

金征宇教授主持“粮油食品的可持续加工”特约专栏文章之一

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2023.03.001

宋锦宏, 陈龙, 赵建伟, 等. 小分子糖对淀粉性质的影响研究进展[J]. 粮油食品科技, 2023, 31(3): 1-8.

SONG J H, CHEN L, ZHAO J W, et al. Research progress on the effect of small molecular sugars on starch properties[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2023, 31(3): 1-8.

小分子糖对淀粉性质的影响研究进展

宋锦宏, 陈 龙, 赵建伟, 纪杭燕✉

(江南大学 食品学院, 江苏 无锡 214122)

摘 要: 小分子糖是一类分子量较低的糖类, 主要包括单糖、二糖以及其它低聚合度寡糖。小分子糖可用于提供甜味、改善食品质构、优化食品的加工适应性等, 通常作为食品添加剂应用于食品领域中。此外, 部分小分子糖具有独特生理功能, 可用于调控食品营养品质。淀粉是食品中最常见的主食组分, 淀粉及其改性衍生物也作为食品配料, 应用于酱料、乳制品、饮料以及肉制品等食品品类中。小分子糖与淀粉的复合体系在食品中应用十分广泛, 其添加对天然淀粉性质具有重要影响, 在调控淀粉基食品品质中起到重要作用。本文综述了食品中常见的小分子糖及其对淀粉主要理化性质(凝胶质构、透明度、凝沉性、糊化、冻融稳定性、老化、消化等)的影响, 重点描述了不同类型及添加量的小分子糖对不同来源淀粉性质的影响规律, 旨在为小分子糖在淀粉基食品中的应用提供参考。

关键词: 小分子糖; 淀粉; 糊化性质; 冻融稳定性; 老化性质

中图分类号: TS201.1; S-3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-7561(2023)03-0001-08

网络首发时间: 2023-04-26 15:51:19

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3863.TS.20230426.1305.004.html>

Research Progress on the Effect of Small Molecular Sugars on Starch Properties

SONG Jin-hong, CHEN Long, ZHAO Jian-wei, JI Hang-yan✉

(School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

Abstract: Small molecular sugars are a group of sugars with low molecular weight, mainly including monosaccharides, disaccharides, and other oligosaccharides with low degree of polymerization. Small molecular sugars are commonly used as food additives in the food industry, including providing sweetness, improving food texture and optimizing food processing adaptability. In addition, some small molecular sugars also have unique physiological functions that can be used to regulate the nutritional quality of food. Starch is the most common staple component in food, and starch and its modified derivatives are also widely

收稿日期: 2022-03-14

基金项目: 中国博士后创新人才支持计划(BX20220135); 江苏省自然科学基金(BK20221077); 江苏省“卓越博士后计划”(2022ZB490); 大学生创新创业训练计划(CXZ2023017)

Supported by: China National Postdoctoral Program for Innovative Talents (No. BX20220135); Natural Science Foundation of Jiangsu Province (No. BK20221077); Excellent Postdoctoral Program of Jiangsu Province (No. 2022ZB490); College Student Innovation and Entrepreneurship Training Program (No. CXZ2023017)

作者简介: 宋锦宏, 男, 2003 年出生, 在读本科生, 研究方向为功能低聚糖的开发与应用。E-mail: songjinhong2003@126.com.

通讯作者: 纪杭燕, 女, 1993 年出生, 博士, 助理研究员, 研究方向为碳水化合物资源开发与利用。E-mail: jihangyan@jiangnan.edu.cn.

used as food ingredients in food categories such as sauces, dairy products, beverages, and meat products. The composite system of small molecular sugar and starch is widely used in food. The addition of small molecular sugar has an important impact on the properties of natural starch, and plays an important role in regulating the quality of starch-based foods. This article mainly introduces the common small molecular sugars in food and their effects on the main physical and chemical properties of starch (gel texture, transparency, coagulation, gelatinization, freeze-thaw stability, aging, digestion, etc.), with emphasis on the impact of different types and amounts of small molecular sugars on the properties of starch from different sources. This paper aimed to provide reference for the application of small molecular sugars in starch based foods.

Key words: small molecular sugar; starch; gelatinization properties; freeze-thaw stability; aging properties

小分子糖主要是指包括单糖、二糖和部分寡糖等在内的低聚合度糖类，是食品工业生产中常用的食品添加剂，除提供甜味外，还可以改善质构等食品品质。小分子糖通常具有溶解性好、无细胞毒性、持水性强等特点，同时，部分小分子糖还具有良好的抗炎、抗氧化等生理功能，广泛应用于食品、医药、保健品、化妆品中。近年来，随着食品工业的快速发展，除常见的葡萄糖、蔗糖和乳糖等，许多优质小分子糖也作为功能性食品添加剂成为食品工业应用领域的重要组成部分和研究热点。

淀粉是绿色植物经光合作用生成的一类碳水化合物，也是人类摄取能量的主要来源。淀粉主要以颗粒的形式储藏于植物的果实、种子、块茎、根茎中，种类繁多，按来源可分为禾谷类淀粉、豆类淀粉和其他类淀粉^[1]。淀粉在食品行业中用途十分广泛，如作为米饭、馒头、面包和糕点等主食的主要组分，以及作为酱料、乳制品、肉制品中的重要食品配料。在淀粉基食品体系中，小分子糖通常通过外源添加或在淀粉加工过程淀粉链发生断裂中产生，如麦芽低聚糖等，从而形成淀粉与小分子糖复合体系。小分子糖的存在可以对天然淀粉性能产生显著的影响，例如起到改善糊化、控制老化，保持水分等作用，从而调控淀粉基食品的加工性能。基于此，本文主要综述了现有小分子糖在淀粉基食品中对淀粉性质调控的研究现状，旨在为小分子糖在淀粉基食品中的应用提供指导。

1 食品中常见的小分子糖及其应用

淀粉基食品中常用的小分子糖主要是单糖和

二糖。其中，单糖主要有葡萄糖、果糖和半乳糖，二糖主要有麦芽糖、蔗糖和乳糖，广泛应用于糖果、烘焙、果蔬加工、饮料和肉制品加工中。麦芽糖可用于加工焦糖酱色等，蔗糖是重要的食品甜味剂。乳糖主要用于制造婴儿食品、糖果、人造奶油和配制药剂。海藻糖，也是一类重要的二糖，被誉为“生命之糖”，能在恶劣环境条件下在细胞表面形成独特的保护膜。此外，近年来由于小分子糖开发及生理功能研究的深入，新的小分子糖正逐渐被发掘。水苏糖生理功能丰富，可以增殖双歧杆菌调节肠内菌群从而有益肠道健康。此外，其还具有预防龋齿及促进微量元素的吸收、降低血清胆固醇、降低血压、保护肝脏等作用。菊糖是一种低聚果糖，添加到食品中能改善质构提高加工性能，并且菊糖还具有促进肠道排空、促进益生菌生长、保护脏器氧化和防止骨质疏松等生理功能^[2]。枸杞叶多糖含有丰富的矿物质元素，具有良好的免疫调节作用，可以作为天然和安全的面粉改良剂^[3]。沙蒿多糖是一种热稳定性极好的天然植物多糖，具有多种生理功能，如保肝、抗肿瘤、降血糖、抗糖尿病等^[4]。

2 小分子糖对淀粉主要性质的影响

2.1 小分子糖对淀粉凝胶质构的性质影响

淀粉凝胶的质构特性主要由硬度、弹性、咀嚼性、胶着性和内聚性等参数体现，其中硬度是最能反映淀粉凝胶老化程度的参数^[5]。多数研究表明小分子糖的加入会使淀粉凝胶的硬度降低，弹性增加。王建宇^[6]研究发现大豆低聚糖和蔗糖使小麦粉凝胶硬度降低，弹性增加，并且大豆低聚糖比蔗糖效果更为显著。周发^[3]同样发现枸杞

叶多糖及其衍生物使马铃薯淀粉硬度降低。淀粉凝胶的质构特性变化与加入小分子糖的种类和浓度也有很大关系,付丽红^[7]研究发现,添加蔗糖和葡萄糖浓度为 5%~20%时,改性藜麦淀粉的凝胶硬度显著升高,且凝胶硬度随着糖浓度的升高而降低,当浓度达到 30%时,凝胶硬度显著降低,并且小于无添加的改性藜麦淀粉硬度。谢新华^[8]研究发现的海藻糖对糯米淀粉的影响基本符合上述规律,蔗糖和海藻糖使淀粉凝胶硬度增大,且蔗糖影响大于海藻糖,当糖添加量超过 8%时,凝胶硬度有下降趋势。随着糖添加量的增加,凝胶弹性增加,且海藻糖影响大于蔗糖。麦芽糖则与上述糖类略有不同,陈世龙^[9]研究发现随着麦芽糖添加量的增加,大米淀粉凝胶的硬度和弹性均有增加的趋势。低浓度(1%~2%)的麦芽糖会使淀粉凝胶的硬度和咀嚼度降低,让其质地柔软;而高浓度(3%~5%)的麦芽糖会使两者有所增加,增强大米凝胶的口感和韧性。此外,研究发现山梨醇的增加会使大米淀粉的凝胶硬度、黏附性和回复性具有增加的趋势,但对凝胶咀嚼性、内聚性和黏附性影响不显著。

2.2 小分子糖对淀粉透明度及凝沉性的影响

透明度指的是光线照射定量淀粉糊时体系的透光程度^[1],淀粉的来源、种类,添加剂、贮藏环境等均会不同程度影响淀粉糊透明度^[10]。随着储藏时间的增加,淀粉糊透明度会呈下降趋势。总体而言,添加小分子糖,混合体系淀粉透明度相较于原淀粉会有一定程度地升高。付丽红^[7]研究发现,蔗糖和葡萄糖使得改性藜麦淀粉糊吸光值降低,透光率升高,且透光率随着糖的浓度升高而增大。韦冷云^[10]研究发现,菊糖对小麦淀粉也符合上述规律,并且添加的菊糖链长越长,淀粉糊的透明度越高。在糖浓度对透明度的影响方面,金娃^[11]研究发现随着海藻糖添加量的增加,马铃薯淀粉、小麦淀粉和玉米淀粉的透光率均先升高后降低。此外,周大年^[1]研究发现蔗糖和棉子糖的添加会阻碍淀粉糊透明度的下降。在储藏时间较短时,水苏糖阻碍了淀粉糊透明度的下降,然而储藏时间较长时,反而促进了淀粉透明度的

下降。

淀粉乳在加热时,原颗粒结构被破坏糊化成淀粉糊。当温度降低时,淀粉糊变成半固体凝胶,流动性消失,逐渐产生难以再受热溶解的白色沉淀,该过程即称为淀粉的凝沉。小分子糖可以减慢淀粉的凝沉速度,降低淀粉的凝沉性。付丽红^[8]研究发现,葡萄糖和蔗糖的加入降低了改性藜麦淀粉的凝沉性,并且随着糖浓度的升高,淀粉糊的凝沉速度逐渐减缓。翟爱华^[12]和金娃^[11]分别研究发现,蔗糖对不同赤小豆淀粉以及海藻糖对玉米淀粉、小麦淀粉、马铃薯淀粉的影响均符合上述规律。

2.3 小分子糖对淀粉糊化性质的影响

天然淀粉与冷水混合搅拌后可形成不溶性悬浮液。当加热到一定温度时淀粉颗粒迅速吸水膨胀,形成高粘度透明或半透明胶液即为淀粉糊化^[13]。糊化对食品的粘度、质构和持水等特性产生明显影响,对于淀粉基食品品质和货架期具有重要意义。多数研究表明小分子糖可以提高淀粉的糊化温度,并且随着糖浓度的增大糊化温度也会增加。然而,在不同种类和浓度下,小分子糖对糊化温度和热焓值的影响不同。C.S.KIM 和 C.E.WALKER^[14]总结出双糖(蔗糖和乳糖)比单糖(葡萄糖)对淀粉糊化温度的影响更大,综合崔雷^[15]和马红静^[13,16]的研究发现,影响淀粉糊化温度的效果为蔗糖>麦芽糖>葡萄糖>半乳糖>果糖,蔗糖>海藻糖>葡萄糖。除此之外,棉籽糖、水苏糖、菊糖、亚麻多糖和枸杞叶多糖等均符合上述规律,能不同程度地提高甘薯淀粉的糊化温度。然而,李肖汶^[4]研究发现沙蒿多糖对小麦淀粉的糊化温度无明显影响。对于糊化热焓值的研究中,多数研究表明小分子糖会使淀粉的糊化热焓值升高。张晓宇^[17]研究发现蔗糖、葡萄糖、海藻糖能使木薯淀粉胶的糊化焓明显增大,且糊化焓随着糖浓度的增加而增大。在杜先锋^[18]的研究中,在葛根淀粉中添加蔗糖、葡萄糖、果糖后糊化热焓值均有一定程度的提高。翟爱华^[12]和周大年^[1]分别研究发现蔗糖、棉子糖、水苏糖均能增加甘薯淀粉的糊化焓。此外,李肖汶^[4]发现沙蒿

多糖能提高小麦淀粉的糊化焓。马红静^[13,16]研究发现,糖添加量低时,淀粉的热焓值随着糖添加量的增加而增加,糖添加量高时,反而有下降趋势,且蔗糖影响高于海藻糖。金娃^[11]和汪名春^[19]发现玉米淀粉、小麦淀粉、马铃薯淀粉在加入海藻糖后,糊化热焓值呈下降趋势,菊糖对小麦淀粉糊化焓值的影响不显著,可见小分子糖的种类和浓度确会影响两者互作的结果。

2.4 小分子糖对淀粉冻融稳定性的影响

淀粉凝胶在冷冻和解冻过程中的冻融稳定性可间接体现淀粉的加工适应性。小分子糖的添加,会依据小分子糖的种类和浓度以及淀粉种类的不同,对淀粉性质产生不同的影响。研究表明小分子糖能降低淀粉的析水率,提高其冻融稳定性,并且双糖的影响大于单糖。张晓宇^[17]研究发现葡萄糖、海藻糖和蔗糖能降低木薯淀粉的析水率,蔗糖、海藻糖降低淀粉凝胶析水率的能力优于葡萄糖,其中海藻糖降低析水率能力最强。除此之外,马红静^[13,16]和金娃^[11]还分别发现葡萄糖、果糖、蔗糖和海藻糖能降低糯米淀粉的析水率,海藻糖能降低玉米淀粉、小麦淀粉、马铃薯淀粉的析水率。当糖添加量为 6% 时,这四种糖对淀粉析水率的影响最为显著,其中海藻糖的效果最好。王建宇^[6]研究发现大豆低聚糖也能提高小麦粉凝胶的冻融稳定性,效果要好于蔗糖。张珊^[20]研究发现蔗糖对马铃薯淀粉凝胶析水率的抑制作用要优于葡萄糖和果糖。

在小分子糖调控淀粉冻融稳定性过程中,其种类和浓度是影响的关键因素。周大年^[1]发现 2%、4% 浓度的棉子糖能降低三次冻融循环后的甘薯淀粉糊的析水率。然而,添加 6% 浓度的棉子糖却轻微提高了淀粉糊的析水率。添加 4%、6% 水苏糖促进了淀粉糊发生析水现象,而添加 2% 水苏糖时则变化不大。在研究葡萄糖和蔗糖的影响中,付丽红^[7]研究发现当葡萄糖的添加量为 5%~10% 时,经过五次冻融后改性藜麦淀粉凝胶的析水率略微降低;当葡萄糖的添加量为 20% 和 30% 时,经五次冻融后凝胶的析水率显著增加,其冻融稳定性差。蔗糖含量在 5% 时,吸水率降低,

当蔗糖添加量增加到 10%~30% 时,析水率增大。在针对菊糖的研究中,刁苏晨^[2]研究发现 5%、10%、15% 的菊糖添加量都使得淀粉的析水率明显降低,冻融稳定性提高,作用效果为 5% > 10% > 15%。此外,不同链长菊糖的加入对淀粉凝胶析水率的影响不同^[10]。与原淀粉相比,小麦淀粉-短/中链菊糖体系比例在 9.5 : 0.5 时其析水率有所降低,但随着短链菊糖和中链菊糖比例的增加,析水率逐渐增加甚至高于原淀粉。小麦淀粉-长链菊糖体系的析水率要高于原淀粉,且随含量增加体系析水率逐渐升高。淀粉的种类也会对冻融效果具有影响。王慧云^[21]研究发现,加入亚麻多糖,木薯羟丙基二磷酸酯淀粉的析水率显著降低,而马铃薯醋酸酯淀粉,木薯醋酸酯淀粉的析水率变化不大。

2.5 小分子糖对淀粉老化性质的影响

通常情况下,在货架保藏期间淀粉老化现象不利于淀粉基食品的品质,然而,适度的老化也是一些米面制品中的关键工序,可提升其弹性和咀嚼性。对淀粉老化特性的调控是食品的重要研究领域。多数研究表明,小分子糖的加入会抑制淀粉的老化,并且随着糖浓度的升高,抑制效果提升,但也有部分小分子糖和在特定浓度下具有差异化的效果。在对葡萄糖、果糖、麦芽糖、蔗糖以及麦芽低聚糖的研究中,陈悦宇^[22]研究发现葡萄糖、果糖、蔗糖和麦芽糖均会抑制莲子淀粉的老化,且作用效果为葡萄糖 > 果糖,麦芽糖 > 蔗糖。BILIADERIS C G^[23]发现在同源的葡萄糖寡聚物中,麦芽三糖表现出抑制作用最大。WANG L^[24]研究发现麦芽糖抑制淀粉回生效果优于蔗糖、乳糖、葡萄糖。BERSKI W^[25]发现葡萄糖会抑制小麦淀粉回生,而对于燕麦淀粉,葡萄糖则表现促进回生的效果。对于棉籽糖和水苏糖的研究中,王建宇^[26]研究发现大豆低聚糖及其成分(蔗糖、棉籽糖和水苏糖)均会延缓淀粉的老化,水苏糖作用效果比棉籽糖好,大豆低聚糖要优于蔗糖,且糖的添加量越多,其抑制作用越强。吕俊丽^[27]研究发现,水苏糖可以抑制小麦粉的老化。与之相反,周大年^[1]发现水苏糖则降低了甘薯淀粉熔融温度并增加了回生焓值,促进了淀粉回生。陈

悦宇^[22]发现水苏糖和棉子糖能够促进莲子淀粉的回生,且水苏糖的作用更强。海藻糖作为一类重要的小分子糖备受关注。宋云平^[28]还发现-20℃保存有利于延缓淀粉的老化,无海藻糖时频繁的冻融会加速回生,而添加海藻糖后,频繁的冻融过程则能强化其回生抑制作用。金娃^[12]认为海藻糖使共混体系持水性增强,影响水分迁移,不利于支链淀粉重结晶,抑制淀粉分子链重新结合形成双螺旋结构,从而延缓淀粉的老化。此外,汪名春^[20]和韦冷云^[11]研究发现菊糖能抑制小麦淀粉的回生,且随着菊糖比例的增加老化程度逐渐降低,以短链菊糖的作用最为明显。常晓红^[29]研究发现聚葡萄糖能延缓大米淀粉的老化。李肖汶^[4]发现沙蒿多糖会促进小麦淀粉的短期老化而抑制其长期老化。

2.6 小分子糖对淀粉消化性的影响

根据淀粉消化性差异通常可以将淀粉划分为易消化淀粉(Rapidly Digestible Starch, RDS)、慢消化淀粉(Slowly Digestible Starch, SDS)和抗性淀粉(Resistant Starch, RS)。其中,RDS能

够在短时间内引起餐后血糖和胰岛素水平的急剧升高,与一系列健康并发症相关,如糖尿病等。SDS和RS通常被视为理想的膳食淀粉形式^[2]。研究小分子糖对淀粉中RDS、SDS和RS比例的影响对人体健康具有实际的指导意义。此外,表示餐后食物对人体血糖引起反应的血糖指数(Glycemic Index, GI)与该食物的消化速度和程度密切相关。王建宇^[6]研究发现,大豆低聚糖和蔗糖对小麦粉凝胶消化性具有一定影响,能使淀粉中RDS所占比例下降,SDS和RS所占比例上,并且大豆低聚糖的效果更好。在汪名春^[30]、刁苏晨^[2]和韦冷云^[11]的研究中还发现菊糖可以在一定程度上抑制大米淀粉、小麦淀粉和马铃薯淀粉的水解程度及速度,且随着菊糖添加量的增加其抑制程度也相应增加,同时短链菊糖对淀粉体外消化抑制的程度最大。另外,翟爱华^[13]、张静祎^[31]和周发^[3]分别研究发现蔗糖对3种赤小豆淀粉、蔗糖对红小豆淀粉、羧甲基化枸杞叶多糖对马铃薯淀粉消化性方面的均有类似的影响效果。如表1所示。

表 1 小分子糖对淀粉性质的影响

Table 1 The effect of small molecular sugars on starch properties

淀粉种类	小分子糖种类	影响的性质及效果	文献
玉米支链淀粉	果糖、半乳糖、葡萄糖、麦芽糖、蔗糖	糊化温度升高(蔗糖>麦芽糖>葡萄糖>半乳糖>果糖)	[15]
玉米淀粉、小麦淀粉、马铃薯淀粉	海藻糖	透明度提高、凝沉性降低、冻融稳定性提高、糊化(糊化温度提高,糊化焓降低)、老化延缓	[11]
玉米淀粉、蜡质玉米淀粉	葡萄糖、果糖、半乳糖、蔗糖、乳糖和麦芽糖	老化延缓(麦芽糖优于蔗糖或乳糖)	[24]
小麦淀粉、燕麦淀粉	葡萄糖	老化延缓	[25]
小麦粉	大豆低聚糖、蔗糖、水苏糖	质构特性(硬度下降、弹性增加,大豆低聚糖>蔗糖)、冻融稳定性(析水率下降)、消化(RDS减少、SDS增加,RS减少)、糊化(黏度、衰减、回生值降低)	[6,27,32]
小麦淀粉、玉米淀粉、马铃薯淀粉	蔗糖、一水葡萄糖、乳糖	糊化延迟(黏度降低)	[14]
小麦淀粉	茶多糖	糊化(糊化温度增加,黏度增加)、老化延缓	[33,34]
小麦淀粉	菊糖	糊化(糊化温度提高、黏度降低)、凝沉性降低、老化延缓,透明度增加、冻融稳定性、糊化温度升高,老化延缓,消化速率减慢、血糖值降低	[10,19]
小麦淀粉	沙蒿多糖	糊化(糊化温度变化不明显,糊化热焓值、黏度、崩解值、回生值均增大)、老化(促进短期老化,抑制长期老化)	[4]
糯米粉	海藻糖、白砂糖	老化延缓(频繁冻融能强化抑制作用)	[28]
糯米淀粉	葡萄糖、果糖、蔗糖、海藻糖	质构特性(硬度下降,弹性和内聚性增加)、糊化(糊化温度和峰值黏度升高)、冻融稳定性(析水率降低)、老化延缓(凝胶熔融焓/糊化焓降低,海藻糖>蔗糖>葡萄糖>果糖)	[13]

续表 1

淀粉种类	小分子糖种类	影响的性质及效果	文献
糯米淀粉	麦芽糖	老化延缓	[35]
糯米淀粉	蔗糖、海藻糖	糊化（糊化温度升高，峰值黏度、最终黏度增加）、热稳定性增强、冻融稳定性提高（析水率降低）、质构特性（硬度先增大后减小，弹性增加）、老化延缓	[8,16]
木薯淀粉	葡萄糖、蔗糖、海藻糖	糊化（糊化温度升高，黏度增加）、冻融稳定性增加、老化延缓（海藻糖优于蔗糖或葡萄糖）、冻融稳定性增强（海藻糖>蔗糖>葡萄糖）	[17]
马铃薯淀粉	蔗糖、葡萄糖、果糖	糊化（糊化温度和峰值黏度升高，衰减值和回生值降低，糊化热焓值升高）、冻融稳定性（析水率降低）	[20]
马铃薯淀粉	菊糖	消化（消化率降低，血糖指数降低）	[30]
马铃薯淀粉	枸杞叶多糖（两种修饰化）	糊化（黏度降低，糊化焓升高）、质构特性（硬度降低）、老化延缓、消化受到抑制	[3]
莲子淀粉	葡萄糖、果糖、麦芽糖、蔗糖、麦芽三糖、棉籽糖、水苏糖	老化延缓（麦芽糖、蔗糖、麦芽三糖）、老化加快（水苏糖>棉籽糖）	[22]
蜡质玉米淀粉	葡萄糖、麦芽糖、葡萄糖低聚物	老化延缓	[23]
红小豆淀粉	蔗糖	糊化（峰值、谷值黏度降低，最终黏度、衰减、回生值增大）、凝胶强度和消化率变化不明显	[31]
葛根淀粉	蔗糖、葡萄糖、果糖	糊化（糊化温度和糊化焓升高，蔗糖>葡萄糖>果糖）	[18]
甘薯淀粉	蔗糖、棉子糖、水苏糖	糊化（糊化温度升高，水苏糖>棉籽糖 = 蔗糖，糊化黏度降低）、冻融稳定性（蔗糖、棉籽糖提高，水苏糖降低）、老化延缓（除水苏糖促进长期回生）	[1]
改性藜麦淀粉	葡萄糖、蔗糖	溶胀性和持水性（低浓度糖升高，高浓度糖降低）、透明度升高、凝沉速度下降、冻融稳定性（析水率低浓度糖下降，高浓度糖上升）、质构特性（硬度低浓度糖升高，高浓度糖降低）	[7]
稻米淀粉	葡萄糖、果糖、麦芽糖、蔗糖	糊化（糊化温度升高，黏度降低）	[36]
大米粉	大豆低聚糖、水苏糖、棉籽糖、蔗糖	质构特性（硬度下降，水苏糖>棉籽糖>大豆低聚糖>蔗糖）、老化延缓（水苏糖>棉籽糖>大豆低聚糖>蔗糖）	[26]
大米淀粉	聚葡萄糖、改性聚葡萄糖	糊化（糊化温度升高，黏度降低，糊化焓降低，崩解值和回生值降低）、老化延缓（老化焓降低）	[29]
大米淀粉	蔗糖、麦芽糖、海藻糖、山梨醇	质构特性（硬度，弹性升高）、老化延缓	[9]
大米淀粉	菊糖	消化特性降低（减缓升血糖）、质构特性（硬度降低）、冻融稳定性提高，老化延缓	[2]
薯类淀粉	亚麻多糖	冻融稳定性提高、膨胀力提高、热稳定性降低	[21]
赤小豆淀粉	蔗糖	平均粒径减小、糊化（糊化温度升高，峰值黏度降低，最终黏度升高）、消化性影响不大	[12]

3 结论

小分子糖是淀粉基食品加工中常用的食品添加剂，除了能够提供甜味、改善口感、赋予淀粉基食品其他一些有益生理功能外，也能显著影响淀粉的理化性质及其加工特性，主要包括对淀粉的凝胶质构、透明度及凝沉性、糊化、冻融稳定性、老化以及消化等特性。其中，小分子糖的种类、结构、添加浓度，及淀粉的种类均为小分子糖对淀粉性质影响的关键因素。然而，目前小分

糖对淀粉性质的影响尚未有统一性的规律，其中涉及的交互机理理论也尚未有统一的观点。因而，在后续小分糖对淀粉性质影响的研究中，可以完善其相互作用的检测方法，将实验现象结合理论分析，进一步探寻规律性的理论机制。

参考文献：

[1] ZHOU D N, ZHANG B, CHEN B, et al. Effects of oligosaccharides on pasting, thermal and rheological properties of sweet potato

- starch[J]. Food Chemistry, 2017, 230: 516-523.
- [2] 刁苏晨. 菊糖对大米淀粉物化特性及米糕品质的影响[D]. 安徽农业大学, 2015.
DIAO S C. Effect of inulin on physical and chemical properties of rice starch and quality of rice-cakes[D]. Anhui Agricultural University, 2015.
- [3] ZHOU F, SU L, XU J, et al. Sulphated and carboxymethylated polysaccharides from Lycium barbarum L. leaves suppress the gelatinisation, retrogradation and digestibility of potato starch[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2023, 58(1): 94-106.
- [4] LI X, LI J, YIN X, et al. Effect of Artemisia sphaerocephala Krasch polysaccharide on the gelatinization and retrogradation of wheat starch[J]. Food Science & Nutrition, 2019, 7(12): 4076-4084.
- [5] CHEN L, TIAN Y, TONG Q, et al. Effect of pullulan on the water distribution, microstructure and textural properties of rice starch gels during cold storage[J]. Food Chemistry, 2017, 214: 702-709.
- [6] 王建宇, 陈湘宁, 冯晓光, 等. 大豆低聚糖对小麦粉凝胶性质与体外消化率的影响[J]. 河北农业大学学报, 2020, 43(4): 91-96.
WANG J Y, CHEN X N, FENG X G, et al. Effects of soybean oligosaccharides on physicochemical properties and in vitro digestibility of wheat flour[J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 2020, 43(4): 91-96.
- [7] 付丽红, 白凌曦, 李晓斌, 等. 不同糖对改性藜麦淀粉特性的影响[J]. 食品科技, 2022, 47(3): 265-270.
FU L H, BAI L X, LI X B, et al. Effects of different sugars on the properties of modified quinoa starch[J]. Food Science and Technology, 2022, 47(3): 265-270.
- [8] 谢新华, 马红静, 徐超, 等. 蔗糖和海藻糖对糯米淀粉凝胶冻融稳定性的影响[J]. 中国粮油学报, 2016, 31(12): 29-32.
XIE X H, MA H J, XU C, et al. Effects of sucrose and trehalose on freeze-thaw stability of glutinous rice starch gel[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2016, 31(12): 29-32.
- [9] 陈世龙. 大米凝胶的质构调控及抗老化研究[D]. 华中农业大学, 2013.
CHEN S L. Study on texture regulation and anti-aging of rice gel[D]. Huazhong Agricultural University, 2013.
- [10] 韦冷云. 菊糖对小麦淀粉理化性质及体外消化的影响[D]. 安徽农业大学, 2015.
WEI L Y. Effects of inulin on physicochemical properties and in vitro digestion of wheat starch[D]. Anhui Agricultural University, 2015.
- [11] 金娃, 陈威, 李松原, 等. 海藻糖对三种淀粉理化性质的影响[J]. 中国调味品, 2021, 46(2): 152-155.
JIN W, CHEN W, LI S Y, et al. Effects of trehalose on physical and chemical properties of three starches[J]. China Condiment, 2021, 46(2): 152-155.
- [12] 翟爱华, 韦智, 王雪纯, 等. 蔗糖对不同品种赤小豆淀粉性能的影响[J]. 食品工业科技, 2023, 44(2): 83-89.
ZHAI A H, WEI Z, WANG X C, et al. Effect of sucrose on properties of different red adzuki bean starch[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(2): 83-89.
- [13] 马红静. 小分子糖对糯米淀粉糊化特性和质构特性的影响研究[D]. 河南农业大学, 2015.
MA H J. Study on the effect of low molecular weight sugars on pasting and texture properties of waxy rice starch[D]. Henan Agricultural University, 2015.
- [14] KIM C S, WALKER C E. Changes in starch pasting properties due to sugars and emulsifiers as determined by viscosity measurement[J]. Journal of Food Science, 1992, 57(4): 1009-1013.
- [15] 崔雷. 玉米支链淀粉与小分子糖在水中的相互作用[D]. 江南大学, 2008.
CUI L. The interaction of maize amylopectin with sugars in aqueous solution[D]. Jiangnan University, 2008.
- [16] 马红静, 谢新华, 贺平, 等. 蔗糖和海藻糖对糯米淀粉黏滞性和热特性的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2015(7): 36-39.
MA H J, XIE X H, HE P, et al. Effects of sucrose and trehalose on viscosity and thermal properties of waxy rice starch[J]. Grain and Feed Industry, 2015(7): 36-39.
- [17] 张晓宇. 小分子糖对木薯淀粉性质的影响研究[D]. 江南大学, 2012.
ZHANG X Y. Effects of low molecular weight sugars on properties of tapioca starch[D]. Jiangnan University, 2012.
- [18] 杜先锋, 许时婴, 王璋. NaCl 和糖对葛根淀粉糊化特性的影响[J]. 食品科学, 2002(7): 34-36.
DU X F, XU S Y, WANG Z. Effects of NaCl and sugar on gelatinization characteristics of pueraria mirifica[J]. Food Science, 2002(7): 34-36.
- [19] 汪名春, 韦冷云, 朱培蕾, 等. 菊糖对小麦淀粉糊热力学及流变学特性的影响[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(2): 24-29.
WANG M C, WEI L Y, ZHU P L, et al. Effects of Inulin on thermodynamic and rheological properties of wheat starch paste[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2017, 32(2): 24-29.
- [20] 张珊, 倪春蕾, 张高鹏, 等. 小分子糖对马铃薯淀粉晶体结构、糊化特性和冻融稳定性的影响[J]. 中国食品学报, 2019, 19(8): 49-59.
ZHANG S, NI C L, ZHANG G P, et al. Effect of low molecular weight saccharides on crystal structure, gelatinization and freeze-thaw stability of potato starch[J]. Chinese Journal of Food Science, 2019, 19(8): 49-59.
- [21] 王慧云, 赵阳, 陈海华, 等. 亚麻多糖对薯类改性淀粉糊化特性和冻融稳定性的影响[J]. 中国食品学报, 2014, 14(7): 176-184.
WANG H Y, ZHAO Y, CHEN H H, et al. Effect of flaxseed polysaccharide on the pasting properties and freeze-thaw stability of modified tuber starch[J]. Journal of Chinese Journal

- of Food Science, 2014, 14(7): 176-184.
- [22] 陈悦宇, 欧雨嘉, 曾红亮, 等. 单糖对莲子淀粉回生特性的影响[J]. 食品与机械, 2020, 36(3): 7-13.
CHEN Y Y, OU Y J, ZENG H L, et al. Effect of monosaccharides on the retrogradation of lotus seed starch[J]. Food and Machinery, 2020, 36(3): 7-13.
- [23] BILIADERIS C G, PROKOPOWICH D J. Effect of polyhydroxy compounds on structure formation in waxy maize starch gels: a calorimetric study[J]. Carbohydrate Polymers, 1994, 23(3): 193-202.
- [24] WANG L, XU J, FAN X, et al. Effect of disaccharides of different composition and linkage on corn and waxy corn starch retrogradation[J]. Food Hydrocolloids, 2016, 61: 531-536.
- [25] BERSKI W, ZIOBRO R, WITCZAK M, et al. The retrogradation kinetics of starches of different botanical origin in the presence of glucose syrup[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 114: 1288-1294.
- [26] 王建宇, 冯晓光, 韩贵成, 等. 大豆低聚糖对大米粉老化性质的影响及其机理研究[J]. 食品安全导刊, 2020(9): 103-104+106.
WANG J Y, FENG X G, HAN G C, et al. Effect of soybean oligosaccharides on aging properties of rice flour and its mechanism[J]. Food Safety Guide, 2020(9): 103- 104+106.
- [27] 吕俊丽. 水苏糖对小麦粉加工品质影响的研究[D]. 西北农林科技大学, 2009.
LU J L. Research on effect of stachyose on the processing quality of wheat flour[D]. Northwest A&F University, 2009.
- [28] 宋云平, 宫衡, 傅水林, 等. 海藻糖对淀粉回生抑制作用的研究[J]. 食品科学, 2005(10): 94-98.
SONG Y P, GONG H, FU S L, et al. Study on the inhibition of trehalose on starch retrogradation[J]. Food Science, 2005(10): 94-98.
- [29] 常晓红. 聚葡萄糖对大米淀粉糊化和老化特性的影响[D]. 河南农业大学, 2018.
CHANG X H. Effect of polydextrose on the gelatinization and retrogradation of rice starch[D]. Henan Agricultural University, 2018.
- [30] 汪名春, 韦冷云, 朱培蕾, 等. 菊糖对马铃薯淀粉糊流变特性及体外消化的影响[J]. 中国粮油学报, 2016, 31(6): 47-51.
WANG M C, WEI L Y, ZHU P L, et al. Effects of inulin on rheological properties and in vitro digestion of potato starch paste[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2016, 31(6): 47-51.
- [31] ZHANG J, ZHAI A. Microstructure, thermodynamics and rheological properties of different types of red adzuki bean starch[J]. Quality Assurance and Safety of Crops & Foods, 2020, 12: 89-99.
- [32] 吕俊丽, 张正茂, 梁灵. 水苏糖对面团流变学特性影响的研究[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(6): 12-14.
LYU J L, ZHANG Z M, LIANG L. Effect of stachyose on wheat dough rheological properties[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2009, 24(6): 12-14.
- [33] 汪文明, 周裔彬. 茶多糖对小麦粉流变性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2007(3): 27-31.
WANG W M, ZHOU Y B. Effect of tea polysaccharide on rheology of wheat flours[J]. Food and Fermentation Industry, 2007(3): 27-31.
- [34] ZHOU Y, WANG D, ZHANG L, et al. Effect of polysaccharides on gelatinization and retrogradation of wheat starch[J]. Food Hydrocolloids, 2008, 22(4): 505-512.
- [35] QIU S, PUNZALAN M E, ABBASPOURRAD A, et al. High water content, maltose and sodium dodecyl sulfate were effective in preventing the long-term retrogradation of glutinous rice grains - A comparative study[J]. Food Hydrocolloids, 2020, 98: 105247.
- [36] 谢新华, 李晓方, 肖昕, 等. 糖对稻米淀粉黏滞性的影响[J]. 福建农业学报, 2009, 24(5): 475-477.
XIE X H, LI X F, XIAO X, et al. Effect of sugar on rheological properties of rice starch[J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2009, 24(5): 475-477. 完