忘了向粒子加速器表示敬意!

(本文采自高能所微信公众号,略有修改)

### 参考文献

- ① Chocolat à la particule accelerator  
<https://www.symmetrymagazine.org/breaking/2011/02/14/chocolat-a-la-particle-accelerator>
- ② Structure of chocolate unravelled by synchrotron radiation  
<https://phys.org/news/2004-09-chocolate-unravelled-synchrotron.html>
- ③ The True History of Chocolate  
[https://www.streetdirectory.com/food\\_editorials/snacks/chocolates/the\\_true\\_history\\_of\\_chocolate.html](https://www.streetdirectory.com/food_editorials/snacks/chocolates/the_true_history_of_chocolate.html)
- ④ Structure of chocolate unravelled at the ESRF  
[http://www.esrf.eu/news/general-old/general-2004/chocolate/index\\_html](http://www.esrf.eu/news/general-old/general-2004/chocolate/index_html)
- ⑤ Structure of Chocolate Clarified with Synchrotron Powder Diffraction Data  
<http://www.esrf.eu/UsersAndScience/Publications/Highlights/2004/SCM/SCM8/>