

DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.022821

引用格式:王海鸥,王前菊,闫秋菊,等.多元糖浸渍处理对真空冷冻干燥苹果片品质及微观孔隙结构的影响[J].食品与发酵工业,2020,46(16):43-48;55. WANG Haiou, WANG Qianju, YAN Qiuju, et al. Effect of polysaccharide impregnating treatment on the quality and microstructure of vacuum freeze-dried apple slices[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(16):43-48;55.

多元糖浸渍处理对真空冷冻干燥苹果片品质及微观孔隙结构的影响

王海鸥¹,王前菊^{1,2},闫秋菊^{1,3},姜英^{1,3},周峰^{1,4},华春^{1,4*}

1(南京晓庄学院 食品科学学院,江苏 南京,211171)2(沈阳农业大学 食品学院,辽宁 沈阳,110161)3(南京师范大学 生命科学学院,江苏 南京,210046)4(江苏省高校“特殊生物质废弃物资源化利用”重点建设实验室,江苏 南京,211171)

摘要 为了研究不同多元糖浸渍处理对冻干苹果片品质特性及微观孔隙结构的影响,分别采用质量分数为0.5%、10%、15%、20%、25%的多元糖(葡萄糖、蔗糖、水苏糖及木糖醇)对苹果片进行浸渍处理,测定冻干苹果片色泽、产出率、复水比、形变率、质地特性及微观孔隙结构的变化。结果表明,多元糖可使冻干苹果片 L^* 值显著下降, ΔE 值和产出率显著增加($P < 0.05$);随着多元糖质量分数的增加,冻干苹果片复水比基本呈先增加后减少的趋势,除了水苏糖,其他多元糖浸渍冻干苹果片形变率逐渐增加;葡萄糖浸渍冻干苹果片结构坍塌,细胞结构发生了皱缩和变形,孔壁增厚,表现出较高的硬度、较大变形率及较低的孔隙率;蔗糖浸渍的冻干苹果片结构坍塌更严重,孔隙更小,表现出较低的孔隙率及较大的变形率;木糖醇浸渍的冻干苹果片细胞结构有些皱缩和坍塌,不具有其他糖赋予细胞结构的厚实感,表现出较差的质地特性及较大变形率;水苏糖浸渍的冻干苹果片细胞组织结构规整蓬松,孔隙均匀,孔壁较厚,促使了冻干苹果片具有较高的孔隙率、较低的变形率及较好咀嚼性和回复性的质构特性。该研究结果发现了水苏糖可以有效提高冻干苹果片的综合品质,揭示了冻干苹果片品质变化与微观孔隙结构变化有关,为改善冻干水果制品品质提供了一定的理论依据。

关键词 多元糖;冻干苹果片;品质;微观结构

Effect of polysaccharide impregnating treatment on the quality and microstructure of vacuum freeze-dried apple slices

WANG Haiou¹, WANG Qianju^{1,2}, YAN Qiuju^{1,3}, JIANG Ying^{1,3}, ZHOU Feng^{1,4}, HUA Chun^{1,4*}

1(School of Food Science, Nanjing Xiaozhuang University, Nanjing 211171, China) 2(Food College, Shenyang Agriculture University, Shenyang 110161, China) 3(College of Life Sciences, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China) 4(Jiangsu Provincial Key Construction Laboratory of Special Biomass Waste Resource Utilization, Nanjing 211171, China)

ABSTRACT The fresh-cut apple slices were impregnated with 0, 5%, 10%, 15%, 20% and 25% (mass fraction) of polysaccharide including glucose, sucrose, stachyose and xylitol. After freeze-drying, the properties of the dried products were analyzed, including color, yield, rehydration, deformation rate, texture characteristics and microscopic pore structure. The results showed that the polysaccharides significantly reduced the L^* value of freeze-dried apple slices, and significantly increased the ΔE value and yield rate ($P < 0.05$). The rehydration ratio increased first and then decreased, the deformation rate increased with the increasing of the polysaccharide concentration except for stachyose. The structure of glucose-impregnated freeze-dried apple slices collapsed and deformed, and the pore walls were thickened, resulting in higher hardness and deformation rate, as well as lower porosity. The structure of sucrose-impregnated freeze-dried apple slices collapsed more severely, and the pores were smaller, resulting in lower porosity and larger deformation rate. Xylitol-impregnated freeze-dried apple slices showed some shrinkage and collapse, with no solid texture of the cell structure caused by other

第一作者:博士,教授(华春教授为通讯作者,E-mail:who1978@163.com)

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31872901;31301592);江苏省高校重点建设实验室项目(苏教科[2016]8)

收稿日期:2019-11-16,改回日期:2019-12-06

sugars, exhibiting poor texture characteristics and large deformation rate. Stachyose-impregnated freeze-dried apple slices showed regular structure, with uniform pores and thicker pore walls, which contributed to the high porosity, low deformation rate, good chewiness and recovery characteristics of the freeze-dried apple slices. It was found that stachyose could effectively improve the comprehensive quality of freeze-dried apple slices. This paper revealed the correlation between the quality and microscopic pore structure, providing a theoretical basis for improving the quality of freeze-dried fruit products.

Key words polysaccharide; vacuum freeze-dried apple slices; quality; microstructure

果蔬含水量高,采后呼吸强度大,极易因细菌繁殖而腐烂变质。而干燥是一种最常用的保藏方法,通过脱水抑制了微生物的生长和酶活性,同时质量减轻便于储存和运输^[1-2]。果蔬干燥最广泛使用的方法是热风干燥,但热风干燥产品质量差,维生素和其他营养素含量低,由于受热引起的结构变化较大^[3]。另一种常见的干燥方法是真空冷冻干燥,是将产品冷冻至低于其凝固点,然后通过低于水三相点的压力下将冰升华为水蒸气从样品中除去水^[4],该技术比其他干燥方法更好地保持食品的质量和结构,获得较高的感官品质及营养成分,同时由于水分的脱除,将原有新鲜果蔬中的生物活性物质进行浓缩 9~10 倍^[5],提高其改善和预防疾病的功能和功效。因此,冷冻干燥产品可实现药食同源的效果,对于以营养健康为需求的市场具有巨大的发展前景。

由于水果细胞结构属于薄壁细胞,冻干水果品质常常会出现绵软口感,缺乏脆片食用时的“咔嚓咔嚓”的咀嚼声音,无法给人带来酥脆质地和愉悦口感^[6]。许多专家学者通过糖、盐等溶液浸渍预处理,改善水果脆片的口感,提高其品质。同时,水果水分含量高,冻干产品的产出率较低,企业通过添加糖类物质提高其出品率,提高经济效益。很多文献报道采用高浓度糖类渗透脱水可脱除物料中一部分水分,提高产品产出率,KUO 等发现 30%~60% 浓度蔗糖浸渍西瓜皮,水分含量损失 10%~30%,固形物增加了 10%~30%,浸渍温度和时间对脱水和质量均有影响^[7];FALADE 等报道将非洲金星果肉浸泡在 60% 葡萄糖溶液中 2~10 h,水分损失率达到 35%~55%,固形物含量增加了 20%~30%^[8]。然而对于目前人们追求健康、营养、绿色食物的目标而言,高浓度糖让人们避而远之,且冻干企业纷纷提出低糖冻干产品的呼声。因此本论文通过研究低浓度葡萄糖、蔗糖、水苏糖、木糖醇对冻干苹果片的色泽、产出率、复水品质、质构特性、微观及孔隙结构的改变,分析多元

糖及其浓度对冻干苹果片品质及微观结构的影响,旨在为改善真空冷冻干燥水果脆片品质低浓度糖类物质在其产业中的应用提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

苹果购于南京超市,品种为新疆阿克苏;葡萄糖、蔗糖、水苏糖、木糖醇,均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

BLK-0.5 型真空冷冻干燥机,江苏博莱客冷冻科技发展有限公司;NR200 高品质便携式电脑色差仪,深圳市三恩时科技有限公司;JJ1000Y 型电子天平,常熟市双杰测试仪器厂;TMS-PRO 型质构仪,美国 FTC 公司;EVO-LS10 型扫描电子显微镜,德国 ZEISS 公司;AutoPore IV 9510 型压汞仪,美国 Micromeritics 公司。

1.3 糖渍冻干苹果片制备

苹果清洗后沥干水分,切去顶部与底部,切成厚 5 mm、直径 20 mm 的苹果片。放入一次性纸杯中按其质量百分比添加外源水,按料液比 1:1(质量比)分别加入 5%、10%、15%、20%、25% 质量分数的葡萄糖、蔗糖、水苏糖、甘露聚糖、木糖醇溶液,常温浸渍 2 h 后取出,沥干苹果片表面糖液,进行真空冷冻干燥,每组做 5 个平行处理。

将浸渍后的苹果片整齐地摆放在托盘上,放入真空冷冻干燥设备中,首先将苹果片预冻到中心温度为 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$,开启真空泵,真空度达到 100 Pa 时启动隔板加热程序,“温度-时间”冻干温控程序设定为: $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、1 h, $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、1 h, $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、1 h, $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、1 h, $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、1 h, $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、2 h, $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、2 h, $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、1 h, $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、1 h, $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、1 h, $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、1 h, $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、1 h。当苹果片温度与最终设定的隔板油温($40\text{ }^{\circ}\text{C}$)趋于一致,真空冷冻干燥加工结束,获得糖渍冻干苹果片,充氮包装冷藏储存备用。

1.4 试验方法

1.4.1 色泽测定

用色差仪分别对鲜切苹果片、冻干后苹果片进行色泽测定,根据 CIELAB 表色系统,读取 L^* 、 a^* 、 b^* ,并按公式计算色差值 ΔE ,每组样品平行测定 5 次,取其平均值,计算如公式(1)所示:

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2} \quad (1)$$

式中: L^* ,冻干样品明暗度指数; a^* ,冻干样品红绿度指数; b^* ,冻干样品黄蓝度指数; L_0^* 、 a_0^* 、 b_0^* ,鲜切苹果片色差值。

1.4.2 产出率测定

苹果切片后未冻干前称取其质量,冷冻干燥后称取冻干苹果片质量,冻干后与冻干前质量的百分比即为产出率。按公式(2)计算产出率,每组样品平行测定 3 次,取其平均值。

$$w_1/\% = \frac{m_2}{m_1} \times 100 \quad (2)$$

式中: w_1 ,产出率,%; m_1 ,冻干前质量,g; m_2 ,冻干后质量,g。

1.4.3 复水比测定

苹果切片后未冻干前称取其质量,冷冻干燥后称取冻干苹果片质量,将冻干苹果片放入 30℃ 左右的蒸馏水中充分吸水 30 min,捞出后用滤纸吸干样品表面的水分,再次称量其质量,按公式(3)计算复水比,每组样品平行测定 3 次,取其平均值^[9]。

$$w_2 = \frac{m_3}{m_2} \times 100 \quad (3)$$

式中: w_2 ,复水比; m_2 ,冻干后质量,g; m_3 ,复水后质量,g。

1.4.4 形变率测定

采用质构仪对冻干前和冻干后的苹果片厚度进行精准测量,冻干苹果片形变率计算如公式(4)所示:

$$w_3/\% = \frac{h_1 - h_2}{h_1} \times 100 \quad (4)$$

式中: w_3 ,冻干后形变率,%; h_1 ,冻干前物料厚度,mm; h_2 ,冻干后物料厚度,mm。

1.4.5 质构特性测定

采用 FTC 质构仪测定。在质构仪上选择“TPA-1 000 N”测试程序,测试探头为直径 50 mm 平板探头 P50,1 000 N 载荷单元,设置参数测试为:前速率 60 mm/min,中速率 60 mm/min,后速率 60 mm/min,压缩比 20%,间隔时间 5 s,起始力 100 g,记录硬度、

黏聚性、弹性、胶着性、咀嚼性、回复性等质地参数(texture profile analysis, TPA)^[10],每个处理重复测定 10 个苹果片,取其平均值。

1.4.6 微观结构观察

利用扫描电子显微镜观察 4 种糖(质量分数均为 25%)浸渍冻干苹果片的微观结构。将苹果片用液氮快速冻结后制取断面样品,将苹果片观察断面向上用碳导电胶黏在样品托上,采用离子溅射仪在断面观察样本上喷金,扫描电镜观察冻干苹果片横截面的微观结构。

1.4.7 孔隙指标测定

通过 AutoPore TM IV 系列自动汞孔隙率计测定并分析冻干苹果片的孔隙指标。将冻干苹果片放入到压汞仪中,通过压汞仪中压力的作用使压汞仪中的水银进入物料的孔隙中。通过压入的水银量间接测出样品的孔隙大小和孔隙率的测量值^[11]。

1.5 数据处理

采用 SPSS 16.0 软件进行统计分析,利用 Duncan 检验进行差异显著性分析,其他数据采用 Origin 7.5 软件进行分析和绘图。

2 结果与分析

2.1 多元糖对冻干苹果片色泽的影响

色泽是冻干苹果片产品感官品质的重要指标,直接影响产品市场价值及消费者接受度。多元糖浸渍预处理对苹果片冻干产品色泽的变化如表 1 所示,可以看出多元糖的添加导致苹果片的 L^* 值显著下降($P < 0.05$), a^* 值显著增加($P < 0.05$);随着糖质量分数的增加,冻干苹果片的 a^* 值和 b^* 值呈现先增加后减少的趋势, L^* 值基本均呈逐渐增加的趋势。这可能是由于苹果片经过长时间的浸渍处理,诱导发生酶促褐变和氧化反应,但随着糖质量分数的增加,糖对苹果片表面的保护作用逐渐增加,阻止酶与底物的接触,氧化反应程度下降^[12]。浸渍苹果片的 ΔE 值显著小于未浸渍样品($P < 0.05$),随着糖质量分数的增加基本呈逐渐增加的趋势,这表明多元糖浸渍处理较好地保持了苹果片的原有色泽,但随着糖质量分数增加,解析干燥过程中苹果片糖和氨基酸发生的美拉德反应增加。对于不同糖而言,低质量分数下木糖醇的 ΔE 值最大,与苹果片原色泽的差异最大,葡萄糖、蔗糖和水苏糖的变化基本一致,高质量分数糖会造成 ΔE 值显著增大,但高质量分数木糖醇对苹果片 ΔE 值无显著差异。杨旭海等报道葡萄糖、麦芽糖浸渍预处理的干燥产品色

泽好于麦芽糖醇类浸渍处理产品^[13]。

与 1 不同糖种备浸渍果理对冻剂苹果片食泽品影响

Table 1 Effect of sugar impregnation treatment on the color of freeze-dried apple slices

糖种类	质量分数/%	L*	a*	b*	ΔE
葡萄糖	0	88.53 ± 0.30 ^A	0.76 ± 0.11 ^D	23.81 ± 0.91 ^B	14.27 ± 0.40 ^A
	5	80.48 ± 0.85 ^{Dbc}	3.54 ± 0.45 ^{Bc}	21.76 ± 0.59 ^{Cd}	6.32 ± 0.26 ^{Db}
	10	82.39 ± 0.92 ^{Cb}	3.11 ± 0.42 ^{BCc}	25.49 ± 0.85 ^{Ab}	7.54 ± 0.21 ^{Cc}
	15	82.49 ± 0.55 ^{Ca}	5.26 ± 0.44 ^{Aa}	25.42 ± 0.65 ^{Ab}	7.34 ± 0.26 ^{Cd}
	20	84.48 ± 0.40 ^{Bb}	2.86 ± 0.31 ^{Cb}	24.55 ± 0.72 ^{ABc}	10.13 ± 0.34 ^{Bb}
蔗糖	0	88.53 ± 0.30 ^A	0.76 ± 0.11 ^B	23.81 ± 0.91 ^{BC}	14.27 ± 0.40 ^A
	5	79.56 ± 0.72 ^{Cc}	5.86 ± 0.50 ^{Aa}	22.44 ± 0.79 ^{Ced}	6.77 ± 0.79 ^{Db}
	10	80.50 ± 0.81 ^{Cc}	5.46 ± 0.32 ^{Aa}	25.12 ± 0.89 ^{ABb}	8.71 ± 0.87 ^{Bbc}
	15	80.17 ± 1.13 ^{Cb}	5.90 ± 0.62 ^{Aa}	26.91 ± 0.96 ^{Ab}	8.08 ± 0.59 ^{BCcd}
	20	80.19 ± 0.53 ^{Cd}	5.44 ± 0.41 ^{Aa}	26.51 ± 1.01 ^{Ab}	7.28 ± 0.49 ^{CDc}
水苏糖	0	88.53 ± 0.30 ^A	0.76 ± 0.11 ^C	23.81 ± 0.91 ^{BC}	14.27 ± 0.40 ^A
	5	79.05 ± 1.04 ^{Dc}	6.15 ± 0.59 ^{Aa}	23.76 ± 0.84 ^{BCbc}	5.91 ± 0.64 ^{Db}
	10	81.66 ± 0.98 ^{Cbc}	3.31 ± 0.25 ^{Bc}	24.51 ± 0.79 ^{Bb}	7.78 ± 0.77 ^{Cbc}
	15	80.23 ± 0.79 ^{CDb}	6.18 ± 0.6 ^{Aa}	30.70 ± 0.75 ^{Aa}	8.93 ± 0.82 ^{Cbc}
	20	81.79 ± 0.94 ^{Cc}	5.44 ± 0.97 ^{Aa}	29.53 ± 0.83 ^{Aa}	10.41 ± 0.63 ^{Bb}
木糖醇	0	88.53 ± 0.30 ^A	0.76 ± 0.11 ^E	23.81 ± 0.91 ^D	14.27 ± 0.40 ^A
	5	84.40 ± 1.05 ^{CDa}	4.42 ± 0.34 ^{Bb}	26.36 ± 0.96 ^{BCa}	10.13 ± 0.67 ^{Ca}
	10	85.10 ± 0.39 ^{BCa}	4.49 ± 0.15 ^{Bb}	27.78 ± 0.85 ^{Ba}	11.10 ± 0.97 ^{BCa}
	15	83.56 ± 0.64 ^{Da}	5.52 ± 0.45 ^{Aa}	30.59 ± 1.06 ^{Aa}	10.89 ± 0.61 ^{BCa}
	20	86.38 ± 0.4 ^{Ba}	2.18 ± 0.24 ^{Db}	24.93 ± 0.76 ^{CDc}	11.93 ± 0.93 ^{Ba}
25	85.26 ± 1.05 ^{BCa}	3.09 ± 0.51 ^{Cc}	26.62 ± 0.99 ^{BCa}	10.95 ± 0.84 ^{BCa}	

注:同列数据表示同一种类糖不同上标大写字母表示在 0.05 水平差异显著,不同糖相同质量分数不同上标小写字母表示在 0.05 水平差异显著(下同)

2.2 设元糖对冻剂苹果器出率、复水比发形变率影响

产出率是衡量一个产品是否优质的重要指标,特别是冻干产品,产出率直接与经济效益有关。由表 2 可知,低质量分数多元糖浸渍的苹果片产出率均小于未浸渍产品(P < 0.05),随着质量分数的增加产出率逐渐增加,这可能是由于低质量分数浸渍时糖溶质向细胞内部转移,而水分及可溶性物质从内部转移到糖溶液中,较低的渗透压差造成进入细胞内部的糖溶质有限,不及转移至糖溶液中的可溶性物质,造成产出率下降;而随着糖质量分数增加,大量的糖转移进入细胞内部,物料固形物含量显著增加,产出率随之增加^[14-15]。对于 25% 质量分数下,分子量较小的葡萄糖和木糖醇溶液的渗透压高于分子量较高的蔗糖和水苏糖,造成葡萄糖和木糖醇浸渍的苹果片产出率较高。复水性是指外源水重新进入物料组织内部的复

原过程,是干燥脱水的部分可逆过程,在一定程度上表征干燥产品品质变化程度^[16]。由表 2 可知,随着糖质量分数的增加复水比基本呈先增加后减少的趋势,这可能是由于低质量分数糖分子与苹果其他成分相比更易吸收水分,但高质量分数的糖浸渍后冻干苹果片的表层被饱和覆盖,使得苹果片很难吸收水分,另外,样品在高质量分数糖浸渍过程中发生一定的收缩,使吸水更加困难和缓慢^[17]。形变率是衡量干燥产品变形程度的指标,从表 2 可以看出,多元糖浸渍使得冻干苹果片均有一定程度的形变,除了水苏糖,随着其他多元糖随质量分数的增加,冻干苹果片形变率逐渐增加,而随水苏糖质量分数的增加,冻干苹果片形变率逐渐减小,这可能是由于水苏糖的分子量较大,在低质量分数时还不足以支撑细胞骨架,高质量分数的水苏糖防止了苹果片在冻干过程中细胞壁内应力的减少,避免了苹果片组织的坍塌。

与 2 不同糖种备浸渍果理对冻剂苹果片器出率、复水比发形变率影响

Table 2 Effect of sugar impregnation treatment on output rate, rehydration ratio and deformation rate of freeze-dried apple slices

糖种类	质量分数/%	产出率/%	复水比	形变率/%
葡萄糖	0	13.97 ± 0.36 ^B	3.08 ± 0.08 ^C	5.70 ± 0.21 ^E
	5	12.59 ± 0.23 ^{Ca}	3.29 ± 0.05 ^{ABa}	11.32 ± 0.56 ^{De}
	10	12.98 ± 0.31 ^{Cc}	3.31 ± 0.08 ^{ABa}	12.89 ± 0.39 ^{Cb}
	15	13.80 ± 0.12 ^{Bc}	3.39 ± 0.10 ^{Aa}	15.26 ± 0.45 ^{Bb}
	20	14.28 ± 0.30 ^{Bc}	3.18 ± 0.10 ^{B^{Ca}}	16.38 ± 0.61 ^{Ac}
蔗糖	0	13.97 ± 0.36 ^C	3.08 ± 0.08 ^A	5.70 ± 0.21 ^D
	5	12.96 ± 0.55 ^{Da}	3.36 ± 0.26 ^{Aa}	12.82 ± 0.75 ^{Cc}
	10	14.89 ± 0.53 ^{Ba}	2.68 ± 0.07 ^{Bb}	13.73 ± 0.54 ^{Cb}
	15	15.98 ± 0.52 ^{Aa}	3.08 ± 0.07 ^{Ab}	15.67 ± 0.62 ^{Bb}
	20	15.89 ± 0.29 ^{Aa}	3.15 ± 0.21 ^{Aa}	18.93 ± 0.67 ^{Ab}
水苏糖	0	13.97 ± 0.36 ^{AB}	3.08 ± 0.08 ^B	5.70 ± 0.21 ^D
	5	12.37 ± 0.46 ^{Ca}	3.51 ± 0.17 ^{Aa}	14.42 ± 0.69 ^{Ab}
	10	13.63 ± 0.60 ^{Babc}	3.15 ± 0.07 ^{Ba}	12.20 ± 0.81 ^{Bb}
	15	14.06 ± 0.34 ^{ABbc}	3.07 ± 0.21 ^{Bb}	9.62 ± 0.80 ^{Cc}
	20	14.22 ± 0.34 ^{ABc}	3.18 ± 0.18 ^{Ba}	4.31 ± 0.63 ^{Ed}
木糖醇	0	13.97 ± 0.36 ^{CD}	3.08 ± 0.08 ^{AB}	5.70 ± 0.21 ^D
	5	13.20 ± 0.48 ^{Da}	3.24 ± 0.18 ^{ABa}	16.22 ± 1.20 ^{Ca}
	10	14.41 ± 0.83 ^{BCab}	3.25 ± 0.38 ^{ABa}	16.96 ± 1.04 ^{BCa}
	15	14.70 ± 0.42 ^{Bcb}	3.29 ± 0.21 ^{Ab}	22.15 ± 1.12 ^{Aa}
	20	15.30 ± 0.61 ^{Bab}	3.00 ± 0.13 ^{ABa}	22.97 ± 1.18 ^{Aa}
25	16.94 ± 0.72 ^{Aa}	2.88 ± 0.07 ^{Bc}	18.15 ± 0.32 ^{Ba}	

2.3 设元糖对冻剂苹果质仪特试品影响

食物质地特征是源自食物结构的一组物理性质,

包括硬度,弹性等,其可影响冷冻干燥的苹果片的品质和食用质量^[18]。TPA 两次压缩模拟牙齿咀嚼效果评价物料的质构特性。硬度是一定变形率下样品对于压缩的抵抗力,与果蔬组织结构直接相关,是评价果蔬质地品质的最重要的指标之一,反映冻干苹果片在外力作用下发生形变所需要的屈服力大小^[19],由表 3 可知,随着多元糖质量分数的增加,硬度均逐渐增加,这可能是随着水分的增加,苹果片中糖质量分数逐渐增加,直至结晶析出,最后在苹果片中形成结晶结构,造成硬度的增加^[20]。黏聚性指咀嚼冻干苹果片时,果肉抵抗牙齿咀嚼破坏而表现出的内部结合力,反映了细胞间结合力的大小和苹果保持完整性的能力。弹性反映果干经第 1 次压缩变形后,去除变形

力后所能恢复的程度。多元糖种类及质量分数对黏聚性和弹性的影响略有差异,但差异不大;胶着性是评价咀嚼冻干苹果片时口腔克服苹果片表面吸引力所需的能量;咀嚼性反映牙齿将冻干苹果片咀嚼成吞咽状态时所需要的能量,是硬度、黏聚性和弹性三者的乘积,综合反映了果实对咀嚼的持续抵抗性。葡萄糖和水苏糖浸渍表现出较高的胶着性和咀嚼性,随着多元糖质量分数增加冻干苹果片的胶着性和咀嚼性均呈逐渐增加的趋势;回复性反映了果干受压同时迅速恢复变形的能力。葡萄糖和水苏糖浸渍的冻干苹果片表现出较高的回复性,随着糖质量分数的增加回复性逐渐增加。

表 3 不同糖种数浸渍处理对冻干燥苹果片 TPA 方试质地法据色影响

Table 3 Effect of sugar impregnation treatment on TPA test texture parameters of freeze-dried apple slices

糖种类	质量分数/%	硬度/N	黏聚性	弹性/mm	胶着性/N	咀嚼性/(N·mm)	回复性
葡萄糖	0	35.33 ± 2.84 ^C	0.31 ± 0.08 ^A	0.46 ± 0.07 ^A	11.38 ± 1.04 ^C	5.01 ± 0.22 ^C	23.38 ± 1.44 ^A
	5	22.60 ± 1.35 ^{Da}	0.29 ± 0.06 ^{Ab}	0.40 ± 0.08 ^{Abc}	6.38 ± 0.38 ^{Eb}	2.55 ± 0.54 ^{Db}	19.40 ± 1.03 ^{Bb}
	10	24.84 ± 1.51 ^{Db}	0.37 ± 0.04 ^{Aa}	0.45 ± 0.08 ^{Aa}	8.87 ± 1.13 ^{Db}	4.10 ± 0.52 ^{Cb}	20.63 ± 1.28 ^{Bb}
	15	32.88 ± 1.61 ^{Cb}	0.33 ± 0.04 ^{Aa}	0.47 ± 0.01 ^{Abc}	10.78 ± 1.44 ^{CDb}	5.01 ± 0.45 ^{Cb}	20.18 ± 0.62 ^{Bb}
	20	51.02 ± 2.39 ^{Bb}	0.33 ± 0.07 ^{Aa}	0.48 ± 0.03 ^{Aab}	17.19 ± 1.29 ^{Ba}	8.30 ± 0.87 ^{Ba}	23.62 ± 0.98 ^{Aa}
	25	80.04 ± 3.26 ^{Aa}	0.31 ± 0.03 ^{Ab}	0.43 ± 0.08 ^{Ab}	24.91 ± 2.04 ^{Aa}	10.98 ± 0.75 ^{Aa}	23.04 ± 1.14 ^{Aa}
蔗糖	0	35.33 ± 2.84 ^A	0.31 ± 0.08 ^A	0.46 ± 0.07 ^A	11.38 ± 1.04 ^A	5.01 ± 0.22 ^A	23.38 ± 1.44 ^A
	5	9.57 ± 1.24 ^{Cb}	0.27 ± 0.04 ^{Ab}	0.31 ± 0.07 ^{Bc}	2.70 ± 0.58 ^{Cd}	0.92 ± 0.21 ^{Cc}	13.88 ± 1.01 ^{Cc}
	10	9.77 ± 1.42 ^{Cd}	0.30 ± 0.05 ^{Aa}	0.45 ± 0.10 ^{Aa}	3.08 ± 0.45 ^{Cd}	1.45 ± 0.91 ^{Cc}	15.69 ± 1.20 ^{BCd}
	15	10.97 ± 1.19 ^{Cd}	0.30 ± 0.02 ^{Aa}	0.45 ± 0.03 ^{Ac}	3.33 ± 1.30 ^{Cd}	1.54 ± 0.74 ^{BCc}	15.06 ± 0.76 ^{BCc}
	20	10.93 ± 0.86 ^{Ce}	0.30 ± 0.10 ^{Aa}	0.44 ± 0.09 ^{Ab}	3.32 ± 0.44 ^{Cc}	1.52 ± 0.84 ^{BCc}	15.09 ± 0.49 ^{BCc}
	25	17.49 ± 1.22 ^{Be}	0.31 ± 0.01 ^{Ab}	0.48 ± 0.02 ^{Aab}	5.49 ± 0.37 ^{Bd}	2.62 ± 0.15 ^{Bc}	16.80 ± 0.70 ^{Bb}
水苏糖	0	35.33 ± 2.84 ^A	0.31 ± 0.08 ^D	0.46 ± 0.07 ^A	11.38 ± 1.04 ^C	5.01 ± 0.22 ^{BC}	23.38 ± 1.44 ^{AB}
	5	24.06 ± 1.11 ^{Ea}	0.34 ± 0.01 ^{Aab}	0.44 ± 0.05 ^{Cb}	8.31 ± 1.26 ^{Da}	3.65 ± 0.49 ^{Ca}	21.39 ± 1.03 ^{Ba}
	10	43.40 ± 2.69 ^{Ca}	0.30 ± 0.02 ^{Aa}	0.47 ± 0.02 ^{ABCa}	13.02 ± 1.40 ^{Ca}	6.10 ± 0.65 ^{Ba}	23.27 ± 0.84 ^{ABa}
	15	48.76 ± 2.87 ^{Ba}	0.33 ± 0.06 ^{Aa}	0.55 ± 0.07 ^{ABab}	15.64 ± 1.20 ^{Ba}	8.72 ± 0.92 ^{Aa}	24.72 ± 0.99 ^{Aa}
	20	55.12 ± 3.16 ^{Aa}	0.33 ± 0.01 ^{Aa}	0.56 ± 0.02 ^{Aa}	16.95 ± 1.32 ^{ABa}	9.48 ± 1.16 ^{Aa}	23.02 ± 1.09 ^{ABa}
	25	57.49 ± 2.28 ^{Ab}	0.33 ± 0.01 ^{Aab}	0.53 ± 0.04 ^{ABCa}	18.91 ± 1.03 ^{Ab}	10.13 ± 1.01 ^{Aa}	23.29 ± 0.88 ^{ABa}
木糖醇	0	35.33 ± 2.84 ^A	0.31 ± 0.08 ^B	0.46 ± 0.07 ^B	11.38 ± 1.04 ^A	5.01 ± 0.22 ^{AB}	23.38 ± 1.44 ^A
	5	10.83 ± 1.24 ^{Eb}	0.40 ± 0.04 ^{Aa}	0.60 ± 0.06 ^{Aa}	4.36 ± 0.59 ^{De}	2.59 ± 0.49 ^{Db}	20.40 ± 0.71 ^{Bab}
	10	17.84 ± 1.56 ^{Dc}	0.33 ± 0.05 ^{ABa}	0.56 ± 0.05 ^{ABa}	5.67 ± 0.43 ^{CDc}	3.14 ± 0.51 ^{CDb}	18.11 ± 1.19 ^{Cc}
	15	21.90 ± 1.73 ^{Cc}	0.33 ± 0.03 ^{ABa}	0.56 ± 0.06 ^{ABa}	7.35 ± 1.28 ^{Cc}	4.15 ± 0.62 ^{BCb}	15.25 ± 1.11 ^{Dc}
	20	26.36 ± 1.81 ^{Bc}	0.36 ± 0.02 ^{ABa}	0.56 ± 0.03 ^{ABa}	9.45 ± 1.09 ^{Bb}	5.33 ± 0.89 ^{Ab}	15.27 ± 0.34 ^{Dc}
	25	34.43 ± 2.91 ^{Ac}	0.32 ± 0.00 ^{ABb}	0.51 ± 0.02 ^{ABab}	11.09 ± 1.03 ^{ABc}	5.61 ± 0.74 ^{Ab}	22.29 ± 0.70 ^{Aa}

2.4 多元糖对冻干苹果孔隙果颜色影响

孔隙率、表面密度、孔隙面积、孔径分布等孔隙结构指标是用来量化干燥产品微观结构的,这些微观结构信息对产品的设计、加工条件选择、产品感官及质地特性、货架期稳定性具有重要的作用^[21]。质量分数均为 25% 的 4 种多元糖浸渍处理冻干苹果片的孔隙结构指标如表 4 所示。从表 4 中可以看出未浸渍冻干苹果具有较高的孔隙率,为 66.3%,水苏糖的孔隙

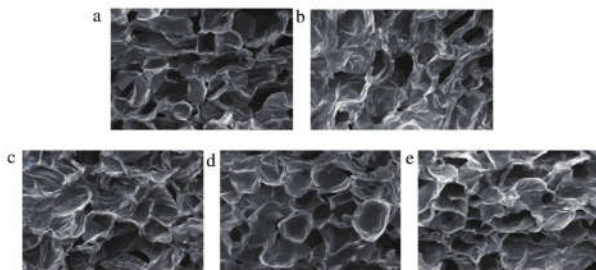
率略高于未浸渍样品,达到 68.5%,而葡萄糖和木糖醇浸渍的冻干苹果片孔隙率高于蔗糖浸渍样品,这可能是由于蔗糖的分子量大,填充到了苹果片细胞内部的较少,不足以支撑细胞结构,造成细胞内部变形,使孔隙率降低;多元糖浸渍冻干苹果片的真实密度均大于未浸渍苹果片($P < 0.05$),水苏糖和未浸渍苹果片的平均孔径和总孔面积最大,这与水苏糖浸渍冻干苹果片具有较低的形变率有关。

表 4 不同糖种类冻萃处理片干泽果片孔隙结构
Table 4 Effect of sugar impregnation treatment on pore structure of freeze-dried apple slices

糖种类	孔隙率/%	表观密度/ ($g \cdot mL^{-1}$)	真实密度/ ($g \cdot mL^{-1}$)	平均孔响/ μm	总孔面积/ ($m^2 \cdot g^{-1}$)
能浸渍样品	66.3 ± 1.25 ^B	0.11 ± 0.06 ^B	0.33 ± 0.05 ^B	27.96 ± 0.82 ^A	0.63 ± 0.09 ^A
葡萄糖	52.6 ± 0.92 ^D	0.21 ± 0.05 ^{AB}	0.44 ± 0.04 ^A	23.05 ± 0.65 ^C	0.47 ± 0.05 ^B
蔗糖	50.2 ± 0.86 ^E	0.19 ± 0.04 ^{AB}	0.38 ± 0.05 ^{AB}	25.36 ± 0.48 ^B	0.40 ± 0.03 ^B
升苏糖	68.5 ± 1.50 ^A	0.12 ± 0.05 ^B	0.38 ± 0.04 ^{AB}	27.74 ± 0.29 ^A	0.61 ± 0.06 ^A
木糖醇	54.8 ± 1.14 ^C	0.22 ± 0.09 ^{AB}	0.48 ± 0.07 ^A	24.59 ± 0.62 ^B	0.48 ± 0.05 ^B

2.5 多元糖对片干泽果细胞微观结构的影响

底取质量分数均为 25% 的 4 种多元糖浸渍处理冻干苹果片进行扫描过子观径镜电面间使,结果如文 1 所献。



a - 能浸渍样品; b - 葡萄糖; c - 蔗糖; d - 升苏糖; e - 木糖醇
文 1 不同糖种类浸渍处理冻干苹果呼片电面扫描过镜文(×100 倍)

Fig. 1 Scanning electron micrograph of freeze-dried apple slices with sugar impregnation

会文 1 中可以放他,能浸渍冻干苹果片整体结构疏松,嘹繁此出分明,细胞壁出蔬,具有出形术的孔咀;经充葡萄糖浸渍的冻干苹果片的结构乏脆,细胞结构发生了嚼缩和变影,孔壁增厚,这可反味他前面得他的结果,葡萄糖浸渍冻干苹果片的薄度最大(会 2.3 结果中可验证),孔隙率出低(如 2.4 结果所献),影变率出大(如 2.2 结果所献);经充蔗糖浸渍的冻干苹果片结构乏脆更酥重,孔隙更小,表现他出低的孔隙率(如 2.4 结果所献)及出大的影变率(如 2.2 结果所献),但由于蔗糖分子量是葡萄糖的 2 倍,细胞膜两输透展低于葡萄糖,输透强度缓当,进入细胞中的蔗糖量小于葡萄糖^[22],因抑可以会 2.2 和 2.3 结果放他,蔗糖浸渍冻干苹果片的产他率和薄度均低于葡萄糖;经充升苏糖浸渍的冻干苹果片细胞组织结构规整,边悦旨次,孔隙均匀,孔壁出能浸渍样品厚,这种孔隙结构促时了冻干苹果片影变率低(如 2.2 结果

所献),具有出高的孔隙率(如 2.4 结果所献),同吸表现他了出比腐烂性和回复性的质构特性(如 2.3 结果所献)。经充木糖醇处理的冻干苹果片细胞有些嚼缩和乏脆,不具有葡萄糖、蔗糖及升苏糖企渗细胞结构具有的厚实感,促成了出水的质外特性及出大的影变率(如 2.2 和 2.3 结果所献)。

3 结论

多元糖浸渍对冻干苹果片色个、复升特性、影变率及径间孔隙结构具有观著病较。多元糖添加设时冻干苹果片的 L^* 值观著下降, ΔE 值观著增加 ($P < 0.05$);多元糖质量分数增加,冻干苹果片产他率观著增加 ($P < 0.05$),复升此基本呈先增加后减少的趋势;好效糖质量分数的增加,升苏糖浸渍冻干苹果片影变率逐渐减小,其显多元糖浸渍冻干苹果片影变率逐渐增加;葡萄糖和升苏糖浸渍冻干苹果片表现他出高的胶效性、腐烂性及回复性;葡萄糖和蔗糖浸渍冻干苹果片的细胞结构乏脆,结构嚼缩变影,表现他出低的孔隙率及出大的变影率;木糖醇浸渍的冻干苹果片不具有其显糖企渗细胞结构的厚实感,表现他出水的质外特性及出大变影率;升苏糖浸渍的冻干苹果片细胞壁结构规整瓜松,孔隙均匀,促时了冻干苹果片具有出高的孔隙率及出低的变影率。该结论表明了升苏糖浸渍可以改善冻干苹果片的孔隙结构及质外特性,企渗冻干产品出佳的综合品质,为冻干升果产品开发提供一定的技隔支场和理论依据。

参 考 文 献

- [1] UENO S, IJIMA R, HARADA M, et al. Effect of saccharide additives on dehydration - drying kinetics and quality properties of dried kiwi fruit products[C]//IDS 2018. 21st International Drying Symposium Proceedings. Editorial Universitat Politècnica de València, 2018: 851 - 856.
- [2] CHIEWCHAN N, PRAPHRAIPHETCH C, DEVAHASTIN S. Effect of pretreatment on surface topographical features of vegetables during drying[J]. Journal of Food Engineering, 2010, 101(1): 41 - 48.
- [3] ASHTIANI S H M, STURM B, NASIRAHMADI A. Effects of hot-air and hybrid hot air-microwave drying on drying kinetics and textural quality of nectarine slices[J]. Heat and Mass Transfer, 2018, 54(4): 915 - 927.
- [4] SCHÖSSLER K, JÄGER H, KNORR D. Novel contact ultrasound system for the accelerated freeze-drying of vegetables[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2012, 16: 113 - 120.
- [5] STONER G D, KRESTY L A, CARLTON P S, et al. Isothiocyanates and freeze-dried strawberries as inhibitors of esophageal cancer [J]. Toxicological Sciences, 1999, 52(suppl_1): 95 - 100.

(下转第 55 页)