

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20250126003

引用格式: 潘晓琴, 蓝先灵, 肖珊, 等. 一种低致龋软糖的制备方法研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(11): 96-102.

PAN XQ, LAN XL, XIAO S, *et al.* Research on the preparation method of a low-cariogenic soft candy [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(11): 96-102. (in Chinese with English abstract).

一种低致龋软糖的制备方法研究

潘晓琴^{1,2*}, 蓝先灵², 肖珊², 蔡燕雪², 方芝漾³, 王际辉², 薛巍^{1*}

(1. 暨南大学生物医学工程研究所, 广州 510642; 2. 东莞理工学院生命健康技术学院, 中国轻工业健康食品开发与营养调控重点实验室, 东莞 523808; 3. 东莞金添实业投资有限公司, 东莞 523213)

摘要: 目的 采用糖原替代与牙菌斑生物膜调控双重干预策略, 探讨一种低致龋软糖的制备方法。

方法 通过木糖醇取代部分糖原、添加精氨酸、葡聚糖酶等食品辅料制备不同凝胶软糖, 使用全质地剖面分析明确不同功能因子对软糖质构的影响, 葡聚糖分解实验评估样品分解牙菌斑基质的能力, 变异链球菌抗菌实验评价样品低致龋效果。**结果** 使用木糖醇替代部分麦芽糖可以起到减低软糖黏性的作用; 在75℃条件下添加的食品级β-葡聚糖酶依旧能够发挥分解葡聚糖的作用; 食品级L-精氨酸是抑制变异链球菌生长的主要功能因子。以蔗糖处理下的病菌生长率为100%进行计算, 本研究制备的最佳复配软糖促进变异链球菌生长的作用是蔗糖的50.10%, 对照软糖的29.19%。**结论** 本研究所制备的软糖有助于预防龋齿, 有助于实现预防口腔问题的儿童食品的创制。

关键词: 软糖; 预防龋齿; L-精氨酸; 木糖醇; β-葡聚糖酶

Research on the preparation method of a low-cariogenic soft candy

PAN Xiao-Qin^{1,2*}, LAN Xian-Ling², XIAO Shan², CAI Yan-Xue²,
FANG Zhi-Yang³, WANG Ji-Hui², XUE Wei^{1*}

(1. Institute of Biomedical Engineering, Jinan University, Guangzhou 510642, China; 2. School of Life and Health Technology, Dongguan University of Technology, China National Light Industry Key Laboratory of Healthy Food Development and Nutrition Regulation, Dongguan 523808, China; 3. Dongguan Jintian Industrial Investment Co., Ltd., Dongguan 523213, China)

ABSTRACT: Objective To explore a preparation method for low-cariogenic soft candy by adopting a dual-intervention strategy combining sugar replacement and dental plaque biofilm regulation. **Methods** Various gelatinous candies were prepared by substituting xylitol for partial maltose and incorporating food additives including arginine and dextranase. Texture profile analysis was employed to characterize the effects of functional components on candy texture. Dextran decomposition experiments assessed samples' capacity to degrade dental plaque matrix,

收稿日期: 2025-01-26

基金项目: 东莞市社会发展科技项目(20231800905152); 湖北省重点研发计划项目(2023DJC149)

第一作者/*通信作者: 潘晓琴(1996—), 女, 博士, 主要研究方向为食品功能因子的纳米化修饰与利用、新型光动力抗菌技术的开发与应用。E-mail: panxiaojin@dgut.edu.cn

*通信作者: 薛巍(1963—), 男, 教授, 主要研究方向为医用高分子材料、药物载体材料如水凝胶、眼科及经皮给药系统等。E-mail: weixue_jnu@aliyun.com

while *Streptococcus mutans* antibacterial tests evaluated the anti-cariogenic efficacy. **Results** Partial substitution of maltose with xylitol effectively reduced candy viscosity. Food-grade β -dextranase retained its dextran-degrading capability at 75 °C. Food-grade L-arginine was identified as the primary growth-inhibiting factor against *Streptococcus mutans*. Compared to sucrose-induced bacterial growth (set as 100%), the optimal compound candy promoted *Streptococcus mutans* growth at 50.10% of sucrose's level and 29.19% of control candy's level. **Conclusion** The developed soft candy in this study aids in preventing dental caries, thereby contributing to the creation of children's food products designed to address oral health issues.

KEY WORDS: soft candy; prevention of dental caries; L-arginine; xylitol; β -dextranase

0 引言

儿童是糖果主要消费群体,其牙齿发育尚未完全,牙釉质较薄、钙化程度低且渗透性强,过度摄入糖分是导致他们患上龋齿的主要原因。龋齿本质上是口腔生物膜微生物生态失衡引发的病理过程,其中变异链球菌(*Streptococcus mutans*)作为关键致龋菌,通过双重机制加剧牙齿脱矿。一方面,变异链球菌能够代谢碳水化合物(如蔗糖、葡萄糖)产生乳酸等有机酸,导致牙菌斑 pH 降至临界阈值(pH<5.5)以下,破坏牙釉质的脱矿-再矿化动态平衡,尤其在高糖环境下,其糖酵解途径被激活,产酸效率显著提升,进一步加速牙体硬组织破坏^[1-3]。另一方面,该菌分泌的糖基转移酶(glycosyltransferases, Gtfs)可催化蔗糖分解为葡萄糖和果糖,并通过 α -1,3/1,6 糖苷键聚合葡萄糖单元生成水不溶性葡聚糖^[2-4]。此类胞外多糖作为生物膜基质,不仅增强细菌对牙面的黏附,还促进微生物群落结构化,形成致密的牙菌斑屏障,从而维持致龋微环境^[5-8]。由此可见,在开发低致龋性软糖的过程中,使用糖原替代与病菌生物膜调控双重干预策略,是一种重要的研究思路^[9]。

在食品工业中,降低糖果致龋风险的策略主要包括糖源替代、牙釉质矿化强化及功能性添加剂应用,但其在软糖开发中仍存在局限性。如使用赤藓醇糖、木糖醇、磷酸寡糖和异麦芽酮糖等非发酵性甜味剂替代蔗糖^[10],可减少致龋菌的代谢底物。然而,糖醇类物质(如木糖醇)过量摄入易引发胃肠道渗透压失衡,导致儿童腹胀、腹泻等不良反应^[11-13]。添加钙、磷等矿质元素虽能通过沉积羟基磷灰石(hydroxyapatite, HAP)增强牙釉质抗酸性^[14-16],但对已萌出牙齿的再矿化效果有限,且难以在软糖基质中实现有效生物利用度。部分技术尝试引入抗菌成分(如氟化钠),但其应用场景受限。例如胡佳伟等^[17]于 2023 年 06 月 15 日申请的“一种防治龋齿的胶基型咀嚼物及其制备方法”(公开号: CN116711875A),该专利的有效防龋成分为 30%~70%的木糖醇和 0.09%~0.33%的氟化钠。尽管氟化钠可通过抑制变异链球菌的糖酵解酶活性降低产酸量,但其毒性风险(如氟斑牙症状)与摄入安全性争议使其仅适用于局部外用(如含氟牙膏),而非可食性产品。现有降低糖果致

龋风险的策略难以迁移至软糖体系,故而开发适配软糖特性的低致龋方案亟待突破。

本研究的目的在于克服上述现有技术中降低糖果致龋风险技术所存在的生理耐受性不足(如糖醇胃肠道刺激)、生物有效性受限(如矿物质再矿化效果有限)和抗菌剂安全性(如氟化物毒性)等问题,提供一种能够直接抑制变异链球菌生长的低致龋软糖制备方法。基于 β -葡聚糖聚合物对于牙菌斑基质的重要贡献作用^[18-19],本研究将采用 β -葡聚糖酶对牙菌斑基质中的葡聚糖进行裂分解,降低软糖的致龋能力;通过添加精氨酸调控变异链球菌的生物膜 pH,抑制病菌的活性;结合低糖策略,使用木糖醇替代部分蔗糖,制备一种低致龋软糖。本研究所使用的原料容易获取,对使用的原料没有特殊条件的限制,且方法简单易行,兼容常规软糖工业化流程,有助于实现预防口腔问题的儿童食品的创制。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

麦芽糖浆(食品级,东莞益海嘉里淀粉有限公司);明胶(食品级,山东恒鑫生物科技有限公司);木糖醇(食品级,山东绿健生物技术有限公司);L-精氨酸(食品级,诸城东晓生物科技有限公司); β -葡聚糖酶(食品级,山东隆科特酶制剂有限公司); β -葡聚糖(纯度 \geq 90%,上海阿拉丁生化科技股份有限公司);醋酸盐缓冲液(pH 6.0,中科瑞泰北京生物科技有限公司);斐林试剂、磷酸盐缓冲液(phosphate buffered saline, PBS)(pH 7.4)(福州飞净生物科技有限公司);变异链球菌 [ATCCR 25175, 中国微生物菌种查询网 (<https://www.biobw.org/>); 变异链球菌培养基(山东拓普生物工程技术有限公司)。

1.2 仪器与设备

DHG-9030A 电热恒温鼓风干燥箱(上海齐欣科学仪器有限公司);HH-2 数显恒温水浴锅(上海力辰邦西仪器科技有限公司);SMS TA.XTPLUSC 质构分析仪(厦门超技仪器设备有限公司);NH310 便携式色差分析仪(广东三恩时智能科技有限公司);Spark 多功能微孔板检测仪(瑞士 Tecan 集团);ZQZY-78BV 振荡培养箱(上海知楚仪器有限公司)。

1.3 样品制备

软糖包括 80% 主糖料以及 20% 凝胶, 其中主糖料包括木糖醇、麦芽糖、*L*-精氨酸和 β -葡聚糖酶, 具体配比如表 1 所示(按其占主糖料的百分比进行计算)。先使用纯水分别溶解分散 *L*-精氨酸、 β -葡聚糖酶至澄清透明溶液备用。而后按表 1 配比将木糖醇、蔗糖与明胶混合熬煮成初步糖浆, 在 75 °C 保温状态下缓慢搅拌加入 *L*-精氨酸、 β -葡聚糖酶溶液, 得到混合糖浆。最后, 将糖浆浇筑到玉米淀粉聚酯胶盘中, 干燥成型, 得到软糖样品。

表 1 不同组别软糖的配料表(%)

	80%主糖料				20%凝胶
	木糖醇	麦芽糖	<i>L</i> -精氨酸	β -葡聚糖酶	
对照	0	100.00	0.00	0.00	明胶
木 1	15.00	85.00	0.00	0.00	
木 2	16.25	83.75	0.00	0.00	
木 3	17.50	82.50	0.00	0.00	
木 4	18.75	81.25	0.00	0.00	
木 5	20.00	80.00	0.00	0.00	
精 1	0.00	99.90	0.10	0.00	
精 2	0.00	99.80	0.20	0.00	
精 3	0.00	99.70	0.30	0.00	
精 4	0.00	99.60	0.40	0.00	
精 5	0.00	99.50	0.50	0.00	
酶 1	0.00	99.98	0.00	0.02	
酶 2	0.00	99.96	0.00	0.04	
酶 3	0.00	99.94	0.00	0.06	
酶 4	0.00	99.92	0.00	0.08	
酶 5	0.00	99.90	0.00	0.10	
复 1	17.50	82.38	0.10	0.02	
复 2	17.50	82.36	0.20	0.02	
复 3	17.50	82.28	0.10	0.04	
复 4	17.50	82.26	0.20	0.04	

1.4 质构仪测试

参考符秀敏^[20]进行全质质地剖面分析(texture profile analysis, TPA)测试: 参数设定为探头 P/50 R, 操作模式: 测试前 1.0 mm/s、测试速度 5.0 mm/s、测试后速度 10 mm/s、测试距离 50%、停留时间 5 s、触发力 5 g。重复测试 5 次, 测定参数: 硬度、胶着性、黏性、咀嚼性、弹性、内聚性。

1.5 分解牙菌斑基质实验

参考青木優子等^[21]方法, 采用斐林实验研究实验所制备含 β -葡聚糖酶的软糖样品对葡聚糖的分解作用, 进而评价其分解牙菌斑基质的能力。首先, 使用 0.1 mol/L 的醋酸缓冲液配制 2.5% 的葡聚糖溶液待用。随后, 使用 0.1 mol/L 的 PBS 缓冲液(pH=7.4)水浴加热融化样品软糖, 配制为 30% 的待测液。按照 2:2:1 的体积比分别加入葡聚

糖溶液、待测液和斐林试液, 涡旋 20 s, 静置 5 min 观察溶液的颜色变化并拍照记录。空白组采用纯水代替待测液。

1.6 抗菌实验

取 20 μ L 变异链球菌甘油母液于 20 mL 变异链球菌培养基中, 在 37 °C 厌氧条件下培养 7 d。随后, 取 20 μ L 该培养液加入到含有 1% 软糖样品的培养基中, 继续在 37 °C 厌氧条件下培养 15 d 后, 通过测量其在 560 nm 处的吸光值来明确样品对变异链球菌的生长影响作用。在单因素实验中, 以对照组处理下的细菌生长率为 100% 进行计算, 得到各组处理下的细菌生长率。而在复配实验中, 以等浓度蔗糖处理条件下的细菌生长率为 100% 进行计算, 得到各组处理下细菌的生长率。

1.7 色差仪测试

使用便携式色差仪进行软糖色差测试, 采用国际照明委员会的 CIE1976 色度系统, 以普通 A4 白纸作为标样 ($L=50, a=0.36, b=0.58$), 测定不同样品的总色差值 ΔE 。

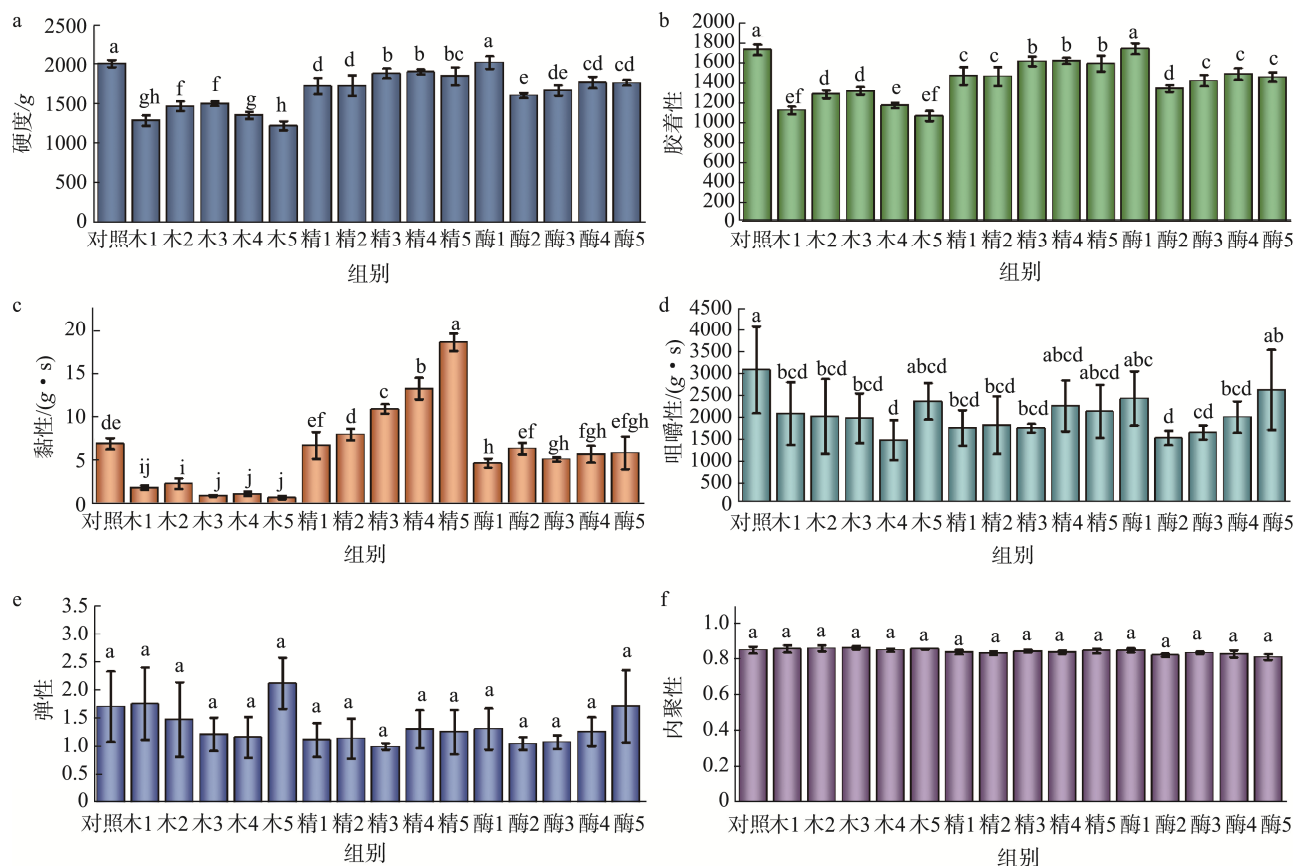
1.8 数据处理

采用 SPSS 24 软件进行数据统计分析, 采用平均值 \pm 标准偏差的形式呈现数据, 经邓肯多重比较检验, 对实验所取得的数据结果进行差异显著性分析 ($P < 0.05, n \geq 4$)。最后使用 Origin 2022 软件进行绘图。

2 结果与分析

2.1 单因素软糖质构分析

如图 1 所示, 添加不同含量的木糖醇、*L*-精氨酸和 β -葡聚糖酶会对软糖的质构产生一定的影响。与对照组相比, 除了添加 0.02% 的 β -葡聚糖酶组外, 其余组别的硬度和胶着性均出现显著性降低(图 1a、1b)。降低软糖的黏性可以减少糖分残留于牙齿表面的概率, 进而降低龋齿的风险。采用 15.00% 以上木糖醇代糖策略可以显著降低软糖的黏性, 尤其是当木糖醇含量占比大于等于 17.50% 时, 效果极显著(图 1c)。这是因为木糖醇作为一种糖醇, 与纯糖相比, 其黏性较低^[22]。添加 0.02%~0.08% 的 β -葡聚糖酶也可以达到降低软糖黏性的目的。然而, 当 *L*-精氨酸含量 $\geq 0.30\%$ 时, 会提高软糖的黏性。此外, 使用木糖醇替代部分蔗糖还可以降低软糖的咀嚼性(图 1d)。儿童的牙齿尚处于发育阶段, 咀嚼能力较弱, 降低软糖的咀嚼性同样将有利于减少软糖与牙齿表面的摩擦次数。本研究所采用的方法制备出来的软糖与对照组相比, 弹性方面的特性没有出现显著性差异变化(图 1e)。同时, 样品组与对照相比, 内聚性也没有发现显著性改变(图 1f), 说明在相同明胶的添加量的条件下, 单独添加木糖醇、*L*-精氨酸和 β -葡聚糖酶不会对其与蔗糖之间形成的网络结构造成显著性影响^[23]。此部分研究结果突出了木糖醇在降低软糖黏性方面的重要贡献作用。



注: 不同字母表示组间具有显著性差异(P<0.05), 图2~4、6同。

图1 单因素软糖的质构特性结果

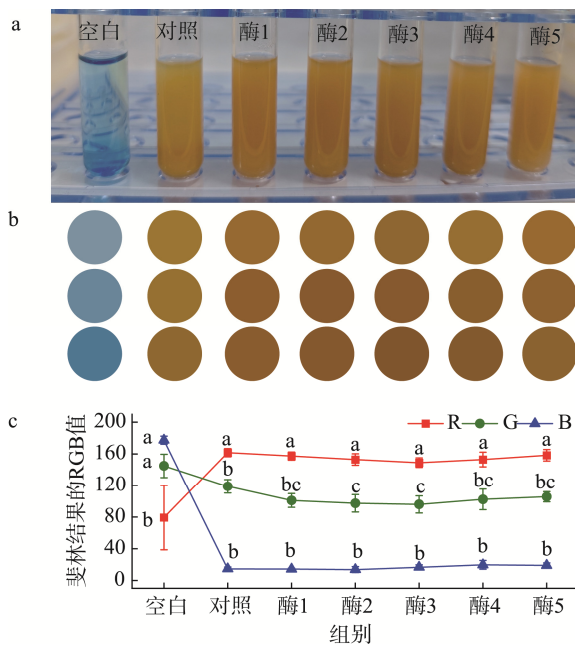
Fig.1 Textural properties results of soft candies by single-factor

2.2 单因素软糖分解牙菌斑基质

利用斐林实验研究含 β -葡聚糖酶软糖对葡聚糖的分解作用, 以评价其分解牙菌斑能力。如图 2a 所示, 不含还原糖的空白组溶液呈蓝色, 对照组因使用麦芽糖作为糖原, 具有还原性, 也出现了红棕色沉淀。对图 2a 的照片进行 RGB 色彩提取分析, 如图 2b 所示, 在 β -葡聚糖酶含量为 0.06% 以内, 随着 β -葡聚糖酶添加量的提高, 溶液的红棕色颜色加深。添加量为 0.02% 时就有肉眼可见的红棕色加深现象。RGB 值统计结果如图 2c 所示, 与对照组相比, 当添加的 β -葡聚糖酶含量为 0.04%~0.06% 时, 溶液的 G 值显著性降低, 说明适量添加 β -葡聚糖酶能够进一步分解反应液中存在的富含糖苷链的葡聚糖, 产生还原糖将二价铜离子还原为一价铜离子^[21], 有助于分解牙菌斑基质生物膜^[24]。此部分研究结果证明了在软糖制备工艺过程中添加 β -葡聚糖酶的可行性。

2.3 单因素软糖抑制变异链球菌生长

在进行抗菌实验前, 需对软糖样品进行高压灭菌处理, 该过程可能会使软糖中添加的 β -葡聚糖酶出现高温失活, 故而此部分实验没有进行酶组样品测试。



注: a. 斐林实验结果照片; b. 从照片中提取的RGB色彩图;

c. RGB结果统计图。

图2 单因素软糖的斐林实验结果

Fig.2 Fehling experiment results of soft candies by single-factor

前人研究表明,变异链球菌无法利用木糖醇进行发酵,可以降低龋齿发生率^[25-26]。而在本研究中,如图 3 所示,当木糖醇含量占比介于 15.00%~20.00%时,不能达到抑制变异链球菌生长的目的,推测是该木糖醇的含量占比过低,80%的麦芽糖占比已足够变异链球菌生长利用。随着 *L*-精氨酸含量的增加,其抑制变异链球菌生长的效果提高。当 *L*-精氨酸含量为 0.10%时,与对照组相比其变异链球菌生长率显著降低,而当其含量 $\geq 0.30\%$ 时,细菌生长抑制率不再提高,以 *L*-精氨酸含量 0.40%的软糖组抗菌效果最佳,细菌生长率是对照组的 49.94%。这是因为 *L*-精氨酸在被口腔微生物利用时可以通过抑制糖酵解、核苷糖代谢及肽聚糖的合成,减少酸的产生、调节生物膜代谢,降低口腔生物膜的厚度与胞外多糖浓度,有助于预防龋齿的发生^[27-30]。

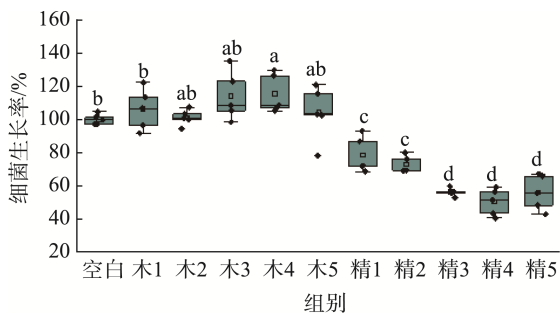


图3 单因素软糖处理下的变异链球菌生长情况

Fig.3 Growth of *Streptococcus mutans* under treatment of soft candies by single-factor

2.4 复配软糖色差分析

基于上述单因素实验结果,在质构方面以软糖黏性为主指标,选定木糖醇含量为 17.50%;在分解牙菌斑方

面,选定 β -葡聚糖酶含量为 0.02%和 0.04%;在抑制变异链球菌生长方面,考虑到当 *L*-精氨酸含量 $\geq 0.30\%$ 时会显著提高软糖的黏性,在复配软糖中, *L*-精氨酸含量定为 0.10%和 0.20%。

复配软糖样品的色差结果如表 2 所示。与对照组相比,复配组 1 和 2 对软糖的亮度没有显著性影响,而复配组 3 和 4 会提高软糖的亮度,说明复配软糖的亮度主要受 β -葡聚糖酶含量的影响。复配组 2~4 的 Δb 较对照组没有显著性差异变化。所有复配软糖的 ΔE 与对照组相比均具有显著性差异,主要是受 Δa 的影响。当 β -葡聚糖酶含量为 0.04%时,会显著降低软糖的 Δa 。

表 2 复配软糖的色差分析结果表

Table 2 Color difference analysis results of compound soft candies

样品	ΔL	Δa	Δb	ΔE
对照	-25.65 ± 0.25^c	6.18 ± 0.22^b	0.91 ± 0.04^b	26.40 ± 0.19^b
复 1	-25.70 ± 0.08^c	7.12 ± 0.43^a	1.17 ± 0.14^a	26.70 ± 0.07^a
复 2	-25.45 ± 0.17^c	5.83 ± 0.27^{bc}	0.93 ± 0.09^b	26.13 ± 0.11^c
复 3	-24.19 ± 0.16^a	4.71 ± 0.08^d	0.89 ± 0.01^b	24.66 ± 0.17^c
复 4	-25.16 ± 0.02^b	5.36 ± 0.32^c	0.93 ± 0.03^b	25.74 ± 0.07^d

注:同列不同字母表示组间具有显著性差异($P < 0.05$)。

2.5 复配软糖质构分析

复配软糖的质构分析结果如图 4 所示。与对照组相比,复 1、复 2 和复 3 组样品的硬度、胶着性显著降低(图 4a、4b)。由图 4c 可知,得益于木糖醇的低黏性,所有复配组的黏性均得到显著性降低,其中以复 4 组的黏性最低,为对照组的 20.95%,可以最大化降低软糖黏附在牙齿形成牙菌斑的风险。当使用木糖醇、*L*-精氨酸和 β -葡聚糖酶进行复配时,样品的咀嚼性没有发生显著性变化(图 4d),反而显著提高了软糖的弹性和内聚性(图 4e、4f)。

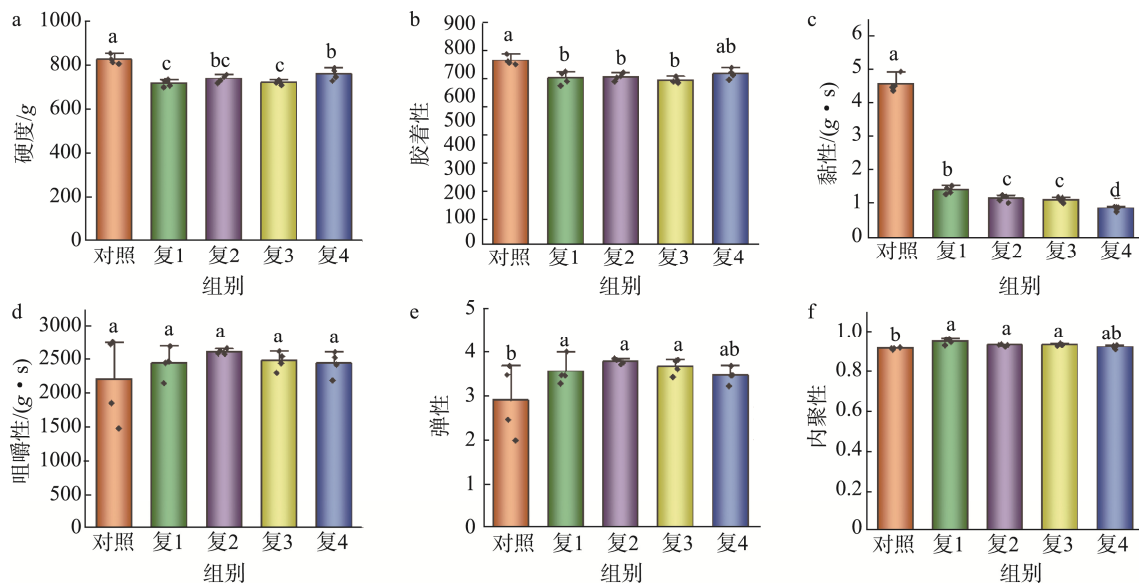


图4 复配软糖的质构特性结果

Fig.4 Textural properties result of compound soft candies

2.6 复配软糖分解牙菌斑基质

复配软糖的斐林反应结果如图 5 所示。在研究中, 降低软糖待测液浓度至 15%, 以方便肉眼直接观察分解牙菌斑效果。与对照组相比, 复配组产生的红棕色沉淀明显增多, 其中复 3 和复 4 组的反应液比复 1 和复 2 组浑浊, 归因于复 3 和复 4 组含有较高的 β -葡聚糖酶含量, 说明在制备软糖的过程中, 75 °C 保温条件下的辅料添加均质环节并不会完全破坏 β -葡聚糖酶的活性, 复配软糖具有分解牙菌斑基质的能力^[24]。

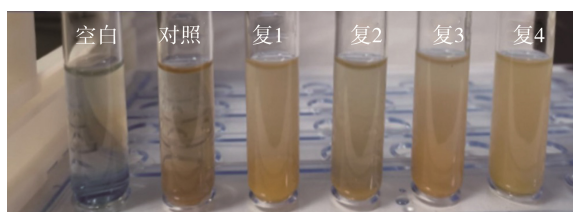


图5 复配软糖的斐林实验结果图

Fig.5 Picture of Fehling experiment results of compound soft candies

2.7 复配软糖抑制变异链球菌生长

通过测定复配组对变异链球菌的生长影响, 进一步评估复配软糖的致龋性。以等浓度蔗糖的细菌生长率为 100% 进行计算, 结果如图 6 所示。由于复配软糖中存在 *L*-精氨酸, 所有组别均展示出较对照组显著下降的变异链球菌生长能力, 其中以复 4 组的效果最优, 细菌生长率为 50.10%, 为对照组的 29.19%。可能是因为 β -葡聚糖酶即便经过高温处理, 依旧存有分解葡聚糖的能力, 能够与 *L*-精氨酸一起协同抑制变异链球菌的生长。

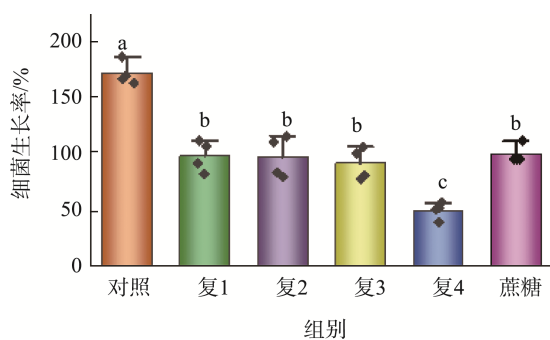


图6 复配软糖处理下的变异链球菌生长情况

Fig.6 Growth of *Streptococcus mutans* under treatment of compound soft candies

3 结论

含木糖醇、*L*-精氨酸和 β -葡聚糖酶的软糖展现出降低软糖致龋作用的能力。当木糖醇含量占比 $\geq 15\%$ 时具有显著的降低软糖黏性的功能; 在 75 °C 保温条件下添加 β -葡

聚糖酶不会使其完全失活, 含有 0.02% β -葡聚糖酶的软糖具有切断葡聚糖糖苷链分解牙菌斑基质的能力; *L*-精氨酸是抑制变异链球菌生长的主要功能因子, 其含量为 0.10% 时即可达到降低变异链球菌生长活性的作用。对 3 种功能因子进行复配制成软糖, 本研究的最佳样品为含有 17.50% 木糖醇、0.04% β -葡聚糖酶和 0.20% *L*-精氨酸的复配软糖, 其黏性仅为对照组的 20.95%, 具有分解牙菌斑的能力, 促进变异链球菌生长的作用是蔗糖的 50.10%, 对照软糖的 29.19%, 可以有效降低软糖的致龋能力。

参考文献

- [1] BOWEN WH, BURNE RA, WU H, *et al.* Oral biofilms: Pathogens, matrix, and polymicrobial interactions in microenvironments [J]. Trends in Microbiology, 2018, 26(3): 229–242.
- [2] GUO L, HU W, HE X, *et al.* Investigating acid production by *Streptococcus mutans* with a surface-displayed pH-sensitive green fluorescent protein [J]. PLoS One, 2013, 8(2): e57182.
- [3] LEMOS JA, PALMER SR, ZENG L, *et al.* The biology of *Streptococcus mutans* [J]. Microbiology Spectrum, 2019, 7(1). DOI: 10.1128/microbiolspec.GPP3-0051-2018
- [4] HOSHINO T, FUJIWARA T. The findings of glucosyltransferase enzymes derived from oral *Streptococci* [J]. Japanese Dental Science Review, 2022, 58: 328–335.
- [5] KLEIN MI, HWANG G, SANTOS PH, *et al.* *Streptococcus mutans*-derived extracellular matrix in cariogenic oral biofilms [J]. Frontiers in Cellular and Infection Microbiology, 2015, 5: 10.
- [6] FLEMMING HC, WINGENDER J, SZEWZYK U, *et al.* Biofilms: An emergent form of bacterial life [J]. Nature Reviews Microbiology, 2016, 14(9): 563–575.
- [7] NETRUSOV AI, LIYASKINA EV, KURGAEVA IV, *et al.* Exopolysaccharides producing bacteria: A review [J]. Microorganisms, 2023, 11(6): 1541.
- [8] WANG W, HU Y, CHEN Z, *et al.* Guanidine and galactose decorated nanophotosensitizer with oxygen self-sufficient capability for the localized ablation of oral biofilm [J]. Advanced Functional Materials, 2023, 33: 2300474.
- [9] JIANG S, ZHA Y, ZHAO T, *et al.* Temporin-derived peptides disrupt the exopolysaccharide matrix of *Streptococcus mutans* to prevent related dental caries [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2024, 72(47): 26236–26247.
- [10] EFSA-NDA PANEL, TURCK D, BRESSON JL, *et al.* Sugar-free hard confectionery with at least 90% erythritol and reduction of dental plaque which reduces the risk of dental caries: Evaluation of a health claim pursuant to Article 14 of Regulation (EC) No 1924/2006 [J]. EFSA Journal, 2017, 15(7): e04923.
- [11] AWUCHI CG, ECHETA CK. Current developments in sugar alcohols: Chemistry, nutrition, and health concerns of sorbitol, xylitol, glycerol, arabitol, inositol, maltitol, and lactitol [J]. International Journal of Advanced Academic Research, 2019, 5(11): 1–33.
- [12] HATTORI K, AKIYAMA M, SEKI N, *et al.* Gut microbiota prevents sugar alcohol-induced diarrhea [J]. Nutrients, 2021, 13: 2029.

- [13] ZUO QL, CAI X, YANG X, *et al.* Influences of xylitol consumption at different dosages on intestinal tissues and gut microbiota in rats [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2021, 69(40): 12002–12011.
- [14] WATT RG, ROUXEL PL. Dental caries, sugars and food policy [J]. *Archives of Disease in Childhood*, 2012, 97(9): 769–772.
- [15] ZHOU C, ZHANG D, BAI Y, *et al.* Casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate remineralization of primary teeth early enamel lesions [J]. *Journal of Dentistry*, 2014, 42(1): 21–29.
- [16] LANGHORST SE, O'DONNELL JNR, SKRTIC D. *In vitro* remineralization of enamel by polymeric amorphous calcium phosphate composite: Quantitative microradiographic study [J]. *Dental Materials*, 2009, 25(7): 884–891.
- [17] 胡佳伟, 夏瑞, 王超, 等. 一种防治龋齿的胶基型咀嚼物及其制备方法: 中国, CN202310711588.0[P]. 2023-09-08.
HU JW, XIA R, WANG C, *et al.* Gum-based chewable for dental caries prevention and preparation method thereof: China, CN202310711588.0 [P]. 2023-09-08.
- [18] JAKUBOVICS NS, GOODMAN SD, MASHBURN-WARREN L, *et al.* The dental plaque biofilm matrix [J]. *Periodontology 2000*, 2021, 86(1): 32–56.
- [19] HONMA K, RUSCITTO A, SHARMA A. β -Glucanase activity of the oral bacterium *tannerella forsythia* contributes to the growth of a partner species, *Fusobacterium nucleatum*, in cobiofilms [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2018, 84: e01759–17.
- [20] 符秀敏. 明胶软糖的质构仪分析与感官评定研究[J]. *中国食物与营养*, 2019, 25(5): 33–36.
FU XM. Texture analyzer analysis and sensory evaluation on gelatin gummy [J]. *Food and Nutrition in China*, 2019, 25(5): 33–36
- [21] 青木俊子, 郑苏江, 野村安雄, 等. 含葡聚糖酶牙膏对牙齿斑模型的分解和去除研究[J]. *口腔护理用品工业*, 2018, 28(3): 12–14.
AOKI Y, ZHENG SJ, YASUO N, *et al.* Research on the decomposition and removal of dental plaque model by toothpaste containing glucanase [J]. *Oral Care Industry*, 2018, 28(3): 12–14.
- [22] HAO Y, WANG F, HUANG W, *et al.* Sucrose substitution by polyols in sponge cake and their effects on the foaming and thermal properties of egg protein [J]. *Food Hydrocolloids*, 2016, 57: 153–159.
- [23] 干昭波, 祝书红, 王莹, 等. 阿洛酮糖、异麦芽酮糖醇、麦芽糖醇在糖果中的应用性质研究[J]. *现代食品*, 2024, 30(5): 62–68.
YU SB, ZHU SH, WANG Y, *et al.* Research on the research on the application properties of allulose, isomalt and maltitol in candy [J]. *Modern Food*, 2024, 30(5): 62–68.
- [24] RIKVOLD PD, HANSEN LBS, MEYER RL, *et al.* The effect of enzymatic treatment with mutanase, beta-glucanase, and dnase on a saliva-derived biofilm model [J]. *Caries Research*, 2024, 58(2): 68–76.
- [25] GUPTA J, GUPTA K. Xylitol on dental caries: A review [J]. *Journal of Drug Delivery and Therapeutics*, 2018, 8(5): 69–72.
- [26] LUO BW, LIANG NL, TOWNSEND JA, *et al.* Sugar substitutes on caries prevention in permanent teeth among children and adolescents: A systematic review and meta-analysis [J]. *Journal of Dentistry*, 2024, 146: 105069.
- [27] MIRANDA ML, DANELON M, DELBEM ACB, *et al.* Enhanced anti-biofilm and anti-caries potential of arginine combined with calcium glycerophosphate and fluoride [J]. *Journal of Dentistry*, 2024, 146: 105039.
- [28] LIU Y, NASCIMENTO M, BURNE RA. Progress toward understanding the contribution of alkali generation in dental biofilms to inhibition of dental caries [J]. *International Journal of Oral Science*, 2012, 4(3): 135–140.
- [29] KURIKI N, ASAHY Y, OKAMOTO M, *et al.* Synergistic effects of arginine and fluoride on human dental biofilm control [J]. *Journal of Dentistry*, 2024, 149: 105307.
- [30] LIU Y, LIU S, ZHI Q, *et al.* Arginine-induced metabolomic perturbation in *Streptococcus mutans* [J]. *Journal of Oral Microbiology*, 2022, 14(1): 2015166.

(责任编辑: 安香玉 于梦娇)