

三种糖醇对高粱淀粉糊化特性和凝胶结构的影响

于靖, 熊柳, 孙庆杰, 韩忠杰

(青岛农业大学食品科学与工程学院, 山东青岛 266109)

摘要: 本文通过快速黏度分析仪 (RVA)、物性测试仪 (TPA)、差示扫描热量仪 (DSC)、扫描电子显微镜 (SEM), 研究不同浓度的赤藓糖醇、木糖醇、麦芽糖醇 (淀粉与糖醇比例为 1:1、1:2、1:5, *m/m*), 对高粱淀粉性质和高粱淀粉凝胶结构的影响。与原来高粱淀粉相比, 随着三种糖醇添加量的增加, 相同温度下高粱淀粉的溶胀度下降, 尤其是在 75 °C、85 °C 和 95 °C。RVA 结果表明, 随着糖醇添加量增加, 高粱淀粉的峰值黏度和衰减值下降, 然而其糊化温度增加。糖醇使高粱淀粉凝胶的硬度升高, 而且随着糖醇添加量增加而增加。DSC 结果表明, 添加三种糖醇后, 高粱淀粉的起始糊化温度, 峰值糊化温度, 终止糊化温度, 焓变均增加, 而且随着糖醇添加量增加而升高。从 SEM 可知, 添加糖醇后的高粱淀粉凝胶的微观结构变得更紧密。

关键词: 赤藓糖醇; 木糖醇; 麦芽糖醇; 高粱淀粉; 糊化特性; 结构

文章编号: 1673-9078(2014)10-102-107

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2014.10.018

Effects of Three Sugar Alcohols on the Gelatinization Characteristics and Gel Structure of Sorghum Starch

YU Jing, XIONG Liu, SUN Qing-jie, HAN Zhong-jie

(College of Food Science and Engineering, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China)

Abstract: In this study, the effects of sugar alcohols (erythritol, xylitol, maltitol) at different concentrations (sorghum starch/sugar alcohol ratios of 1:1, 1:2, 1:5, *m/m*, respectively) on the characteristics and gel structure of sorghum starch were studied using rapid visco Analyzer (RVA), texture profile analyzer (TPA), differential scanning calorimetry (DSC), and scanning electron microscopy (SEM). As compared to the original sorghum starch, with increasing sugar alcohol (erythrose, xylitol, maltitol) content, the degree of sorghum starch swelling decreased, especially at 75 °C, 85 °C, and 95 °C. RVA measurements revealed that peak viscosity and breakdown values of sorghum starch decreased with increasing sugar alcohol contents, while the gelatinization temperature of sorghum starch increased. The hardness of sorghum starch gel increased with increasing the addition amount of sugar alcohol. DSC measurements showed that the gelatinization onset temperature, peak gelatinization temperature, gelatinization termination temperature, and enthalpy change of sorghum starch increased with increasing sugar alcohol contents. The SEM photographs indicated that the microstructure of sorghum starch with sugar alcohol was more compact.

Key words: erythritol; xylitol; maltitol; sorghum starch; gelatinization; structure

高粱是一种广泛分布于世界各地的耐旱作物, 种植面积和产量仅次于小麦、水稻、玉米、大麦, 位居第五位。由于其口感不佳, 消化性不好, 常被用于饲料和酿酒, 由于近几年不断对高粱进行优化育种, 使其不良性状得以改善。高粱淀粉广泛应用于制糖、医药治疗等方面, 如山东的青岛高粱饴是传统的名牌软糖, 深受消费者喜爱, 因此高粱的开发前景十分广阔。

糖或蔗糖是食品中重要的原料之一, 被广泛应用于各种食品中, 尤其是淀粉类食品。但是, 高糖饮食

收稿日期: 2014-04-25

基金项目: 山东省科技发展计划项目 (2012GNC11306)

作者简介: 于靖 (1989-), 女, 硕士, 研究方向为食品科学

通讯作者: 孙庆杰 (1970-), 男, 博士, 教授, 研究方向为粮食、油脂与蛋白质工程

对人类生理系统有严重伤害, 可能引起肥胖, 糖尿病等^[1]。近年来, 人们更加关注健康的低热量饮食。糖醇虽然不是糖, 但是具有糖的性质, 常作为低热量食品的甜味剂, 广泛应用于低热量食品配方^[2]。赤藓糖醇是一种通过自然发酵工艺制得的四碳糖醇, 其甜度是蔗糖甜度 60%~80%, 而且赤藓糖醇的摄入不会增加血液中血糖和胰岛素水平, 因此它适用于糖尿病患者^[3]。木糖醇可以防止龋齿, 牙菌斑, 口腔生物膜的形成。麦芽糖醇可以作为蔗糖的替代物, 而且不会引起蛀牙, 对血糖的影响也较小。随着人们对糖醇功能性质的不断认识, 糖醇作为一种新型功能甜味剂将具有广阔的市场前景。

糖醇替代蔗糖应用到食品的加工中已日益成为研究的热点, 多数用来制备糖果, 或添加到面制品或淀

粉制品中使其性质得到改善。糖醇对于淀粉性质的影响也越来越吸引更多研究者的研究^[4-5]。一些研究者认为糖醇在淀粉溶液中起天然的抗增塑作用^[6]。Beak等^[7]研究了糖和糖醇对于玉米淀粉凝胶热力学稳定性的影响, 得出了糖和糖醇均促进了支链淀粉的重结晶, 糖醇比相应的糖更容易使淀粉老化。我们研究了麦芽糖醇、赤藓糖醇和木糖醇对甘薯淀粉溶胀度和可溶指数、糊化特性的影响^[8]。目前国内外对糖醇影响淀粉性质和淀粉胶结构的研究还较少, 尤其未见对高粱淀粉的性质影响研究。

本文通过快速粘度分析仪(RVA)、物性测定仪(TPA)、差示扫描热量仪(DSC)、扫描电子显微镜(SEM)研究不同浓度的赤藓糖醇、木糖醇、麦芽糖醇(淀粉与糖醇比例为1:1、1:2、1:5, *m/m*), 对高粱淀粉性质和高粱淀粉凝胶结构的影响, 为将来糖醇应用于高粱淀粉的研究提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

高粱, 辽宁红旭现代农业有限公司; 赤藓糖醇(Erythritol, Ery)、木糖醇(Xylitol, Xyl)、麦芽糖醇(Maltitol, Mal), 山东福田糖醇有限公司; 其他试剂均为分析纯。

1.2 试 验 仪 器

Anke TDL-40B型离心机, 上海安亭科学仪器厂; 红外水分测定仪, 北京赛多利斯天平有限公司; DHG-9070A型电热恒温鼓风干燥箱, 上海精宏实验设备有限公司; TA-XT Plus物性测定仪, 英国Stable Micro Systems公司; Newport-4-D快速粘度分析仪(RVA), 澳大利亚新港公司; DSC 1型差示扫描热量仪, 瑞士METTLER-TOLEDO; JEOL 7500F型扫描电子显微镜, 日本电子JEOL公司; JJ-2组织捣碎机, 常州国华电器有限公司。

1.3 实 验 方 法

1.3.1 高粱淀粉(Sorghum Starch, SS)提取

将白色高粱米浸泡在浓度为0.25% NaOH溶液中, 在4℃环境下浸泡一夜, 用蒸馏水清洗高粱米并用组织捣碎机对其进行5 min的湿磨, 然后将悬浮液过筛(200目), 以3000 r/min离心15 min, 将上清液倒掉, 用勺子将上层的蛋白质、脂质和纤维去掉, 再用蒸馏水将沉淀溶解, 离心, 重复上面的操作, 直到灰色层(含有蛋白、脂质、纤维)消失, 并且沉淀呈

中性, 将沉淀倒出, 在40℃鼓风干燥箱中烘干、研磨、过100目。

1.3.2 不同添加量糖醇对高粱淀粉溶胀度的影响

称取0.4 g高粱淀粉(干基计)于具塞离心管中, 配成浓度为1%的淀粉乳, 按照淀粉与三种糖醇比是1:1、1:2、1:5, 分别添加0.4 g、0.8 g、2.0 g的赤藓糖醇、木糖醇、麦芽糖醇, 震荡使糖醇充分溶解。之后分别在55℃、65℃、75℃、85℃、95℃下水浴加热30 min, 隔2~5 min取出振荡, 然后将其3000 r/min离心15 min, 将上清液在105℃烘箱中烘干称其质量, 称离心管中残余样品的质量, 计算高粱淀粉的溶胀度。平行测定3次, 取平均值。计算公式为:

$$SP = W_r / (W - W_r)$$

其中SP表示淀粉的溶胀度; W表示淀粉和糖醇的总质量和; W_r 表示上清液中样品的质量; W_r 表示沉淀的质量。

1.3.3 不同添加量糖醇对高粱淀粉糊化性质的影响

采用4-D型RVA进行快速测定, 用TCW(thermal cycle for windows)配套软件进行分析。按照淀粉与三种糖醇比是1:1、1:2、1:5。温度程序如下: 淀粉浆先在50℃下平衡1 min, 然后以12℃/min的速率加热到95℃, 在95℃保持2.5 min, 再以相同的速率冷却到50℃, 最后在50℃保持2 min。搅拌叶片的转速在前10 s为960 r/min, 其他时间均为160 r/min。

1.3.4 不同添加量糖醇对高粱淀粉凝胶质构的影响

将RVA测定后的淀粉糊, 在4℃下放置24 h, 测定淀粉凝胶质构特性。采用TA.XT plus物性仪对淀粉凝胶的质构进行测定, 主要参数为: 运行模式: Texture Profile Analysis (TPA); 实验前速: 1.00 mm/s; 实验速度: 1.00 mm/s; 返回速度: 5.00 mm/s; 测试距离: 30.00%; 感应力: Auto-10.0 g; 数据取点数: 200 pps; 探头: P/0.5R, 探头高度为30 mm。

1.3.5 不同添加量糖醇对高粱淀粉热特性的影响

采用差示扫描热量仪(DSC)对样品的热特性就行测定。准确称取样品10 mg于铝盘中, 分别按照淀粉与三种糖醇比是1:1、1:2, 分别添加赤藓糖醇、木糖醇和麦芽糖醇, 蒸馏水的量为淀粉的2倍。样品密封, 平衡水分12 h。测试范围为25~120℃, 测试速度为10 min/℃。

1.3.6 添加糖醇的高粱淀粉凝胶扫描电镜分析

采用扫描电子显微镜观察高粱淀粉与糖醇混合糊化后的微观结构。先将高粱淀粉与糖醇按1:1比例混

合进行完全糊化（采用 4-D 型 RVA 糊化，方法同 1.3.3），将糊化的样品迅速放入超低温冰箱冷冻，然后冷冻干燥 24 h，将得到的冷冻干燥样品用扫描电镜观察。

1.3.7 数据处理

数据表示为 3 次试验数据的平均值加减标准偏差。显著性差异是在 95% (P<0.05) 的可信度条件下。采用 SPSS v17.0 软件进行处理数据。

2 结果与讨论

2.1 不同添加量糖醇对高粱淀粉溶胀度的影响

从图 1 可以看出，原高粱淀粉和添加糖醇的高粱淀粉的溶胀度随着温度的增加而增加。与原高粱淀粉相比，随着糖醇（赤藓糖醇、木糖醇、麦芽糖醇）添加量的增加，相同温度下高粱淀粉的溶胀度下降，尤其是在 75 °C、85 °C 和 95 °C。这说明高粱淀粉添加糖醇后使淀粉的溶胀受到抑制。Ahmad 等^[9]报道添加不同种类的糖能影响西米淀粉的溶胀度，而且糖添加量增加，能明显抑制西米淀粉的溶胀度。

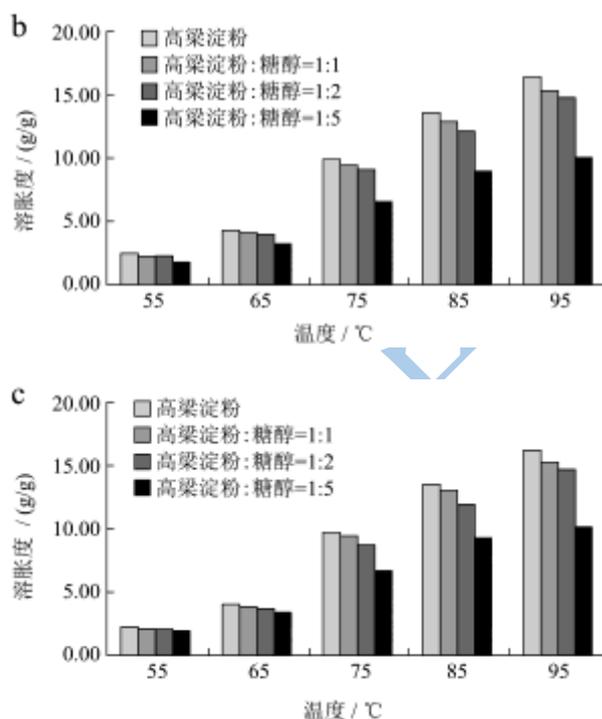
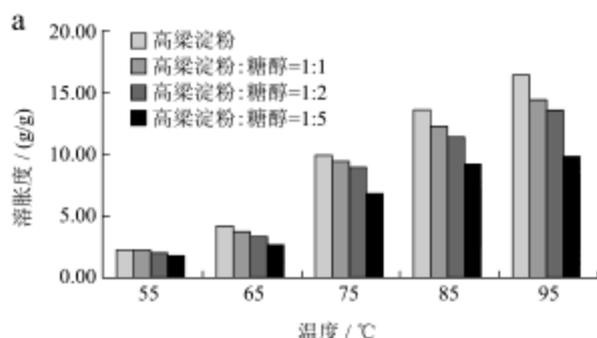


图 1 赤藓糖醇、木糖醇、麦芽糖醇对高粱淀粉溶胀度的影响
Fig.1 The effects of erythritol, xylitol, and maltitol on the swelling degree of sorghum starch

注：a：高粱淀粉/赤藓糖醇混合；b：高粱淀粉/木糖醇混合；c：高粱淀粉/麦芽糖醇混合。

这可能是由于糖醇作为一种多元醇，容易结合高粱淀粉颗粒中的水分，从而使淀粉颗粒中水分减少，抑制了淀粉颗粒的溶胀。而且，随着糖醇添加量增加，抑制现象更加明显。

2.2 不同添加量糖醇对高粱淀粉糊化特性的影响

表 1 赤藓糖醇、木糖醇、麦芽糖醇对高粱淀粉糊化特性的影响

Table 1 The effects of erythritol, xylitol, and maltitol on the gelatinization properties of sorghum starch

样品	糊化温度/°C	峰值黏度(RVU)	谷值黏度(RVU)	最终黏度(RVU)	衰减(RVU)	回生(RVU)
SS	75.25±0.00 ^f	374.12±0.47 ^{ab}	125.84±0.26 ⁱ	270.00±0.16 ^f	248.28±0.21 ^a	144.17±0.42 ^d
SS:Ery=1:1	76.60±0.51 ^e	384.11±0.18 ^{ab}	125.62±0.52 ⁱ	249.67±0.16 ^h	258.50±0.33 ^a	124.06±0.36 ^g
SS:Ery=1:2	78.59±0.04 ^d	370.21±0.04 ^{ab}	137.50±0.53 ^g	278.38±0.57 ^e	232.71±0.57 ^{ab}	140.89±1.10 ^e
SS:Ery=1:5	84.15±0.24 ^b	284.41±0.78 ^c	158.62±0.39 ^d	255.94±0.25 ^g	125.80±0.39 ^c	97.33±0.64 ^h
SS:Xyl=1:1	76.91±0.02 ^e	388.23±0.35 ^a	133.05±0.35 ^h	271.05±0.41 ^f	255.18±0.70 ^a	138.00±0.06 ^f
SS:Xyl=1:2	78.11±0.33 ^d	332.93±0.71 ^{bc}	148.77±0.30 ^e	306.17±1.02 ^b	234.16±0.42 ^b	157.40±0.72 ^b
SS:Xyl=1:5	85.02±0.18 ^b	301.90±0.63 ^c	190.85±0.70 ^b	288.90±0.63 ^d	111.05±0.07 ^c	98.05±1.33 ^h
SS:Mal=1:1	77.22±0.49 ^e	387.17±0.71 ^{ab}	143.38±0.57 ^f	292.06±0.86 ^c	243.79±1.27 ^a	148.68±0.29 ^c
SS:Mal=1:2	81.56±0.47 ^c	376.32±0.78 ^{ab}	160.11±0.33 ^c	332.01±0.47 ^a	216.21±0.45 ^{ab}	171.90±0.81 ⁱ
SS:Mal=1:5	88.90±0.78 ^a	293.06±0.71 ^c	214.27±1.00 ^a	278.17±0.55 ^e	78.80±0.29 ^c	63.91±0.45 ^a

从表 1 可以看出添加赤藓糖醇、木糖醇、麦芽糖醇明显改变了高粱淀粉的糊化特性。添加三种糖醇后，

高粱淀粉的糊化温度升高,而且随着糖醇添加量增加而增加。原高粱淀粉的糊化温度是 75.25 °C,添加赤藓糖醇、木糖醇、麦芽糖醇比例为 1:5 时,高粱淀粉的糊化温度明显增加,分别为 84.15 °C, 85.02 °C, 88.90 °C。高粱淀粉添加赤藓糖醇、木糖醇、麦芽糖醇后,峰值黏度下降,而且随着糖醇添加量增加下降更加明显。糖醇添加为 1:5 时,高粱淀粉的回生值明显下降。三种糖醇均显著增加了淀粉糊的热稳定性和抗剪切能力。

Gunaratn 等^[10]报道随着蔗糖、葡萄糖、丙三醇添加量增加,小麦和马铃薯淀粉的糊化温度增加,这与本文的结果相似。这可能是由于糖醇有许多亲水羟基基团,容易与水结合使高粱淀粉颗粒的膨胀受到抑制,从而导致淀粉的糊化温度升高。同时,由于糖醇具有较多羟基基团而容易融入淀粉的连续相中,添加糖醇(赤藓糖醇、木糖醇、麦芽糖醇)使淀粉链、多元醇、水之间的结合更紧密,降低了水分活度,这导致了高粱淀粉颗粒无法完全糊化,因此,与原高粱淀粉相比,添加三种糖醇后,淀粉糊化的峰值黏度下降。糖醇存在下,糖醇与淀粉链结合,同时更多的糖醇结合更多的水分,从而增加了淀粉链周围水分含量,从而抑制了淀粉链之间的聚合,降低了回生值。

2.3 不同添加量糖醇对高粱淀粉凝胶质构的影响

表 2 赤藓糖醇、木糖醇、麦芽糖醇对高粱淀粉凝胶质构特性的影响

Table 2 The effects of erythritol, xylitol, and maltitol on the textural properties of sorghum starch gel

样品	硬度/g	弹性	内聚力
SS	126.22±0.33 ⁱ	0.96±0.00 ^a	0.78±0.00 ^a
SS: Ery =1:1	129.33±0.61 ^h	0.95±0.00 ^a	0.77±0.00 ^{ab}
SS: Ery =1:2	132.48±0.70 ^f	0.95±0.00 ^a	0.75±0.00 ^{cd}
SS: Ery =1:5	186.08±0.55 ^e	0.90±0.01 ^b	0.68±0.00 ^f
SS: Xyl= 1:1	130.89±0.61 ^g	0.95±0.00 ^a	0.76±0.00 ^b
SS: Xyl= 1:2	142.19±1.71 ^e	0.95±0.67 ^a	0.75±0.02 ^{cd}
SS: Xyl= 1:5	201.07±0.55 ^b	0.91±0.01 ^b	0.67±0.00 ^f
SS: Mal=1:1	132.00±0.90 ^g	0.95±0.00 ^a	0.74±0.00 ^d
SS: Mal=1:2	158.91±0.09 ^d	0.95±0.01 ^a	0.71±0.00 ^e
SS: Mal=1:5	229.21±0.36 ^a	0.95±0.00 ^a	0.65±0.00 ^g

从表 2 看出添加糖醇使高粱淀粉凝胶的硬度升高,而且随着糖醇添加量增加而增加。原高粱淀粉凝胶的硬度是 126.22 g,当赤藓糖醇、木糖醇、麦芽糖醇的添加量为 1:5 时,高粱淀粉凝胶的硬度明显增加

到 186.08 g、201.07 g、229.21 g。Teng 等^[11]指出增加蔗糖的含量能使西米淀粉凝胶硬度增加。这是由于凝胶在 4 °C 环境中加速直链淀粉和支链淀粉的重新聚合,三种糖醇在高浓度下均结合更多的水分,降低了水分的流动性,促进了淀粉链之间的聚合,形成了较强的凝胶网络结构,因此淀粉凝胶的硬度增加。另一方面,糖醇可以使淀粉凝胶重结晶,促进淀粉凝胶回生,从而使添加糖醇后的淀粉凝胶硬度增加。添加赤藓糖醇、木糖醇、麦芽糖醇使淀粉的弹性和内聚力下降。

2.4 不同添加量糖醇对高粱淀粉热特性的影响

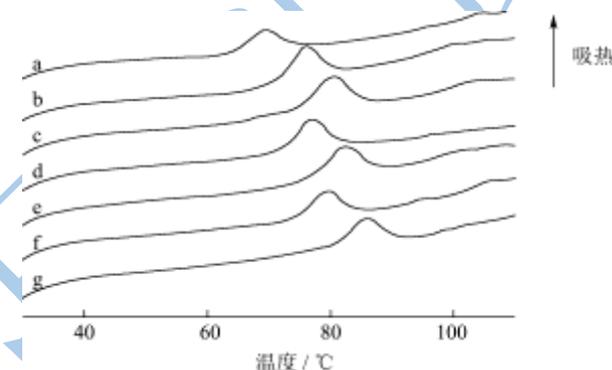


图 2 赤藓糖醇、木糖醇、麦芽糖醇对高粱淀粉热特性的影响

Fig.2 The effects of erythritol, xylitol, and maltitol on the thermal characteristics of sorghum starch

注: a: 高粱淀粉; b: 高粱淀粉:赤藓糖醇=1:1; c: 高粱淀粉:赤藓糖醇=1:2; d: 高粱淀粉:木糖醇=1:1; 高粱淀粉:木糖醇=1:2; e: 高粱淀粉:麦芽糖醇=1:1; f: 高粱淀粉:麦芽糖醇=1:2。

图 2、表 3 为不同添加量赤藓糖醇、木糖醇、麦芽糖醇对高粱淀粉热特性的影响。淀粉的糊化在 DSC 升温过程中伴随有热量等的变化,根据 DSC 曲线可得到淀粉糊化的起始温度、峰值温度、终止温度,分别以 T_0 、 T_p 和 T_c 表示,糊化过程中的吸热和放热情况以焓变(ΔH)表示。从图 2 可以看出所有样品都只有一个吸热峰。与原高粱淀粉相比,添加三种糖醇后,高粱淀粉的峰值糊化温度,起始糊化温度明显增加,而且随着糖醇添加量增加而升高。原高粱淀粉的起始糊化温度是 64.60 °C,添加 1:2 的赤藓糖醇、木糖醇、麦芽糖醇使淀粉的起始糊化温度分别增加到 75.10 °C, 77.33 °C, 81.20 °C。赤藓糖醇、木糖醇、麦芽糖醇使高粱淀粉的终止糊化温度升高,而且随着糖醇添加量增加而增加。当赤藓糖醇、木糖醇、麦芽糖醇添加量为 1:2 时,高粱淀粉的焓变从 9.02 J/g 分别增加到 13.86 J/g、12.87 J/g、10.52 J/g。

表 3 赤藓糖醇、木糖醇、麦芽糖醇对高粱淀粉热特性的影响

Table 3 The effects of erythritol, xylitol, and maltitol on the thermal characteristics of sorghum starch

样品	To/°C	Tp/°C	Tc/°C	Tc-To/°C	ΔH/(J/g)
SS	64.60±0.11 ^e	69.42±0.08 ^e	74.26±0.10 ^e	9.66±0.12 ^c	9.02±0.26 ^e
SS:Ery =1:1	71.40±0.28 ^f	76.30±0.21 ^f	80.50±0.28 ^f	9.10±0.57 ^e	12.82±0.47 ^c
SS:Ery =1:2	75.10±0.08 ^c	80.70±0.14 ^c	85.10±0.42 ^c	10.00±0.42 ^a	13.86±0.86 ^a
SS:Xyl = 1:1	72.31±0.26 ^c	77.53±0.22 ^e	82.04±0.38 ^e	9.73±0.45 ^b	11.17±0.62 ^d
SS:Xyl = 1:2	77.33±0.02 ^b	82.62±0.11 ^b	87.10±0.18 ^b	9.77±0.42 ^b	12.87±0.54 ^b
SS:Mal =1:1	74.60±0.17 ^d	79.60±0.25 ^d	83.50±0.18 ^d	8.90±0.61 ^f	10.10±0.37 ^f
SS:Mal =1:2	81.20±0.03 ^a	86.00±0.00 ^a	90.70±0.08 ^a	9.50±0.08 ^d	10.52±0.16 ^c

糖醇使高粱淀粉糊化温度的升高一方面是由于糖醇与水分结合降低了淀粉糊化所需的水分，另一方面是由于糖醇深入到淀粉颗粒内部与无定形区结合，使结构更致密，因此淀粉糊化需要更高的温度。Beak 等^[7]也认为，糖醇和糖的添加使淀粉的糊化温度升高，同时由于木糖醇、山梨糖醇和甘露糖醇含有更多的羟基，糖醇的作用比相应的糖类更明显。高浓度时，淀粉的糊化热焓受介电松弛时间和动态水合分子数的影响，糊化焓升高，这与 Marek 等^[12]的结果是一致的。添加糖醇后 Tc-To 略有降低说明高温下高粱淀粉完全糊化的温度范围降低。这可能是由于随着温度的升高，糖醇失去了结合水的能力，使淀粉的糊化温度范围下降。

2.5 添加糖醇的高粱淀粉凝胶扫描电镜分析

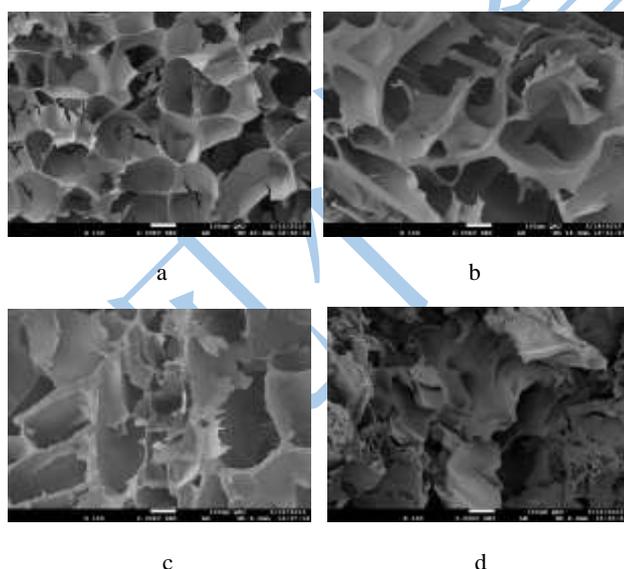


图 3 赤藓糖醇、木糖醇、麦芽糖醇对高粱淀粉凝胶微观结构的影响

Fig.3 The effects of erythritol, xylitol, and maltitol on the microstructure of sorghum starch gel

注：a：原高粱淀粉凝胶；b：高粱淀粉：木糖醇=1:1凝胶；c：高粱淀粉：赤藓糖醇=1:1凝胶；d：高粱淀粉：麦芽糖醇=1:1

凝胶。

高粱原淀粉凝胶在冷冻干燥后，凝胶横截面出现大量的均匀细小的孔，这是由于凝胶结构中的大量小冰晶的升华。添加 1:1 木糖醇的高粱淀粉凝胶，表面平滑，而且凝胶孔径比原高粱淀粉大。添加 1:1 赤藓糖醇后，凝胶表面变得粗糙，这可能是与糖醇的溶解度有关，赤藓糖醇的溶解度比木糖醇的溶解度低。添加糖醇后的样品凝胶网状结构中，出现了相对更大的孔。Lee 等^[13]研究指出这是由于在淀粉糊化过程中，水分与淀粉相结合，大量的水分以自由水存在于网状结构中，经干燥后形成大的孔。在我们之前的研究湿热处理后的含糖醇的高粱淀粉凝胶也出现了孔洞，原因是由于淀粉颗粒在大量水中部分溶胀和破碎引起的^[14]。

3 结论

本文研究了添加赤藓糖醇、木糖醇、麦芽糖醇三种糖醇，对高粱淀粉理化性质如，溶胀性、糊化特性、热特性、结构特征的影响。与原高粱淀粉相比，增加糖醇的含量使淀粉在相同温度下的溶胀性下降。添加糖醇对高粱淀粉的糊化特性有明显的影响。糖醇的添加使高粱淀粉凝胶的硬度增强，且随着糖醇的添加量的增加而增加。对于高粱淀粉的热特性，添加糖醇后，高粱淀粉的热稳定性明显增加。从 SEM 看出，添加糖醇是高粱淀粉结构更加紧密。本文探究了糖醇对高粱淀粉性质和高粱淀粉凝胶结构的影响，为糖醇替代蔗糖应用到淀粉制品的生产加工中提供理论依据。

参考文献

[1] Aller E E J G, Abete I, Astrup A, et al. Starches, sugars and obesity [J]. Nutrients, 2011, 3(3): 341-369

[2] Shahidul I M. Effects of xylitol as a sugar substitute on diabetes-related parameters in nondiabetic rats [J]. Journal of Medicinal Food, 2011, 14: 505-511

[3] Martínez-Cervera S, Hera E, Sanz T, et al. Effect of using

- erythritol as a sucrose replacer in making spanish muffins incorporating xanthan gum [J]. *Food Bioprocess Technology*, 2012, 5: 3203-3216
- [4] Ghosh S, Sduha 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] Kommineni A, Amamcharla J, Metzger L E. Effect of xylitol on the functional properties of low-fat process cheese [J]. *Journal of Dairy Science*, 2012, 95(11): 6252-6259
- [6] Mantzari G, Raphaelides S N, Exarhopoulos S. Effect of sorbitol addition on the physicochemical characteristics of starch-fatty acid systems [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2010, 79(1): 154-163
- [7] Baek M H, Yoo B, Lim S T. Effects of sugars and sugar alcohols on thermal transition and cold stability of corn starch gel [J]. *Food Hydrocolloids*, 2004, 18(1): 133-142
- [8] 南冲,熊柳,孙庆杰,等.糖醇对甘薯淀粉理化性质的影响[J]. *中国粮油学报*,2013,28(2):22-26,32
NAN Chong, XIONG Liu, SUN Qing-jie, et al. Effect of sugar alcohols on the physicochemical characteristics of sweet potato starch [J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2013, 28(2): 22-26, 32
- [9] Ahmad F B, Williams P A. Effect of sugars on the thermal and rheological properties of sago starch [J]. *Biopolymers*, 1999, 50: 401-412
- [10] Gunaratne A, Ranaweera S. Thermal, pasting, and gelling properties of wheat and potato starches in the presence of sucrose, glucose, glycerol, and hydroxypropyl cyclodextrin [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2007, 70: 112-122
- [11] Teng L Y, Chin N L, Yusof Y A. Rheological and textural studies of fresh and freeze-thawed native sago starch-sugar gels [J]. *Food Hydrocolloids*, 2011 25: 1530-1537
- [12] Marek S, Krzysztof P. Rheological properties of some starch-water-sugar systems [J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 1999, 34(4): 371-383
- [13] Lee C J, Kim Y, Choi S J, et al. Slowly digestible starch from heatmoisture treated waxy potato starch: preparation, structural characteristics, and glucose response in mice [J]. *Food Chemistry*, 2012, 133: 1222-1229
- [14] Sun Q, Han Z, Wang L, et al. Physicochemical differences between sorghum starch and sorghum flour modified by heat-moisture treatment [J]. *Food Chemistry*, 2014, 145: 756-764