

专家论坛专栏

编者按:乳制品含有丰富的营养素,易被人体消化吸收,是营养佳品。由于很多疾病都与高糖、高脂饮食有关,因此,人们在享受品种丰富、美味可口的乳制品时,又会顾忌其中含有的过多脂肪和糖分。开发不影响乳制品口感、风味、质构等特性的糖、脂肪替代物是乳品工业发展的重要方向,为此,本期栏目特邀专家对乳制品减糖、减脂的研究进展进行阐述,以期为推动我国乳品工业发展提供借鉴。

(栏目策划:李 宁)

doi:10.3969/j.issn.2095-6002.2020.05.003

文章编号:2095-6002(2020)05-0014-10

引用格式:许洪高,王鑫,李东. 乳制品减糖的必要性及研究进展[J]. 食品科学技术学报,2020,38(5):14-23.



XU Honggao, WANG Xin, LI Dong. Necessity and research progress of sugar reduction in dairy products[J]. Journal of Food Science and Technology, 2020,38(5):14-23.

乳制品减糖的必要性及研究进展

许洪高, 王 鑫, 李 东*

(1. 北京市科学技术研究院 生物医药与营养健康协同创新中心, 北京 100089;

2. 北京市营养源研究所 北京市系统营养工程技术研究中心, 北京 100069)

摘 要:基于含糖食品对公众健康的影响,降糖成为食品工业的技术挑战之一。从乳制品和糖与健康的关系出发,重点分析了糖的消费现状和膳食推荐,以及不同国家和地区为控制居民糖的摄入而采取的营养标签标识、征税等措施;通过糖对乳制品的作用、乳制品中糖的应用现状、乳制品降糖面临的技术挑战等内容的解析,论述了乳制品减糖的必要性和发展趋势。乳制品减糖一般常用逐步降糖、糖替代、食品质构创新、多感官融合等技术方法。逐步降糖让消费者习惯低糖乳制品的口感是最理想的措施,但市场风险的存在使企业更倾向于选择不降低甜度的前提下,使用非营养型高倍甜味剂、糖醇和膳食纤维等实现减糖。代糖物质对产品感官和品质的影响是乳品工业面临的技术挑战;食品质构创新可以在不增加产品中糖的添加量前提下,从质构调节、风味释放等多维度提升甜度感受;采用多感官融合技术从甜味质量、强度、持续性和空间性等4个维度综合模拟糖对产品的贡献、实现减糖是可行的趋势。

关键词: 乳制品; 减糖; 质地结构; 甜度; 感官品质

中图分类号: TS252.1

文献标志码: A

人体所需的必需营养素有42种,既包括蛋白质、脂肪、碳水化合物(含膳食纤维)等宏量营养素,也包括矿物质、维生素等微量营养素,还包括水。普

通居民的膳食指南推荐每天食用奶类、大豆及其制品。乳及乳制品是营养成分齐全、组成比例适宜、易消化吸收、营养价值高的食品。乳及乳制品以牛、

收稿日期:2020-06-12

基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFD0400601-03)。

第一作者:许洪高,男,研究员,博士,主要从事功能配料与食品方面的研究。

*通信作者:李 东,男,研究员,博士,主要从事食物营养与人类健康方面的研究。

羊、马、骆驼等哺乳动物为来源,以牛为来源的最常见,包括牛奶、奶粉、酸奶、奶酪、冰淇淋、调制乳、乳饮料等。牛奶中蛋白质的平均含量为 3%,80% 以上为酪蛋白,其余为乳清蛋白,消化率达到 90% 以上,必需氨基酸比例符合人体需要,属于优质蛋白质,常与鸡蛋蛋白一同作为参比蛋白^[1];牛奶中的脂肪含量 3%~4%,以微脂肪球的形式存在,有利于消化吸收;碳水化合物主要为乳糖,有调节胃酸、促进胃肠蠕动和促进消化液分泌的作用,并能促进钙、铁、锌等矿物质的吸收,以及助长肠道乳酸菌繁殖,抑制腐败菌的生长。乳及乳制品还是膳食钙的主要来源,也是膳食中优质磷、维生素 A、维生素 D 和维生素 B₂的重要供给来源之一。乳与乳制品作为日常膳食重要的蛋白来源,市场普及度极高。根据 Euromonitor 公司 2018 年的统计数据,全球乳制品的市场份额超过 3 000 亿美元/年,中国的市场销售额达到 617 亿美元;而 AC 尼尔森公司的统计数据显示中国酸性乳、中性乳和成人乳粉的市场份额达到 1 666 亿元,其中酸奶产品的年均复合增长率超过 12%^[2]。

1 乳制品与健康的关系

日常食用乳制品(牛奶、奶酪和酸奶)不仅可以补充宏量的蛋白质营养素,还能为健康带来益处。对于美国人而言,每日摄入的牛奶和乳制品提供 10% 左右的能量需求,但能够提供 51% 的钙、58%

的维生素 D、28% 的磷和维生素 A、26% 的维生素 B₁₂、25% 的维生素 B₂ 和 15%~30% 的蛋白质^[3]。我国膳食指南推荐居民日摄入牛奶 300 g,也占到日能量需求的 9.3%。

Malik 等^[4]研究发现,成年女性在青少年时期每日食用 2 份乳制品能够降低 2 型糖尿病的发病风险(38%)。摄入低脂牛奶及其制品可降低乳腺癌的发病风险,牛奶及其制品还可促进成人骨密度增加^[5]。研究显示,牛奶及其制品的摄入量每增加 400 g/d 可降低结肠癌患病风险 17%,每增加 200 g/d 可降低结直肠癌风险 9%^[6]。还有研究表明,摄入牛奶及其制品、低脂牛奶及其制品和液态奶可降低高血压的发病风险^[7]。80 g/d 的低脂发酵乳制品摄入量与 0 g/d 的摄入量相比,可有效降低 2 型糖尿病的发病风险^[8]。另外,每日摄入超过 1 份(约 250 mL)的低脂乳制品将有助于降低心血管疾病的风险^[9](见表 1)。

牛奶在发酵过程中产生了小分子的低聚肽,瑞士乳杆菌(*Lactobacillus helveticus*)和酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*)共同发酵牛奶可产生缬氨酸(Val)-脯氨酸(Pro)-脯氨酸(Pro)、异亮氨酸(Ile)-脯氨酸(Pro)-脯氨酸(Pro)这 2 种三肽,这 2 种三肽能够抑制血管紧张素转化酶(ACE),从而具有降血压的作用^[10]。酸奶可以改善乳糖不耐症、便秘和幽门螺杆菌的根除率,可降低 2 型糖尿病的发生风险(见表 1),但酸奶与感冒、过敏性疾病、肝病和高脂血症之间的关系尚待进一步确认^[5]。

表 1 乳制品与健康的关系评价
Tab. 1 Evaluation of relationship between dairy products and health

乳制品	与疾病关系	受测人群	综合评价等级*
牛奶及非发酵乳制品	与髌骨骨折发生风险无关	美国、意大利、法国、荷兰、希腊、瑞典、德国人群 5 760 例	B
	促进成人骨密度增加	美国人群 2 733 例	B
	降低乳腺癌发病风险	美国、欧洲、亚洲人群 1 063 471 例	B
发酵乳制品	改善乳糖不耐受症	中国、美国、法国、波兰人群 629 例	B
	改善便秘	中国、芬兰、美国、德国人群 614 例	B
	降低 2 型糖尿病发病风险	美国、日本、澳大利亚、欧洲人群 258 892 例	B
	辅助治疗幽门螺杆菌,改善幽门螺杆菌根除率	中国、捷克、韩国、日本、墨西哥、土耳其、加拿大、荷兰、阿根廷人群 3 013 例	B

* 综合评价等级是将所有研究文献汇总形成一个证据体,再根据证据等级、一致性、健康影响、研究人群及适用性等评价指标形成综合评价,分为 A、B、C、D 四个推荐等级。其中 B 等级表示大多数情况下,证据体的结论指导实践是可信的。

对中国普通成年人、男性和儿童进行的实验结果显示,每日摄入 250 mL 以上的酸奶,对乳糖不耐症患者的症状明显减轻^[11-13]。Pelletier 等^[14]和

Leis 等^[15]分别对法国和美国的乳糖不耐症类消费者进行酸奶实验,发现酸奶对乳糖不耐症患者的症状有减轻作用。

临床实验或者半临床实验发现,每日摄入100 mL/次的酸奶2次可促进排便,降低中国成年人非器质性便秘的发生率^[16-19]。Mazlyn等^[20]、Agrawal等^[21]和Krammer等^[22]通过临床实验发现每日摄入酸奶的益生菌多于 4×10^{11} 时,对功能性便秘起到改善作用;而酸奶中的益生菌摄入量低于 3×10^{10} 时,对功能性便秘的改善作用不显著。

2 糖与健康的关系

糖不仅是日常生活必需品,也是含糖食品的重要原料。广义上的糖与碳水化合物等同,指由碳、氢和氧三种元素组成,且所含的氢氧比例和水相同,是为人体提供能量的3种主要营养素之一。食物中的碳水化合物分为可以吸收利用的有效碳水化合物和不能消化的无效碳水化合物两大类。我国食物营养标签上常见碳水化合物一项,是糖、寡糖和多糖的总称,包括淀粉、纤维素等多糖。但营养标签在标示膳食纤维的前提下,碳水化合物就不包括膳食纤维。国外食物营养标签上还常见糖的标示,这里的糖指单糖和双糖的总和,包括葡萄糖、果糖、蔗糖、麦芽糖、乳糖等单糖和双糖组分。

涵盖15个省17 660名居民(男性8 421名,女性9 239名)的中国健康与营养调查结果显示,糖在我国居民膳食构成的比例已由2002年的0.1%逐步提升到2012年的0.4%^[23]。调查人群中含糖预包装食品消费记录的人群共5 980名(男性2 685名,女性3 295名),占总人数的33.9%。在这些人群中,纯牛乳类食品的消费人群构成比例最高(44.2%),其次为面包类(28.5%)、糕点类(23.8%)和乳制品类(22.2%)。根据每类食品的消费量和糖含量水平,计算获得来自预包装食品的总糖摄入量中位数为10.5 g/d,其中有15.8%含糖食品消费人群(945名)总糖摄入水平超过25 g/d;且6~17岁和60岁及以上人群总糖摄入量最高($P < 0.001$),但男女性别间的总糖摄入水平无统计学差异。

世界人均日消费的糖所提供能量接近500 kcal^[24],约占日推荐摄入能量的25%,FAO/WHO的指南(2017年)建议,成年人和儿童应将其每天的游离糖摄入量降至其总能量的10%以下^[25]。降到5%以下或者每天大约25 g糖(96 kcal)将有更多的健康益处。《中国居民膳食指南》(2016版)推荐健康人群的碳水化合物的供给量

为总能量摄入的55%~65%,同时要求碳水化合物应包括复合碳水化合物淀粉、不消化的抗性淀粉、非淀粉多糖和低聚糖等;限制纯能量食物如糖的摄入量。不同国家和地区控制居民糖摄入的政策举措见表2^[24-28]。

很多研究^[29-34]表明,糖的过量摄入,特别是含糖饮料的过量摄入将增加龋齿、高血压和2型糖尿病等代谢性疾病与心血管疾病的风险(见表3)。糖的摄入与肥胖风险的关系与是否控制总能量摄入有关;过多摄入果糖可增加高血脂的发病风险^[5]。其他有关糖对健康的影响,Evans^[35]和Rippe等^[36]进行了阐述。Mann等^[37]采用荟萃分析发现,高糖饮食将显著增加体脂。尽管公众健康引起了相关部门的高度重视,且号召人们降低糖的摄入量,但低糖饮食(糖供能占总供能的25%甚至更低)对健康的影响仍缺乏直接的实验数据。

现实中,果葡糖浆作为一种甜度与白砂糖相当、价格更便宜的甜味料广受食品企业的青睐。与葡萄糖不同的是,果糖对餐后血糖升高的影响较小,因此很多人认为果糖对2型糖尿病人而言是一种健康的糖;另外,果糖作为一种水果中天然存在的糖也为其健康性做了背书,但人们忽略了果糖在体内的代谢途径。绝大多数果糖在体内会转化成葡萄糖,然后再转化成低密度脂蛋白或者成为脂肪粒沉积于脂肪细胞。但与葡萄糖在全身各处都参与代谢显著不同,果糖几乎全部在肝脏进行代谢,一次性摄入过多的果糖将导致脂肪在肝脏堆积,长此以往将增加非酒精性脂肪肝和胰岛素耐受的发病风险^[38-40]。更多研究显示,过量摄入果糖和高果糖浆与心血管疾病的发病风险有紧密相关性^[41]。

3 糖对乳制品的作用

糖在食品中有很多作用,不仅可以使食品更加适口宜人,而且作为食品的填充料,能够增加黏度、增强风味、提供感官质构、赋予颜色、降低水分活度、阻止蛋白变性等,具体作用机理见表4^[42-43]。

对于乳制品而言,应用糖的产品主要包括调制乳、风味发酵乳、加糖乳粉、冰淇淋和含乳饮料等。糖在发酵乳制品中不仅具有增加甜味、改进口感和质构的作用,还可以作为微生物发酵的碳源营养物质,也可以遮盖风味乳制品(比如巧克力)配料所带来的苦味。

表 2 不同国家和地区政府控制居民糖摄入量的政策措施
Tab.2 Sugar reduction policies in different countries and areas

政策措施	实施国家和地区及措施主要内容
营养标签需标注游离糖	美国从 2019 年起,所有食品均要标识游离糖含量
	欧盟的食品标签需要标注游离糖含量(90/496/EEC、EC/1924/2019、2019/5/EC)
	中国《食品安全国家标准 预包装食品营养标签通则》(GB 28050)的征求意见稿拟要求食品标签标识糖含量
含糖饮料税收	加拿大、中国香港均要求在营养标签中标注游离糖的含量
	美国的加利福尼亚州、科罗拉多州、伊利诺伊斯州、宾夕法尼亚州、俄勒冈和华盛顿特区对各自含糖饮料征税(糖税),税率不等,但美国全国没有统一的糖税政策
	英国的糖税政策自 2018 年 4 月 6 日起生效,8 g/dL 及以上的含糖饮料征收 0.24 欧元/L(约 2.1 元/L);5~8 g/dL 的含糖饮料征收 0.18 欧元/L(约 1.6 元/L)
	法国从 2012 年出台征收含糖饮料的新税种,7.53 欧元/hL(约 0.6 元/L);2018 年 7 月,糖税分级,11 g/dL 及以上的含糖饮料征收 20 欧元/hL(约 1.6 元/L)
	墨西哥从 2014 年起,每 L 含糖饮料征收 1 比索(约 0.32 元)税;含盐小吃、糖果、冰淇淋等非必需食品征收 8% 的税
	南非从 2018 年 4 月起,≤4 g/dL 饮料免税,4 g/dL 以上的饮料,每 g 糖征收 2.1 分(约 0.01 元),且糖不分是食物自身的还是额外添加的,但果汁除外
对油、盐、糖的正面标识(FOP)政策	爱尔兰从 2018 年 5 月起征收糖税,与英国类似,但税率不同,8 g/dL 及以上的含糖饮料征收 0.3 欧元/L(约 2.4 元/L);5~8 g/dL 的含糖饮料征收 0.2 欧元/L(约 1.6 元/L)
	智利、葡萄牙、巴西、爱沙尼亚、西班牙、马来西亚、菲律宾、多米尼加、巴巴多斯等国均有糖税政策
	澳大利亚和新西兰采用健康之星评级系统(Health Star Rating)标签
政策倡议	法国采用五色营养分值(Five-Color Nutri-Score)标签
	英国采用红绿灯(Traffic Light)营养标签
	智利采用“high in”营养警示标签(High in Nutrient Warnings)
政策倡议	美国的健康教育协会、糖尿病协会、癌症协会共同发起“少喝甜饮料生活更甜美”的倡议,建议提高含糖饮料的价格、增加糖的消费税、减少公共场所自动饮料机数量、限制或生产普通含糖的茶和咖啡,生产无糖茶和少糖咖啡产品等
	中国的《中国居民膳食指南》和《健康中国行动(2019—2030 年)》倡议“三减三健”生活方式

表 3 糖与健康的关系评价
Tab.3 Evaluation of relationship between sugar and health

与疾病关系	受测人群	综合评价等级*
增加龋齿患病风险	荷兰、澳大利亚、英国、美国、中国人群 10 609 例	B
增加肥胖的发生风险	美国、欧洲国家、加拿大、巴西、澳大利亚及中国人群 617 979 例	B
增加 2 型糖尿病患病风险	美国、芬兰、新加坡、日本、中国人群 422 373 例	B

* 综合评价等级是将所有研究文献汇总形成一个证据体,再根据证据等级、一致性、健康影响、研究人群及适用性等评价指标形成综合评价,分为 A、B、C、D 四个推荐等级。其中 B 等级表示大多数情况下,证据体的结论指导实践是可信的。

表 4 糖在食品中的作用
Tab.4 Effects of sugars in foods

功能	作用机理
延长货架寿命	糖能够降低水分活度,减缓微生物的生长从而延长食品的货架寿命
发酵碳源	糖可以作为发酵食品中的细菌和酵母生长的碳源营养物质
褐变	糖单独受热发生的褐变反应(焦糖化反应),产生褐色和焦糖风味,比如太妃糖
	糖和蛋白质中的氨基酸发生反应(美拉德反应),产生褐色和特征食品风味
嫩化组织结构	糖可以软化布丁和面团中淀粉凝胶和谷蛋白的网状结构
晶体控制	糖果产品中太妃糖的松软结构控制糖结晶的最小化,而硬糖需要糖结晶最大化
提升沸点	糖能够提高溶液的沸点,从而优化最终的产品一致性
降低冰点	糖能够降低冰点,并提供柔软的口感
结构改良	糖溶于水能提供黏度;糖可以作为填充剂赋予口感和咀嚼感;糖可以提升蛋白的持泡性
风味提升	糖能够提升整体风味,释放香气,平衡巧克力中的苦味、酸奶和番茄中的酸味

3.1 糖在冰淇淋中的作用

冰淇淋中常用的甜味料组合是蔗糖 10% ~ 12%、果葡糖浆 3% ~ 5%^[44]。添加糖的主要目的是提供甜味,增加风味;提供总的固形物,提供爽滑的质构;让冰淇淋产品更软,便于食用。

糖的主要功能是通过让冰淇淋产品变甜以及增加令人愉悦的奶油风味而提高冰淇淋产品的接受度。但不同甜味料在口腔的甜味表现并不一致,相同浓度的果糖、葡萄糖和蔗糖溶液在口腔中感受不同,具体而言,果糖溶液最甜,葡萄糖溶液的甜度最低,果糖溶液能让人最先感受到甜度,甜度持续的时间也最短,而葡萄糖溶液次之,蔗糖感受到的甜度时间最慢、甜度持续的时间最长^[45]。

糖也决定着冰淇淋产品的质构,从而影响消费者的感官感受^[46-47]。糖浓度的增加,冰淇淋的硬度将减小;增加糖浓度还能够减小冰淇淋冰晶的粒径,从而增加冰淇淋的爽滑感。糖对冰淇淋冰晶大小的影响主要包括影响冰晶形成和降低冰点两个方面。糖影响冰晶大小主要通过改变结晶速度实现;降低冰点还将影响冰淇淋在货架期内的重结晶、也影响冰淇淋产品的软硬度和溶解速率。另外,不同原料对产品品质的影响并不一致,例如,在配方一致的情况下,果糖浆比葡萄糖浆能够增加冰淇淋充气凝冻环节的膨胀体积^[48]。

3.2 糖在发酵乳制品中的作用

酸奶是一种历史悠久的食品^[49],糖对原料乳的乳酸发酵并不是必需的,但糖能中和原料乳乳酸发

酵之后的酸味,提高最终产品的消费者接受度;糖能够增加发酵酸乳的可溶性固形物,从而控制酸奶产品的黏度和脱水收缩现象^[50]。

发酵乳制品中的益生菌在人体消化道的存活率取决于益生菌耐受胃酸、胆汁的能力,但发酵乳制品中的糖能够提高益生菌在人体消化道的存活率^[51]。

4 乳制品中糖的应用现状

乳制品中常用的糖包括:甘蔗源或甜菜源的蔗糖、淀粉转化物(果葡糖浆、葡萄糖浆、麦芽糖浆、麦芽糊精)、变性淀粉等。

对市售纯牛乳、调制乳、酸乳、乳粉、冰淇淋等 61 款乳制品检测后发现,液态乳和乳制品中的总糖含量为 6.1 ~ 14.2 g/100 g(或 g/100 mL),含果粒(酱)风味发酵乳的总糖含量较高[(14.2 ± 2.3) g/100 g],上述各类乳制品中蔗糖和乳糖的含量普遍高于其他单体糖成分,半乳糖和葡萄糖含量较高的乳制品为舒化乳,蔗糖含量较高的食品为冰淇淋、风味酸乳、风味发酵乳以及蛋糕奶油,乳糖含量较高的为纯牛乳和调制乳,冰淇淋和乳粉中还含有少量麦芽糖^[52]。

对市售 25 款酸奶产品比较后发现,酸奶中的蔗糖含量平均为 7.59 g/100 g。其中蔗糖含量最高的为 12.40 g/100 g,最低的为 1.34 g/100 g^[53]。市售其他乳制品(部分)的糖含量见表 5。

表 5 部分市售乳制品的糖含量
Tab.5 Sugar contents in dairy products

食品分类号	食品类别	商品名称	糖含量
01.01.03	调制乳	谷粒牛奶、特浓甜牛奶、巧克力牛奶等	7.0 ~ 11.7 g/100 mL
01.02.02	风味发酵乳	原味酸酪乳、日式酸奶、无糖酸牛奶、炭烧风味发酵乳等	5.5 ~ 14.3 g/100 mL
01.03.02	调制乳粉	醇香甜奶粉、中老年高钙奶粉、全脂成人奶粉等	37 ~ 59.9 g/100 g
01.04.02	调制炼乳	甜炼乳	54.0 ~ 57.0 g/100 g
		淡炼乳	9.8 ~ 14.5 g/100 g
03.01	冰淇淋、雪糕类	香草味冰淇淋、巧克力味冰淇淋、奶茶味雪糕、巧克力棒	12.4 ~ 25.4 g/100 g
03.03	风味冰、冰棍类		11.4 ~ 15.4 g/100 g*
14.03.01	含乳饮料	含乳饮料、巧克力味含乳饮料等	4.8 ~ 10.4 g/100 mL
		乳酸菌饮料	6.5 ~ 11.0 g/100 mL
14.06.02	蛋白固体饮料	乳清蛋白粉、胶原蛋白粉、谷物固体饮料等	0 ~ 64.7 g/100 g

食品分类号和食品类别引自 GB 2760—2014《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》,糖含量数据为产品营养标签标示的碳水化合物含量,* 为商品标签标示的糖含量。

5 乳制品减糖的现状 & 面临的技术挑战

根据蛋白质的日推荐摄入水平 (60 g/d) 及乳制品中的平均蛋白水平 (约 3.0%), 在乳制品的日摄入量 (以 200 mL/d 计) 占总推荐蛋白质摄入量 10% 的条件下, 糖的摄入量 (约 15 g) 占到了日推荐糖摄入量 (25 g/d) 的 50% 以上, 综合而言, 乳制品存在减糖的必要性。

乳制品减糖一般常用 4 种方法, 糖替代、食品质构创新、多感官融合、逐步降糖等。糖替代主要通过天然或者合成甜味剂替代原产品配方中的全部或部分蔗糖, 但不降低产品的甜度。针对乳饮料和冰淇淋等乳制品, 采用高倍甜味剂 (三氯蔗糖、安赛蜜、阿斯巴甜等) 部分取代白砂糖已经有很多产品面市, 比如三元品牌的大红枣风味发酵乳、伊利品牌的原味发酵乳复原乳等。

食品质构创新是指从口感、色泽、质构、风味等多维度提升甜度, 但不增加产品中的糖添加量。比

如进行乳糖水解, 水解 70% 的乳糖相当于额外添加 2% 的蔗糖。另外, 在 pH 值为 3 的食品体系添加 0.10% ~ 0.15% 的葡萄糖酸钠可以降低 0.05% 甜菊糖苷产生的后苦味, 不影响甜味时还能够提升酸味^[54], 添加 0.10% ~ 0.15% 的葡萄糖酸钠也可以降低 0.03% 咖啡因所产生的苦味。

多感官融合是指在减糖后, 通过增加或减少食品中的组分 (风味物质、胶体等) 模仿糖所带来的质构、风味等特性^[55]。业界对风味与食品感官的交互作用已经进行了广泛的研究^[56-58], 但液体食品与半固体、固体食品对感官的影响并不一致。对于液体食品而言, 由于舌头上所有的味蕾 (感官受体) 都是同时接受食品基质的刺激, 从而形成一种风味的脉冲现象; 而半固体、固体食品则不同, 味蕾感受会随着食品的破碎以及舌头的运动而呈现不同的感受 (见图 1)^[55, 59], 且食品质构的破碎应力显著影响糖的感官接受度^[55]。酸奶中添加 0.6% 的柑橘果胶能够显著增加酸奶的流变学特性, 特别是黏度、胶黏性和黏结性^[60]。

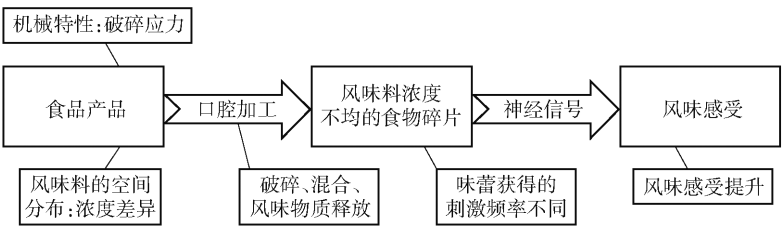


图 1 食品风味物质的空间分布、物理特性和感官体验之间的关系

Fig. 1 Relationships between spatial distribution of tastants, mechanical properties, and taste perception

逐步降糖, 是产品采用循序渐进的方法逐步降低糖的用量, 从而降低消费者的甜度喜好水平。这种方法的效果需要很长时间才能体现, 而且必须要求所有企业共同行动对某一类别产品采取降糖行动, 否则将让部分企业面临很大的风险, 消费者对品牌的忠诚性、专一性往往会随着食品口感喜好性的变化而发生变更^[55]。

还可以通过添加功能原料, 在不降低产品甜度的条件下, 降低蔗糖对人体的影响, 比如添加蔗糖含量 3% 的 L-阿拉伯糖^[61], 可以改变人体餐后血糖的变化幅度。

很明显, 降糖将使乳制品的配方面临挑战, 首先从产品品质方面存在挑战性, 糖的甜味很难模仿和替代, 主要是糖所产生的甜味对产品风味的影响存在质量、强度、持续性和空间性等 4 个维度, 糖对产

品质构、风味、色泽以及贮藏等品质的贡献, 导致甜味降低后, 其他物料的选择存在技术难度。消费者会通过甜味的纯正与否、饱满度、甜味强度随时间变化^[62]的一致性、甜味在舌头或口腔感应位置的一致性角度进行评判。另外, 消费者对产品选择的喜好性变迁也影响产品的降糖, 在食品中允许使用的甜味剂更多的是化学合成的人工高倍甜味剂, 天然甜味剂种类相对较少, 且天然甜味剂的呈味感觉与蔗糖存在明显不同。尽管使用非营养型高倍甜味剂部分取代乳制品的蔗糖已经成功商业化, 但很多市售产品的甜度仍与天然蔗糖的甜度存在显著差异, 产品的质构仍需提升改进。乳糖水解减糖和应用多感官融合技术减糖具有潜力。天然高倍非营养型甜味剂结合风味修饰, 或者通过添加功能成分 (如果胶、膳食纤维、植物甾醇等益生元) 改进产品

的特征诉求,结合多感官融合技术是未来乳制品减糖的发展趋势。

参考文献:

- [1] World Health Organization. WHO technical report series 935, protein and amino acid requirements in human nutrition: report of a Joint WHO/FAO/UNU Expert Consultation [R]. Geneva: WHO, 2007: 113.
- [2] 霍晓娜. 近年来中国乳制品市场形势分析及展望[J]. 农业展望, 2019, 15(7): 4-7.
HUO X N. China's dairy products market situation in recent years and its outlook [J]. Agricultural Outlook, 2019, 15(7): 4-7.
- [3] PRENTICE A M. Dairy products in global public health [J]. American Journal of Clinical Nutrition, 2014, 99(s): 1212-1216.
- [4] MALIK V S, SUN Q, VAN DAM R M, et al. Adolescent dairy product consumption and risk of type 2 diabetes in middle-aged women [J]. American Journal of Clinical Nutrition, 2011, 94(3): 854-861.
- [5] 中国营养学会. 食物与健康: 科学证据共识[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2016: 197-230.
Chinese Nutrition Society. Food and health: evidence based review [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2016: 197-230.
- [6] RALSTON R A, TRUBY H, PALERMO C E, et al. Colorectal cancer and nonfermented milk, solid cheese, and fermented milk consumption: a systematic review and meta-analysis of prospective studies [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2014, 54(9): 1167-1179.
- [7] CHEN M, SUN Q, GIOVANNUCCI E, et al. Dairy consumption and risk of type 2 diabetes: 3 cohorts of US adults and an updated meta-analysis [J]. BMC Medicine, 2014, 12: 215.
- [8] O'CONNOR L M, LENTJES M A, LUBEN R N, et al. Dietary dairy product intakes and incident type 2 diabetes: a prospective study using dietary data from a 7-day food diary [J]. Diabetologia, 2014, 57(5): 909-917.
- [9] SAMAHA A A, ZOUEIN F, GEBBAWI M, et al. Associations of lifestyle and dietary habits with hyperlipidemia in Lebanon [J]. Vessel Plus, 2017, 1: 98-106.
- [10] BELTRÁN-BARRIENTOS L M, HERNÁNDEZ-MENDOZA A, TORRES-LLANEZ M J, et al. Invited review: fermented milk as antihypertensive functional food [J]. Journal of Dairy Science, 2016, 99(6): 4099-4110.
- [11] 钟燕, 黄承钰, 何涛, 等. 益生菌和酸奶对乳糖不耐受者的作用研究[J]. 营养学报, 2005, 27(5): 55-59.
ZHONG Y, HUANG C Y, HE T, et al. Effects of probiotics and yoghurt on lactose intolerance [J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2005, 27(5): 55-59.
- [12] 何梅, ANTOINE J M, 杨月欣, 等. 酸奶中活菌对成年男性乳糖吸收不良者乳糖吸收的影响[J]. 卫生研究, 2004, 33(5): 603-605.
HE M, ANTOINE J M, YANG Y X, et al. Influence of live flora on lactose digestion in male adult lactose-malabsorbers after dairy products intake [J]. Journal of Hygiene Research, 2004, 33(5): 603-605.
- [13] 赵显峰, 潘丽莉, 孟晶, 等. 乳糖不耐受小学生饮奶方法的探讨[J]. 中华预防医学杂志, 2007, 41(3): 176-178.
ZHAO X F, PAN L L, MENG J, et al. The methods to reduce the prevalence of lactose intolerance in children [J]. Chinese Journal of Preventive Medicine, 2007, 41(3): 176-178.
- [14] PELLETIER X, LAURE-BOUSSUGE S, DONAZZOLO Y. Hydrogen excretion upon ingestion of dairy products in lactose-intolerant male subjects: importance of the live flora [J]. European Journal of Clinical Nutrition, 2001, 55(6): 509-512.
- [15] LEIS R, TOJO R, PAVÓN P, et al. Prevalence of lactose malabsorption in Galicia [J]. Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition, 1997, 25(3): 296-300.
- [16] 张元, 张雪梅, 吴玲. 酸奶防治老年鼻饲患者便秘的效果观察[J]. 西部医学, 2012, 24(6): 1186-1189.
ZHANG Y, ZHANG X M, WU L. The effect of yogurt for prevention constipation in the nasogastric feeding elderly [J]. Medical Journal of West China, 2012, 24(6): 1186-1189.
- [17] 姜淑青, 王晓军, 王玉祥, 等. 酸奶对人体润肠通便功能的影响研究[J]. 现代预防医学, 2009, 36(13): 2440-2441.
JIANG S Q, WANG X J, WANG Y X, et al. Effects of yogurt on bowels open function [J]. Modern Preventive Medicine, 2009, 36(13): 2440-2441.
- [18] 何梅, 边立华, 韩军花, 等. 发酵乳改善女性人群便

- 秘状况的干预试验研究[J]. 卫生研究, 2008, 37(6): 722-724.
- HE M, BIAN L H, HAN J H, et al. Effect of fermented milk on symptoms of constipation of female [J]. Journal of Hygiene Research, 2008, 37(6): 722-724.
- [19] 何梅, 胡刚, 魏洁, 等. 含动物双歧杆菌 DN-173010 的益生菌酸乳对便秘症状改善作用的研究[J]. 胃肠病学, 2009, 14(5): 287-289.
- HE M, HU G, WEI J, et al. Effect of probiotic yogurt containing *Bifidobacterium animal's* strain DN-173010 on symptoms of constipation [J]. Chinese Journal of Gastroenterology, 2009, 14(5): 287-289.
- [20] MAZLYN M M, NAGARAJAH L H, FATIMAH A, et al. Effects of a probiotic fermented milk on functional constipation: a randomized, double-blind, placebo-controlled study [J]. Journal of Gastroenterology and Hepatology, 2013, 28(7): 1141-1147.
- [21] AGRAWAL A, HOUGHTON LA, MORRIS J, et al. Clinical trial: the effects of a fermented milk product containing *Bifidobacterium lactis* DN-173010 on abdominal distension and gastrointestinal transit in irritable bowel syndrome with constipation [J]. Alimentary Pharmacology and Therapeutics, 2008, 29(1): 104-114.
- [22] KRAMMER H J, SEGGERN H, SCHAUMBURG J, et al. Effect of *Lactobacillus casei* Shirota on colonic transit time in patients with chronic constipation [J]. Coloproctology, 2011, 33(2): 109-113.
- [23] 中国营养学会. 中国居民膳食指南(2016版)[M]. 北京:人民卫生出版社, 2016: 5.
- Chinese Nutrition Society. Chinese Population Dietary Guidelines (2016 Version) [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2016: 5.
- [24] Anon. Sugar taxes the global picture [EB/OL]. (2018-12-14) [2020-6-12]. <https://www.foodnavigator.com/Article/2018/12/14/Sugar-taxes-the-global-picture>.
- [25] KANTER R, VANDERLEE L, VANDEVIJVERE S. Front-of-package nutrition labelling policy: global progress and future directions [J]. Public Health Nutrition, 2018, 21(8): 1399-1408.
- [26] ACTON R B, JONES A C, KIRKPATRICK S I, et al. Taxes and front-of-package labels improve the healthiness of beverage and snack purchases: a randomized experimental marketplace [J]. International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity, 2019, 16: 46.
- [27] 米玉倩, 吴静, 梁晓峰. 欧美国家减糖政策分析及其对我国慢性病防控的启示[J]. 中国卫生事业管理, 2017, 34(4): 247-248, 251.
- MI Y Q, WU J, LIANG X F. Enlightenment from the sugar reduction policy at abroad on control and prevention of chronic diseases in China [J]. The Chinese Health Service Management, 2017, 34(4): 247-248, 251.
- [28] 刘丹, 翟屹, 赵文华. 含糖饮料加税政策国际进展回顾与思考[J]. 中华预防医学杂志, 2017, 51(12): 1124-1128.
- LIU D, ZHAI Y, ZHAO W H. Retrospection and reflection on international progress of sugar-sweetened beverages tax policies [J]. Chinese Journal of Preventive Medicine, 2017, 51(12): 1124-1128.
- [29] 国家卫生计生委疾病预防控制局. 中国居民营养与慢性病状况报告(2015)[R]. 北京:人民卫生出版社, 2015: 20-35.
- Bureau of Disease Control and Prevention, National Health Commission of the People's Republic of China. The Status of Nutrition and Chronic Diseases of Chinese Residents (2015) [R]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2015: 20-35.
- [30] LUSTIG R H, SCHMIDT L, BRINDIS C. The toxic truth about sugar [J]. Nature, 2012, 482: 27-29.
- [31] World Health Organization. Diet, nutrition, and the prevention of chronic diseases: report of a Joint WHO/FAO Expert Consultation [EB/OL]. [2020-6-12]. <https://www.who.int/publications/i/item/924120916X>.
- [32] GREBECKA M. Sugar alcohols-their role in the modern world of sweeteners: a review [J]. European Food Research Technology, 2015, 241: 1-14.
- [33] MALIK V S, POPKIN B M, BRAY G A, et al. Sugar-sweetened beverages and risk of metabolic syndrome and type 2 diabetes [J]. Diabetes Care, 2010, 33(11): 2477-2483.
- [34] OLSEN N, HEITMANN B. Intake of calorically sweetened beverages and obesity [J]. Obesity Reviews, 2009, 10(1): 68-75.
- [35] EVANS C E L. Sugars and health: a review of current evidence and future policy [J]. The Proceedings of the Nutrition Society, 2016, 76(3): 400-407.
- [36] RIPPE J M, ANGELOPOULOS T J. Relationship between added sugars consumption and chronic disease risk factors: current understanding [J]. Nutrients, 2016, 8

- (11): 697.
- [37] MANN J, MALLARD S, TE MORENGA L. Dietary sugars and body weight: systematic review and meta-analyses of randomized controlled trials and cohort studies [J]. *British Medical Journal*, 2013, 345: e7942.
 - [38] OUYANG X S, CIRILLO P, SAUTIN Y, et al. Fructose consumption as a risk factor for non-alcoholic fatty liver disease [J]. *Journal of Hepatology*, 2008, 48(6): 993–999.
 - [39] RUFF J S, HUGENTOBLER S A, SUCHY A K, et al. Compared to sucrose, previous consumption of fructose and glucose monosaccharides reduces survival and fitness of female mice [J]. *The Journal of Nutrition*, 2015, 145(3): 434–441.
 - [40] TAPPY L, LÊ K A. Health effects of fructose and fructose-containing caloric sweeteners: where do we stand 10 years after the initial whistle blowings [J]. *Current Diabetes Reports*, 2015, 15(8): 54.
 - [41] RIPPE J M, ANGELOPOULOS T J. Fructose-containing sugars and cardiovascular disease [J]. *Advances in Nutrition*, 2015, 6(4): 430–439.
 - [42] HUTCHINGS S C, LOW J Y Q, KEAST R S J. Sugar reduction without compromising sensory perception. An impossible dream [J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2018, 59(14): 2287–2307.
 - [43] McCAIN H R, KALIAPPAN S, DRAKE M A. Invited review: sugar reduction in dairy products [J]. *Journal of Dairy Science*, 2018, 101(10): 8619–8640.
 - [44] GOFF H D, HARTEL R W. *Ice cream* [M]. 7th ed. New York: Springer, 2013: 19–44.
 - [45] HULL P. *Glucose syrups, technology and applications* [M]. Singapore: Wiley-Blackwell, 2013: 61–75.
 - [46] STAMPANONI C R. Influence of acid and sugar content on sweetness, sourness and the flavor profile of beverages and sherbets [J]. *Food Quality and Preference*, 1993, 4(3): 169–176.
 - [47] GUINARD J X, ZOUMAS MORSE C, MORI L, et al. Sugar and fat effects on sensory properties of ice cream [J]. *Journal of Food Science*, 1997, 62(5): 1087–1094.
 - [48] SILVA JUNIOR E D, LANNES S C D S. Effect of different sweetener blends and fat types on ice cream properties [J]. *Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas*, 2011, 31(1): 217–220.
 - [49] CORRIEU G, BÉAL C. Yogurt: the product and its manufacture [M]// CABALLERO B, FINGLAS P, TOLDRÁ F. *The Encyclopedia of Food and Health*. London: Elsevier, 2016: 617–624.
 - [50] ESTÉVEZ A M, MEJÍA J, FIGUEROLA F, et al. Effect of solid content and sugar combinations on the quality of soymilk-based yogurt [J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2010, 34(s1): 87–97.
 - [51] VALERIO F, DE BELLIS P, LONIGRO S L, et al. *In vitro* and *in vivo* survival and transit tolerance of potentially probiotic strains carried by artichokes in the gastrointestinal tract [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2006, 72(4): 3042–3045.
 - [52] 侯琳琳. 我国预包装食品糖含量分析及其在人群糖摄入量评估中的应用 [D]. 北京: 中国疾病预防控制中心营养与健康所, 2017.
 - HOU L L. Analysis of sugar in pre-packaged food in Chinese market and their contribution to the sugar consumption among Chinese residents [D]. Beijing: Institute for Nutrition and Health, Chinese Center for Disease Control and Prevention, 2017.
 - [53] 佚名. 25 种酸奶大比拼, 这 6 款营养价值最高, 这 3 款含糖最低 [EB/OL]. (2017-11-03) [2020-06-12]. https://www.sohu.com/a/202114377_100004458.
 - [54] SINGER R. New ways for beverage formulators to reduce bitterness and balance sourness [EB/OL]. [2020-06-12]. <http://buyersguide.supplysideshow.com/media/87/library/18333-417.pdf>.
 - [55] STIEGER M, VAN DE VELDE F. Microstructure, texture and oral processing: new ways to reduce sugar and salt in foods [J]. *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, 2013, 18(4): 334–348.
 - [56] STEVENSON R J, PRESCOTT J, BOAKES R A. Confusing tastes and smells: how odours can influence the perception of sweet and sour tastes [J]. *Chemical Senses*, 1999, 24(6): 627–635.
 - [57] DJORDJEVIC J, ZATORRE R J, JONES-GOTMAN M. Odor-induced changes in taste perception [J]. *Experimental Brain Research*, 2004, 159: 405–408.
 - [58] SMALL D M, PRESCOTT J. Odor/taste integration and the perception of flavor [J]. *Experimental Brain Research*, 2005, 166: 345–357.
 - [59] DE WIJK R A, ENGELEN L, PRINZ J F. The role of intra-oral manipulation in the perception of sensory attributes [J]. *Appetite*, 2003, 40(1): 1–7.

[60]

ARIOUI F, SAADA D A, CHERIGUENE A. Physico-chemical and sensory quality of yogurt incorporated with pectin from peel of *Citrus sinensis* [J]. Food Science and Nutrition, 2017, 5(2) : 358 – 364.

[61]

INOUE S, SANAI K, SERI K. Effect of L-arabinose on blood glucose level after ingestion of sucrose-containing food in human [J]. Journal of the Japanese Society of Nutrition and Food Science, 2000, 53(6) : 243 – 247.

[62]

高彦祥. 食品添加剂[M]. 北京:中国林业出版社, 2012: 154 – 159.

GAO Y X. Food additives[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2012: 154 – 159.

Necessity and Research Progress of Sugar Reduction in Dairy Products

XU Honggao, WANG Xin, LI Dong*

(1. *Biomedicine Nutrition and Health Collaborative Innovation Centre, Beijing Academy of Science and Technology, Beijing 100089, China;*
2. *Beijing Systematic Nutrition Engineering Technology Research Centre, Beijing Institute of Nutritional Resources, Beijing 100069, China*)

Abstract: Sugar reduction is a major technical challenge for the food industry, due to effects of sugars in foods on public health. This paper reviews the health effects of dairy products and sugars, with an emphases on the consumption status and dietary recommendation of sugar. The sugar reduction policies in different countries and areas were also illustrated. According to the application and contribution of sugar to the quality of dairy products, the challenges necessity and research progress of sugar reduction in dairy products were discussed. General methods for sugar reduction include gradually decreasing sugar (direct reduction), sugar substitution, food structure modification, and multisensory integration. Decreasing sugar gradually could make the consumers adapt the taste and flavor of low sugar foods, and it might be the most ideal methods to reduce sugar in food. The risk of gradual sugar reduction for food companies in markets makes them prefer to using non-nutritive sweeteners, sugar alcohols, and fibers to substitute sugar in products. Effects of sweeteners on the mouth feel make the sugar reduction be a technical challenge. Advances in food structures could also provide novel ways to reduce sugar in dairy products. The technologies include in the homogeneously distributing sugar, modifying fracture mechanics and modifying tastant release from food matrices. The use of multisensory (aroma, color, and other stimuli) integration principles would be a promising approach.

Keywords: dairy products; sugar reduction; texture and structure; sweetly; organoleptic quality

(责任编辑:李 宁)