

赤藓糖醇含量对重组桃脯品质特性的影响

吕明月, 毕金峰*, 吕健, 王凤昭, 白岚莎

(中国农业科学院农产品加工研究所 农业农村部农产品加工重点实验室 北京 100193)

摘要 以桃浆为基质,添加卡拉胶辅以赤藓糖醇为共溶质,通过热风干燥脱水制作成重组桃脯,探究赤藓糖醇添加量(0%,1%,5%,9%)对重组桃脯品质特性的影响。结果表明:随着赤藓糖醇添加量的增加,水分子流动性和干燥速率降低。色泽分析结果表明:随着赤藓糖醇添加量的增多,重组桃脯亮度值 L^* 逐渐增大,最大值为 52.87 ± 5.04 ,红绿度 a^* 逐渐降低,最低值分别为 10.88 ± 1.20 和 17.40 ± 1.75 。风味分析结果表明:电子鼻传感器 W1C、W3C、W5C 响应值较大,且其响应值随赤藓糖醇添加量的增加而增加,PCA 分析表明添加赤藓糖醇的桃脯风味与对照组差异显著。质构分析结果表明:赤藓糖醇添加量为 9% 时,桃脯的硬度、咀嚼性和胶着性最大,分别为 30.51、7.21 N 和 14.42 N,而内聚性显著降低,赤藓糖醇添加量对重组桃脯弹性无显著影响。随着赤藓糖醇添加量的增加,重组桃脯的皱缩度逐渐减小,1%、5%、9% 处理组与对照组相比分别下降了 4.00%、12.25%、17.75%。低场核磁结果表明:赤藓糖醇显著改变了水分子的流动性,5% 和 9% 处理组重组桃脯中低流动性水分占比增加。拉曼光谱显示:随着赤藓糖醇添加量的增加,位于 2918 cm^{-1} 附近的振动峰逐渐变得尖锐,表明桃浆-卡拉胶-赤藓糖醇体系中氢键的形成有助于致密结构的构成,宏观表现为重组桃脯良好的质构品质。

关键词 桃脯; 重组; 赤藓糖醇; 质构; 风味

文章编号 1009-7848(2024)09-0366-09 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2024.09.034

重组食品是利用大分子物质,如多糖类、蛋白质、淀粉等单组分或多组分之间的黏合作用将原料基质重新组合,形成完整的产品形式,在肉制品、淀粉类制品、3D 打印材料制作方面有广泛的应用^[1-3]。近年来,重组技术逐渐呈现出多元化、创新化的发展趋势。果蔬加工行业中多以果浆为基质,辅以天然多糖凝胶剂、助溶剂等组分,利用凝胶剂、共溶剂、水果组分之间的交互作用,使水果中的营养成分以更加微小的颗粒,分散在凝胶体系中,采用热加工等制备工艺形成重组水果食品,从而可以较大程度地保留水果的营养成分和风味特征,并赋予水果制品更为优良的质构特性。其中凝胶剂的凝胶特性对重组果脯的质构品质具有关键性影响。

天然多糖凝胶,如果胶、卡拉胶(Carrageenan)等是影响重组果蔬制品品质的重要元素。其中,卡拉胶是从海藻中提取出的天然多糖,因具有良好的凝胶性、增稠性以及抗氧化等多种健康属性而

被广泛应用于改善食品的质地、黏性和稳定性等特征^[4]。然而,卡拉胶单一的凝胶特性使其在产品研发时表现为产品脆性大、持水性弱等特点,无法满足重组果蔬食品特殊质构品质的要求。在重组果蔬食品制备过程中为改变卡拉胶单一凝胶的物理化学性质,可通过添加助溶剂实现。多组分食品系统中主要基质组分、凝胶剂和助溶剂的本质属性及其间的相互作用均不同程度地影响终产品品质结构^[5]。研究表明,助溶剂,如盐、糖和聚合物等的添加对卡拉胶凝胶质构特性的影响很大。特别是,糖分子携带的多羟基与卡拉胶形成分子间氢键,促进卡拉胶形成致密和厚实的连接区,从而稳定其结构,增强凝胶强度,改善卡拉胶单独使用出现的水分析出及结构松散等问题。可得然多糖作为助溶剂与卡拉胶复配,发生结构重组,为二者间新氢键的形成提供了更为短小、精确的交汇区,诱导更为致密结构的形成^[6]。环糊精分子通过与卡拉胶和水分子之间形成氢键来提高卡拉胶的冻融稳定性^[7]。蔗糖分子与卡拉胶之间形成交联氢键,改变了卡拉胶螺旋聚集体的数量和大小,形成更致密和更粗的原纤维束网络结构^[8]。由此可见,糖分子多是通过引入的羟基作用于卡拉胶或水分子,诱导氢键形成,从而实现凝胶体系的质构强度和

收稿日期: 2023-09-15

基金项目: 国家现代农业(桃)产业技术体系建设专项
(CARS-30-5-02)

第一作者: 吕明月,女,硕士生

通信作者: 毕金峰 E-mail: bjfcaas@126.com

稳定性。糖醇为多元醇,含有两个以上的羟基,不但具有某些糖的属性,而且多为低热值组分。目前糖醇已成为国际食品和卫生组织批准的无限量使用的广泛应用于食品工业中的组分。赤藓糖醇是自然界中广泛存在的,可通过自然发酵工艺大量制得四碳糖醇,其热量低、甜度高,且甜度是蔗糖的60%~80%,口味纯正,不会引起血糖波动,在口腔保护方面有积极作用,可预防龋齿,对肥胖症、糖尿病病人及儿童友好^[9-10]。为顺应食品产业界“减糖”发展需求,零热值的赤藓糖醇被广泛应用于配方设计中。王艳等^[11]以芦荟和雪莲果为主料,辅以赤藓糖醇制备零蔗糖的果酱。唐玲等^[12]以软枣猕猴桃与乌龙茶为主要原料辅以赤藓糖醇,制备满足市场需求的低糖茶果冻。为拓宽赤藓糖醇在凝胶食品中的应用,研发低热量功能性食品,越来越多的学者关注赤藓糖醇与天然多糖间的相互作用对凝胶体系的影响。有研究发现,赤藓糖醇与可得然胶具有良好的相容性,赤藓糖醇的加入一方面使两者的羟基基团间形成分子间氢键,另一方面诱导可得然多糖链紧密聚集,从而促使体系凝胶化程度增强^[13]。赤藓糖醇携带大量的羟基基团,能够显著增强果胶的亲水性,从而更好地保持果胶凝胶的质地特性^[14]。

基于以上分析,本试验以桃浆为基料,卡拉胶作为凝胶剂辅以赤藓糖醇,经干燥加工脱去部分水分后制作成重组桃脯。重点探究赤藓糖醇作为助溶剂对重组桃脯的色泽、风味和质构等品质的影响,以期拓宽赤藓糖醇在食品加工中的应用,同时拓展以果浆为基质的重组食品的制备,为赤藓糖醇在重组食品中的应用夯实理论基础。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

桃果实采自北京前芮营桃育种和试验示范基地,果实颜色、大小相近,成熟度基本一致,无明显病虫害和机械损伤;卡拉胶(分析级),上海源叶生物科技有限公司;赤藓糖醇(分析级),上海源叶生物科技有限公司。

1.2 设备与仪器

CL50型蔬菜水果切片机,法国 Robot Couple 公司;打浆机,九阳股份有限公司;HH-4B型恒温

水浴锅,常州荣华仪器制造有限公司;IKA旋转蒸发,IKA(广州)仪器设备有限公司;硅胶模具,北京萃锋科技有限公司;DHG-9123A电热恒温鼓风箱,上海精宏实验设备有限公司;PQ001低场核磁共振仪,苏州纽脉分析仪器股份有限公司;TA.XTC-18质构分析仪,上海保圣实业发展有限公司;Digieye 2.7电子眼,美国 Hunterlab 公司;PEN 3.5电子鼻,德国 Aisence 公司;Volume Measuring Instrument 300食品体积测定仪,英国 Stable Micro System 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 操作流程

1) 原料预处理 挑选无损伤、虫害的桃果实,经过清洗、去皮、去核、切分后,将果肉与水以4:1比例置于打浆机中打浆,收集浆液备用。

2) 溶胶 称取卡拉胶粉末2g,逐渐加入蒸馏水中浸润,待其充分溶胀后,置于70℃水浴锅中并不断搅拌,直至卡拉胶完全溶解,备用。

3) 调配、浓缩 将桃浆与卡拉胶溶液混合,加入赤藓糖醇搅拌溶解;混合均匀后置于蒸发仪上,设置温度为120℃,蒸发浓缩30min。

4) 干燥脱水 将蒸发浓缩后的浆料趁热倒入模具中,静置冷却,待其完全冷却凝固后置入电热鼓风恒温干燥箱中,烘箱温度设置为70℃,干燥时间5h,干燥期间每隔1h翻面1次,使其干燥均匀。以未添加赤藓糖醇直接热风干燥的重组桃脯作为对照组。

1.3.2 干燥曲线的测定 干燥曲线根据样品水分含量的变化绘制,其中水分含量测定按照GB 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》测定^[15]。干燥过程中前1h每隔20min取样称质量,后4h每隔30min取样称质量,根据质量损失计算取样时间点重组果脯的含水率,根据公式(1)和(2)进行水分比及干燥速率(g/(g·min))的计算。每个数据点平行测定3次。

$$MR = \frac{M_t}{M_0} \quad (1)$$

$$D_t = \frac{M_0 - M_{t+\Delta t}}{\Delta t} \quad (2)$$

式中:MR为物料水分比; M_t 为物料干燥到t时刻的干基含水率,g/g; M_0 为物料初始干基含水

率, g/g ; D_r 为物料干燥速率, $g/(g \cdot h)$; $M_{t+\Delta t}$ 为物料 ($t+\Delta t$) 时刻的干基含水率, g/g ; Δt 为干燥间隔时间, h 。

1.3.3 色泽的测定 采用电子眼色彩分析系统测定重组桃果脯的明度值 L^* 、红绿值 a^* 和黄蓝值 b^* 。每组样品平行测定 3 次。

1.3.4 电子鼻检测 采用电子鼻对重组果脯进行气味检测。将干燥后的重组桃果脯切成规则大小一致的微小颗粒, 称取 3 g 于顶空进样瓶中, 密封于室温环境中平衡 1 h, 随后插入电子鼻探头吸取顶端气体, 测定风味物质。检测条件为: 传感器清洗时间 180 s, 自动调零时间 10 s, 测试时间 60 s, 进样流速 600 mL/min^[16]。

1.3.5 皱缩度 采用食品体积测定仪测定重组桃果脯干燥前后的体积变化, 并以皱缩率 (SR) 进行表示。计算公式如下^[17]:

$$SR = \frac{V_0 - V}{V_0} \quad (3)$$

式中: V_0 为干燥前的体积, cm^3 ; V 为干燥后的体积, cm^3 。

1.3.6 质构的测定 将干燥后的重组桃果脯置于质构分析仪上, 对其进行 TPA 质构分析。采用探头 TA/36, 设置测试前速度为 2.0 mm/s, 测试速度 1.0 mm/s, 测试后速度 1.0 mm/s, 下压形变至 50%, 触发值为 5.0 gf。测定参数: 硬度、弹性、咀嚼性、胶着性、内聚性^[13]。每组平行测定 5 次。

1.3.7 样品水分分布测定 采用低场核磁共振仪 (LF-NMR) 测定重组桃果脯中的水分分布。取 2 g 样品放置于核磁管中, 使用多脉冲回波序列 (CPMG) 测试横向弛豫时间 T_2 。参数设置如下: 采样频率 100 kHz, 90 度脉宽 5.40 μs , 180 度脉宽 8.40 μs , 采样点数 1 200 036, 回波个数 12 000, 回波时间 1 ms^[18]。

1.3.8 拉曼光谱测定 将干燥后的重组桃果脯置于拉曼光谱仪内测定。扫描波数范围是 500~4 000 cm^{-1} , 激光波长为 532 nm, 测试功率为 7.5 mW, 分辨率是 0.5 cm^{-1} , 积分时间 35 s, 每个样品至少选取 3 个不同的点进行扫描。

1.3.9 微观结构分析 样品的微观结构采用扫描电子显微镜进行测定。将冻干后的样品切片并用导电胶固定在台上, 表面喷金后, 在电镜下分别放

表 1 电子鼻传感性能描述

Table 1 Performance description of electronic nose sensors

阵列信号	传感器名称	性能描述
1	W1C	对芳香类物质灵敏
2	W5S	对氮氧化物灵敏
3	W3C	对氨气、芳香类物质灵敏
4	W6S	对氢化物有选择性
5	W5C	对烷烃、芳香类物质灵敏
6	W1S	对甲基类灵敏
7	W1W	对有机硫化物、萜类物质灵敏
8	W2S	对醇类、醛酮类灵敏
9	W2W	芳香成分, 对有机硫化物灵敏
10	W3S	对长链烷烃灵敏

大至不同倍数进行观察。

1.3.10 数据处理 通过 SPSS 26.0 进行 ANOVA 差异显著性分析 ($P < 0.05$), 使用 Origin 2022 作图, 电子鼻数据分析利用其自带的 Winmuster 软件进行主成分分析 (principal component analysis, PCA) 分析。

2 结果与分析

2.1 赤藓糖醇添加量对重组桃脯干燥特性的影响

图 1 为不同赤藓糖醇添加量的重组桃脯的干燥特性曲线及速率曲线。如图所示, 随着干燥时间的延长重组桃脯的水分含量均呈现降低趋势, 表明其干燥过程属于降速干燥。随着干燥过程的持续进行, 重组桃脯的干燥速率呈显著下降趋势。干燥过程中果脯表面开始由外向内收缩, 对水分的束缚力和阻力也逐渐增大, 桃脯内部水分向外层转移的速度低于表面水分蒸发速度, 致使干燥速率不断减小^[19]。除此之外, 样品干燥过程中出现的表面硬化、结壳现象也会阻碍水分的传递速率。与对照组相比, 1% 处理组的桃脯干燥速率较大, 水分含量随着时间延长下降得较快, 可能是赤藓糖醇的加入使卡拉胶在桃脯中分布的更均匀, 进而提高了干燥速率; 其次是 5% 处理组, 9% 处理组的干燥速率最小。这是由于随着赤藓糖醇添加量的增加, 体系的网络结构变得更加紧密, 桃脯干燥过程中水分向外扩散阻力增加, 同时赤藓糖醇占据

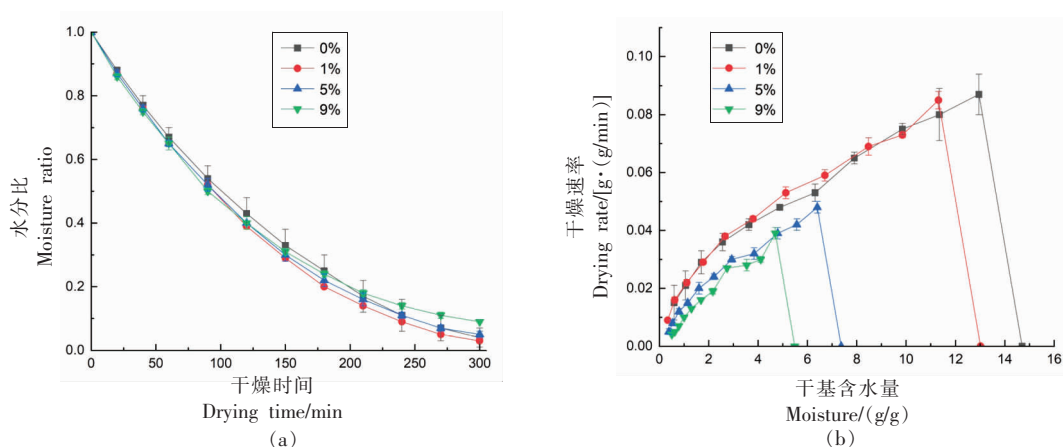


图1 赤藓糖醇添加量对重组桃脯水分比及干燥速率的影响

Fig.1 Effect of erythritol addition on the moisture ratio and drying rate of RPP

了干燥过程中水分运输的通道,阻碍了水分的扩散。此外,赤藓糖醇的加入与卡拉胶和桃浆中的多糖等组分间形成氢键,使桃脯内部水分结合得更加紧密,导致干燥速率降低。

2.2 赤藓糖醇添加量对重组桃脯色泽的影响

赤藓糖醇添加量对重组桃脯表面色泽的影响如表2所示,随着赤藓糖醇添加量的增加,重组桃脯 L^* 值逐渐增大,其中1%处理组的桃脯与对照组之间无显著差异;9%处理组的 L^* 值最大,可能因为赤藓糖醇添加量过大,在干燥过程中逐渐析出,形成一层白色的“赤藓糖醇层”附着于果脯表面,增加了光的反射,使果脯亮度增加。红绿度 a^* 值则随赤藓糖醇添加量的增加逐渐降低,1%处理组与5%处理组的桃脯与对照组无显著性差异,9%处理组的 a^* 值最低;不同赤藓糖醇添加量制得的桃脯 b^* 值之间无显著性差异。

2.3 赤藓糖醇添加量对重组桃脯风味的影响

图2a为不同赤藓糖醇添加量制得的重组桃脯的风味雷达图,10条坐标轴分别代表电子鼻的10种不同类型的金属传感器。不同处理组重组桃脯的电子鼻雷达图轮廓基本相似,但各个传感器对重组桃脯的响应强度显著不同,其中W1C响应值最大,其次是W3C和W5C,其中W1C、W3C的响应值随着赤藓糖醇的增加显著增加,表明赤藓糖醇的加入促进了重组桃脯中芳香物质的形成。进一步地,对重组桃脯特征挥发性成分进行主成分分析(PCA),以全面解析赤藓糖醇添加量对重组桃脯风味的影响。如图2b所示,横坐标代表第

表2 赤藓糖醇添加量对重组桃脯色泽的影响

Table 2 Effects of different amount of erythritol on the color of RPP

添加量/%	L^*	a^*	b^*
0	31.08 ± 1.95^a	16.72 ± 0.75^a	16.29 ± 2.15^a
1	33.86 ± 0.83^{ab}	16.50 ± 2.11^a	17.85 ± 1.15^a
5	37.82 ± 0.54^b	15.86 ± 0.31^a	19.37 ± 0.74^a
9	52.87 ± 5.04^c	10.88 ± 1.20^b	17.40 ± 1.75^a

注:同列不同字母表示样品间差异显著($P < 0.05$)。

一主成分(PC1),其方差贡献率为94.18%;纵坐标代表第二主成分(PC2),其方差贡献率为4.53%;两个主成分的累计方差贡献率为98.71%(>90%),可以代表重组桃脯挥发性成分大部分信息。样品在X轴的距离越大其风味差异越大。对照组与赤藓糖醇处理组差异明显,而1%,5%,9%处理组样品在PC1和PC2上未能完全分开,样品间出现相互交叉重叠,说明赤藓糖醇处理组间挥发性成分差异较小。说明赤藓糖醇的添加能够增进桃脯风味物质的形成,但添加量对风味物质影响不大,可能是赤藓糖醇不携带醛基或酮基而不能与桃浆中的氨基酸发生美拉德反应增进风味物质的形成;但是赤藓糖醇可能会促进桃浆本身的氨基酸和游离糖的美拉德反应,促使风味物质形成。

2.4 赤藓糖醇添加量对重组桃脯皱缩度的影响

皱缩度是评价重组桃脯饱满度的指标,皱缩度越小代表桃脯越饱满,则反之。不同赤藓糖醇添加量对重组桃脯皱缩度的影响如图3所示。随着赤藓糖醇添加量的增加,样品的皱缩度逐渐降低。

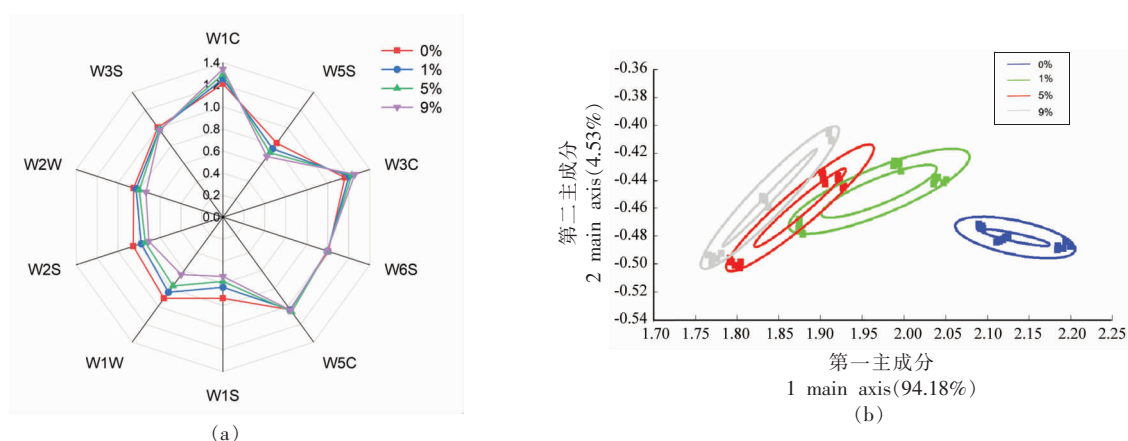


图2 电子鼻传感器的响应雷达图(a)及主成分分析图(b)

Fig.2 Response radar chart of electronic nose sensor and principal component analysis

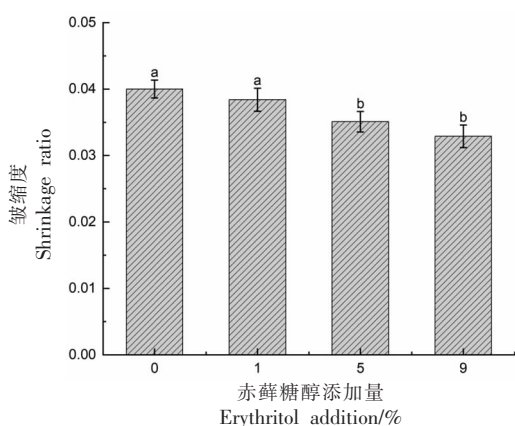


图3 不同赤藓糖醇添加量的桃脯的皱缩度

Fig.3 Shrinkage ratio of RPP with different amounts of erythritol

与对照组相比,1%,5%,9%处理组的桃脯皱缩度分别减少了4.00%,12.25%,17.75%;其中1%处理组的样品与对照组间无显著性差异,5%与9%处理组的样品间无显著性差异。赤藓糖醇分子的渗入有利于重组桃脯固形物的增加,进而对其组织结构表现出一定程度的支撑作用^[20]。此外,赤藓糖醇的加入引入大量的羟基基团,与卡拉胶以及桃浆中的细胞壁多糖等组分发生相互作用形成氢键,使重组桃脯的组织结构更加致密,增强了对水分子的束缚力;由此借助于水分子的塑化作用,有利于重组桃脯饱满度的形成。

2.5 赤藓糖醇添加量对重组桃脯质构的影响

表3为不同赤藓糖醇添加量对重组桃脯质构的影响。随着赤藓糖醇添加量的增加,重组桃脯的

硬度、咀嚼性、胶着性均显著升高,最大值出现在9%处理组,分别为30.51 N、7.21 N和14.42 N;其次为5%处理组;1%处理组与对照组均呈现出较低的硬度、咀嚼性和胶着性,且不存在显著性差异。赤藓糖醇的加入有助于固形物含量的增加,直接作用于重组桃脯硬度等质构特性的升高;此外赤藓糖醇小分子的结构灵活性作用于卡拉胶大分子结构,可以诱导卡拉胶分子在桃浆基质中结构伸展、均匀分散,有利于卡拉胶-桃浆组分的相互交联,促进桃脯的致密结构形成;此外,赤藓糖醇的多羟基属性可以与卡拉胶和桃浆中的细胞壁多糖之间发生相互作用形成氢键,进而影响重组桃脯质构的形成。随赤藓糖醇添加量的增加,重组桃脯的内聚性呈现先升高后降低的趋势。5%处理组样品的内聚性最大为0.56,9%处理组下降至0.47,但是与5%处理组相比无显著性差异。内聚性多用于表征样品形态形成过程中所需内部结合力大小,反映了内部分子的结合程度。由此可以推断,过多的赤藓糖醇会阻碍卡拉胶与桃浆中大分子物质内部键力的形成,进而影响了体系内分子结合的紧密程度,这可能是由于大量赤藓糖醇所产生的空间位阻效应导致的。弹性是指样品被压缩后恢复到原始高度的能力。不同处理组重组桃脯弹性间无显著性差异,表明赤藓糖醇添加量不影响重组桃脯受到外力压缩后恢复到原始高度的能力。

表 3 赤藓糖醇添加量对重组桃脯质构的影响

添加量/%	硬度/N	咀嚼性/N	胶着性/N	内聚性	弹性
0	9.78 ± 2.98 ^a	3.03 ± 1.47 ^a	5.11 ± 1.95 ^a	0.51 ± 0.07 ^a	0.60 ± 0.13 ^a
1	10.85 ± 2.74 ^a	3.49 ± 1.45 ^a	5.94 ± 1.33 ^a	0.55 ± 0.05 ^{ab}	0.59 ± 0.20 ^a
5	18.38 ± 3.56 ^b	7.18 ± 2.25 ^b	10.36 ± 1.96 ^b	0.56 ± 0.02 ^b	0.73 ± 0.30 ^a
9	30.51 ± 4.21 ^c	7.21 ± 1.60 ^b	14.42 ± 2.82 ^c	0.47 ± 0.05 ^b	0.53 ± 0.24 ^a

注:同列不同字母表示样品间差异显著($P < 0.05$)。

2.6 赤藓糖醇添加量对重组桃脯水分分布的影响

图 4 显示的是不同赤藓糖醇添加量的重组桃脯的横向弛豫时间变化。不同赤藓糖醇添加量重组桃脯的低场核磁图谱呈现 3 个显著信号峰,所对应的弛豫时间分别为 T_{21} , 1.48~9.65 ms (峰面积 PT_{21}), T_{22} , 23.81~67.47 ms (峰面积 PT_{22}) 和 T_{23} , 95.47~270.49 ms (峰面积 PT_{23})。其中, T_{21} 和 T_{22} 代表流动性较弱的水; 且 PT_{22} 为重组桃果脯中的主要水分形式, 表明重组桃脯中的整体水分流动性较低。与对照组相比, 1% 处理组的 T_{21} 、 T_{22} 和 T_{23} 分

别由 1.48, 23.81 ms 和 95.47 ms 增加到 3.40, 25.52 ms 和 102.34 ms, 5% 处理组的 T_{21} 、 T_{22} 和 T_{23} 增加到 8.40, 67.47 ms 和 270.49 ms, 9% 处理组的对应值增加到 9.65, 54.78 ms 和 191.16 ms。表明随着赤藓糖醇添加量的增加, 弛豫时间逐渐向右移动, 说明赤藓糖醇改善了重组桃脯中水分的流动性。随着赤藓糖醇添加量的增加, PT_{21} 的比例逐渐升高, 说明赤藓糖醇增强了卡拉胶-桃浆凝胶体系的水结合能力, 致使干燥过程中重组桃脯的水分不容易脱离。

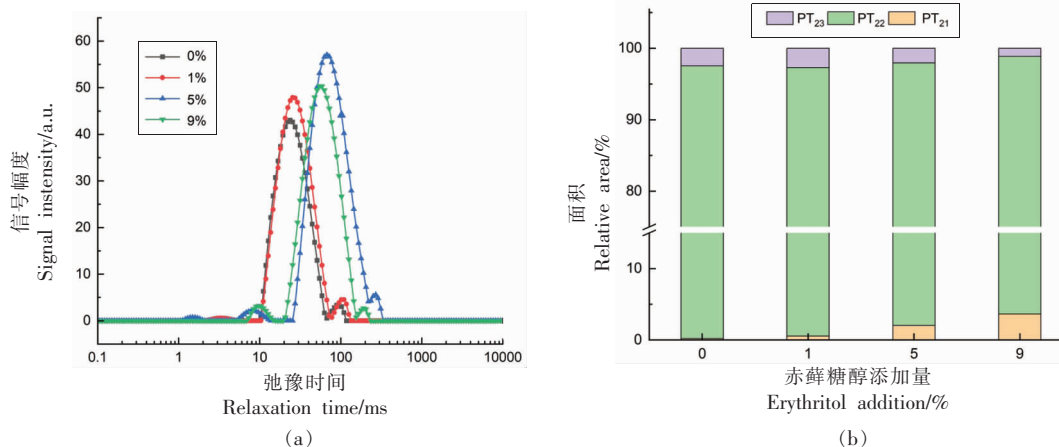


图 4 不同赤藓糖醇添加量的重组桃脯的水分状态(a)和水分分布(b)

Fig.4 Water distribution and peak area proportions of RPP with different additions of erythritol

2.7 赤藓糖醇添加量对重组桃脯拉曼光谱的影响

不同赤藓糖醇添加量重组桃脯的拉曼光谱如图 5 所示。拉曼光谱可以直观反应桃脯样品中分子的化学键、官能团等结构信息。所有重组桃脯样品的拉曼光谱显示出相同的特征峰, 表明没有新的官能团形成。2 800~3 000 cm^{-1} 谱带归因于 C-H 的伸缩振动, 1 345, 1 267, 1 123, 868 cm^{-1} 分别为 C-OH 弯曲振动、C-H₂ 变形振动、C-O 伸缩振动

和 C-H 变形振动^[21]。随着赤藓糖醇添加量的增加, 位于 2 918 cm^{-1} 附近的振动峰逐渐变得尖锐, 峰强度增加。研究发现拉曼光谱 3 000 cm^{-1} 附近的谱带与样品的保水性及微观结构具有良好的相关性, 可能是由于赤藓糖醇的加入引入大量羟基, 与卡拉胶和桃浆中细胞壁多糖间的羟基结合形成氢键, 形成更加致密的网络结构, 更多的水分截留在其中从而提高了桃脯的保水性, 这与赤藓糖醇添加量对重组桃脯水分分布的影响结果相一致。

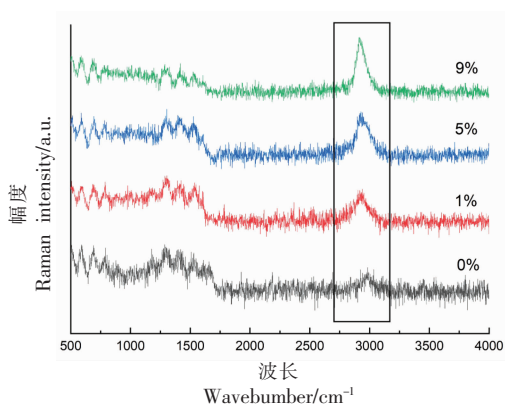


图5 赤藓糖醇添加量对重组桃脯拉曼光谱的影响

Fig.5 Effects of the addition amount of RPP on Raman spectra

2.8 赤藓糖醇添加量对重组桃脯微观结构的影响

图6显示了不同赤藓糖醇添加量对重组桃脯微观结构的影响。1%处理组与对照组样品的微观结构相似,均呈现出脊状褶皱;5%处理组样品的内壁则无脊状褶皱较为平坦,结构均匀紧凑,这可能是添加赤藓糖醇后重组桃脯质构得到改善的原因。9%处理组的微观结构则显著不同,呈现出大小不均匀的颗粒状结构,可能是由于赤藓糖醇的添加量过大,重组桃脯的网络结构不足以束缚住赤藓糖醇,使赤藓糖醇在干燥过程中析出呈现圆形颗粒,同时重组桃脯表面也表现为赤藓糖醇白色晶体的析出。

3 结论

本文探究了不同添加量的赤藓糖醇(1%,5%,9%)对重组桃脯品质的影响,以不添加赤藓糖醇的桃脯为对照组,分别从色泽、质构、风味等方面分析了赤藓糖醇添加量对重组桃脯的影响。结果表明,赤藓糖醇添加会增强卡拉胶-桃浆基质对水分子的束缚力,宏观表现为随赤藓糖醇添加量的增加,重组桃脯干燥速率显著降低,这一结果与低场核磁测定的水分分布结果相一致。赤藓糖醇不含有酮基和醛基不能发生美拉德反应,因此未能显著影响褐变反应程度;但赤藓糖醇能够增强桃浆中游离糖与氨基酸分子在干燥阶段发生反应,促进芳香性物质的生成,表现为重组桃脯显著不同的风味品质。赤藓糖醇的添加一方面使重组桃

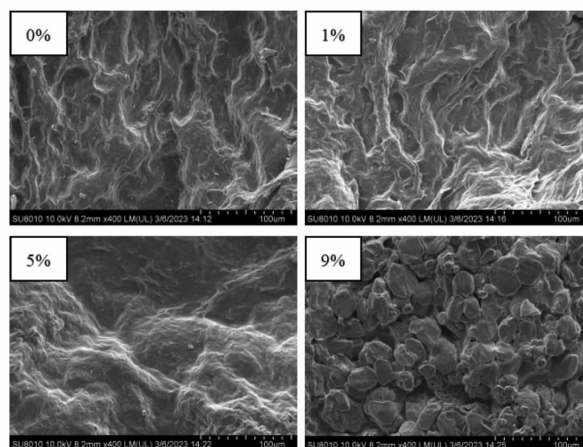


图6 赤藓糖醇添加量对重组桃脯微观结构的影响

Fig.6 Effect of erythritol addition on the microstructure of RPP

脯中固形物含量增多,另一方面赤藓糖醇与卡拉胶、桃浆基质中的多糖等物质组分形成氢键,有利于致密结构的形成,反映为宏观硬度、咀嚼性、胶着性和饱满度的升高,这一结果与拉曼光谱测定相一致。但当赤藓糖醇添加量高达9%时,一方面大量赤藓糖醇诱导的空间位阻效应,改变了卡拉胶-桃浆基质形成的网络结构,使其宏观内聚性降低;另一方面,卡拉胶-桃浆基质的组织结构不足以束缚所添加的赤藓糖醇,使其在干燥过程中结晶析出,呈现为不均匀圆形颗粒,在重组桃脯表面形成白色的“赤藓糖醇层”。基于重组桃脯综合品质,赤藓糖醇添加量为5%时,重组桃脯表现为更为优良的色香味形品质。

参 考 文 献

- [1] 张科, 杜金平, 吴艳, 等. 食品胶对重组肉持水力和水分活度的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2011, 37(3): 333-336, 341.
ZHANG K, DU J P, WU Y, et al. Effect of food glue on the water holding capacity and water activity of recombinant meat[J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Science Edition), 2011, 37(3): 333-336, 341.
- [2] 甘志聪, 张新霞, 张聪男, 等. 食品添加剂在重组米中应用的研究进展[J]. 中国食品添加剂, 2022, 33(12): 56-61.

- GAN Z C, ZHANG X X, ZHANG C N, et al. Research progress on the application of food additives in recombinant rice[J]. *China Food Additives*, 2022, 33(12): 56-61.
- [3] 田韩, 李欣, 冯佩琪, 等. 蜂蜡-水凝胶复合型荔枝材料的3D打印工艺[J]. *现代食品科技*, 2020, 36(8): 202-210.
- TIAN H, LI X, FENG P Q, et al. 3D printing process of beeswax hydrogel composite litchi material[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2020, 36(8): 202-210.
- [4] AGA M B, A H DAR, G A NAYIK, et al. Recent insights into carrageenan-based bio-nanocomposite polymers in food applications: A review[J]. *Int J Biol Macromol*, 2021, 192: 197-209.
- [5] 詹伟, 袁超, 崔波. 抗性糊精对 κ -卡拉胶凝胶特性的影响[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(9): 19-24.
- ZHAN W, YUAN C, CUI B. Effect of resistant dextrin on the properties of κ -carrageenan gel[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(9): 19-24.
- [6] TAO H T, GUO L, QIN Z, et al. Textural characteristics of mixed gels improved by structural recombination and the formation of hydrogen bonds between curdlan and carrageenan[J]. *Food Hydrocolloids*, 2022, 129: 107678.
- [7] YUAN C, DU L, ZHANG G J, et al. Influence of cyclodextrins on texture behavior and freeze-thaw stability of kappa-carrageenan gel[J]. *Food Chemistry*, 2016, 210(nov.1): 600-605.
- [8] ZHI Y, YANG H J, YANG H S. Effects of sucrose addition on the rheology and microstructure of κ -carrageenan gel[J]. *Food Hydrocolloids*, 2018, 73: 164-173.
- [9] 中国食品科学技术学会. 赤藓糖醇的科学共识[J]. *中国食品学报*, 2022, 22(12): 405-412.
- Chinese Institute of Food Science and Technology. Scientific consensus on erythritol[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2022, 22(12): 405-412.
- [10] 张妍, 张丽, 李宝磊, 等. 赤藓糖醇的国内外研究进展[J]. *饮料工业*, 2022, 25(5): 76-79.
- ZHANG Y, ZHANG L, LI B L, et al. Research progress of erythritol at home and abroad[J]. *The Beverage Industry*, 2022, 25(5): 76-79.
- [11] 王艳, 廖海慧, 万庆家, 等. 零蔗糖芦荟雪莲果果味酱的制备[J]. *食品工业*, 2022, 43(7): 1-4.
- WANG Y, LIAO H H, WAN Q J, et al. Preparation of zero sucrose aloe snow lotus fruit flavor sauce[J]. *The Food Industry*, 2022, 43(7): 1-4.
- [12] 唐玲, 刘小平, 吴家勇, 等. 响应面优化软枣猕猴桃低糖茶果冻工艺[J]. *食品安全导刊*, 2022, 355(26): 127-131.
- TANG L, LIU X P, WU J Y, et al. Optimization of soft date kiwifruit low sugar tea jelly process by response surface methodology[J]. *Chinese Food Safety Magazine*, 2022, 355(26): 127-131.
- [13] TAO H T, WANG B Z, WEN H C, et al. Improvement of the textural characteristics of curdlan gel by the formation of hydrogen bonds with erythritol[J]. *Food Hydrocolloids*, 2021, 117(4): 106648.
- [14] WAN L, YANG Z X, CAI R, et al. Calcium-induced-gel properties for low methoxyl pectin in the presence of different sugar alcohols[J]. *Food Hydrocolloids*, 2020: 106252.
- [15] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中水分的测定: GB 5009.3-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National Food Safety Standards - Determination of Moisture in Food: GB 5009.3-2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [16] 任二芳, 李建强, 黎新荣, 等. 不同百香果汁添加量对百香果果脯品质特性及风味物质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(22): 227-233.
- REN E F, LI J Q, LI X R, et al. Effect of different addition levels of passion juice on the quality characteristics and flavor substances of passion fruit preserved fruit[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2021, 47(22): 227-233.
- [17] LYU J, YI J, BI J F, et al. Impacts of explosion puffing drying combined with hot-air and freeze drying on the quality of papaya chips[J]. *International Journal of Food Engineering*, 2017, 13(2).
- [18] 苑丽婧, 何秀, 林蓉, 等. 超声预处理对猕猴桃水分状态及热风干燥特性的影响[J]. *农业工程学报*, 2021, 37(13): 263-272.
- YUAN L J, HE X, LIN R, et al. Effect of ultrasonic pretreatment on the moisture state and hot air drying characteristics of kiwifruit[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*,

- 2021, 37(13): 263–272.
- [19] 何茸茸, 牛丽影, 李大婧, 等. 草莓脯恒温与分阶烘干过程中水分迁移特性与品质比较[J]. 食品工业科技, 2023, 44(16): 51–58.
- HE R R, NIU L Y, LI D J, et al. Comparison of water migration characteristics and quality of strawberry preserves during constant temperature and step drying processes[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2023, 44(16): 51–58.
- [20] SAGAR V R, KUMAR P S. Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review[J]. *Journal of Food Science & Technology*, 2010, 47(1): 15–26.
- [21] 杨雪凡, 张维, 顾欣哲, 等. 拉曼光谱在食品加工及品质控制中的应用[J]. 食品工业科技, 2020, 41(19): 361–368.
- YANG X F, ZHANG W, GU X Z, et al. Application of Raman spectroscopy in food processing and quality control[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(19): 361–368.

Effect of Erythritol Concentration on the Characterization of the Recombinant Preserved Peach

Lü Mingyue, Bi Jinfeng*, Lü Jian, Wang Fengzhao, Bai Lansha

(*Institute of Food Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences (CAAS),
Key Laboratory of Agro-products Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100193*)

Abstract Peach pulp mixed with k-carrageenan was applied to form the recombinant preserved peach (RPP) by hot air drying, in which erythritol was selected as the co-solute. The effect of erythritol addition (0%, 1%, 5%, 9%) on the quality characteristics of RPP was investigated. Based on the drying experiment, with the increase in erythritol concentration, the water mobility was significantly decreased as well as the drying rate. Color analysis illustrated that with increasing erythritol addition, the L^* value (brightness) of RPP was significantly increased, while the value of a^* (redness and greenness) was decreased. The electronic nose sensors W1C, W3C, and W5C had larger response values. When subjected with erythritol, the response values of the sensors were increased. Additionally, PCA analysis revealed the significant difference in the flavor between the control group and the RPP groups. Texture analysis suggested that the highest hardness, chewiness and gumminess were observed in RPP with 9% erythritol, which were 30.51 N, 7.21 N, and 14.42 N, respectively. However, the cohesiveness was significantly reduced compared to the control group. Meanwhile, no statistical significance was achieved in elasticity between control group and RPP groups. As erythritol increasing, the shrinkage of RPP was significantly decreased. Compared with the control group, the 1%, 5%, and 9% treatment groups decreased by 4.00%, 12.25%, and 17.75%, respectively. The low field nuclear magnetic resonance results showed that the water mobility was evidently altered by the erythritol. The proportions of the moisture with low flowability in RPP with 5% erythritol and 9% erythritol were increased. Raman spectroscopy was applied to evaluated the changes in chemical group under the different treatment, in which the vibration peak near 2918 cm^{-1} gradually became sharp. These results suggested the formation of dense structure through the hydrogen bonding, which reflected the excellent texture properties at the macro-level.

Keywords preserved peach; recombinant; erythritol; texture; aroma