

几种典型天然甜味剂的功能活性及食品加工应用

成圆, 王宇加, 王婷婷, 丁淼, 樊梓鸾*

(东北林业大学林学院, 黑龙江省森林食品资源利用重点实验室, 黑龙江哈尔滨 150040)

摘要:近年来, 随着消费者对健康产品的需求, 天然甜味剂成为食品加工中重要加工原料, 主要原因是其高甜度、低热量、低升糖的特点。消费者认知的提升及企业对产品的不断开发共同促进了天然甜味剂在我国的发展。天然甜味剂不仅可以应用于食品生产, 还具有调节肠道菌群、抗氧化、美白、保护神经、抗癌、抗病毒、抗糖化和抗糖尿病等功能活性, 但我国对于此方面的开发和利用还不慎广泛。该研究将重点围绕几种典型天然甜味剂的功能活性进行综述, 并对其在乳制品、饮料、焙烤食品、海产品等食品加工中的应用现状深入探讨, 以期天然甜味剂的扩大开发应用提供参考依据。

关键词:天然甜味剂; 功能活性; 糖醇类; 甘草甜素; 调节菌群; 抗糖化; 食品加工

文章编号: 1673-9078(2023)08-326-333

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.8.0963

Functional Activities of Several Typical Natural Sweeteners and Their Applications in Food Processing

CHENG Yuan, WANG Yujia, WANG Tingting, DING Miao, FAN Ziluan*

(College of Forestry, Key Laboratory of Forest Food Resources Utilization, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

Abstract: In recent years, with the consumer demand for healthy products, natural sweeteners have become important raw materials in food processing, due mainly to their characteristics such as high sweetness, low calories, and low blood sugar rise. The increasing consumer recognition and the continuous product exploitation by enterprises have jointly promoted the development of natural sweeteners in China. Natural sweeteners can not only be used in food production but also have functional activities such as intestinal flora-regulating, anti-oxidative, whitening, nerve-protecting, anti-cancer, antiviral, anti-glycation, and anti-diabetes properties. However, the development and utilization of natural sweeteners in China are still not extensive. This review focuses on the functional activities of several typical natural sweeteners, and discusses their applications in dairy products, beverages, baked foods, seafood, and other food processing products, in order to provide a reference for the development and application of natural sweeteners.

Key words: natural sweeteners; functional activities; sugar alcohols; glycyrrhizin; regulating microflora; mash resistance; food processing
引文格式:

成圆,王宇加,王婷婷,等.几种典型天然甜味剂的功能活性及食品加工应用[J].现代食品科技,2023,39(8):326-333

CHENG Yuan, WANG Yujia, WANG Tingting, et al. Functional activities of several typical natural sweeteners and their applications in food processing [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(8): 326-333

中国是世界食糖大国之一, 过多摄入高糖食品会引起人体肥胖、高血糖等代谢疾病。近年来, 我国肥胖人数居高不下且逐渐趋向年轻化。青少年肥胖引起

收稿日期: 2022-08-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(31170510); 中央高校科学前沿与交叉学科创新基金项目(2572019BA09); 黑龙江省自然科学基金联合引导项目(LH2020C035); 中国博士后科学基金项目(2016M600239)

作者简介: 成圆(1999-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 天然产物功能性开发, E-mail: cy_lyz1109@163.com

通讯作者: 樊梓鸾(1981-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 天然产物分离纯化及功能活性评价, E-mail: fzl_1122@163.com

体内器官、分泌和代谢系统异常, 增加儿童高血压、心脏病和糖尿病等疾病的风险。研究结果显示, 2014年我国糖尿病患病人数占全球糖尿病患者总人数的24.4%, 位居全球第一^[1], 2010~2021年中国糖尿病患病人数由0.9亿增长到1.4亿, 增长率高达56%。同时, 中国青少年中血糖异常现象呈上升趋势, 从2002年到2016年上升1.64%^[2]。但将食品生产为完全无糖产品会严重降低感官价值。目前, 我国对蔗糖的控制受到重视, 市场上出现许多以甜味剂替代蔗糖的“零蔗糖”食品以及“零卡糖”食品, 所以, 在控糖的同时寻找出蔗糖的替代品十分重要。

在早期食品加工工业中人们广泛使用糖精、阿斯巴甜、安赛蜜等合成甜味剂替代蔗糖。但糖精的苦味和金属味等后味，严重影响食品品质，且安全性存在很大争议，因此在现代食品生产中用量逐渐减少。天然甜味剂具有热量低、甜度高、安全性优良的特点而倍受年轻人士和相关产品研发人员追捧。此外，天然甜味剂的功能活性可用于某些疾病的日常管理和治疗，如糖醇类可预防和缓解便秘；二氢查尔酮类具有美白效果可用于化妆品中；甘草甜素可通过抑制基因和通路表达诱导癌细胞凋零等。在我国，由于人们对

天然甜味剂的优点和功能活性认知程度较低，在一定程度上阻碍了其在我国的发展。本文综述了天然甜味剂的功能活性及其在食品工业中的应用，旨在为天然甜味剂功能活性更广泛的开发和利用提供参考。

1 天然甜味剂功能活性

天然甜味剂主要指经过直接提取或修饰在自然界中得到的以赋予食品甜味为目的的食品添加剂，大多数是植物或微生物的次生代谢产物^[3]。天然甜味剂具体种类和安全性问题如表 1 所示。

表 1 天然甜味剂具体种类及安全性问题

Table 1 Specific classification, sources, and properties of natural sweeteners

分类	种类	主要包括	安全性问题	文献
营养型甜味剂	多元醇	木糖醇、乳糖醇、赤藓糖醇、麦芽糖醇、异麦芽糖醇、甘露糖醇、山梨糖醇、	FDA 已批准八种不同的糖醇用作人类食品中的甜味剂：赤藓糖醇、氯化淀粉水解物、异麦芽糖醇、乳糖醇、麦芽糖醇、甘露醇、山梨醇和木糖醇。但长期大剂量摄入可以引起剂量依赖性肠胃胀气。	[4]
	稀有糖	约 50 种，D-艾露糖、D-塔格糖、D-山梨糖和 D-阿洛糖是作为潜在蔗糖替代品研究最多的四种糖		[5]
	蜂蜜糖浆	枫糖浆、龙舌兰糖浆、枣糖浆、高粱糖浆		[5]
非营养型甜味剂	甜菊糖苷	甜菊苷、RebA~RebO、杜克苷 A、杜克苷 B、甜菊双糖苷、甜菊醇、甜菊单糖苷	被 FDA 列入 GRAS 名单，无基因毒性和致癌性。ADI 为 4 mg/(kg·d) (按体质量计)。	[6,7]
	罗汉果甜苷	赛门苷-1、11-氧-罗汉果皂苷 V、罗汉果甜苷 V、罗汉果甜苷 IVa、罗汉果甜苷 IVe	在美国可作为甜味剂但不可应用于美国农业部规定的食品以及婴儿配方奶粉中。欧盟不允许其在食品中添加。	[6,7]
	甘草甜素		被 FDA 列入 GRAS 名单，而在欧洲未被认可。长期过量摄入会导致高血压和低钾水平，从而导致心脏和肌肉问题。	[6,7]
	黄酮类	三叶苷、柚皮苷二氢查尔酮、新橙皮苷查尔酮等		[6,7]
	甜味蛋白	非洲奇异果蛋白、应乐果蛋白、索马甜、马槟榔甜蛋白、潘塔亭、仙茅甜蛋白、布那珍甜味蛋白等	甜味蛋白种类众多，但多数甜味蛋白未被各国法律认可，多以不能作为甜味剂应用于食品加工。目前，仅索马甜被认定为食品添加剂。	[6,7]

表 2 天然甜味剂调节肠道菌群的药理作用

Table 2 Natural sweeteners regulate the pharmacological action of the intestinal flora

种类	试验方法	试验结果	文献
乳糖醇	人体试验	乳糖醇可显著增加人体肠道内双歧杆菌和乳杆菌数量，亦可使血浆内毒素水平显著降低	[8]
木糖醇	建立高脂小鼠模型 (高脂饲料喂养)	木糖醇喂养组粪便微生物组成显著改变 (40 和 197 mg/kg)，但不会改变脂质代谢。	[9]
L-阿拉伯糖	建立便秘小鼠模型 (灌胃)	L-阿拉伯糖与蔗糖复配具有润肠通便效果 (L-阿拉伯糖 54%+蔗糖 46%)	[10]
甘露醇	人体实验	腹腔镜手术联合口服甘露醇可显著治疗大肠癌并发便秘患者	[11]

1.1 调节肠道菌群、缓解便秘

肠道菌群可影响人体对食物摄取的能力，进而影响人体对营养物质的消化吸收、营养代谢和免疫能力。正常情况下，人体肠道各菌株间保持平衡状态以维持健康，但受到压力、药物、环境等外界条件刺激时，菌群平衡被打破。如表 2 所示糖醇类可有效调节肠道菌群，预防或缓解便秘。

2017 年欧盟批准一项健康声明，评估指出成人每日摄取 10 g 乳糖醇可增加肠道内渗透压，增加人体排便次数，具有维持肠道正常运转的功能^[12,13]。除以上糖醇，如低聚果糖^[14,15]、低聚半乳糖^[16,17]和大豆低聚糖^[18]等也具有调节肠道缓解便秘得作用。

1.2 抗癌、抗病毒

甘草甜素具有良好的抗炎^[19]、护肝和抗肿瘤功效^[20]。甘草甜素具有抗单纯疱疹病毒- I 作用，主要通过降低细胞粘附作用达到抗病毒效果^[21]。2002 年我国非典型肺炎爆发，甘草甜素可抑制 SARS 冠状病毒复制，同时对病毒引起的肝损害具有保护作用，有效降低转氨酶^[22]。Murck^[23]解释人体感染新冠病毒主要由于刺突蛋白与人类血管紧张素转化酶 2 (Angiotensin-Converting Enzyme 2, ACE2) 蛋白结合，甘草甜素可减少 ACE2 在肺中表达。此外甘草甜素代谢所产生的甘草次酸可抑制 11 β -HSD2。甘草甜素和壳寡糖抗癌效果如表 3 所示。

表 3 与甘草甜素和壳寡糖有关的抗癌、抗病毒机制和通路

Table 3 Anticancer and antiviral mechanisms and pathways associated with glycyrrhizin and chitosan oligosaccharides

种类	疾病	机制	文献
甘草甜素	乳腺癌	抑制 survivin、Bax、Caspase-3 及 Fas 基因表达，增强 Bcl-2 基因表达	[24]
	口腔癌	通过线粒体凋亡途径，诱导 Tca8113 细胞的凋亡	[25]
	肝癌	双向调节 HepG 2.2.15 细胞 e 抗原分泌，增强 TLR4 表达，免疫途径影响 HBV 复制和抗原分泌	[26]
	宫颈癌	增强胸腺指数、脾脏指数、IL-2、IFN- γ 、TNF- α 含量、凋亡指数、Caspase-3 及 Bax mRNA 表达，抑制 Bcl-2 mRNA 及 p-PI3K、p-AKT 蛋白表达	[27]
	胃癌	削弱细胞黏附和迁移能力，降低 β -catenin、Bcl-2、CyclinD1 和 Survivin 的蛋白表达	[28]
壳寡糖	宫颈癌、子宫内膜癌	诱导 C-33A 和 ISK 细胞凋亡和自噬	[29]
	肾癌	增强 RAW264.7 吞噬活性，促进炎症因子 NO、TNF- α 、IL-6、IL-1 β 产生，促进巨噬细胞 M1 极化，提高免疫力	[30]

表 4 三叶苷保护神经、治疗阿尔茨海默症的功能活性

Table 4 Natural sweeteners protect nerves and treat the pharmacological activity of Alzheimer's disease

功能	试验方法	试验结果	作用机理	文献
神经保护	小鼠试验 (异氰醚诱导海马体损伤模型)	三叶苷对异氰醚诱导的小鼠海马神经元 HT22 神经细胞损伤具有保护作用。	降低 HT22 细胞中活性氧 (Reactive Oxygen Species, ROS)、丙二醛 (Malondialdehyde, MDA)，促进超氧化物歧化酶 (Superoxide Dismutase, SOD)、过氧化氢酶 (Catalase, CAT) 活性。促进异氰醚作用下 HT22 细胞中 Nrf2 的核转位以及 HO-1 和 NQO1 的 mRNA 和蛋白表达。	[35]
	细胞试验 (A β 23-35 诱导)	三叶苷可减轻 A β 23-35 诱导的 HT22 细胞死亡，减少细胞内和线粒体 ROS 的过量产生，恢复抗氧化酶活性，并抑制细胞凋亡。	通过激活 ROS/p38/caspase3 依赖的通路，对抗 A β 23-35 诱导的神经细胞死亡。Bax/Bcl2 比值降低，caspase-3 激活，tau、JNK、p38MAPK 磷酸化，SIRT3 表达上升。	[36]
	3 \times FAD 模型小鼠	可保护 3 \times FADAD 模型小鼠免受 A β 负荷、神经炎症、Tau 过度磷酸化、突触变性、海马神经元丢失和记忆障碍的影响。	通过抑制 TLR4-MYD88-NF κ B 通路，减少炎症因子 α - β 、IL-1 β 和 IL-6 表达，从而抑制胶质细胞的激活	[37]
清除自由基，延缓衰老	长线虫试验	三叶苷通过调节氧化还原动态平衡有效地延长了线虫的寿命。	降低 ROS 和 MDA 水平，提高 CAT、SOD、亚型 SOD2 和 SOD3。增加 SKN1、SIRT3 和 DAF16 的含量和基因表达	[38]

表5 天然甜味剂抗氧化、美白、祛斑的功能活性

Table 5 Pharmacological activity of natural sweeteners for antioxidant, whitening and spot removal

作用	种类	试验方法	试验结果	文献
抗氧化	甜菊糖	动物实验 (松浦镜鲤)	提高 SOD 和 CAT 活性降低 MDA 的活性, 提高 IL-1 β 基因表达, 甜菊糖最佳添加量 240 mg/kg。	[42]
	新橙皮苷二氢查尔酮	体外试验	可显著抑制 H ₂ O ₂ 和 HOCl, 可抑制蛋白质降解、质粒 DNA 链断裂以及 HIT-T15、HUVEC 细胞因 HOCl 攻击而死亡。	[43]
	柚皮苷二氢查尔酮	细胞实验	的安全浓度为 $\leq 500 \mu\text{mol/L}$, 有效美白抗氧化。	[41]
美白、祛斑	新橙皮苷二氢查尔酮	体外试验	有效抑制酪氨酸酶 IC ₅₀ =82.02 $\mu\text{mol/L}$, 美白能力是 Vc 的 2 倍, 熊果苷的 60 倍。	[44]

1.3 神经保护、治疗阿尔茨海默症

阿尔茨海默症 (Alzheimer's Disease, AD) 又称老年痴呆症, 为常见神经退行性疾病主要症状有认知能力下降、记忆丧失并发运动障碍、语言障碍等^[31]。临床中治疗方法主要包括小分子药物治疗、免疫治疗、干细胞疗法和血浆疗法等^[32]。中医亦可通过针灸、艾灸等方法治疗。

三叶苷是一种主要从木姜叶柯 (*Lithocarpus litseifolius*) 中提取的二氢查尔酮类化合物, 其甜度为蔗糖 300 倍^[33]。具有保护神经、清除自由基、抗炎等作用^[33]。由表 4 可知三叶苷可通过清除自由基、保护神经起到减轻 AD 并发症达到治疗 AD 的作用。除上述通路外三叶苷还可通过 AMPK/Nrf2/SIRT3 信号通路对神经细胞的氧化损伤起到保护作用^[34]。

1.4 抗氧化、美白、祛斑

人体内过量 ROS 产生可引起氧化损伤从而引起 DNA、RNA 和膜脂等生物分子的氧化, 导致人体衰老, 引发癌症、糖尿病以及动脉硬化等疾病^[39]。如表 5 所示, 甜菊糖、新橙皮苷二氢查尔酮、柚皮苷二氢查尔酮具有抗氧化和抑制酪氨酸酶的作用, 从而表现出美白和祛斑的功效^[40,41]。

1.5 抗糖化、抗糖尿病

晚期糖基化终末产物 (Advanced Glycation End Products, AGEs) 是美拉德反应第三阶段产物。积累过多会对人体健康产生威胁, 引起心脏病、高血压、老年痴呆、糖尿病等。我国糖尿病患者中 95% 患病类型为 II 型糖尿病, II 型糖尿病患病原因主要是胰岛素抵抗, AGEs 可引起人体氧化应激从而导致胰岛素抵抗。Ali 等^[45]研究了糖精、三氯蔗糖、阿斯巴甜、安赛蜜四种人工甜味剂对于 AGEs 的抑制效果, 结果显示只有安赛蜜具有抑制效果。随后 Ali 等^[46]又对天然甜味剂中甜菊糖的抗氧化和抗 AGEs 性质进行研究,

并对其抗糖尿病效果进行评估。结果表明甜菊糖具有抗氧化和抗 AGEs 能力, 抗糖尿病测试中甜菊糖对体外 α -淀粉酶和 α -葡萄糖苷酶均有抑制作用。综上所述, 甜菊糖具有抗氧化、抗 AGEs 及控制糖尿病的能力。Tian 等^[47]通过试验证明海藻糖、赤藓糖醇、山梨糖醇、木糖醇具有促进 GLP-1、GLP-2、PYY 的分泌作用, 且海藻糖、赤藓糖醇、山梨糖醇通过增强甜味受体信号通路关键基因 T1R2、T1R3、G α -gustducin、PLC β 2 TRPM5 mRNA 的表达量, 促进胞内浓度促进 GLP-1 分泌。 α -葡萄糖苷酶存在于小肠上皮绒毛膜刷状缘上, 将食物中碳水化合物分解为单糖最终被人体利用, 抑制 α -葡萄糖苷酶可降低血糖波动。刘国玉等^[48]证实将赤藓糖醇与海藻糖或赤藓糖醇与异麦芽糖醇复配可抑制 α -葡萄糖苷酶活性。以上研究成果对糖尿病治疗和日常护理提供了新思路。

2 在食品中的应用

2.1 在乳制品中的应用

天然甜味剂在乳制品中的应用主要是运用天然甜味剂替代蔗糖, 降低糖的添加量和产品热量。Michele 等^[49]运用了 Napping 和响应面法相结合优化高蛋白酸奶甜菊糖的添加量, 分析甜菊糖配方酸奶与蔗糖三氯蔗糖配方酸奶之间的差距。结果显示, 加入蔗糖、三氯蔗糖、甜菊糖的配方酸奶在总体接受度方面未存在显著差异。但甜菊糖入口后会有苦涩后味, 影响感官品质, 产生这一结果的原因可能是甜菊糖苷特异性激活 hT2R4 和 hT2R14 苦味受体而激发了此种味觉^[50]。目前对于甜菊糖不良后味的改善主要运用酶法修饰改性。万会达等^[51]为改善甜菊糖后苦味利用一种新型 α -环糊精葡萄糖基转移酶为催化剂催化转糖苷反应。Ti 等^[52]利用突变葡聚糖蔗糖酶 Gtf180- Δ N-Q1140E 和蔗糖作为供体底物对甜菊糖苷进行优化和 α -糖基化, 经过优化后的 α -糖基化甜菊糖苷后苦味明显的改善。

天然甜味剂还可以应用于奶油和冰淇淋^[53]等乳

制品的生产。Mohamad 等^[54]将天然甜味剂应用到鲜奶油的生产中,以莱鲍迪苷 A 和异麦芽糖醇代替蔗糖并加入麦芽糊精生产鲜奶油,可改善储存中脱水率和粘度等指标。

2.2 在饮料中的应用

2016 年 3 月,加拿大允许赤藓糖醇作为天然甜味剂加入饮料,目前多国已允许其作为食品添加剂加入多种饮料中^[55]。《2021 中国无糖饮料市场趋势洞察报告》中指出 2020 年我国无糖饮料市场总规模为 117.8 亿,其中无糖碳酸饮料占 66.9 亿,市场总规模与 2014 年相比增长了 7 倍^[56]。

高圣君等^[57]研究赤藓糖醇对柠檬汁中 Vc 的保护作用,证明赤藓糖醇不仅可以作为甜味剂还可以保护维生素不被破坏。进一步研究证实这种保护作用主要是因为赤藓糖醇具有抗氧化的作用,缓解 Vc 的降解,提高反应活化能。Rezvan 等^[58]研究甜菊糖、赤藓糖醇和异麦芽糖醇复配替代蔗糖的豆奶粉配方,通过感官品质和理化性质证实,80%甜菊糖,赤藓糖醇和异麦芽糖醇比例为 75:25 复配后加工的豆奶粉品质最优。

2.3 在焙烤食品中的应用

天然甜味剂用于焙烤食品中可优先改善产品硬度、面团老化及延长保质期等^[59-61]。焙烤食品中常用天然甜味剂包括甜菊糖、糖醇类和低聚木糖。天然甜味剂可延缓冰晶对网状结构的破坏,提高面团的弹性、持水性和聚合性。且由于糖醇结构缺少酮基和醛基所以不会与氨基酸发生美拉德反应,可减少身体对美拉德反应不良产物的摄入。

利用糖醇类为底物生产糖醇酯如赤藓糖醇酯、甘露糖赤藓糖醇酯等,可作为表面活性剂、乳化剂和消泡剂等^[62]。甘露糖赤藓糖醇酯可用于冷冻面团,增强面团流变性,减少面团中冻结水含量,抑制蜡样芽孢杆菌及其芽孢的生长,作为改良剂和抑菌剂^[63]。

综上天然甜味剂的加入可以部分或完全替代蔗糖,降低热量、改善产品品质,但也暴露出来天然甜味剂的加入使产品生产成本增加的问题。替代蔗糖、改善产品品质的同时降低生产成本将成为天然甜味剂在焙烤食品中应用另一个需要解决的问题。

2.4 在水产品中的应用

鲜水产品中富含大量水分和营养物质,在储运过程中极易受到外界微生物和内源酶的影响而腐败。传统鲜水产品的保藏主要为冰藏、冻藏等,但这些方法冻结效率低、冰晶成核缓慢,造成冰晶体积过大、形

状不规则,使产品嫩度降低、保水性变差^[64]。常用水产品保水剂主要是磷酸盐类,但此类保水剂通常会留下金属涩味且对健康不利,因此探求无磷保水剂成为此领域的热点之一^[65]。Zhang 等^[66]以 8 种常见糖醇为研究对象,研究了糖醇对冷冻南美虾仁的保水作用。研究表明虾仁经过木糖醇、异麦芽糖醇和甘露糖醇浸泡后,水分、质构特性和色泽劣变得到较好的控制,水分活度显著降低,木糖醇、甘露糖醇和异麦芽糖醇可作为无磷保水剂应用于水产品储藏。李桂敏等^[65]探究了碳酸氢钠、柠檬酸钠和山梨糖醇组成的复合无磷保水剂对冻融鲟鱼片理化性质和微观结构的影响,证实其对冻融鲟鱼片品质有良好保持作用。除做保水剂外,Cai 等^[67]证实木糖醇、三氯蔗糖和甜菊糖可增加鳕鱼皮凝胶的凝胶强度、硬度、热变形温度以及焓变值,且可显著提高鳕鱼皮凝胶的储能模量、耗能模量、起泡性和持水性,说明木糖醇可有效代替蔗糖用于生产凝胶制品。

2.5 在其他方面的应用

植物蛋白类作物如大豆、豌豆、高粱等富含碳水化合物、蛋白质、纤维素等对人体健康有益,但因其口感不佳、消化性不好或功能性不突出,其价值未被良好应用。糖醇类可改善其结构从而改善溶解性、持水性、乳化性,提高吸水性,减少回生,提高消化率^[68-70]。

3 结论

本文综述了天然甜味剂的功能活性可用于疾病预防和治疗的深入研究。近年来对于“控糖”的呼吁不断增加,这也促进了天然甜味剂在我国的发展,深入了解天然甜味剂在食品加工中的应用在“低糖、零糖”产品多样化和“控糖”方面多样化具有较大意义。且天然甜味剂相应法规的不断出台,为其在食品加工中扩大应用提供了法律依据。

但天然甜味剂在我国的发展仍受到较多条件制约。如国民认可度不高,开发程度不够,纯化手段不足等。天然甜味剂无论是在食品工业生产还是人类生活中都发挥着巨大作用,但天然甜味剂是否对人体健康完全没影响,这一问题是有待商榷的。据国外文献报道某些甜味剂可能会对肠道菌群产生影响。如,甜菊糖可能会影响影响人体肠道菌群组成;当多元醇到达结肠时,可以引起剂量依赖性肠胃胀气,尤其是在炎症性肠病患者中。而这些问题在我国鲜有文章报道。综上,增加消费者认知度,关注天然甜味剂安全性问题,扩大天然甜味剂应用范围是天然甜味剂在我国发展需要解决的问题。

参考文献

- [1] Zhou B, Lu Y, Hajifathalian K, et al. Worldwide trends in diabetes since 1980: a pooled analysis of 751 population-based studies with 4.4 million participants [J]. *Lancet*, 2016, 387(10027): 1513-1530.
- [2] 迟学彭. 中国 2002-2016 年 6~17 岁儿童青少年血糖异常、糖尿病患病变化趋势及相关因素研究[D]. 中国疾病预防控制中心, 2019.
- [3] 谭家忠, 廖娜, 张宝堂, 等. 天然甜味剂的开发应用及展望[J]. *中国食品添加剂*, 2022, 33(1): 32-39.
- [4] Ghosh S, Sudha M L. A review on polyols: new frontiers for health-based bakery products [J]. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 2012, 63(3): 372-379.
- [5] Castro-munoz R, Correa-delgado M, Cordova-almeida R, et al. Natural sweeteners: Sources, extraction and current uses in foods and food industries [J]. *Food Chemistry*, 2022, 370: 13991.
- [6] Swiader K, Wegner K, Piotrowska A, et al. Plants as a source of natural high-intensity sweeteners: a review [J]. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 2019, 92: 160-171.
- [7] Mora MR, Dando R. The sensory properties and metabolic impact of natural and synthetic sweeteners [J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2021, 20(2): 1554-1583.
- [8] Chen C, Li L, Wu Z, et al. Effects of lactitol on intestinal microflora and plasma endotoxin in patients with chronic viral hepatitis [J]. *Journal of Infection*, 2007, 54(1): 98-102.
- [9] Uebanso T, Kano S, Yoshimoto A, et al. Effects of consuming xylitol on gut microbiota and lipid metabolism in mice [J]. *Nutrients*, 2017, 9(7): 756.
- [10] 杨子明, 董仲玺, 吴建璋, 等. L-阿拉伯糖和蔗糖复合物对便秘模型小鼠润肠通便作用的研究[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(23): 362-363, 392.
- [11] 张林. 腹腔镜手术联合口服甘露醇治疗大肠癌并发便秘的疗效观察[J]. *中国肛肠病杂志*, 2021, 41(1): 23-25.
- [12] 欧盟批准一项关于乳糖醇的健康声称[J]. *食品与生物技术学报*, 2017, 36(5): 559.
- [13] Miller L E, Tennila J, Ouwehand A C. Efficacy and tolerance of lactitol supplementation for adult constipation: a systematic review and meta-analysis [J]. *Clinical and Experimental Gastroenterology*, 2014, 7: 241-248.
- [14] 李瑶, 王国盼, 郝占西, 等. 低聚果糖对肥胖模型及肠道菌群的调节作用[J]. *食品科学*, 2022, 43(15): 150-157.
- [15] 孙鹏鹏, 张秀婷, 李惠, 等. 芦荟苷和低聚果糖复合物润肠通便作用研究[J]. *山东化工*, 2021, 50(18): 199-200, 203.
- [16] 陈奇超. 岩藻多糖、低聚半乳糖对 SD 大鼠血脂异常及肠道菌群调节作用机制的研究[D]. 大连: 大连医科大学, 2019.
- [17] 刘广芹. 低聚半乳糖和低聚果糖对小鼠肠道菌群的调节作用[D]. 广州: 华南农业大学, 2017.
- [18] 冯娜, 郑方周. 复合乳酸菌胶囊联合大豆低聚糖治疗妊娠期功能性便秘的临床分析[J]. *中外医疗*, 2019, 38(33): 103-104, 112.
- [19] 陈祖盛. 雌鼠孕育期 HAART 药物暴露对母子鼠心脏毒性及甘草甜素保护效应[D]. 福州: 福建医科大学, 2020.
- [20] 李林霏, 毛福英, 李斯琦, 等. 甘草甜素的功能活性、作用机制及其应用进展[J]. *中华中医药学刊*, 2022, 40(1): 242-247.
- [21] 黄文, 谢鹏, 赵高年, 等. 甘草甜素抗单纯疱疹病毒-1 感染机制的实验研究[J]. *中风与神经疾病杂志*, 2007, 2: 189-191.
- [22] 蔡玲, 张泰昌, 张玫. 复方甘草甜素治疗严重急性呼吸综合征的疗效[J]. *中国新药杂志*, 2004, 9: 842-845.
- [23] Murck H. Symptomatic protective action of glycyrrhizin (Licorice) in COVID-19 infection [J]. *Frontiers in Immunology*, 2020, 11: 1293.
- [24] Gao Y, Chen J, Cai Y. Effects of glycyrrhizin on the growth of human breast cancer cells of MDA-MB-231 [J]. *The Chinese Journal of Clinical Pharmacology*, 2016, 32(13): 1210-1213.
- [25] Zhou F, Chen H, Zeng J. Glycyrrhizin promotes cell apoptosis in oral squamous cancer cell line Tca8113 [J]. *Basic & Clinical Medicine*, 2018, 38(11): 1548-1552.
- [26] Li T W, Yang H Z, Ke Q S, et al. Effects of glycyrrhizin on the expression of hepatitis B virus and toll-like receptors 2, 4 in HepG2.2.15 cells expressing low HBsAg [J]. *Journal of Chinese Medicinal Materials*, 2008, 31(3): 403-407.
- [27] 王娜, 张霞. 甘草甜素调节 U14 宫颈癌小鼠免疫功能及诱导凋亡的作用[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(23): 370-376.
- [28] 王惠枫, 褚志凤, 高远, 等. 甘草甜素对胃癌细胞 BGC-823 增殖作用的影响[J]. *世界华人消化杂志*, 2015, 23(18): 2868-73.
- [29] 顾厉明, 赵梦瑶, 赵黎明. 壳寡糖对宫颈癌和子宫内膜癌细胞抑制机理研究[C]// 中国食品科学技术学会第十五届年会论文摘要集, 2018: 174-175.
- [30] 翟星辰. 壳寡糖免疫增强及对肾癌抑制作用的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2019.
- [31] 刘宗鑫, 王晋平, 谢荣鑫, 等. 中医药治疗阿尔兹海默病的概况及展望[J]. *海南医学*, 2022, 33(7): 926-929.
- [32] 张平, 季晖, 胡庆华. 阿尔茨海默症的临床治疗和天然来源潜在药物的研究进展[J]. *药学报*, 2022, 57(7): 1954-1961.
- [33] 罗颖, 吴家宁, 胡嘉诚, 等. 新型功能甜味剂-三叶苷[J]. *中国食品添加剂*, 2022, 33(5): 227-230.
- [34] Gao J, Liu S, Xu F, et al. Trilobatin protects against oxidative

- injury in neuronal pc12 cells through regulating mitochondrial ROS homeostasis mediated by AMPK/Nrf2/Sirt3 signaling pathway [J]. *Frontiers in Molecular Neuroscience*, 2018, 30(11): 267.
- [35] Shen T, Shang Y, Wu Q, et al. The protective effect of trilobatin against isoflurane-induced neurotoxicity in mouse hippocampal neuronal HT22 cells involves the Nrf2/ARE pathway [J]. *Toxicology*, 2020, 442: 152537.
- [36] Chen N, Wang J, He Y, et al. Trilobatin protects against a beta(25-35)-induced hippocampal HT22 cells apoptosis through mediating ROS/p38/Caspase 3-dependent pathway [J]. *Front Pharmacol*, 2020, 11: 584.
- [37] Ding J, Huang J, Yin D, et al. Trilobatin alleviates cognitive deficits and pathologies in an Alzheimer's disease mouse model [J]. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2021, 2021: 3298400.
- [38] Li N, Li X, Shi Y L, et al. Trilobatin, a component from *Lithocarpus polystachyus* Rehd., increases longevity in *C. elegans* through activating SKN1/SIRT3/DAF16 signaling pathway [J]. *Front Pharmacol*, 2021, 12: 655045.
- [39] Ahn C B, Kim J G, Je J Y. Purification and antioxidant properties of octapeptide from salmon byproduct protein hydrolysate by gastrointestinal digestion [J]. *Food Chemistry*, 2014, 147: 78-83.
- [40] 潘思轶,彭颖,乔鑫.柚皮苷二氢查尔酮的美白祛斑用途:中国,CN109806180A [P]. 2019-05-28 [2022-8-7].
- [41] 彭颖,何婉莺,范鑫,等.柚皮苷二氢查尔酮的抗氧化活性研究[J].*中国食品学报*,2021,21(2):45-54.
- [42] 李开放.不同水平白藜芦醇和甜菊糖对松浦镜鲤生长性能、消化酶活性、抗氧化能力和基因表达的影响[D].上海:上海海洋大学,2019.
- [43] Choi J M, Yoon B S, Lee S K, et al. Antioxidant properties of neohesperidin dihydrochalcone: Inhibition of hypochlorous acid-induced DNA strand breakage, protein degradation, and cell death [J]. *Biological & Pharmaceutical Bulletin*, 2007, 30(2): 324-330.
- [44] 吴培诚,王颖,梁高卫,等.新橙皮苷二氢查尔酮凝胶的黄褐斑治疗初探[J].*中国医学文摘(皮肤科学)*,2015,32(5):537-538.
- [45] Ali A, More T A, Hoonjan A K, et al. Antiglycating potential of acesulfame potassium: an artificial sweetener [J]. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism*, 2017, 42(10): 1054-1063.
- [46] Ali A, Shahu R, Balyan P, et al. Antioxidation and antiglycation properties of a natural sweetener: Stevia rebaudiana [J]. *Sugar Tech*, 2021, 24: 563-575.
- [47] Tian Q, Xia K, Liu Y, et al. Functional sugars promote GLP-1 secretion via sweet receptor signaling pathway [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2021, 21(5): 108-116.
- [48] 刘国玉,柳嘉,万宁,等.小分子糖及糖醇体外抑制 α -葡萄糖苷酶活性的影响[J].*食品与发酵工业*,2017,43(3):36-41.
- [49] Ribeiro M N, Rodrigues D M, Reis Rocha R A, et al. Optimising a stevia mix by mixture design and napping: A case study with high protein plain yoghurt [J]. *International Dairy Journal*, 2020, 110: 104802.
- [50] Acevedo W, Gonzalez Nilo F, Agosin E. Docking and molecular dynamics of steviol glycoside-human bitter receptor interactions [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2016, 64(40): 7585-7596.
- [51] 万会达,夏咏梅.脱苦甜菊糖的酶法制备[J].*食品与发酵工业*,2012,38(8):42-46.
- [52] Devlamynck T, TePoele E M, Quataert K, et al. Trans-alpha-glucosylation of stevioside by the mutant glucanucrase enzyme Gtf180-Delta N-Q1140E improves its taste profile [J]. *Food Chemistry*, 2019, 272: 653-662.
- [53] Ozdemir C, Arslaner A, Ozdemir S, et al. The production of ice cream using stevia as a sweetener [J]. *Journal of Food Science and Technology-Mysore*, 2015, 52(11): 7545-7548.
- [54] Ahouei, Hossein M, Pourahmad, et al. Improvement of physical and sensory properties of whipping cream by replacing sucrose with rebaudioside A, isomalt and maltodextrin [J]. *Food Science and Technology*, 2019, 39(1): 170-175.
- [55] 加拿大扩大赤藓糖醇的使用范围并制定限量[J].*中国食品卫生杂志*,2016,28(2):171.
- [56] 杨晓晶.我国无糖饮料市场潜力进一步释放[N].*中国食品报*,2021-11-29(007).
- [57] 高圣君,茅俊.赤藓糖醇对柠檬汁饮料中维生素C保护作用的研究[J].*食品工业科技*,2014,35(3):49-51,58.
- [58] Pourahmad R, Khorramzadeh D. Physicochemical and organoleptic properties of drinking powder containing soy milk powder, stevia, isomalt and erythritol [J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2016, 40(6): 1206-1214.
- [59] 卢洁,钱海峰,王立,等.复配功能性糖对面包储藏性质的影响及协同作用的研究[J].*中国粮油学*,2022,37(6):59-66.
- [60] 张国权,曾泳仪,黄建蓉,等.糖醇对桃酥加工性能和感官品质的影响[J].*食品工业*,2017,38(5):122-125.
- [61] 周锦枫.脂肪酸酯和糖醇类对冷冻面团品质及其产品特性的影响[D].南昌:江西农业大学,2020.
- [62] 雷正.赤藓糖醇酯的制备及其油凝胶性能研究[D].合肥:合

- 肥工业大学,2020.
- [63] 舒琴,魏天予,刘夏雨,等.甘露糖赤藓糖醇脂作为改良剂和抑菌剂在冷冻面团中的应用研究[C]//中国食品科学技术学会第十八届年会摘要集, 2022:364-365.
- [64] 贾世亮,丁娇娇,杨月,等.水产品速冻保鲜技术研究进展[J].食品与发酵工业,2022,48(11):324-331.
- [65] 李桂敏,赵春青,窦容容,等.复合无磷保水剂对反复冻融鲑鱼片理化特性及微观结构的影响[J].食品科学,2022,43(12):87-93.
- [66] Zhang Y, Zhang B, Hao G, et al. Effect of sugar alcohols on water retention in frozen shrimp (*Litopenaeus vannamei*) [J]. Food Science, 2018, 39(23): 170-175.
- [67] Cai L, Nian L, Li X. Effects of low-calorie sweeteners on the physicochemical and functional properties of cod skin gelatin [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2020, 20(11): 85-96.
- [68] 周向军,朱敏涛,袁毅君.赤藓糖醇对豌豆分离蛋白结构和功能特性的影响[J].食品工业科技,2018,39(8):73-77,84.
- [69] 于靖,熊柳,孙庆杰,等.三种糖醇对高粱淀粉糊化特性和凝胶结构的影响[J].现代食品科技,2014,30(10):102-107.
- [70] 周向军,杨雪纯,刘海玉,等.木糖醇和甘露醇对花生蛋白结构和功能特性的影响[J].食品与机械,2018,34(7):17-22.