

糖醇类甜味剂的甜味与副味影响因素研究

左齐乐^{1,2}, 张文瑶², 杨武龙², 施悦瑜¹, 毛岳忠¹,
秦玉梅¹, 秦子涵^{*1}, 田师一¹

(1. 浙江工商大学 食品与生物工程学院, 浙江 杭州 310018; 2. 浙江华康药业股份有限公司, 浙江 衢州 324000)

摘要: 糖醇因甜味纯正、热量低、安全健康等优势, 成为理想的代糖甜味剂, 具有广阔的应用前景。然而, 对糖醇类甜味剂感官属性的影响因素研究较少。作者以赤藓糖醇、木糖醇、麦芽糖醇和山梨糖醇为研究对象, 采用成对比较和排序法等感官分析方法, 研究不同粒径、温度以及溶液质量浓度对糖醇类物质的甜味、清凉感、苦味和异味的差异。结果显示, 在室温下, 不同粒径糖醇晶体的清凉感均表现出显著差异 ($P < 0.05$), 麦芽糖醇和山梨糖醇的甜味也有显著性差异 ($P < 0.01$), 这两个属性基本都显示出粒径越大、强度越小的特点; 升温后, 不同颗粒间的异味和苦味差异更容易分辨, 也会使清凉感的感知变弱; 高质量浓度赤藓糖醇在热饮中表现出了比较显著的增甜效果; 对于木糖醇、麦芽糖醇和山梨糖醇, 在冷热条件下的甜味感知差异在不同质量浓度溶液下的表现相似。

关键词: 糖醇; 甜味; 副味; 温度; 粒径

中图分类号: TS 202.1 文章编号: 1673-1689(2023)03-0020-10 DOI: 10.3969/j.issn. 1673-1689.2023.03.003

Study on Factors of Sweetness and Side Taste of Sugar Alcohol Sweetener

ZUO Qile^{1,2}, ZHANG Wenyao², YANG Wulong², SHI Yueyu¹, MAO Yuezhong¹,
QIN Yumei¹, QIN Zihan^{*1}, TIAN Shiyi¹

(1. School of Food Science and Biotechnology, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310018, China; 2. Zhejiang Huakang Pharmaceutical Co., Ltd., Quzhou 324000, China)

Abstract: Sugar alcohol has become an ideal sugar substitute sweetener with a promising future because of its pure sweetness, low calories, and advantages of safety and health. However, the research on influencing factors of the sensory properties of sugar alcohol sweeteners was quite limited. In this paper, erythritol, xylitol, maltitol and sorbitol were studied based on the sensory analysis methods such as paired comparison and sorting method. The effects of different particle size, temperatures and solution mass concentrations on the sweetness, coolness, bitterness and off-flavor of sugar alcohols were investigated. The results showed that at room temperature, the coolness of sugar alcohol crystals with different particle sizes showed significant differences ($P < 0.05$), and the sweetness of maltitol and sorbitol also showed significant differences ($P < 0.01$). For both of the two properties, sugar alcohol crystals with larger particle size showed lower intensity. Heat treatment

收稿日期: 2020-07-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(32102124, 31972201, 32001831); 浙江省引进培育领军型创新创业团队项目(2018R01014)。

* 通信作者: 秦子涵(1987—), 女, 博士, 助理研究员, 主要从事食品感官与风味分析方面的研究。E-mail: zihanqin@zjgsu.edu.cn

made the off-flavor and bitter taste more easily distinguished among samples with different particles, and weakened the perception of cool and refreshing. Erythritol with high mass concentration showed significant sweetness enhancement in hot drinks. For xylitol, maltitol or sorbitol, the sweetness in cold or hot drinks was similar at different solution mass concentrations.

Keywords: sugar alcohol, sweetness, side taste, temperature, partial size

在过去几十年中,全球含糖饮料的消费量不断增加,然而过量的糖,尤其是软饮料中的糖,会导致超重、肥胖和相关疾病的产生^[1]。在食品加工过程中,一方面要保持食品的甜味口感,另一方面要减少糖用量,因此在世界范围内出现使用无热量或低热量代糖甜味剂的降糖产品的风潮。但是,面对已经习惯蔗糖甜味的消费者,代糖产品的口感往往不那么令人满意。与蔗糖相比,人工合成的代糖具有蔗糖没有的种种副味,如苦味、金属味、涩味、麻味、甘草味等;天然甜味剂与蔗糖的甜味在甜味品质、物理化学稳定性上表现出较大的差异^[2-3]。作为代糖中极具发展潜力的糖醇类甜味剂,其甜味纯正、副味较少,但其感官特性方面的基础研究相对较少,严重阻碍了糖醇类甜味剂工业的发展。

糖醇指的是糖的醛基或酮基还原为相应的羟基时获得的一类多元醇,目前我国市场开发的糖醇均为具有特殊功效的糖类碳水化合物,根据结构可分为单糖醇(如赤藓糖醇、木糖醇、山梨糖醇、甘露糖醇)与多糖醇(如麦芽糖醇、乳糖醇)^[4]。其中,山梨糖醇、麦芽糖醇、木糖醇、赤藓糖醇等在我国已有大规模生产^[5]。糖醇类甜味剂的甜度一般与蔗糖相似或略低,普遍具有口感好、异味少、热量低、加热不褐变、营养安全等特点,深受人们喜爱,目前广泛应用于食品、饮料、糖果和医药行业中^[6]。例如,糖醇可以作为面包和其他谷类食品的改良剂,使其获得稳定和牢固的面团网络结构,延长烘焙食品的货架期^[7];可与高倍甜味剂复配产生协同增效作用,掩盖其不良后味^[8];木糖醇对口腔细菌有抑制作用,其防龋齿特性在所有的甜味剂中效果最佳,因此常用作口香糖中的甜味剂^[9]。

然而目前还没有一种能完美替代蔗糖的低热量甜味剂,因为低热量甜味剂通常会引起苦味和酸味等味道,以及涩感^[10-11],并且,甜味剂的感官特性随其质量浓度以及所应用食物体系的变化会进一步复杂化^[12-13]。很多食品的饮用或食用温度通常为

冷藏温度(例如软饮料)和 55~65 °C(咖啡和茶),而目前甜味剂的感官测评实验多数是在室温下开展,无法准确阐明其他温度下甜味剂的感官属性表现。已有大量研究表明温度会影响人对味道的感知,由于舌面上 TRPM5 受体的热激活,甜度随着温度的升高而增加^[14]。Rohm 等测定蔗糖、葡萄糖和果糖水溶液在 5、22、56 °C 的阈值,发现较高的样品温度降低了对甜味的感觉敏感性^[15]。此外,将带有强烈清凉感的薄荷醇刺激舌热敏神经元,舌头的适应温度会改变薄荷醇刺激下的热敏神经元的反应程度^[16]。Green 等研究表明,从 37 °C 冷却到 21 °C 不会减弱甜度,但可增加对甜味的适应性;当温度降低至 5~12 °C 时,人工甜味剂的甜味受到明显抑制^[17]。降温除了影响甜味,也会减弱咖啡因的苦味,但程度较轻^[18]。除此以外,Richardona 和 Tyuftin 等发现糖的粒度会影响饼干的感官品质^[19-20],控制糖粒度可以作为一种可行、廉价的技术方法来减少烘焙食品中的糖分,但当使用山梨醇和甘露醇制备口香糖样品时,其风味释放速率并不会受到粒径大小的影响^[21]。

现代实验测定甜味剂感官数据的方法多样,液相色谱、电子舌、电子鼻、离子迁移谱、电化学方法都开始被广泛采用,但分析仪器只能表征甜度,且并非对所有甜味物质均有良好响应^[10],目前甜味物质的味觉评价主要以感官分析方法为主。就已有研究来看,甜味剂的感官研究重视实际应用,主要探讨混合体系中甜味剂的感官表现,也就是关注某种或几种复配甜味剂在食品开发中的应用^[11-12]。关于糖醇类甜味剂感官特性的基础研究主要集中在其与蔗糖等甜味剂感官维度的评价和比较^[13],而对甜味剂感官属性影响因素的研究甚少,因此面对复杂的食品体系,系统地对不同糖醇类甜味剂甜味和副味释放的影响因素进行研究,有利于糖醇类甜味剂在食品中的应用和推广。

作者所在实验室在前期研究中对糖醇晶体的正面感官属性和负面感官属性进行了分析,由于甜

味、清凉感、苦味和异味更容易区分,而发酵味、金属味等味道在不同糖醇中的差异较大,最终选择从甜味、清凉感、苦味和异味 4 个维度对糖醇晶体展开分析。因此,作者以赤藓糖醇、木糖醇、麦芽糖醇和山梨糖醇为研究对象,分析晶体粒径、温度以及溶液质量浓度对糖醇类甜味剂甜味、清凉感、苦味和异味的影响情况,为糖醇类食品的开发及品质控制提供一定理论参考与数据基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

蔗糖、果糖:上海阿拉丁生化科技有限公司产品;赤藓糖醇、木糖醇、麦芽糖醇、山梨糖醇:浙江华康药业股份有限公司产品。

1.2 仪器与设备

电子天平 AP250D:美国 OHAUS 公司产品;粉碎机:广东小熊电器有限公司产品;倒置(荧光)显微镜:南京江南永新光学有限公司产品;加热磁力搅拌器:德国 IKA 公司产品。

1.3 实验方法

1.3.1 感官评价环境 为避免环境因素对品评员感官评价过程产生干扰,感官分析均在感官实验室进行。感官实验室环境要求如下:1)具有适宜的温度(20~25 ℃)和湿度(60%~70%);2)通风良好无异味;3)环境光线适宜且照明充足;4)具有独立的品评位置且互相间隔一个位置,墙体和隔板颜色为中性色;5)低背景噪声。

1.3.2 评价人员筛选 感官品评人员来自浙江工商大学食品与生物工程学院,首先筛选出对甜味具有良好感知力的评价员,剔除对甜味食品有强烈嗜好性及排斥感的评价员。进一步依据 GB/T16291.1—2012 中的基本要求^[26],筛选出 30 名优选评价员(年龄为 18~30 岁)组成感官评价小组。

1.3.3 探究晶体粒径的影响

1)样品制备 将不同颗粒大小的糖醇晶体过筛,分成 20~30、40~50、60~70、80~90 目 4 种规格的晶体颗粒。另取同种糖醇晶体,放入粉碎机中粉碎后,过 100 目筛,制成 100 目以上的糖醇晶体粉末。

2)糖醇晶体结构的观察 取少许上述晶体颗粒分别置于显微镜下,观察晶体结构。

3)糖醇晶体排序法品评测试 依据 GB/T 12315—2008 中的实验方法^[27],在 (22±1) ℃对上述

5 种粒径的晶体进行排序法实验,比较不同颗粒大小的糖醇晶体在甜味、清凉感、苦味和异味方面的差异。首先,选择 12 位优选品评员参与实验;采用完全区组设计,容器用 3 位数字随机编号;要求品评员每次用勺子挖取 0.2 g 的糖醇晶体置于舌面相同位置进行比较,按照甜味、清凉感、苦味和异味从强到弱的顺序进行排序,品尝每种样品前需进行必要的漱口;记录数据并统计每个样品的秩和,使用 Friedman 检验判断样品之间是否有显著性差异。

$$F_{\text{test}} = \frac{12}{JP(P+1)} (R_1^2 + R_2^2 + \dots + R_N^2) - 3J(P+1) \quad (1)$$

式中: F_{test} 为实验 F 检验值; R 为产品的秩和; J 为品评员人数; P 为参加排序的样品数。

实验中 $N=5$, $J=12$ 。查表得 $F=9.29$ ($P=0.05$) 或 $F=12.53$ ($P=0.01$)。如果 F_{test} 大于 F ,认为样品之间有显著差异;若 F_{test} 小于 F ,则没有显著差异。若样品之间存在显著差异,按下式计算最小显著性差 (P_{LSD})。

$$P_{\text{LSD}} = Z \sqrt{\frac{JN(N+1)}{6}} \quad (2)$$

式中: J 为品评员人数; N 为参加排序的样品数;当实验风险 $\alpha=0.05$ 时, $Z=1.96$; $\alpha=0.01$ 时, $Z=2.58$ 。

1.3.4 探究甜味剂温度的影响

1)样品制备 将 1.3.3 中筛分好的晶体放在玻璃容器中,分别置于 (4±1) ℃冰箱、(36±1) ℃及 (55±1) ℃水浴锅中进行冷却和加热。间隔 15 min 测量晶体内部温度,直至晶体达到所需温度。

2)感官品评方法 待达到符合条件的温度时立即进行糖醇甜味、清凉感、苦味和异味的排序法实验。操作方法同 1.3.3。

1.3.5 探究溶液质量浓度的影响 挑选排序法结果中甜味秩和差异最大的两个温度 (4 ℃和 55 ℃) 进行糖醇溶液甜味的成对比较实验。

1)样品制备 配制 2、6、10 g/dL 蔗糖溶液及分别与其等甜的果糖和糖醇溶液,配制情况见表 1。配好的溶液等分成两杯,一杯置于 (4±1) ℃冰箱中冷却,另一杯置于 (55±1) ℃水浴锅中加热。每隔 15 min 测定一次温度,以确保达到合适的温度时进行实验。

2)感官品评 根据 GB/T 12310—2012 中的实验方法^[28],首先,选择 30 位品评员参与本次实验;采用完全区组设计,容器用 3 位数字随机编号,要求品评员在两杯溶液中选出他们认为更甜的一杯溶液的编号;收集数据,统计实验结果,绘制柱形图。

表 1 甜味剂溶液质量浓度

Table 1 Mass concentration of sweetener solution

样品	质量浓度/(g/dL)		
蔗糖	2.00	6.00	10.00
果糖	1.18	3.53	5.88
赤藓糖醇	3.08	9.23	15.38
木糖醇	2.00	6.00	10.00
麦芽糖醇	2.22	6.66	11.11
山梨糖醇	3.33	10.00	16.67

2 结果与分析

2.1 晶体粒径对甜味剂甜味与副味的影响

糖醇晶体在显微镜下的结构见图 1~图 4。总体来看,未经粉碎的糖醇晶体结构相似,表面存在许多细小的凸起,并伴有少量的小颗粒晶体黏附在大晶体表面;粉碎后的晶体切面平整,稍大的晶体颗粒表面布满碎小的颗粒,比表面积明显增大。

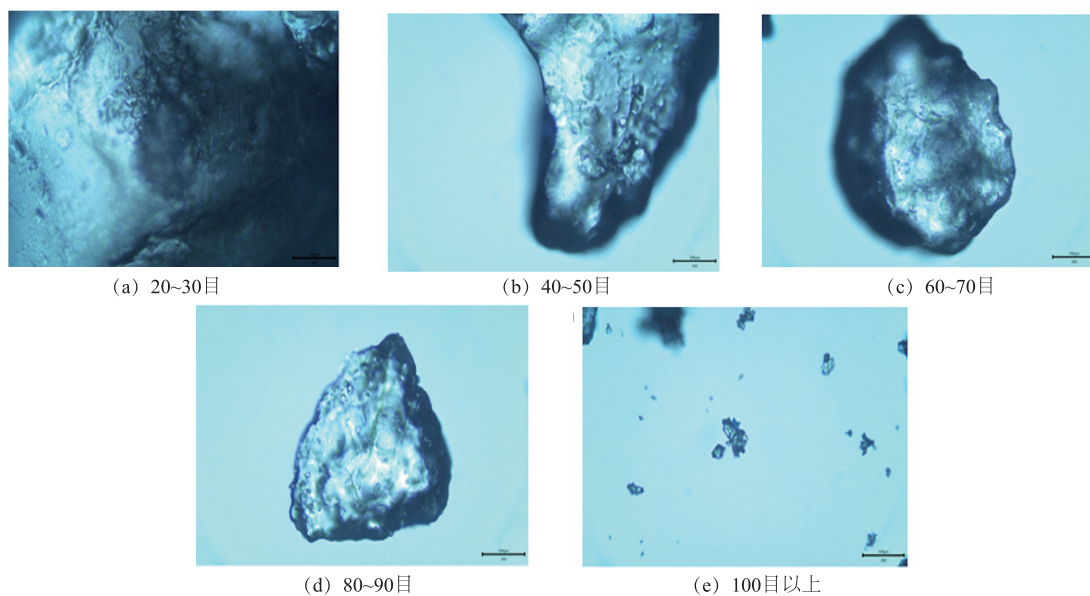


图 1 赤藓糖醇晶体的微观结构 (20×)

Fig. 1 Microscopic structure of erythritol crystal (20×)

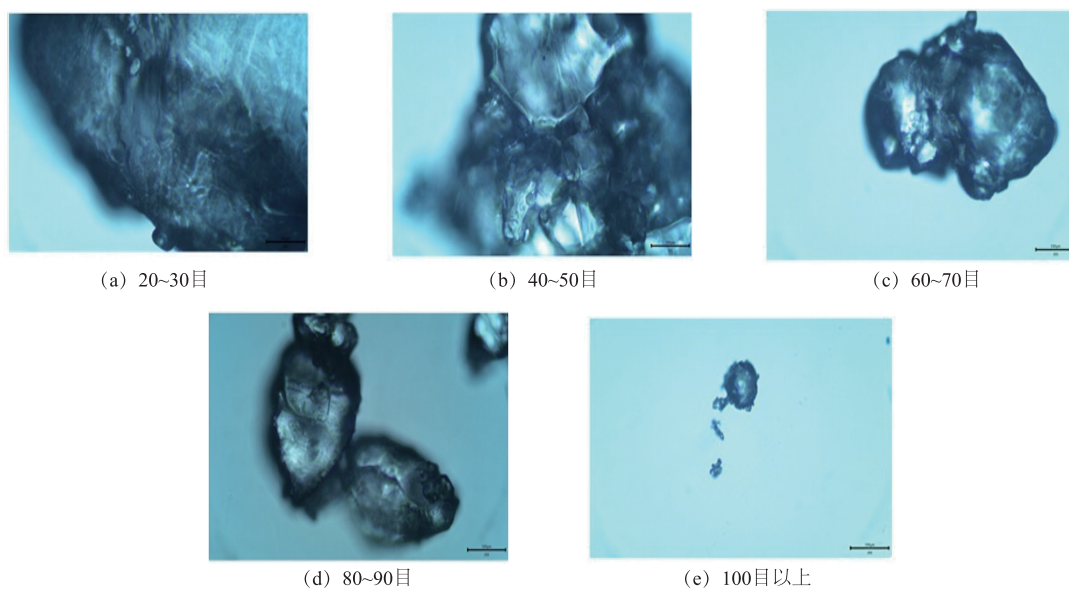


图 2 木糖醇晶体的微观结构 (20×)

Fig. 2 Microscopic structure of xylitol crystal (20×)

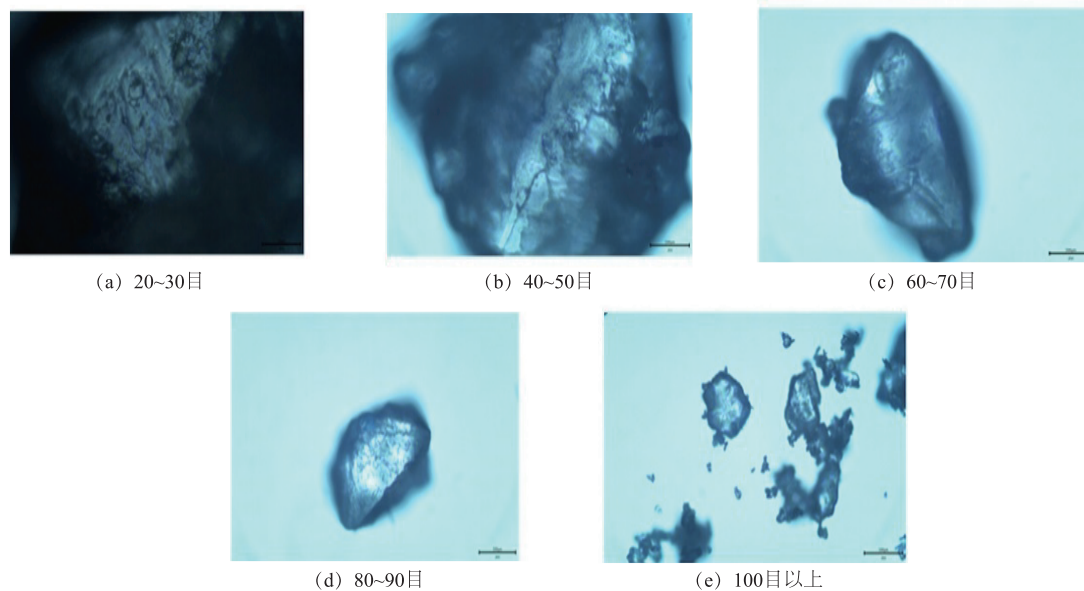


图3 麦芽糖醇晶体的微观结构(20×)

Fig. 3 Microscopic structure of maltitol crystal (20×)

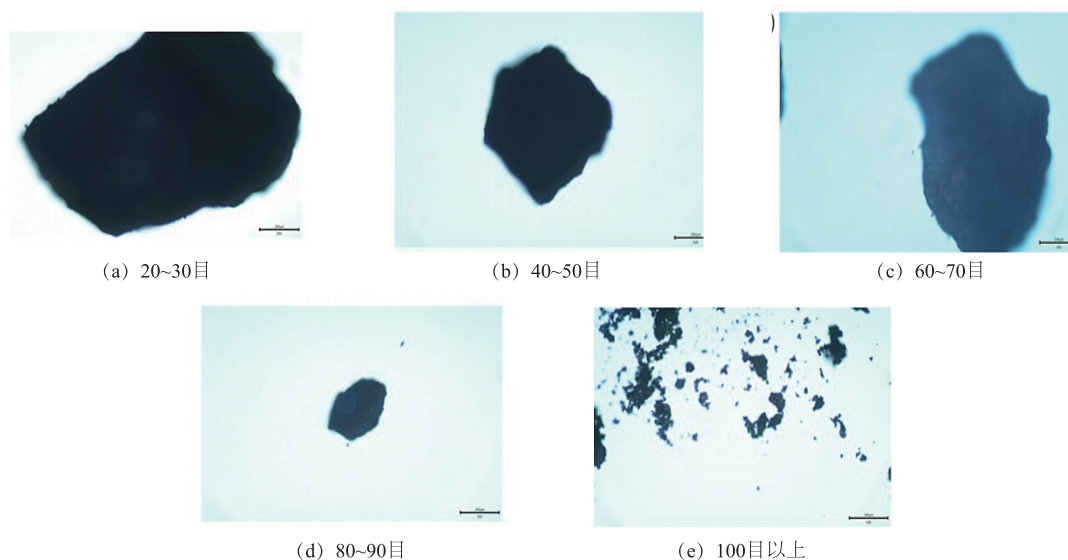


图4 山梨糖醇晶体的微观结构(10×)

Fig. 4 Microscopic structure of sorbitol crystal (10×)

未经粉碎的赤藓糖醇晶体表面较平整,表面凸起少,呈现出自然结晶的状态,晶体光泽感强。粉碎后细小的晶体附着在稍大一点的晶体表面,使聚集体表面不平整,比表面积大大增加。

天然的木糖醇晶体表面与其他糖醇晶体相比,存在许多大的凸起,小晶体紧紧黏附在大晶体表面,晶体光泽感极强。粉碎后小晶体被大晶体吸引,呈现出表面极不平整的刺球状。与其他糖醇相比,木糖醇不论是未经粉碎的晶体状态,还是粉碎后的晶体状态,晶体比表面积都更大。

麦芽糖醇晶体表面稍不平整,伴有细微的裂痕,呈现出比较明显的层次感,晶体光泽感比赤藓糖醇弱。粉碎后,晶体颗粒结构比较清晰,小颗粒截面锋利,有许多小尖角,颗粒体积也更大。

山梨糖醇晶体呈白色,不透明,因此在显微镜下进行形态观察有些困难。比较不同目数的照片可以看出,山梨糖醇的晶体颗粒表面较为规整和平滑,光泽感差;粉碎后的粉末不粘连,呈现出比较分散的状态。

用Friedman检验对室温下4种糖醇的苦味、异

味、甜味和清凉感排序法结果进行统计分析,秩和结果见表2,显著性分析结果见表3。经计算得到,赤藓糖醇: $F_{\text{清凉感}}=11.80, F_{\text{甜味}}=6.40, F_{\text{异味}}=4.60, F_{\text{苦味}}=8.33$;木糖醇: $F_{\text{清凉感}}=14.07, F_{\text{甜味}}=5.33, F_{\text{异味}}=0.80, F_{\text{苦味}}=2.80$;麦芽糖醇: $F_{\text{清凉感}}=13.53, F_{\text{甜味}}=12.73, F_{\text{异味}}=5.53, F_{\text{苦味}}=11.33$;山梨糖醇: $F_{\text{清凉感}}=19.13, F_{\text{甜味}}=14.13, F_{\text{异味}}=6.27, F_{\text{苦味}}=2.93$ 。

表2 (22±1) °C下糖醇晶体排序检验秩和

Table 2 Sugar alcohol crystal sorting results at (22±1) °C

样品	属性	秩和				
		20~30目	40~50目	60~70目	80~90目	100目以上
赤藓糖醇	异味	26 ^a	38 ^a	36 ^a	39 ^a	41 ^a
	苦味	26 ^a	32 ^a	34 ^a	45 ^a	43 ^a
	甜味	41 ^a	45 ^a	29 ^a	30 ^a	35 ^a
	清凉感	46 ^{ab}	45 ^{ab}	34 ^{bc}	31 ^{bc}	24 ^c
木糖醇	异味	34 ^a	33 ^a	37 ^a	37 ^a	39 ^a
	苦味	33 ^a	33 ^a	44 ^a	35 ^a	35 ^a
	甜味	47 ^a	35 ^a	34 ^a	33 ^a	31 ^a
	清凉感	46 ^{ab}	45 ^{ab}	32 ^{bc}	36 ^{bc}	21 ^c
麦芽糖醇	异味	34 ^a	36 ^a	32 ^a	31 ^a	47 ^a
	苦味	31 ^b	33 ^b	35 ^b	29 ^b	52 ^a
	甜味	46 ^{ab}	35 ^{bc}	40 ^{ab}	39 ^{ab}	20 ^c
	清凉感	46 ^a	39 ^a	38 ^a	38 ^a	19 ^b
山梨糖醇	异味	27 ^a	33 ^a	45 ^a	35 ^a	40 ^a
	苦味	30 ^a	35 ^a	37 ^a	35 ^a	43 ^a
	甜味	54 ^a	31 ^b	29 ^b	35 ^b	31 ^b
	清凉感	50 ^a	43 ^{ab}	34 ^{ab}	35 ^b	18 ^c

注:同一行标有不同字母的样品间有显著性差异。

表3 (22±1) °C下糖醇晶体与甜味及副味的关系

Table 3 Relationship between sweet and side taste of sugar alcohol crystal at (22±1) °C

样品	异味	苦味	甜味	清凉感
赤藓糖醇	—	—	—	$P<0.05$
木糖醇	—	—	—	$P<0.01$
麦芽糖醇	—	$P<0.01$	$P<0.01$	$P<0.01$
山梨糖醇	—	—	$P<0.01$	$P<0.01$

注:“—”表示不存在显著性差异。

在室温下,不同粒径糖醇晶体的清凉感都表现出显著差异;麦芽糖醇和山梨糖醇的甜味具有极显著的差异($P<0.01$),这两个属性基本都显示出粒径越大,强度越小的特点。这可能与唾液瞬时溶解糖醇的量有关,粉末的表面积越大,与唾液接触面积

越大,溶解速度越快,因此小颗粒糖晶能够快速吸热溶解产生强烈的清凉感,大量甜味分子能够瞬时与甜味受体结合产生甜味信号,而大颗粒糖晶需要逐层溶解,缓慢吸热和释放甜味。室温下,只有麦芽糖醇的苦味存在极显著差异($P<0.01$),基本表现为粒径越小,苦味越弱,而清凉感越强。原因可能是缓慢、持续的清凉感对苦味的掩盖小,而强烈的清凉感会降低舌面三叉神经的敏感性,减弱对苦味的感知^[8]。

2.2 甜味剂温度对甜味剂甜味及副味的影响

用Friedman检验对3种温度下4种糖醇的苦味、异味、甜味和清凉感排序法结果进行统计分析,秩和结果见表4~表6,显著性分析结果见表7。结果显示,4 °C时,赤藓糖醇: $F_{\text{清凉感}}=9.93, F_{\text{甜味}}=14.87, F_{\text{异味}}=4.87, F_{\text{苦味}}=4.20$;木糖醇: $F_{\text{清凉感}}=16.53, F_{\text{甜味}}=22.33, F_{\text{异味}}=1.53, F_{\text{苦味}}=3.47$;麦芽糖醇: $F_{\text{清凉感}}=3.73, F_{\text{甜味}}=20.80, F_{\text{异味}}=4.07, F_{\text{苦味}}=13.00$;山梨糖醇: $F_{\text{清凉感}}=15.67, F_{\text{甜味}}=4.47, F_{\text{异味}}=8.07, F_{\text{苦味}}=8.33$ 。

表4 (4±1) °C下糖醇晶体排序检验秩和

Table 4 Sugar alcohol crystal sorting results at (4±1) °C

样品	属性	秩和				
		20~30目	40~50目	60~70目	80~90目	100目以上
赤藓糖醇	异味	34 ^{ab}	46 ^a	37 ^{ab}	32 ^b	31 ^b
	苦味	32 ^{ab}	41 ^a	42 ^{ab}	29 ^{bc}	36 ^c
	甜味	43 ^a	47 ^a	40 ^a	28 ^a	22 ^a
	清凉感	38 ^a	48 ^a	38 ^a	31 ^a	25 ^a
木糖醇	异味	32 ^a	35 ^a	39 ^a	40 ^a	34 ^a
	苦味	42 ^a	33 ^a	33 ^a	41 ^a	31 ^a
	甜味	54 ^a	41 ^{ab}	28 ^{bc}	37 ^b	20 ^c
	清凉感	44 ^a	38 ^a	34 ^a	46 ^a	18 ^b
麦芽糖醇	异味	32 ^a	36 ^a	45 ^a	31 ^a	36 ^a
	苦味	30 ^b	28 ^b	52 ^a	31 ^b	39 ^{ab}
	甜味	47 ^a	47 ^a	39 ^{ab}	29 ^{bc}	18 ^c
	清凉感	43 ^a	35 ^a	39 ^a	29 ^a	34 ^a
山梨糖醇	异味	26 ^a	32 ^a	38 ^a	47 ^a	37 ^a
	苦味	26 ^a	34 ^a	33 ^a	47 ^a	40 ^a
	甜味	45 ^a	38 ^a	33 ^a	34 ^a	30 ^a
	清凉感	44 ^a	37 ^a	36 ^a	45 ^a	18 ^b

注:同一行标有不同字母的样品间有显著性差异。

表 5 (36±1) °C下糖醇晶体排序检验秩和

Table 5 Sugar alcohol crystal sorting results at (36±1) °C

样品	属性	秩和				
		20~30目	40~50目	60~70目	80~90目	100目以上
赤藓糖醇	异味	29 ^a	39 ^a	42 ^a	33 ^a	37 ^a
	苦味	25 ^c	45 ^{ab}	45 ^{ab}	33 ^{cb}	32 ^{cb}
	甜味	43 ^a	45 ^b	38 ^b	29 ^b	25 ^b
	清凉感	43 ^{ab}	45 ^a	38 ^{ab}	29 ^{bc}	25 ^c
木糖醇	异味	47 ^a	43 ^a	36 ^a	35 ^a	19 ^a
	苦味	54 ^a	40 ^a	32 ^a	28 ^a	26 ^a
	甜味	37 ^a	43 ^a	30 ^a	37 ^a	33 ^b
	清凉感	36 ^a	36 ^{ab}	31 ^b	46 ^b	31 ^b
麦芽糖醇	异味	29 ^{bc}	26 ^c	42 ^{ab}	33 ^{bc}	50 ^a
	苦味	30 ^b	31 ^b	35 ^b	33 ^b	51 ^a
	甜味	50 ^a	37 ^{ab}	43 ^{ab}	34 ^b	16 ^c
	清凉感	45 ^a	30 ^a	44 ^{ab}	38 ^{ab}	23 ^b
山梨糖醇	异味	26 ^a	33 ^a	40 ^a	40 ^a	41 ^a
	苦味	31 ^a	32 ^a	40 ^a	42 ^a	35 ^a
	甜味	46 ^a	39 ^a	37 ^a	34 ^a	24 ^a
	清凉感	35 ^a	37 ^a	36 ^a	43 ^a	29 ^a

注:同一行标有不同字母的样品间有显著性差异。

表 6 (55±1) °C下糖醇晶体排序检验秩和

Table 6 Sugar alcohol crystal sorting results at (55±1) °C

样品	属性	秩和				
		20~30目	40~50目	60~70目	80~90目	100目以上
赤藓糖醇	异味	37 ^a	37 ^a	45 ^a	34 ^a	27 ^a
	苦味	47 ^a	45 ^a	38 ^a	21 ^a	29 ^a
	甜味	37 ^a	35 ^a	39 ^{ab}	34 ^c	35 ^{bc}
	清凉感	37 ^a	37 ^a	45 ^a	31 ^a	30 ^a
木糖醇	异味	29 ^a	37 ^a	42 ^a	35 ^a	37 ^a
	苦味	34 ^a	37 ^a	45 ^a	37 ^a	27 ^a
	甜味	47 ^a	40 ^a	34 ^b	35 ^b	24 ^b
	清凉感	40 ^a	34 ^a	40 ^a	28 ^a	38 ^a
麦芽糖醇	异味	25 ^c	27 ^c	44 ^{ab}	35 ^{bc}	49 ^{ab}
	苦味	29 ^{cd}	24 ^d	40 ^{abc}	39 ^{bcd}	48 ^{ab}
	甜味	46 ^a	41 ^a	41 ^a	35 ^a	17 ^b
	清凉感	48 ^{ab}	45 ^{abc}	35 ^{bcd}	31 ^{cd}	21 ^d
山梨糖醇	异味	33 ^a	30 ^a	38 ^a	35 ^a	44 ^a
	苦味	32 ^a	38 ^a	39 ^a	43 ^a	28 ^a
	甜味	40 ^a	29 ^a	35 ^a	40 ^a	36 ^a
	清凉感	36 ^a	29 ^a	36 ^a	41 ^a	38 ^a

注:同一行标有不同字母的样品间有显著性差异。

表 7 糖醇晶体甜味及副味与温度的关系

Table 7 Relationship between sweet and side taste of sugar alcohol crystals and temperature

样品	温度	异味	苦味	甜味	清凉感
赤藓糖醇	(4±1) °C	—	—	$P<0.05$	$P<0.01$
	(22±1) °C	—	—	—	$P<0.05$
	(36±1) °C	—	$P<0.05$	$P<0.05$	$P<0.05$
	(55±1) °C	—	—	$P<0.01$	—
木糖醇	(4±1) °C	—	—	$P<0.01$	$P<0.01$
	(22±1) °C	—	—	—	$P<0.01$
	(36±1) °C	—	—	$P<0.01$	$P<0.01$
	(55±1) °C	—	—	$P<0.05$	—
麦芽糖醇	(4±1) °C	—	$P<0.01$	$P<0.01$	—
	(22±1) °C	—	$P<0.01$	$P<0.01$	$P<0.01$
	(36±1) °C	$P<0.01$	$P<0.05$	$P<0.01$	$P<0.01$
	(55±1) °C	$P<0.01$	$P<0.05$	$P<0.01$	$P<0.01$
山梨糖醇	(4±1) °C	—	—	—	$P<0.01$
	(22±1) °C	—	—	$P<0.01$	$P<0.01$
	(36±1) °C	—	—	—	—
	(55±1) °C	—	—	—	—

注:“—”表示不存在显著性差异。

36 °C时, 赤藓糖醇: $F_{清凉感}=10.13, F_{甜味}=11.80, F_{异味}=3.47, F_{苦味}=10.27$; 木糖醇: $F_{清凉感}=15.33, F_{甜味}=17.33, F_{异味}=5.00, F_{苦味}=3.20$; 麦芽糖醇: $F_{清凉感}=11.80, F_{甜味}=21.67, F_{异味}=13.00, F_{苦味}=9.87$; 山梨糖醇: $F_{清凉感}=3.33, F_{甜味}=8.60, F_{异味}=5.53, F_{苦味}=3.13$ 。

55 °C时, 赤藓糖醇: $F_{清凉感}=5.60, F_{甜味}=16.00, F_{异味}=4.80, F_{苦味}=0.53$; 木糖醇: $F_{清凉感}=3.47, F_{甜味}=9.53, F_{异味}=2.93, F_{苦味}=5.60$; 麦芽糖醇: $F_{清凉感}=15.87, F_{甜味}=17.07, F_{异味}=14.53, F_{苦味}=12.07$; 山梨糖醇: $F_{清凉感}=2.60, F_{甜味}=2.73, F_{异味}=3.80, F_{苦味}=4.73$ 。

从整体来看,随着温度的升高,不同粒径颗粒间的异味和苦味差异更明显,也会使清凉感的感知变弱,更难以分辨和排序。4种糖醇基本都存在甜味和清凉感随粒径变小而变强,苦味与异味随粒径变大而变强的现象。此外,人体舌头对不同糖醇晶体感官属性的敏感温度不一致,赤藓糖醇为36 °C,木糖醇为22 °C,麦芽糖醇为55 °C,山梨糖醇为22 °C。

糖醇排序法差异显著性结果见表7。赤藓糖醇仅在36 °C时表现出苦味的显著性差异($P<0.05$)。随着温度升高,55 °C时,赤藓糖醇的甜味与晶体粒径的相关性最为显著,清凉感与晶体粒径的相关性表

现为逐渐消失。木糖醇颗粒与赤藓糖醇颗粒的味觉感知比较相似。木糖醇是一种基本没有异味的功能性糖醇,甜味和清凉感比较明显,温度升高和降低都有助于感知甜味的差异,并且木糖醇的粒径越小,其甜味和清凉感越强。但温度升高会影响清凉感的感知,55℃时清凉感不存在显著性差异,可能是因为清凉感的产生与温度有关,较高的温度下(55℃)糖醇溶解吸收的热量与环境温度相比是微不足道的。麦芽糖醇颗粒作为一种甜味、清凉感不强,异味、苦味较明显的糖醇颗粒,在常温下品尝不同粒径的颗粒就已经表现出口味的较大差异,其中,最细的粉末(100目以上)在甜味和清凉感方面显著强于其他4种颗粒($P<0.01$),而在苦味方面显著弱于其他4种颗粒($P<0.01$)。在36℃和55℃时,异味的感知在不同颗粒间差异极显著($P<0.01$)。产生上述现象的原因可能是清凉感对苦味具有一定的掩盖作用,当温度升高,清凉感的作用减弱,苦味更容易被感知。山梨糖醇常温和低温下清凉感差异较明显($P<0.01$),表现为颗粒越小,清凉感越强。在常温下,不同粒径的山梨糖醇间,甜味存在极显著差异($P<0.01$),也近似于颗粒越小,甜味越强。在4个温度下,山梨糖醇的苦味与异味在5种粒径间均没有表现出显著性差异。当温度逐渐升高,人体舌头

对4种味道的感知差异逐渐强烈,并都表现为小颗粒的甜味和清凉感明显强于大颗粒,苦味则相反,与常温下的结果基本一致。

2.3 溶液质量浓度对甜味剂甜味的影响

溶液质量浓度对甜味剂甜味的影响见图5。依据国家标准 GB/T 12310—2012^[28],在评价员人数为30人时,在 $P=0.05$ 的显著水平下,当某种样品选择人数 ≥ 21 人时,说明两种样品在甜味属性上存在显著性差异。

可以看出,蔗糖和果糖在中、低质量浓度时,不同品评温度下甜度之间存在显著性差异,热饮能给人更甜的感觉,但在高质量浓度时差异变得不明显。Calvino的研究也表明,在低质量浓度(30 g/L)下,蔗糖溶液在37℃或50℃下品评时的甜度大于在7℃下的甜度,但随着质量浓度的增加,这种影响逐渐消失^[29]。赤藓糖醇则完全相反,低质量浓度时难以区分是冷饮还是热饮更甜,中、高质量浓度时热饮的甜度与冷饮相比存在显著性差异。对于山梨糖醇,虽然在低质量浓度和高质量浓度下,不同温度间甜度存在显著差异,但总体来说质量浓度对不同温度下的甜味感知影响非常类似。除此以外,在不同温度下,质量浓度的改变对木糖醇和麦芽糖醇的甜味感知没有产生明显影响。4种糖醇出现不同

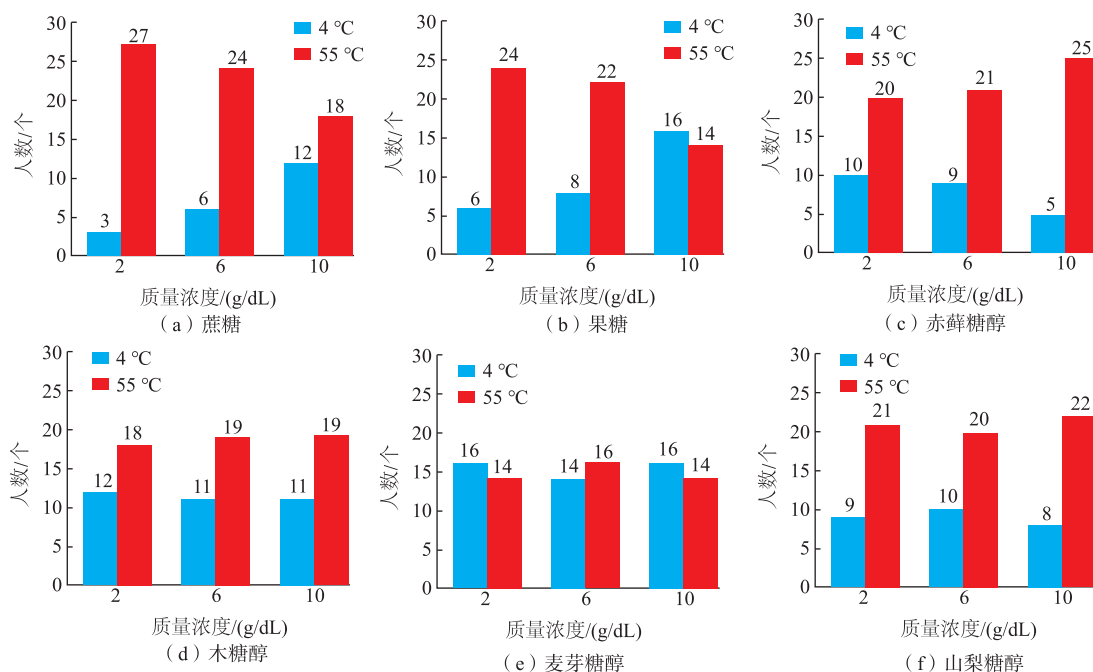


图5 甜味剂成对比较柱形图

Fig. 5 Histogram of pairwise comparison of sweeteners

的结果可能是由于等甜的溶液中糖醇相对分子质量不同,也可能是由于不同糖醇分子与甜味受体的竞争结合程度不同。除了甜味,温度也能改变苦味、酸味和咸味等其他味感的感知强度^[30],因此产品的配方及食用温度是食品和饮料行业需要考虑的重要因素。

3 结 语

以赤藓糖醇、木糖醇、麦芽糖醇和山梨糖醇为研究对象,探讨粒径、温度和溶液质量浓度对糖醇物质甜味和副味的影响。综合来看,4种糖醇基本都存在甜味和清凉感随粒径变小而变强,苦味与异味随粒径变大而变强的现象。在室温下(22℃),不同粒径的糖醇晶体清凉感具有显著性差异;麦芽糖醇

和山梨糖醇的甜味存在极显著的差异($P<0.01$)。随着温度升高,糖醇类物质的清凉感变弱,而异味和苦味变强。木糖醇颗粒与赤藓糖醇颗粒的味觉感知较为类似,温度升高和降低都有助于感知甜味差异,麦芽糖醇的甜味和副味在较高温度下(36℃和55℃)呈现出粒径间的显著性差异。对于低质量浓度的赤藓糖醇,温度的升高或降低并未对其甜度产生显著影响;而在中、高质量浓度下,随着温度的升高,其甜度显著上升。对于木糖醇、麦芽糖醇和山梨糖醇,在不同温度下,甜味感知差异在不同质量浓度溶液下的表现较为相似。通过对不同晶体粒径、溶液质量浓度和饮用温度条件下的糖醇溶液进行感官特征分析,揭示了影响糖醇类物质甜味和副味的因素和规律,为糖醇类物质的开发和应用提供依据。

参考文献:

- [1] LUSTIG R H, SCHMIDT L A, BRINDRIS C D. Public health: the toxic truth about sugar[J]. **Nature**, 2012, 482(7383): 27-29.
- [2] DUBOIS G E. Molecular mechanism of sweetness sensation[J]. **Physiology and Behavior**, 2016, 164: 453-463.
- [3] PULLICIN A J, PENNER M H, LIM J. The sweet taste of acarbose and maltotriose: relative detection and underlying mechanism [J]. **Chemical Senses**, 2019, 44(2): 123-128.
- [4] MORA M R, 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.
- [5] 郝月慧. 三种糖醇影响无糖海绵蛋糕的比较研究[D]. 无锡: 江南大学, 2013.
- [6] 赵会娟, 杜亚东, 底辉锋. 甜味剂种类概述与发展趋势[J]. **河北化工**, 2009, 32(11): 9-10.
- [7] DING S, YANGE J. The effects of sugar alcohols on rheological properties, functionalities, and texture in baked products—a review[J]. **Trends in Food Science and Technology**, 2021, 111: 670-679.
- [8] GREMBECKA M. Sugar alcohols—their role in the modern world of sweeteners: a review[J]. **European Food Research and Technology**, 2015, 241(1): 1-14.
- [9] MAKINEN K K. Sugar alcohol sweeteners as alternatives to sugar with special consideration of xylitol[J]. **Medical Principles and Practice**, 2011, 20(4): 303-320.
- [10] REYES M M, CASTURA J C, HAYES J E. Characterizing dynamic sensory properties of nutritive and nonnutritive sweeteners with temporal check-all-that-apply[J]. **Journal of Sensory Studies**, 2017, 32(3): 1-25.
- [11] PALAZZO A B, BOLINI M A. Multiple time-intensity analysis: sweetness, bitterness, chocolate flavor and melting rate of chocolate with sucralose, rebaudioside and neotame[J]. **Journal of Sensory Studies**, 2014, 29(1): 21-32.
- [12] CHOI J, CHUNG S. Sweetness potency and sweetness synergism of sweeteners in milk and coffee systems[J]. **Food Research International**, 2015, 74: 168-176.
- [13] SHARI Z, FLORENCIA A, LETICIA V, et al. Application of multiple-sip temporal dominance of sensations to the evaluation of sweeteners[J]. **Food Quality and Preference**, 2014, 36: 135-143.
- [14] SCHIFFMAN S S, SATTELY-MILLER E A, GRAHAM B G, et al. Effect of temperature, pH, and ions on sweet taste [J]. **Physiology and Behavior**, 2000, 68(4): 469-481.
- [15] ROHM H, WESSEL B, ZAHN S. Temperature of sugar solutions during tasting affects sweetness difference thresholds[J]. **LWT—**

- Food Science and Technology**, 2021, 138: 1-4.
- [16] LUNDY R F, CONTRERAS R J. Tongue adaptation temperature influences lingual nerve responses to thermal and menthol stimulation[J]. **Brain Research**, 1995, 676(1): 169-177.
- [17] GREEN B G, DANIELLE N. Temperature affects human sweet taste via at least two mechanisms[J]. **Chemical Senses**, 2015(6): 391-399.
- [18] GREEN B G, FRANKMANN S P. The effect of cooling the tongue on the perceived intensity of taste[J]. **Chemical Senses**, 1987, 12(4): 609-619.
- [19] RICHARDONA M, TYUFTIN A A, KILCAWLEY K N, et al. The impact of sugar particle size manipulation on the physical and sensory properties of chocolate brownies[J]. **LWT- Food Science and Technology**, 2018, 95: 51-57.
- [20] TYUFTIN A A, RICHARDSON A M, OSULLIVAN M G, et al. The sensory and physical properties of shortbread biscuits cooked using different sucrose granule size fractions[J]. **Journal of Food Science**, 2021, 86(3): 705-714.
- [21] RAITHORE S, PETERSON D G. Effects of polyol type and particle size on flavor release in chewing gum[J]. **Food Chemistry**, 2018, 253: 293-299.
- [22] 黄嘉丽, 黄宝华, 左珊珊, 等. 多种甜味剂的电子舌味觉评价[J]. **食品科学**, 2020, 41(20): 227-233.
- [23] NASTAJ M, SOLOWIEJ B G, STASKAK D M, et al. Development and physicochemical properties of reformulated, high-protein, untempered sugar-free dark chocolates with addition of whey protein isolate and erythritol[J]. **International Dairy Journal**, 2022, 134: 1-10.
- [24] RONDA F, GOMEZ M, BLANCO C A, et al. Effects of polyols and nondigestible oligosaccharides on the quality of sugar-free sponge cakes[J]. **Food Chemistry**, 2005, 90(4): 549-555.
- [25] TAN V, WEE M, TOMIC O, et al. Temporal sweetness and side tastes profiles of 16 sweeteners using temporal check-all-that-apply(TCATA)[J]. **Food Research International**, 2019, 121: 39-47.
- [26] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 感官分析 选拔、培训与管理评价员一般导则第1部分 优选评价员: GB/T 16291.1—2012[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [27] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 感官分析 方法学 排序法: GB/T 12315—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [28] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 感官分析方法 成对比较检验: GB/T 12310—2012[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [29] CALVINO A M. Perception of sweetness: the effects of concentration and temperature[J]. **Physiology and Behavior**, 1986, 36(6): 1021-1028.
- [30] LEMON C H. Modulation of taste processing by temperature[J]. **American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology**, 2017, 313(4): 305-321.