

羧甲基化和乳化沙蒿胶对小麦粉的增筋作用

卫晓怡, 司晓晶, 崔琳琳, 张路遥, 韩梅, 何舰杰, 苏婷婷

Effects of Carboxymethyl and Emulsive *Artemisia sphaerocephala* Krasch Gum on Gluten Reinforcement of Wheat Flour

WEI Xiaoyi, SI Xiaojing, CUI Linlin, ZHANG Luyao, HAN Mei, HE Jianjie, and SU Tingting

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022020070>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

麦麸膳食纤维对小麦粉糊化及凝胶质构特性的影响

Effect of wheat bran dietary fiber on pasting and gel textural properties of wheat flour

食品工业科技. 2018, 39(8): 1-5,12

乳酸菌协同小麦胚芽油发酵对黑曲霉生长活性的影响

Effect of Lactic Acid Bacteria Combined with Wheat Germ Oil Fermentation on the Growth Activity of *Aspergillus niger*

食品工业科技. 2020, 41(19): 144-148,156

羧甲基改性制备高保水、软凝胶型卡拉胶

Preparation of Carboxymethylated Carrageenan Gels with High Water Holding Capacity and Soft Gelling Property

食品工业科技. 2018, 39(17): 58-63

TGase与谷朊粉添加对马铃薯全粉-小麦粉混合粉面团特性的影响

Effect of TGase and Wheat Gluten Addition on Dough Properties of Potato Flour-Wheat Flour Mixture

食品工业科技. 2021, 42(2): 47-51,57

小麦粉和4种干燥方式制备的板栗全粉的基本品质比较

Quality of Wheat Flour and Four Types of Chestnut Whole Flour Obtained by Different Drying Methods

食品工业科技. 2020, 41(5): 286-292

不同粒度区间小麦粉对半干面品质的影响

Effects of wheat flour with different particle size ranges on quality of semi-dry noodles

食品工业科技. 2018, 39(9): 51-56,65



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

卫晓怡, 司晓晶, 崔琳琳, 等. 羧甲基化和乳化沙蒿胶对小麦粉的增筋作用 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(23): 64–70. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022020070

WEI Xiaoyi, SI Xiaojing, CUI Linlin, et al. Effects of Carboxymethyl and Emulsive *Artemisia sphaerocephala* Krasch Gum on Gluten Reinforcement of Wheat Flour[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(23): 64–70. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022020070

· 研究与探讨 ·

羧甲基化和乳化沙蒿胶对小麦粉的增筋作用

卫晓怡, 司晓晶, 崔琳琳, 张路遥, 韩 梅, 何舰杰, 苏婷婷

(上海商学院酒店管理学院食品系, 上海 200235)

摘 要: 沙蒿胶可经羧甲基化和油基乳化提高水溶性和乳化性, 其适用于小麦粉加工的增筋效果有待研究。本研究通过沙蒿胶的羧甲基化和乳化改性, 分析其在小麦粉面团形成以及含油面团制作中的增筋效果。结果表明, 羧甲基化改性可使沙蒿胶在小麦粉中的最佳添加量从 1.0% 降至 0.4%, 有效提高小麦粉的湿面筋量、面筋指数、吸水率、形成时间和稳定时间, 降低弱化度, 但在含油脂小麦粉中未表现出增筋性能的提升。与之对比, 经小麦胚芽油或棕榈硬脂两种油相乳化处理的沙蒿胶则更适用于含油脂面团的调制, 1.0% 沙蒿胶和 5% 油脂以乳化方式添加, 可降低液态和固态油脂在面团形成中的差异, 并有效改善面团质构特性。本研究表明, 羧甲基化可降低沙蒿胶应用于小麦粉增筋的使用剂量, 而沙蒿胶乳化则适用于水油面团的增筋。

关键词: 沙蒿胶, 小麦粉, 羧甲基化, 乳化, 增筋, 小麦胚芽油, 棕榈硬脂

中图分类号: TS211.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)23-0064-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022020070



本文网刊:

Effects of Carboxymethyl and Emulsive *Artemisia sphaerocephala* Krasch Gum on Gluten Reinforcement of Wheat Flour

WEI Xiaoyi, SI Xiaojing, CUI Linlin, ZHANG Luyao, HAN Mei, HE Jianjie, SU Tingting

(Department of Food Science, College of Hospitality Management, Shanghai Business School, Shanghai 200235, China)

Abstract: *Artemisia sphaerocephala* Krasch gum (ASKG) can be carboxymethylated and greasy-based emulsified to improve its water solubility and emulsifying property, while the effect of modified ASKG on wheat flour processing as a gluten enhancer remains largely unknown. In this study, we investigated the gluten-increasing effect of ASKG in the formation of wheat flour dough and the production of greasy dough through its carboxymethylation and emulsification modification. The results showed that the carboxymethylation could reduce the optimum addition amount of ASKG from 1.0% to 0.4% in wheat flour. Carboxymethyl ASKG (C-ASKG) increased the wet gluten content, gluten index, water absorption, dough development time, dough stability time, and reduced the weakening degree. However, C-ASKG did not show better reinforcement in greasy dough than ASKG. In comparison, ASKG emulsified (E-ASKG) by wheat germ oil and palm stearin fat was shown to be more suitable for greasy dough modulation. The addition of 1.0% of ASKG and 5% of oil or fat in flour by emulsification manner reduced the difference between the oil and fat during the formation of gluten and improve the evaluation indexes of dough texture. This study demonstrated that carboxymethylation could reduce the dosage of ASKG used in wheat flour as a gluten enhancer, while emulsive ASKG was suitable for the gluten reinforcement of water-oiled dough.

Key words: *Artemisia sphaerocephala* Krasch gum; wheat flour; carboxymethylation; emulsification; gluten reinforcement; wheat germ oil; palm stearin

沙蒿胶(*Artemisia sphaerocephala* Krasch gum, ASKG)是一种热稳定性极好的植物天然多糖, 具有

降血脂、抗肥胖和糖尿病等生理作用^[1-2], 粘度是明胶的 1800 倍、海藻酸钠的 12 倍, 吸水性极强(可吸

收稿日期: 2022-02-14

基金项目: 上商启明星科研项目(11999-3061); 上海市自然科学基金(20ZR1440200); 上海商学院校级一流本科课程建设项目(SBS-2022-XJJK-01); 上海商学院校级教育教学改革研究项目(SBS-2022-XJJG-02); 上海商学院大学生创新创业项目; 上商青年科研创新团队(14KY-QNTD05)。

作者简介: 卫晓怡(1979-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 食品安全与营养, E-mail: weixy@sbs.edu.cn。

取自身重量 30~50 倍的水)^[3],但水溶性差,且乳化性能较弱。ASKG 常被添加于小麦粉,因在水中呈有限的吸水溶胀状态且不溶解,而在面筋网络中起到胶粘剂的作用^[4]。其多糖物质具有极强的粘结络合能力和纤维骨架强化作用,避免面筋蛋白分子形成的网状结构受影响而破裂,可以包裹住淀粉颗粒,进而通过吸水溶胀增强面团的持水性,可提高低筋小麦粉或无筋杂粮面粉的面团弹性与强度^[3]。但由于 ASKG 水溶性差于其他常见食用胶^[5],导致其在强化面筋网络的同时,面团延伸性下降。此外,ASKG 添加量过高,会使面筋网络间的交联程度大大提高从而束缚面筋蛋白的延伸,与面筋蛋白和淀粉竞争水分,阻碍面筋网络的形成^[6],并影响口感^[7-8],如何降低 ASKG 添加量以改善面团延伸性和产品口感亟待探讨。

油脂是面团调制的常用原料,油脂中含有大量的疏水基团,导致面团吸水率减小,面筋生成量减少。油脂的种类及添加量也会影响面团特性^[9-10],固态脂(如棕榈硬脂)比液态油(如小麦胚芽油)的表面张力小,常以薄膜状、片状和棒状等形态分布在面团中,覆盖面粉颗粒表面积大,对不同蛋白含量的小麦粉面团的弹性、粘性等有不同影响。然而,ASKG 对水油面团增筋效果的相关研究还较少。

ASKG 等天然多糖具有巨大的结构修饰潜力,可加强亲水性、乳化性、成膜性^[11]、生物降解性和相容性^[12]等特性,拓宽其在食品、生物医药、化工、环境和农业等领域的应用。ASKG 与其他胶体及离子复配^[13]、高压加工^[14]等可用于提升其凝胶强度。有研究表明,通过 NaOH 碱化和氯乙酸醚化^[15],可生成羧甲基沙蒿胶(carboxymethyl *Artemisia sphaerocephala* Krasch gum, C-ASKG),水溶性得到较好的提高。ASKG 与油脂通过高压均质^[16]可制备乳化沙蒿胶(emulsive *Artemisia sphaerocephala* Krasch gum, E-ASKG),该乳状液显示出优于阿拉伯胶的良好乳化活性,但贮存稳定性一般,适用于即时制备使用。通过羧甲基化和乳化可获得改性 ASKG,可提高水溶性以及乳化性,但其对于小麦粉的增筋效果,特别是应用于水油面团调制的研究还未见报道。

由此,本研究探讨羧甲基化沙蒿胶对小麦粉面团湿面筋量、面筋指数以及吸水率、形成时间、稳定时间、弱化度等粉质特性的影响,并分析其在油脂添加小麦粉中的表现,进一步考察 ASKG 与小麦胚芽油和棕榈硬脂两种油基的乳化液在小麦粉中的使用特点,为改性沙蒿胶在小麦粉加工中的应用提供基础数据和理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

市售面粉 潍坊风筝面粉有限责任公司;酵母粉 安琪酵母股份公司;沙蒿胶(有效物质含量 98%,食品级) 河北百味生物科技有限公司;小麦胚芽油(亚油酸 $\geq 55\%$) 河北家丰植物油有限公司;棕榈硬

脂(熔点度 52 ℃,水分及挥发物 $\leq 0.07\%$) 天津嘉里粮油工业有限公司;A.R 级乙醇、NaOH、氯乙酸、冰醋酸、石油醚等 国药集团化学试剂有限公司。

2200 型面筋仪 波通瑞华科学仪器(北京)有限公司;GM2015 型离心机 波通瑞华科学仪器(北京)有限公司;HZF-150 型粉质仪 托普云农;5425 型台式离心机 德国 Eppendorf;MX-S 型旋涡式振荡器 美国 Scilogex;HG-6D 型滚轴混匀仪 上海沪析;HHWO-50L 型恒温水浴锅 瑞德仪器;GL-16 型高速台式离心机 常州诺基;81-2 型磁力恒温搅拌器 上海司乐仪器;101-3BS 型恒温干燥箱 力辰科技;A25-Digital 型高剪切乳化分散机 上海欧河;Apreo 型 SEM 扫描电子显微镜 赛默飞;TA-XT2i 型质构仪 英国 Stable Micro System 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品制备与分析

1.2.1.1 C-ASKG 制备 参考文献[15]的方法,称取 40.0 g(以干基计算)的沙蒿胶,加入 75% 乙醇 1 L,配制成沙蒿胶-乙醇悬浊液,加入 9.0 g NaOH,35 ℃ 下不断搅拌 1.5 h。碱化反应结束后,将水浴温度升高至 60 ℃,加入 7.0 g NaOH 和 6.0 g 氯乙酸,保持 60 ℃ 搅拌 3 h。醚化反应结束后,冷却至室温,边搅拌边加入冰醋酸调节 pH 至 7,分离出固相产物并用无水乙醇洗涤,抽滤,将产物置于恒温干燥箱内,在 80~90 ℃ 下干燥至恒重后碾磨成粉,即得到改性的羧甲基沙蒿胶。

1.2.1.2 E-ASKG 制备 参考已有文献[16],取 100 mL 离心管,加入 1.0 g 沙蒿胶、44.0 g 蒸馏水,放置于滚轴混匀仪上混合过夜,充分分散。分别加入小麦胚芽油、棕榈硬脂等 5.0 g,高剪切乳化分散机 20000 r/min 乳化 3 min,可间歇停顿以免物料温度过高,获得沙蒿胶乳状液,现配现用。

1.2.1.3 含油脂小麦粉的制备 参考馒头制品中 3%~6% 的一般油脂添加量^[17],选择常用的液态油脂小麦胚芽油和固态油脂棕榈硬脂,在小麦粉中分别添加 5% 的质量溶于石油醚中,将石油醚和原小麦粉按 1:1(v/w)混合,充分搅匀后放置空气中干燥直至溶剂气味消失,再将干燥后的面粉研磨过 80 目筛^[18],制备成含油脂小麦粉,待测 ASKG 和 C-ASKG 添加后的增筋效果。

1.2.1.4 小麦粉和 ASKG 基本成分的测定 分别参照 GB 5009.3-2016、GB 5009.5-2016、GB 5009.6-2016 测定 ASKG 和小麦粉中的水分、蛋白质、脂肪含量,参照 GB/T 5009.4-2016 测定 ASKG 的灰分含量,参照 GB 5009.9-2016 测定小麦粉中的淀粉含量。

1.2.1.5 ASKG 和 C-ASKG 水不溶物含量的测定 通过水不溶物含量测定,比较 ASKG 羧甲基化后水溶性提高程度。称取 ASKG 和 C-ASKG 样品,加入蒸馏水配成 0.4% 溶液,30 ℃ 磁力加热搅拌 30 min,

静置后 3000 r/min 离心分离 30 min, 将不溶物转移至称量瓶烘干至恒重^[19], 按如下公式计算水不溶物含量。

$$\text{水不溶物含量}(\%) = \frac{m_3 - m_2}{m_1} \times 100$$

式中: m_1 —样品的质量, g; m_2 —称量瓶的质量, g; m_3 —烘干后的总质量, g。

1.2.2 C-ASKG 对小麦粉和含油脂小麦粉特性的影响

1.2.2.1 湿面筋量和面筋指数测定 在 100 g 小麦粉和含油脂小麦粉中分别加入 0%、0.2%、0.4%、0.6%、0.8%、1.0%、1.2%、1.4% 的 C-ASKG(以小麦粉质量计), 混匀, 以未添加空白和 ASKG 添加为对比。称取各处理组小麦粉 10.00±0.01 g。湿面筋含量的测定按照 GB/T 5506-2008 进行, 面筋指数的测定按照 LS/T6102-1995 进行。

1.2.2.2 吸水率、形成时间、稳定时间、弱化度的测定 根据 1.2.2.1 结果, C-ASKG 不适用于含油脂小麦粉, 因此仅测定其最佳添加量条件下的小麦粉。参考 AACC54—40A 采用粉质仪测定面团粉质特性。使用 50 g 揉面钵, 准确称取 50 g 含水量相当于 14% 的小麦粉样品, 分别添加 0.4% 的 C-ASKG、1.0% 的 ASKG, 并以无添加空白和 0.4% 的 ASKG 为对比, 加入搅拌器, 称重与蒸馏水体积分别精确至 0.01 g 与 0.01 mL, 保持水温和钵温在 30±0.2 °C, 开始和面, 仪器自动得到揉混曲线图谱, 记录相应的试验参数, 分析最佳添加量条件下的吸水率、形成时间、稳定时间、弱化度。

1.2.3 面团的调制 称取原小麦粉或含油脂小麦粉(以小麦粉质量计)200 g, 根据 1.2.2.1 获得的最佳添加量, 加入 0.4%、1.0% 的 C-ASKG、ASKG, 添加 100 g 蒸馏水。以小麦粉与蒸馏水为 2:1 的质量比调制面团, 待质构分析和馒头制作。

1.2.4 添加 E-ASKG 面团的调制 称取 200 g 小麦粉, 加入 100 g 不同 E-ASKG 乳化液(含 2 g ASKG, 10 g 油脂, 88 g 蒸馏水), 再添加 12 g 蒸馏水, 即该面团 ASKG 添加量为 1%, 油脂为 5%(以占小麦粉质量计), 待质构分析和馒头制作。

1.2.5 面团的质构仪分析 参考已有研究方法^[20], 采用质构仪测定面团的延展性, 质构探头选择 A/KIE, 测试速度 1.5 mm/s; 目标距离 10.0 mm; 循环次数 2 次; 数据采集频率 10 次/s; 返回速度 0.5 mm/s; 触发力 5.0 g。

1.2.6 馒头的制作 按 1.2.3 和 1.2.4 方法调制面团, 加入 1% 酵母粉, 用和面机和面 10 min, 在温度 30 °C, 相对湿度 70 % 的醒发箱中发酵 30 min, 取出发酵面团切成 70 g, 手工搓揉成馒头胚型后继续醒发 20 min, 放入冷水锅内, 水沸后计时蒸制 20 min, 取出馒头冷却 30 min 待测。

1.2.7 馒头的 SEM 分析 将馒头样品切成薄片冷冻干燥, 离子溅射仪喷金后, 以扫描电镜 SEM 放大 600×/5000× 成像面筋三维网络结构^[20]。

1.3 数据处理

采用 SPSS 18.0 中的 Duncan's 进行数据的差异性分析, $P < 0.05$ 表示显著性差异。结果以平均值±标准差表示。

2 结果与分析

2.1 原料成分的分析

2.1.1 小麦粉和 ASKG 基本化学组成 小麦粉和 ASKG 的基本化学组成如表 1 所示, 小麦蛋白质含量是影响面团特性的关键因素, ASKG 因沙蒿籽产地、品种不同以及不同分离提取过程中的损失, 其 ASKG 的蛋白质含量有波动, 含量偏低则乳化性较弱。

表 1 小麦粉和 ASKG 的基本成分

Table 1 The basic components of wheat flour and ASKG

成分(湿基%)	水分	蛋白质	脂肪	淀粉/灰分
小麦粉	13.87±0.02	10.27±0.03	1.61±0.06	72.11±0.36(淀粉)
ASKG	10.75±0.02	6.23±0.03	18.94±0.07	4.31±0.02(灰分)

2.1.2 羧甲基化对 ASKG 水溶性的影响 实验结果显示, 经羧甲基化反应生成 C-ASKG, 水不溶物含量从原先的 57.11%±0.41% 减少至 17.76%±0.23%, 水溶性明显提高。ASKG 分子连接亲水性羧甲基, 可使水不溶物部分转化为可溶, 已有报道显示, ASKG 羧甲基化后的水不溶物含量可从 56.0% 降至 15.1%^[21], 与本实验结果较一致; 但侯晓晖等^[19]将 ASKG 羧甲基化后其水不溶物含量可降至 5%, 这可能与实验反应条件不同有关。

2.2 C-ASKG 对小麦粉和含油脂小麦粉特性的影响

2.2.1 C-ASKG 对小麦粉湿面筋量、面筋指数的影响 研究结果(图 1、图 2)表明, 随着 C-ASKG 添加量的增加, 小麦粉湿面筋量、面筋指数均呈上升趋势。C-ASKG 添加量大于 0.4% 时, 湿面筋量缓慢上升而面筋指数保持稳定, 说明此时面团已达到较合适的含水量, 面筋蛋白溶胀和淀粉糊化^[22]后已较好地形成面筋网络, 继续添加 C-ASKG 可增加面团含水

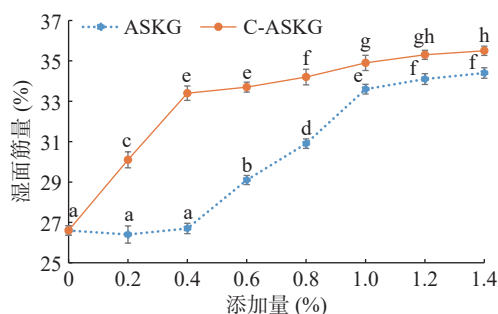


图 1 ASKG 和 C-ASKG 不同添加量对面团湿面筋量的影响

Fig.1 Effects of different addition amounts of ASKG and C-ASKG on the wet gluten content in dough

注: 不同字母表明存在显著性差异($P < 0.05$), 图 2~图 4 同。

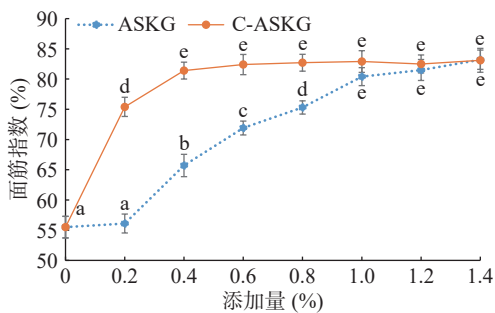


图2 ASGK 和 C-ASKG 不同添加量对面团面筋指数的影响
Fig.2 Effects of different addition amounts of ASKG and C-ASKG on the gluten index in dough

量而提高湿面筋量,但其高粘性无助于继续加强面筋筋力。与此相同,在 ASKG 添加量大于 1.0% 时,也有类似表现(图 1、图 2)。与 ASKG 添加相比,C-ASKG 在 0.4% 时即达到 1.0 % ASKG 的添加效果,湿面筋量为 $33.4\%\pm0.4\%$ (图 1),面筋指数为 $81.4\%\pm1.4\%$ (图 2)。上述结果表明,羧甲基化改性后的 ASKG 因具备更高的水溶性,可将最佳使用剂量从 1.0% 降至 0.4%。

2.2.2 C-ASKG 对含油脂小麦粉湿面筋量、面筋指数的影响 面团调制常添加油脂,油脂可改善面团的操作性能,润滑搅拌以降低摩擦温度,提高延展性、持气能力,减少水分挥发,但会降低小麦粉吸水性,主要是由于油脂附着于蛋白和淀粉颗粒形成不透性油膜,限制面团的吸水性,湿面筋量减少^[9-10]。本研究以小麦胚芽油和棕榈硬脂添加入小麦粉,分析 C-ASKG 对含油脂小麦粉湿面筋量、面筋指数的影响。

研究结果(图 3)表明,C-ASKG 添加可以提高含油脂小麦粉的湿面筋量。在含 5% 小麦胚芽油的小麦粉中,0.8% C-ASKG 为最佳添加量,湿面筋量为 $28.9\%\pm0.3\%$;在含 5% 棕榈硬脂的小麦粉中,0.6% C-ASKG 为最佳添加量,湿面筋量为 $30.4\%\pm0.32\%$,超过最佳添加量则湿面筋量几乎不增加。对比 ASKG,在含 5% 小麦胚芽油和棕榈硬脂的小麦粉中,随着 ASKG 添加的增加,湿面筋量先增加后减小,在 1.0% ASKG 时均达到最高,湿面筋量分别为 $29.9\%\pm0.2\%$ (小麦胚芽油)和 $30.2\%\pm0.2\%$ (棕榈硬脂),无显著性

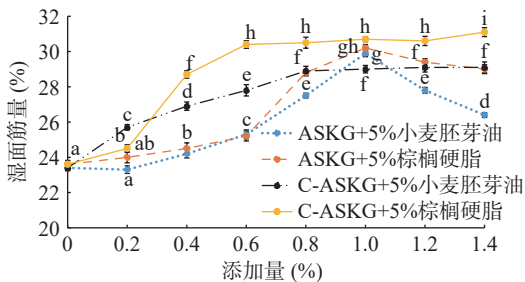


图3 ASGK 和 C-ASKG 不同添加量对含小麦胚芽油和棕榈硬脂小麦粉湿面筋量的影响

Fig.3 Effects of different addition amounts of ASKG and C-ASKG on the wet gluten content of wheat germ oil and palm stearin added flour

差异($P>0.05$)。虽然在 0.2%~0.8% 的剂量范围内,C-ASKG 较 ASKG 对湿面筋量有更大的增加速率,但从图 3 可知,在 0.6%~0.8% C-ASKG 和 1.0% ASKG 的最佳添加量条件下,两者提高含油脂小麦粉的湿面筋量的作用近似。

对于面筋指数来说,随小麦胚芽油小麦粉中 C-ASKG 的增加而增加,添加量 1.4% 时面筋指数为 $80.5\%\pm1.6\%$,在棕榈硬脂小麦粉中 0.8% C-ASKG 为最佳添加量,面筋指数为 $80.3\%\pm1.7\%$,两者无显著性差异($P>0.05$)。而 C-ASKG 与 ASKG 相比,无明显优势,其随添加量的变化面筋指数曲线趋于重叠(图 4)。

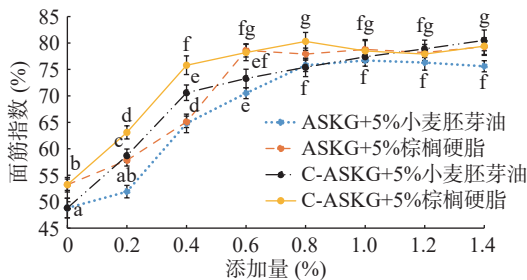


图4 ASGK 和 C-ASKG 不同添加量对含小麦胚芽油和棕榈硬脂小麦粉面筋指数的影响

Fig.4 Effects of different addition amounts of ASKG and C-ASKG on the gluten index of wheat germ oil and palm stearin added flour

综合上述结果,C-ASKG 在小麦粉和含油脂小麦粉中的表现不同,ASKG 羧甲基化后可大幅降低在小麦粉中的使用剂量,然而,在含油脂小麦粉中无此表现,提示 C-ASKG 对于面团筋力的提升受限于小麦粉添加油脂的影响。也就是说,ASKG 羧甲基化与否,并不影响其在含油脂小麦粉中的增筋作用,水油面团调制中采用 C-ASKG 无益于增筋效果提升。鉴于其湿面筋量和面筋指数二项指标接近于直接添加 ASKG,不再进一步探讨 C-ASKG 应用于含油脂小麦粉的粉质特性和馒头微观结构。

2.2.3 C-ASKG 对小麦粉粉质特性的影响 上述结果表明,0.4% C-ASKG 是小麦粉中的最佳添加剂量,本研究进一步分析其粉质特性,探讨 C-ASKG 对小麦粉加工的影响,并以无添加空白、0.4% 和 1.0% ASKG 添加样作对照。

粉质特性结果(表 2)表明,与无添加空白组对

表 2 ASKG 和 C-ASKG 对小麦粉粉质特性的影响

Table 2 Effects of ASKG and C-ASKG on farinograph qualities of flour

添加	吸水率 (%)	形成时间 (min)	稳定时间 (min)	弱化度 (BU)
0	61.3±0.2 ^a	3.5±0.1 ^b	4.7±0.1 ^a	46.0±1.3 ^c
0.4% ASKG	62.4±0.3 ^b	3.6±0.2 ^b	6.1±0.2 ^b	21.0±0.9 ^b
1.0% ASKG	64.1±0.1 ^c	3.1±0.1 ^a	8.2±0.2 ^c	10.0±1.2 ^a
0.4% C-ASKG	65.8±0.2 ^d	4.1±0.1 ^c	9.3±0.2 ^d	11.0±1.0 ^a

注: 同列不同小写字母表示存在显著性差异($P<0.05$),表3同。

比, 0.4% C-ASKG 可增加面团吸水率、形成时间和稳定时间, 降低弱化度。0.4% C-ASKG 吸水率和稳定时间显著优于 0.4% 和 1.0% ASKG ($P < 0.05$), 弱化度显著优于 0.4% ASKG ($P < 0.05$), 但与 1.0% ASKG 相比无显著差异 ($P > 0.05$)。相比无添加空白组, 添加 0.4% C-ASKG 的面团形成时间增大, 但在添加 0.4% ASKG 时不变而 1.0% ASKG 时变小, 其原因有待进一步探讨。综合分析, 添加 0.4% C-ASKG 的粉质特性各项指标优于 0.4% 以及 1.0% ASKG, 吸水率为 $65.8\% \pm 0.2\%$, 形成时间为 4.1 ± 0.1 min, 稳定时间为 9.3 ± 0.2 min, 弱化度为 11.0 ± 1.0 BU。

2.2.4 C-ASKG 对小麦粉馒头微观结构的影响 已有研究表明, ASKG 破坏面筋蛋白网络结构的形成和连续性, 然而其具有高粘性, 仍可将散碎的面筋蛋白粘合, 为馒头提供结构良好的支撑^[20]。因此, 通过电镜考察面团中面筋蛋白的联结并不能反映 ASKG 在小麦粉中的应用特性, 而其面制品如馒头等微观结构则有较好说服力。为此, 本研究通过电镜分析最佳添加量 0.4% C-ASKG 对馒头微观结构的影响, 无添加空白和 0.4% ASKG 为对比组。

600 倍电镜结果显示, 无添加组(图 5a)有较多淀粉颗粒和少量蛋白散落于面筋网络外; 0.4% ASKG 添加组(图 5c)中颗粒与面筋网络的联结略粗糙但较完整; 0.4% C-ASKG 添加组(图 5e)的蛋白和淀粉颗粒紧密结合形成较平整的网络结构。以 5000 倍放大图像观察, 无添加组(图 5b)蛋白和淀粉颗粒连接疏松, 存在空洞; 0.4% ASKG 添加组(图 5d)的面筋网络增强, 大颗粒淀粉由面筋蛋白网络连接, 但

稍显疏松; 0.4% C-ASKG 添加组(图 5f)的网络结构进一步增强, 颗粒紧密连接融为连续相。由此可见, 羧甲基化改性后的 ASKG 可提升面团交联的网络结构。

2.3 E-ASKG 对含油小麦粉面团加工特性的影响

上述结果表明, C-ASKG 与 ASKG 比较, 未显著提高含油脂小麦粉的湿面筋含量和面筋指数, 增筋效果不佳。由此, 本研究进一步探讨以乳化 ASKG(含不同种类油脂)方式形成含油面团的增筋效果。不同油脂对面团加工的影响不同, 主要表现在质构特性方面^[23-24], 本研究采用常用的液态和固态油脂, 将 5% 小麦胚芽油和棕榈硬脂通过均质乳化方式, 与 1.0% ASKG、蒸馏水一起形成乳浊液(E-ASKG), 添加入小麦粉, 以无添加空白和 1.0% C-ASKG 添加入含 5% 油脂小麦粉为对照, 通过质构仪和电镜微观分析 E-ASKG 在含油小麦粉面团中的应用特性。

2.3.1 E-ASKG 对小麦粉面团质构特性的影响 一般认为, 油脂可降低面团的弹性和粘性^[23], 质构分析结果显示, ASKG 可使水油面团弹性和粘性不下降或提高(表 3), 改善加工特性。有研究显示, 固态脂面团的硬度、胶着性、咀嚼性、内聚性等特性比液态油面团高^[24], 本研究结果显示, ASKG 添加入含油脂小麦粉, C-ASKG+W(小麦胚芽油, 液态)和 C-ASKG+S(棕榈硬脂, 固态)实验组也因其含有不同形态油脂而与上述结论有一致的对应表现(表 3), C-ASKG 不能消除液态或固态油脂应用于小麦粉产生的质构特性差异。

E-ASKG 对小麦粉面团粘力、拉丝长度、硬度、胶着性、内聚性等质构特性的改善, 优于 C-ASKG 添加入含油脂小麦粉(表 3)。值得注意的是, 对比小麦胚芽油和棕榈硬脂乳化的二种 E-ASKG, 除胶着性以外, 两者对面团各特性参数影响无显著性差异 ($P > 0.05$)(表 3), 表明 ASKG 乳化改性用油脂的不同形态, 基本不影响其对面团的作用, E-ASKG 可以等效促进小麦胚芽油和棕榈硬脂这二种不同形态油脂形成水油面团。

2.3.2 E-ASKG 对小麦粉馒头微观结构的影响 观察 600 倍电镜结果, E-ASKG 对面筋网络有较好提升, 同样添加量条件下, C-ASKG 形成的面筋结构不均匀, 油脂膜使蛋白和淀粉颗粒分散, 存在较粗糙部分, 紧实度略差(图 6 a、b); 而 E-ASKG 添加可以克服油脂膜的隔离作用, 将颗粒紧密连接为整体, 小麦胚芽油和棕榈硬脂两种不同乳化油相的效果相当(图 6 c、d), 结论与质构分析结果一致。

3 讨论

已有研究显示, 高剂量添加引起的过高硬度降低产品口感, ASKG 添加量超过 1.3% 时荞麦面包比容和感官评价下降^[7], 大于 1.5% 时, 小麦粉面包感官评分呈下降趋势^[8]。本研究结果表明, 通过羧甲基化提高 ASKG 水溶性, 可将 ASKG 在小麦粉中的

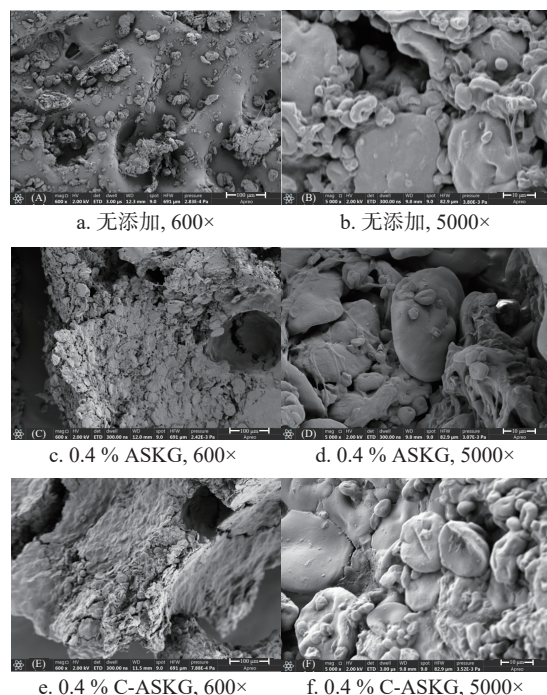


图 5 ASKG 和 C-ASKG 对馒头微观组织结构的影响

Fig.5 Effects of ASKG and C-ASKG on the microstructure of steamed bread

表 3 C-ASKG 和 E-ASKG 对小麦粉面团质构特性的影响

Table 3 Effects C-ASKG and E-ASKG on texture characteristics of wheat flour dough

添加	粘力(g)	拉丝长度(mm)	硬度(g)	弹性(mm)	粘性(mJ)	胶着性	咀嚼性(mJ)	内聚性
0	23±0 ^a	3.67±0.13 ^a	245±5 ^d	6.10±0.02 ^a	0.70±0.01 ^a	135±4 ^c	8.3±0.2 ^c	0.60±0.02 ^a
C-ASKG+W	32±1 ^c	4.15±0.10 ^b	117±3 ^b	6.13±0.04 ^a	0.95±0.00 ^c	94±2 ^c	6.7±0.1 ^a	0.70±0.02 ^b
C-ASKG+S	28±1 ^b	4.89±0.21 ^c	154±2 ^c	6.25±0.01 ^b	0.85±0.04 ^b	101±2 ^d	7.6±0.1 ^b	0.79±0.01 ^c
E-ASKG/W	37±2 ^d	5.56±0.22 ^d	97±2 ^a	6.27±0.03 ^b	0.96±0.03 ^c	74±2 ^a	6.6±0.3 ^a	0.85±0.03 ^d
E-ASKG/S	35±1 ^d	5.50±0.07 ^d	94±2 ^a	6.29±0.03 ^b	0.97±0.03 ^c	86±1 ^b	6.6±0.3 ^a	0.88±0.02 ^d

注: C-ASKG+W, 1.0% C-ASKG 添加入含 5% 小麦胚芽油的小麦粉; C-ASKG+S, 1.0% C-ASKG 添加入含 5% 棕榈硬脂的小麦粉; E-ASKG/W, 50.0% ASKG-小麦胚芽油乳化液(小麦粉中含 1.0% ASKG 和 5% 小麦胚芽油); E-ASKG/S, 50.0% ASKG-棕榈硬脂乳化液(小麦粉中含 1.0% ASKG 和 5% 棕榈硬脂)。

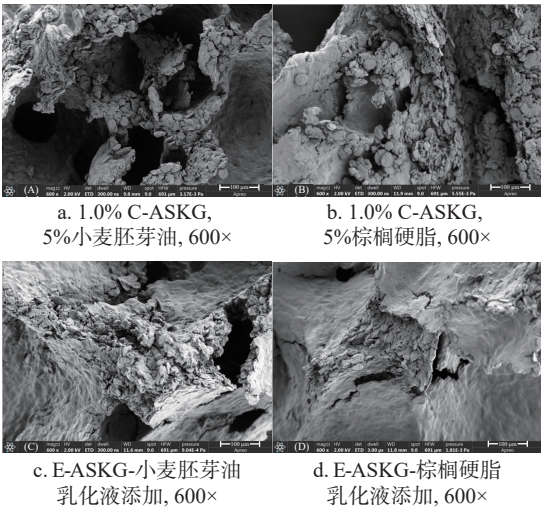


图 6 C-ASKG 和 E-ASKG 对馒头微观组织结构的影响

Fig.6 Effects of C-ASKG and E-ASKG on the microstructure of steamed bread

使用量从 1.0% 下降到 0.4%, 在有效增筋改善加工性能的同时, 避免因高剂量影响产品口感。在水煮面制品的相关研究中, 面条中 ASKG 的添加量为 1%~1.5%^[25-27], 而在饺子皮中添加 0.2%~0.25% 的 C-ASKG 即可提高饺皮弹性和耐煮性, 冻裂率下降 42.85%^[4], 显示 C-ASKG 的使用剂量低于 ASKG, 与本研究结果一致。

粉质分析指标主要包括吸水率、形成时间、稳定时间、弱化度等。形成时间和稳定时间长的面团韧性好, 粘弹性大, 面筋的强度大。弱化度表明面团的耐破坏程度, 也就是对机械搅拌的承受能力, 弱化度越小表明小麦粉面筋越强。面筋强度高的面团加工性质较好, 耐醒发不易流变^[28]。0.4% C-ASKG 可增加面团吸水率、形成时间和稳定时间, 降低弱化度, 总体效果优于同剂量 ASKG, 甚至优于 1.0% ASKG。

以面团制作的馒头微观结构进一步显示, C-ASKG 的水溶性提高, 能促进水分向蛋白质分子和淀粉颗粒的渗透, 蛋白溶胀以及淀粉糊化、吸附和粘结充分, 分散空间减小以利于颗粒接触, 加强网络结构。

本研究显示, C-ASKG 应用于小麦胚芽油和棕榈硬脂两种油脂 5% 添加小麦粉中, 应根据油脂不同形态特性, 提高使用剂量达 0.8%~1.4%, 但 C-ASKG 在含油脂小麦粉中的增筋效果与 ASKG 近似, 说明

C-ASKG 不适用于水油面团调制的增筋应用。

ASKG 分子结构中含一定量的甲氧基、乙酰基等亲油基团^[29], 但乳化性相对于阿拉伯胶、印度树胶等公认的天然多糖乳化剂还有较大差距。已有报道显示, ASKG 通过与油相均质^[16]、酶水解^[30]和乙酰化处理^[31]等可提高乳化性。本研究采用 ASKG 与小麦胚芽油和棕榈硬脂两种不同形态的油相均质乳化, 质构和电镜结果表明, 以 1.0% ASKG 和 5% 油脂均质乳化, 此不同形态(固、液)油脂制备的两种 E-ASKG 乳化液, 对面团的增筋效果有较一致的良好表现, 优于以 C-ASKG 添加入含油脂小麦粉, E-ASKG 更适用于含油脂面团的调制。

4 结论

本研究结果表明, 羧甲基化可提高 ASKG 水溶性, 促进水分渗透以利于小麦粉蛋白溶胀和淀粉糊化, 颗粒分散度减小有助于形成面团网络结构, 羧基化处理可使 ASKG 在小麦粉中的最佳添加量可从 1.0% 降至 0.4%, 有效提高了小麦粉的湿面筋量、面筋指数、吸水率、形成时间和稳定时间, 降低弱化度, 改善了面团的加工特性, 但在含油脂面团中性能表现较弱, 经液态或固态油相乳化处理的 ASKG 则更适用于含油脂面团的调制, 1.0% 沙蒿胶和 5% 油脂以乳化方式添加, 可降低不同类型油脂在面团应用中的差异, 有效改善面团各项特性。

参考文献

[1] LI J J, JIN H, YAN X M, et al. The anti-obesity effects exerted by different fractions of *Artemisia sphaerocephala* Krasch polysaccharide in diet-induced obese mice[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2021, 182: 825-837.

[2] REZA S C, ALI N, ERFAN M, et al. Artemisia species as a new candidate for diabetes therapy: A comprehensive review[J]. *Current Molecular Medicine*, 2021, 21(10): 832-849.

[3] KAKAR M U, CHHALGARI M U. A review on polysaccharides from *Artemisia sphaerocephala* Krasch seeds, their extraction, modification, structure, and applications[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2020, 252: 117113.

[4] ZHANG K L, LI X W, LI J J, et al. Tunable controlling the retrogradation rate of wheat starch using different fractions of *Artemisia sphaerocephala* Krasch polysaccharide[J]. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 2021, 26(5): 100272.

[5] MUTHUSAMY S, UDAYAKUMAR G P, NARALA V R. Recent advances in the extraction and characterization of seed poly-

- saccharides, and their bioactivities: A review[J]. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 2021, 26: 100276.
- [6] DUDU O E, MA Y, ADELEKAN A, et al. Bread-making potential of heat-moisture treated cassava flour-additive complexes[J]. *LWT- Food Science and Technology*, 2020, 130: 109477.
- [7] 张瑞珍, 赵丽芹, 张曦. 沙蒿胶对荞麦面包品质的影响[J]. *农产食品科技*, 2007, 1(2): 12-14. [ZHANG R Z, ZHAO L Q, ZHANG X. Effect of different additions of Shahao flour on buckwheat bread quality[J]. *Agriculture Food Products Science and Technology*, 2007, 1(2): 12-14.]
- [8] 高博, 黄卫宁, 邹奇波, 等. 沙蒿胶提高冷冻面团抗冻性及其抗冻机理的探讨[J]. *食品科学*, 2006, 12(27): 94-99. [GAO B, HUANG W N, ZOU Q B, et al. Effect of *Artemisia sphaerocephala* Krasch gum on microstructure and gluten of frozen dough[J]. *Food Science*, 2006, 12(27): 94-99.]
- [9] ZHANG T, GUAN E, YANG Y, et al. Underlying mechanism governing the influence of peanut oil addition on wheat dough viscoelasticity and Chinese steamed bread quality[J]. *LWT*, 2021: 113007.
- [10] SCHOPT M, WEHRLI M C, BECKER T, et al. Fundamental characterization of wheat gluten[J]. *European Food Research and Technology*, 2021, 247(4): 985-997.
- [11] RODRIGUES C, SOUZA V G L, COELHO I, et al. Bio-based sensors for smart food packaging-Current applications and future trends[J]. *Sensors*, 2021, 21(6): 2148.
- [12] SANI M A, AZIZI-LALABADI M, TAVASSOLI M, et al. Recent advances in the development of smart and active biodegradable packaging materials[J]. *Nanomaterials*, 2021, 11(5): 1331.
- [13] YAO X L, YAO X U, CHEN X Y, et al. Construction of *Artemisia sphaerocephala* Krasch. polysaccharide based hydrogel complexed with pullulan and gelatin crosslinked by ferric ions[J]. *Food Chemistry*, 2022, 373: 131567.
- [14] ZHAO S M, LI Z, LI N N, et al. Effects of high-pressure processing on the functional properties of pork batters containing *Artemisia sphaerocephala* Krasch gum[J]. *Journal of Food Science*, 2021, 86(11): 4946-4957.
- [15] 曹晓霞. 羧甲基沙蒿胶的制备、性质及应用[D]. 无锡: 江南大学, 2007. [CAO X X. The preparation, properties and applications of carboxymethyl *Artemisia* glue[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2007.]
- [16] 唐凌云, 胡新中, 方亚鹏, 等. 沙蒿多糖乳化特性研究[J]. *食品工业科技*, 2014, 35(23): 59-62. [TANG L Y, HU X Z, FANG Y P, et al. Research of the emulsification properties of *Artemisia sphaerocephala* Krasch polysaccharide[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2014, 35(23): 59-62.]
- [17] 马启昱, 刘忠义, 付满, 等. 油脂对面团特性及面粉品质影响研究进展[J]. *食品与机械*, 2021, 37(10): 235-240. [MA Q Y, LIU Z Y, FU M, et al. Research progress on the effect of oil on dough properties and quality of dough product[J]. *Food and Machinery*, 2021, 37(10): 235-240.]
- [18] 郭孝源, 陆启玉, 章绍兵, 等. 不同种类油脂对面粉品质的影响研究[J]. *食品科技*, 2013, 38(4): 160-164. [GUO X Y, LU Q Y, ZHANG S B, et al. Effects of different kinds of oils on flour quality[J]. *Food Science and Technology*, 2013, 38(4): 160-164.]
- [19] 侯晓晖, 王煦, 张军. 用羧甲基化法改善沙蒿胶水溶性的研究[J]. *精细石油化工进展*, 2004, 5(9): 30-32. [HOU X H, WANG X, ZHANG J. Improving water solubility of *Artemisia* glue by carboxymethylization[J]. *Advance in Fine Petrochemicals*, 2004, 5(9): 30-32.]
- [20] 张帅. 魔芋胶和沙蒿胶对小麦面团特性的影响及其作用机制研究[D]. 重庆: 西南大学, 2019. [ZHANG S. Effects of konjac gum and *Artemisia sphaerocephala* Krasch. gum on the properties of wheat dough and its mechanism[D]. Chongqing: Southwest University, 2019.]
- [21] 曹晓霞, 张燕萍, 曹琳娜. 羧甲基沙蒿胶的性质研究[J]. *食品与发酵工业*, 2007, 33(2): 51-55. [CAO X X, ZHANG Y P, CAO L N. The properties of carboxymethyl *Artemisia* glue[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2007, 33(2): 51-55.]
- [22] LI X W, LI J J, Yin X X, et al. Effect of *Artemisia sphaerocephala* Krasch polysaccharide on the gelatinization and retrogradation of wheat starch[J]. *Food Science and Nutrition*, 2019, 7(12): 4076-4084.
- [23] 沈忱, 蒋予箭, 林家莲. 油脂对面团物理特性的影响[J]. *食品与机械*, 2007, 3: 45-47. [SHEN C, JIANG Y J, LIN J L. The influence of fat and oil on physical property of dough[J]. *Food and Machinery*, 2007, 3: 45-47.]
- [24] 马传国, 盖争艳, 姜丽娟. 油脂对面团特性及微观结构的影响[J]. *食品科学*, 2012, 33(11): 43-46. [MA C G, GAI Z Y, LOU L J. Effect of fat and oil on rheological properties and microstructure of wheat flour dough[J]. *Food Science*, 2012, 33(11): 43-46.]
- [25] 李晓娜, 开鑫, 赵卉, 等. 植物乳杆菌改性玉米粉制作玉米面条的工艺及品质分析[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 5: 185-189. [LI X N, YUAN X, ZHAO H, et al. Processing technique and quality analysis of corn noodles made from *Lactobacillus plantarum* modified corn flour[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2019, 5: 185-189.]
- [26] 闫淑琴, 周一虹, 沈群. 四种亲水胶体对小麦淀粉、面筋蛋白特性及面条品质的影响[J]. *食品研究与开发*, 2011, 32(3): 63-67. [YAN S Q, ZHOU Y H, SHEN Q. The effects of four hydrocolloids on wheat starch, gluten protein properties and noodle quality[J]. *Food Research and Development*, 2011, 32(3): 63-67.]
- [27] 豆康宁, 王飞, 谢金华, 等. 对小麦次粉面条蒸煮品质特性的研究[J]. *食品工业*, 2013, 7: 77-78. [DOU K N, WANG F, XIE J H, et al. Study on the cooking quality of the wheat-middling noodles[J]. *The Food Industry*, 2013, 7: 77-78.]
- [28] DESAI A S, BRENNAN M A, ZENG X A, et al. Physicochemical, structural and *in vitro* starch digestibility properties of starch blended with fish oil and wheat gluten[J]. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2021, 15(4): 3005-3014.
- [29] GUO Q B, CUI S W, WANG Q, et al. Extraction, fractionation and physicochemical characterization of water-soluble polysaccharides from *Artemisia sphaerocephala* Krasch seed[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2011, 86(2): 831-836.
- [30] LI J J, HU X Z, YAN X M, et al. Effects of hydrolysis by xylanase on the emulsifying properties of *Artemisia sphaerocephala* Krasch polysaccharide[J]. *Food Hydrocolloids*, 2016, 76: 158-163.
- [31] LI J J, HU X Z, LI X P, et al. Effects of acetylation on emulsifying properties of *Artemisia sphaerocephala* Krasch polysaccharide[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2016, 144: 531-540.