

菊糖在油脂类食品中的应用 及其抗氧化性的研究进展

熊政委^{1,2,3}, 罗倩倩³, 惠俊敏^{1,2,3}, 况刚^{1,2,3}, 王存^{1,2,3}, 任彦荣^{1,2,3}, 古小露^{1,2,3}, 蹇宇^{1,2,3,*}

(1. 重庆第二师范学院, 重庆市功能性食品协同创新中心, 重庆 400067;

2. 重庆第二师范学院, 重庆市功能性食品工程技术研究中心, 重庆 400067;

3. 重庆第二师范学院, 生物与化学工程学院, 重庆 400067)

摘要: 菊糖作为一种新型的低能量膳食纤维, 目前在食品中存在着一定应用。本文主要论述了菊糖在油脂类食品中的应用, 主要包括菊糖作为脂肪替代物在油脂类食品中的应用, 对油脂的吸附特性及其影响因素, 以及其抗氧化性。菊糖在油脂类食品中具有抗氧化作用并且可以增强体内的抗氧化系统, 将此特性应用到油脂类食品中具有重要意义。

关键词: 菊糖, 低脂食品, 抗氧化, 吸附

Research Progress of the Application of Inulin in Fat Food and Its Antioxidant Activity

XIONG Zheng-wei^{1,2,3}, LUO Qian-qian³, HUI Jun-min^{1,2,3}, KUANG Gang^{1,2,3},
WANG Cun^{1,2,3}, REN Yan-rong^{1,2,3}, GU Xiao-lu^{1,2,3}, QIAN Yu^{1,2,3,*}

(1. Chongqing Collaborative Innovation Center for Functional Food,
Chongqing University of Education, Chongqing 400067, China;

2. Chongqing Engineering Research Center of Functional Food, Chongqing University of Education, Chongqing 400067, China;

3. School of Biological and Chemical Engineering, Chongqing University of Education, Chongqing 400067, China)

Abstract: As a new low-energy dietary fiber, inulin is currently had a certain application in food industry. This paper mainly discusses the application of inulin in oil food, including the application of inulin as fat substitute in oil food, the adsorption characteristics of oil and its influencing factors, as well as its antioxidant activity. It is concluded that inulin has antioxidation effect in fatty foods and can enhance the antioxidant system *in vivo*. It is of great significance to apply this characteristic to fat food.

Key words: inulin; low-fat food; antioxidation; adsorption

中图分类号: TS201.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2019)15-0318-04

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2019.15.052

引文格式: 熊政委, 罗倩倩, 惠俊敏, 等. 菊糖在油脂类食品中的应用及其抗氧化性的研究进展[J]. 食品工业科技, 2019, 40(15): 318-321.

菊糖(Inulin)又称菊粉、土木香粉, 聚合度(DP)范围分布在2~60, 平均DP在10~12, 其结构是由D-果糖通过 $\beta(1\rightarrow2)$ 糖苷键连结而成的线性直链多糖, 末端通常以糖苷键的方式连接一个葡萄糖残基^[1]。广泛分布在自然界, 其中菊芋(Helianthus tuberosus)和菊苣(Chicory)最适合作为生产菊粉的原料, 它们来源丰富, 菊粉含量高, 占其块茎干重的70%以上。

菊糖作为一种天然果聚糖, 具备多种生理功能。菊糖可以调节体内血脂和血糖的水平, 降低血脂; 菊

糖能够到达大肠被双歧杆菌利用, 可以使双歧杆菌增长8~10倍, 产生的有机酸能够使肠道的pH降低, 抑制腐败菌的生长, 从而改善肠道环境; 可以加快肠道蠕动、润肠通便、防止便秘、抑制体内产生有害的发酵性产物; 菊糖还具有保护肝脏、降低体内致癌化合物含量、预防癌症的作用; 还能够促进钙、镁、铁等矿物质吸收和一些维生素合成等^[2-6]。菊糖还具有良好的食品加工特性^[7], 目前主要用于乳制品、面制品等食品中^[8]。

目前菊糖在油脂类食品中的应用较少, 最新应

收稿日期: 2018-10-09

作者简介: 熊政委(1989-), 男, 硕士, 讲师, 研究方向: 食品安全与质量控制, E-mail: 842406970@qq.com。

* 通讯作者: 蹇宇(1976-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 食品营养和功能性食品, E-mail: qianyubaby@126.com。

基金项目: 重庆高校创新团队建设计划资助项目(CXTDX201601040)。

表1 常见的几种菊糖低脂食品^[22-23]
Table 1 Several common inulin low-fat foods^[22-23]

低脂食品	优势
菊糖低脂奶酪	菊糖对产品的风味、组织、口感和营养水平均有所改善。有类似于全脂的微观光滑的结构。
菊糖肉馅	添加菊糖可以替代肉馅中的脂肪,感官方面变化不大,容易被消费者接受。
菊糖发酵香肠	菊糖作为脂肪替代品,可以应用到低脂发酵香肠,不但提供了比较软的质地,咀嚼性、弹性、内聚性和黏附性与传统香肠非常接近,而且菊糖的增加减少了烹饪损失,乳化稳定性也提高。此外,还增加了肉制品中纤维的含量。

用主要集中在三个方面:一是作为脂肪的替代物,降低油脂类食品的脂肪;二是对脂肪的吸附和包裹性;三是防止脂肪氧化。尤其是后两点,应用研究较少。本文主要对菊糖这三方面的应用进行综述,并对其未来在食品中的应用进行展望。

1 菊糖作为脂肪替代物在油脂类食品中的应用

菊糖与水充分混合后形成的凝胶具有类似奶油的结构能提供润滑的口感,可以作为油脂类食品中脂肪的替代物,降低食品中的脂肪含量^[9]。此特性目前被广泛应用于各种油脂类食品,不仅能降低油脂类食品的脂肪,还能提高食品的营养价值、改变食品的相关特性^[10]。研究发现添加不同质量比的菊糖对切达干酪活菌数量、理化特性、质构及感官评定的存在一定影响,结果表明,添加9%的菊糖明显改善了干酪的含水量和质构特性,从而使得切达干酪有较柔软的质地和低热量^[11]。将菊糖代替脂肪加到奶酪中,研究结果表明奶酪的感官特性和质地都能被消费者接受,除此之外菊糖的添加能明显提高凝乳的产量、质量和均匀性^[12]。将菊糖应用到植脂搅奶油中,取代50%的脂肪得到的植脂搅奶油具有与全脂样品相似的性质^[13]。用菊糖作为脂肪替代物制备的具有功能性的番石榴慕斯,无论是在营养价值还是感官评价中都与添加脂肪的对照组产品相当,但添加菊糖的慕斯增加了产品的膳食纤维含量,更加符合健康食品的要求^[14]。在肉制品中添加菊糖,可以使肉制品中的纤维含量增加、能量降低,有利于肉制品的营养均衡^[15]。以蔗糖酯和菊粉混合物代替部分油脂,添加到曲奇饼干中,得到的曲奇饼干口感和风味与传统曲奇接近,其中油脂替代物中菊粉和蔗糖酯的混合物比例为4:6最佳^[16]。用菊糖替代冰淇淋中的部分脂肪,当稳定菊糖、奶油、乳化剂添加量分别为4.99%、4.06%、0.46%时,可以得到高感官品质的冰淇淋^[17]。以菊糖作为脂肪替代品添加到低脂酸奶中,发现以菊糖作为脂肪替代品的酸奶微观结构比较均匀、疏松且开放度较高^[18]。菊糖作为脂肪替代品能够增加脱脂牛奶的持水性和黏度,略微增加脱脂牛奶的白度和pH,改善脱脂牛奶的感官品质和组织状态^[19]。以菊粉、魔芋、聚葡萄糖、卡拉胶为主要原料制得脂肪丁替代物,可以代替红肠中的脂肪丁,降低红肠中的脂肪含量,菊糖的最佳添加量为1.00 g/100 mL^[20]。同时也有类似研究表明,在红肠贮藏过程中,脂肪丁替代物与肥肉丁的质构参数差异并不显著^[21]。总体来说,菊糖作为脂肪替代品可

以替代油脂食品中的脂肪,不但降低了脂肪含量,而且还产生了很多有利作用。常见的几种菊糖低脂食品及其优势见表1。

2 菊糖对油脂的吸附特性及其影响因素

菊糖对油脂具有一定的包裹作用,这使菊糖能有效地降低人体对脂肪的吸收,从而达到预防脂肪过剩的效果。影响菊糖对油脂吸附特性的主要因素包括:脂肪酸的种类、温度和菊糖的聚合度。菊糖对油脂中的吸附能力大小以吸附量来衡量。吸附量指每克菊糖能包裹的脂肪的克数(g/g)。计算吸附量主要的方法是通过将菊糖和油脂混合后水浴再离心,通过质量比得出^[24]。

一般来说,低温促进菊糖对植物性油脂的吸附,高温则促进菊糖对动物性油脂的吸附;菊糖在50℃以下都利于动物油脂的吸收;而对于胆固醇,菊糖对其有一定的吸附作用从而会影响人体对胆固醇的吸收^[25],改善了血脂水平。

2.1 脂肪酸种类和温度对菊糖吸附作用的影响

菊糖对油脂的吸附,分为饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸,而饱和脂肪酸通常以猪油为代表,不饱和脂肪酸通常以大豆油和花生油为代表。动物油脂与植物油脂存在一定的差别,比如低温下,动物油脂为固态,植物油脂为液态,因此菊糖对二者的吸附能力存在显著差异。在菊糖对不饱和脂肪酸吸附作用的实验中,随着温度的提高,菊糖对不饱和脂肪酸的吸附作用呈上升的趋势,在低于37℃时,菊糖的吸附量变化不大,最大吸附量为1.71 g/g,在50~90℃温度范围内,菊糖对不饱和脂肪酸的吸附量随温度的提高而显著升高,在90℃条件下油脂吸附量达到了1.77 g/g;而以猪油为代表的饱和脂肪酸,菊糖对其吸附作用相对不饱和脂肪酸来说就复杂得多,这大概与猪油本身具有较高的熔点(28~48℃)有一定关系,低温条件下的猪油呈固态状,一定程度上阻碍了菊糖对其吸收,但是大致的规律是整体随温度的上升而下降,在37℃下,菊糖对饱和脂肪酸的吸附量最大,大致为0.75 g/g菊糖^[26]。因此在37℃下,菊糖应用在各种食品中有利于降低脂肪吸收和食物的热量,具有降血脂、减肥等保健功能。

2.2 不同聚合度对菊糖吸附作用的影响

菊糖不同的聚合度对油脂吸附的影响非常大,研究表明菊糖的聚合度会影响菊糖的吸附特性^[27],主要是可能因为不同聚合度的菊糖水溶性^[28]不一样,并且它们的表面活性基团也不相同,一方面天然菊糖(同时含有长链与短链)的亲水性比长链菊糖

强,并且长链菊糖链段之间较大的孔隙和较稀疏的堆积,使得油脂吸附能力增加;另一方面,温度逐渐升高,使原本结构规则、堆积紧密的结构遭到严重破坏,导致外面暴露更多的亲水基团(-OH),引起油脂吸附能力的下降。从而导致它们对油脂的吸附性也有很大差异。对于植物性油脂,天然菊糖对油脂的吸附量因温度的升高缓慢下降,在30℃时,吸附量最大(1.17 g/g),30℃以后菊糖的吸附量随温度升高先是趋于平缓,最终呈明显下降趋势,而长链菊糖对油脂的吸附量则随温度的升高呈现不明显的变化,数据表明温度在30~90℃时,吸附量仅变化了0.16 g/g;对于动物性油脂,天然菊糖对油脂的吸附量,在小于50℃的温度条件下随着温度升高而升高,而长链菊糖对油脂的吸附量随温度的上升而上升^[24]。由此可见,不同聚合度的菊糖对油脂具有一定程度的吸附作用,但是大部分报道都是对天然菊糖和长链菊糖进行的研究,几乎没有对于其他聚合度菊糖对油脂吸附的研究。

3 菊糖的抗氧化性

菊糖具有一定程度的抗氧化能力,对体内的自由基具有一定程度的清除效果,对体内的抗氧化系统具有一定的增强作用,在油脂食品中,菊糖能明显地抑制食品中油脂的氧化程度。

3.1 其他物质对菊糖抗氧化的增效作用和抗氧化效果对比

研究发现某些物质对菊糖抗氧化性存在增效作用。将菊糖添加到菜籽油中,发现其抗氧化能力随菊糖添加量的增大而提高,分别将0.05%菊糖与0.05% V_C、0.05%菊糖与0.05%柠檬酸加入菜籽油中,进行抗氧化性实验,研究结果表明菊糖单独添加时具有明显的抗氧化活性,并且菊糖与V_C、柠檬酸具有协同作用,且高于单独使用一种试剂的抗氧化活性^[29]。菊糖与精氨酸(菊糖与精氨酸的碳氮比为1:5)在100℃的条件下发生美拉德反应,制备的美拉德反应产物,较之于菊糖均有提高,且抗氧化性能随着反应时间的增加而增强^[30]。同时也有研究发现,采用溶媒法对菊粉进行羧甲基化修饰,修饰后的菊糖抗氧化性也得到提高^[31]。

菊糖与市面上几种多糖进行抗氧化效果研究对比,发现菊糖对·OH的清除效果远大于V_C。通过研究菊糖、壳聚糖、灵芝多糖和V_C对DPPH自由基、·OH和O₂⁻·的清除率发现,4种物质对DPPH自由基的清除效果有差异,大致清除率顺序为:V_C>壳聚糖>菊糖>灵芝多糖;对O₂⁻·的清除率顺序为:菊糖>灵芝多糖>壳聚糖>V_C;对于·OH的清除效果大小顺序与对DPPH相同,清除率顺序也为:V_C>壳聚糖>菊糖>灵芝多糖^[32]。说明了菊糖对DPPH自由基、·OH和O₂⁻·有一定程度的清除能力,而对超氧阴离子的清除能力比V_C、壳聚糖和灵芝多糖都要好。菊糖衍生物比菊糖具有更好的抗氧化活性,接枝到菊糖衍生物上的吡啶上氨基数目和位置会影响菊糖的清除效果^[33]。

3.2 菊糖对自由基的清除能力和体内抗氧化作用

菊糖具有一定程度的抗氧化效果,且抗氧化效

果与其质量浓度呈正相关^[34]。研究表明浓度为0.10 mg/mL的菊糖对DPPH自由基清除能力为91.30%,抗超氧阴离子自由基的能力为205.59 U/L,对羟自由基的抑制率为96.00%^[35]。

菊糖对DPPH自由基、羟自由基、超氧阴离子自由基和烷基自由基这4类自由基的清除率为:羟自由基>DPPH自由基>超氧阴离子自由基>烷基自由基,并且他们的抗氧化程度与V_C相当^[36]。通过研究菊芋菊糖(纯化后的菊糖)、粗菊糖对·OH和O₂⁻·两种自由基体系的体外抗氧化性发现,粗菊糖的清除效果均好于同浓度的菊芋菊糖,两种菊糖有一定程度的清除羟自由基及抗超氧阴离子自由基的能力,随着菊糖浓度的增加,清除率也随之上升,说明其具有相对较高的抗氧化活性^[37]。菊糖还可通过提高细胞内的谷胱甘肽还原酶、谷胱甘肽过氧化物酶及过氧化氢酶活力,从而发挥其体内抗氧化作用^[38]。因此应用到油脂类食品中,不仅对食品本身有抗氧化,在体内也具有一定的氧化活性。

菊糖添加到食物中,能增强体内抗氧化防御系统,这一过程主要是通过生化反应进行的。研究表明菊糖能调节结肠粘膜中的谷胱甘肽过氧化物酶和过氧化氢酶的基因表达和肝脏中的超氧化物歧化酶和过氧化氢酶来增强抗氧化防御系统^[39]。

菊糖具有一定的抗氧化性,与V_C协调效果更佳,菊糖不仅对体内的自由基具有一定程度的清除效果,对油脂也具有一定的抗氧化效果,不仅能抑制油脂的氧化程度,还能增强体内抗氧化作用。

4 展望

目前各类由于脂肪摄入过多引发的疾病越来越多,单纯性肥胖^[40]在青少年中发病率也越来越高,因此对低脂食品的开发利用也越来越重要。菊糖作为一种脂肪替代物能够使油脂类食品中的能量降低、纤维含量增加,有利于促进人类的膳食营养均衡,遏制肥胖。菊糖对于油脂具有一定的吸附性及抗氧化性,将菊糖添加到油脂类食品中有利于降低脂肪在体内的吸收和增加油脂类食品的抗氧化性。关于菊糖添加到油脂类食品中对其相关特性以及生理功能的影响,未来可能会有更多发现,将菊糖应用到油脂类食品中具有广阔的前景。

参考文献

- [1] Chi Z M, Tong Z, Cao T S, et al. Biotechnological potential of inulin for bioprocesses [J]. *Bioresource Technology*, 2011, 102 (6): 4295-4303.
- [2] Schaafsma G, Slavin J L. Significance of inulin fructans in the human diet [J]. *Comprehensive Reviews in Food Science & Food Safety*, 2015, 14(1): 37-47.
- [3] Wolinsky I, Roberfroid M. Inulin-type fructans: Functional food ingredients [M]. Boca Raton, CRC Press: 2004.
- [4] Bosscher D, Jvan L, Franck A. Inulin and oligofructose as functional ingredients to improve bone mineralization [J]. *International Dairy Journal*, 2006, 16(9): 1092-1097.
- [5] Watzl B, Gierbach S, Roller M. Inulin, oligofructose and

- immunomodulation[J]. British Journal of Nutrition, 2005, 93(1): 49-55.
- [6] Claus S P. Inulin prebiotic: Is it all about bifidobacteria? [J]. Gut, 2017, 66(11): 1968-1974.
- [7] Chiavaro E, Vittadini E, Corradini C. Physicochemical characterization and stability of inulin gels [J]. European Food Research & Technology, 2007, 225(1): 85-94.
- [8] Meyer D, Bayarri S, Túrrega A, et al. Inulin as texture modifier in dairy products [J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25(8): 1881-1890.
- [9] Franck A. Technological functionality of inulin and oligofructose [J]. British Journal of Nutrition, 2002, 87(2): 287-291.
- [10] 于伟. 菊粉保健酸奶的研制[J]. 乳业科学与技术, 2012, 35(4): 7-10.
- [11] 陈朝晖. 菊粉对切达干酪品质的影响[J]. 食品科技, 2016(11): 53-56.
- [12] Arango O, Trujillo A J, Castillo M. Predicting coagulation and syneresis parameters of milk gels when inulin is added as fat substitute using infrared light backscatter [J]. Journal of Food Engineering, 2015, 157: 63-69.
- [13] 胡娟, 金征宇, 等. 菊糖作为脂肪替代品在植脂搅奶油中的应用. 食品工业科技, 2007(9): 60-63.
- [14] Komatsu T R, Buriti F C A, Silva R C D, et al. Nutrition claims for functional guava mousses produced with milk fat substitution by inulin and/or whey protein concentrate based on heterogeneous food legislations [J]. LWT - Food Science and Technology, 2013, 50(2): 755-765.
- [15] 王健. 低脂肉制品技术研究[D]. 天津: 天津商业大学, 2011.
- [16] 刘钊, 谢浩鹏. 低脂低糖曲奇饼的研制. 食品工程, 2016(1): 50-55.
- [17] 杜鹃, 靳志明, 刘胜一, 等. 响应面法优化制备低脂冰淇淋的研究. 食品科技, 2013, 38(12): 104-109.
- [18] 李丹丹, 曹立伟, 周杰, 等. 以菊糖为基质的脂肪替代品在酸奶中的应用. 安徽农业科学, 2012, 40(31): 15420-15423.
- [19] 王文佳, 温瑞, 熊政委, 等. 菊糖的脂肪替代性在脱脂牛奶中的应用. 中国酿造, 2014, 33(5): 58-60.
- [20] 张根生, 姚焯, 姜艳, 等. 哈尔滨红肠中脂肪丁模拟替代物. 肉类研究, 2015, 29(10): 28-32.
- [21] 姚焯. 模拟脂肪丁制备和评价体系建立及其在红肠中应用[D]. 哈尔滨: 哈尔滨商业大学, 2016.
- [22] 曹楠. 益生元对低脂新鲜干酪品质影响的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2016.
- [23] Keenan D F, Resconi V C, Kerry J P, et al. Modelling the influence of inulin as a fat substitute in comminuted meat products on their physico-chemical characteristics and eating quality using a mixture design approach [J]. Meat Science, 2014, 96(3): 1384-1394.
- [24] 罗登林, 姚金格, 徐宝成, 等. 不同聚合度菊粉的吸附特性[J]. 食品科学, 2017, 38(1): 67-73.
- [25] Keenan D F, Resconi V C, Kerry J P, et al. Modelling the influence of inulin as a fat substitute in comminuted meat products on their physico-chemical characteristics and eating quality using a mixture design approach [J]. Meat Science, 2014, 96(3): 1384-1394.
- [26] 许威. 菊粉物化特性的研究[D]. 郑州: 河南科技大学, 2012.
- [27] Silva E K, Zabeto L, Bargas M A, et al. Microencapsulation of lipophilic bioactive compounds using prebiotic carbohydrates: Effect of the degree of inulin polymerization [J]. Carbohydrate Polymers, 2016, 152: 775-783.
- [28] 刘言佳. 不同聚合度菊粉的制备及对乳酸杆菌生长的影响[D]. 大连: 大连工业大学, 2013.
- [29] 杨振, 杨富民. 菊粉对油脂抗氧化性研究[J]. 食品工业科技, 2009(6): 119-121.
- [30] 吴慧伦, 张亦鸣, 关曼, 等. 菊糖与精氨酸的美拉德反应及其产物的抗氧化性能研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(6): 179-190.
- [31] 范三红, 王亚云, 胡雅喏, 等. 菊粉羧甲基化修饰及其抗氧化活性研究[J]. 天然产物研究与开发, 2014, 26: 1472-1476.
- [32] 彭钦. 天然多糖体外抗氧化活性研究[D]. 天津: 天津大学, 2014.
- [33] Hu Y, Zhang J, Yu C, et al. Synthesis, characterization, and antioxidant properties of novel inulin derivatives with amino-pyridine group [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2014, 70(10): 44-49.
- [34] 张宏志, 马艳弘, 黄开红, 等. 菊芋菊糖的提取、聚合度分布及抗氧化活性的研究[J]. 食品与生物技术学报, 2015, 34(10): 1069-1077.
- [35] 乔月芳, 马艳弘, 张宏志, 等. 菊芋中菊糖的热水浸提工艺优化及抗氧化活性[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(3): 291-294.
- [36] 曹泽虹, 董玉玮, 王卫东, 等. 牛蒡菊糖的提取及其抗氧化性能的研究[J]. 农业机械, 2011(35): 135-139.
- [37] 全瑛. 菊芋菊糖的提取纯化、抗氧化活性及菊糖复合饮料工艺研究[D]. 西安: 西北大学, 2010.
- [38] 刘德萍, 吴平. 菊糖抗氧化活性及其机理. 食品与生物技术学报, 2015(9): 1002-1007.
- [39] Wu W T, Chen H L. Konjac glucomannan and inulin systematically modulate antioxidant defense in rats fed a high-fat fiber-free diet [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2011, 59(17): 9194-2000.
- [40] 林丹, 张丽, 陈喜生, 等. 单纯性肥胖儿童瘦素及相关指标与生长发育的相关性研究[J]. 当代医学, 2012, 18(17): 8-10.