

菊粉在面制品中的应用现状及展望

罗登林, 武延辉, 徐宝成, 陈瑞红, 刘建学, 李鹏燕
(河南科技大学食品与生物工程学院, 河南 洛阳 471003)

摘 要: 菊粉作为一种新的膳食纤维, 具有良好的水溶性和色泽、适宜的分子质量大小、与面粉相似的粉体特性和形成优异凝胶质构的能力。与普通膳食纤维相比, 菊粉的生理功能和食品加工性能更加突出。本文介绍了菊粉在食品加工方面的物化特性, 系统回顾普通膳食纤维在面制品中的应用情况和存在的主要问题, 综述近年来国内外在菊粉应用于面团和面制品方面所取得的研究成果, 探究菊粉对面团和面制品品质影响的可能机理, 指出目前研究存在的一些问题, 并对今后发展的方向进行展望。

关键词: 菊粉; 膳食纤维; 面粉; 面团; 面制品

Applications and Prospects of Inulin in Flour Products: A Review

LUO Deng-lin, WU Yan-hui, XU Bao-cheng, CHEN Rui-hong, LIU Jian-xue, LI Peng-yan
(College of Food and Bioengineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China)

Abstract: As a new dietary fiber, inulin has a suitable molecular weight and a good color. It exhibits good performance in water solubility, flour-likely powder properties and gelatinization. Compared with common dietary fibers, inulin has more prominent physiological functions and food processing performance. In this paper, the physicochemical properties of inulin in food processing are introduced, and the recent applications of common dietary fibers in flour products and existing problems are summarized. The recent developments of inulin in dough and flour products are reviewed. The probable mechanisms of inulin in improving the quality of dough and flour products are discussed. Some problems with current studies are reported and future trends are proposed.

Key words: inulin; dietary fiber; flour; dough; flour products

中图分类号: TS213.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2014)03-0253-06

doi:10.7506/spkx1002-6630-201403050

越来越多的证据表明, 膳食纤维的摄入量与慢性疾病(肠道疾病、肥胖病、糖尿病、心血管疾病)之间存在密切的关系^[1]。调查结果显示, 全球普遍存在膳食纤维摄入量不足的问题, 由此所引发的各种慢性疾病每年给全球经济造成高达数千亿美元的损失。

当前, 各种精制加工面粉深受人们喜爱, 但造成膳食纤维损失的增加^[2]。常采用的方法是往各种精制面粉中加入谷物类、豆类或果蔬类膳食纤维, 但这些膳食纤维绝大多数水溶性差、粒径大、粗糙感强, 食品加工性能差, 严重影响了最终产品的外观、口感和质量, 无法满足人们的实际需求。因此, 如何在保持精制面粉优越性的同时, 又能赋予其合理的膳食纤维含量, 提高其营养价值、食品加工性能和最终产品品质是目前面粉行业面临的一个重要研究课题。

近年来, 菊粉作为一种新的膳食纤维, 在食品加工方面表现出优良的性质, 其开发利用日益受到国际食品界的高度重视。国外学者对其在保健食品、乳制品、面包、糖果、饮料和调味料等领域开展了广泛的研究, 而国内对菊粉的研究则主要集中于产菊粉酶菌株的选育、菊粉的提取与分离等方面, 较少关注菊粉的食品加工性能, 更少涉及其在面制品方面的应用。为了推动我国菊粉深加工产业的发展, 提供更多健康食品满足市场需求, 本文重点介绍了国内外近年来在菊粉应用于面制品方面的研究成果, 同时指出存在的一些不足, 并对今后发展方向进行了展望。

1 菊粉的加工特性

菊粉, 又称菊糖, 是由D-果糖经 $\beta(1\rightarrow2)$ 键连接而

收稿日期: 2013-02-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(31371832); 河南省高等学校青年骨干教师资助计划项目(2012GGJS-076);

河南省教育厅自然科学研究计划项目(2008B550002); 国家级大学生创新创业计划项目(201310464047);

河南科技大学大学生研究训练计划项目(2013109)

作者简介: 罗登林(1976—), 男, 副教授, 博士, 研究方向为农产品深加工及超声技术。E-mail: luodenglin@163.com

成的线性直链多糖,末端常带一个葡萄糖残基,聚合度(degree of polymerization, DP)为2~60,其中平均聚合度 ≤ 10 的菊粉称为短链菊粉,平均聚合度 ≥ 23 的菊粉称为长链菊粉,从天然植物(菊芋、菊苣)中提取的菊粉同时含有短链和长链,称为天然菊粉^[3]。菊粉在自然界中主要存在于菊科植物中,以菊芋(我国俗称“洋姜”,14%~19%)和菊苣(欧洲,15%~20%)中含量最高。菊粉作为一种不同于淀粉结构的可溶性膳食纤维,能够选择性地促进结肠益生菌的生长,提升宿主的健康状况,具有降低血糖浓度、维持脂类代谢平衡、提高矿物质元素的生物利用率、增强机体免疫力等功能^[4]。在食品工业中,菊粉还能明显改善食品的质构性状,提高其加工性能和营养价值,属于功能性食品^[5]。2009年我国卫生部发布了第5号公告,正式批准菊粉为新资源食品。

与常见的膳食纤维相比,菊粉的生理功能和加工性能更加突出,这归因于其良好的水溶性、适宜的分子质量、良好的色泽、与面粉相似的粉体特性和能形成优异的凝胶质构。研究认为,可溶性膳食纤维与不溶性膳食纤维在一定的质量比(1:1~1:2.3)下其生理功能更加突出,而菊粉很容易满足这一条件^[6]。在10℃条件下,菊粉在水中的溶解度约为6%,当温度升到90℃时迅速增大至33%,并且随其聚合度的变化而不同,聚合度越低,溶解度越大。相比常见的膳食纤维,菊粉的添加能使产品内部结构更加均匀细腻、口感滑爽、色泽美观。当菊粉在水中含量超过25%时,开始形成质构柔滑、微粒均一而细腻的凝胶,该凝胶具有良好的黏弹体流变学特性,表现性状类似于脂肪^[7]。这显然有利于菊粉保持面制品良好的质构性状。由于菊粉屈服应力低,因此菊粉凝胶还具有剪切稀释和触变特性,在振荡流变实验中,菊粉凝胶逐渐丧失凝胶固体特性,弹性系数降低,而流体特性和黏度系数逐渐增加,即操作性能好,易应用于各类食品的加工^[8]。

2 常见膳食纤维在面粉行业中的应用

由于膳食纤维在均衡现代人的合理膳食方面扮演着越来越重要的角色,被誉为“第七大营养素”。在面粉工业中,各种膳食纤维,如大豆纤维、麦麸纤维、米糠纤维、燕麦纤维、壳聚糖纤维、果蔬纤维等已被应用于面包、饼干、蛋糕、馒头和面条中^[9-10]。

王晓艳等^[11]研究了大豆纤维粉和玉米抗性淀粉部分替代小麦粉对高膳食纤维面包生产的影响,发现两者单独加入可提高面团持水性43.3%~63.3%和吸水率5%~7.6%,并在一定程度上抑制了淀粉的回生,面包烘焙实验表明,大豆纤维粉与玉米抗性淀粉共用时具有协同作用,质构、风味和产品得率有所提高。陶颜娟等^[12]

探讨了两种不同水溶性麦麸膳食纤维对面团流变学性质的影响,实验结果表明它们对面团的粉质特性均有不同程度的改良作用,其中水溶性小的改良效果优于水溶性大的,但对面团的拉伸特性起负面作用,而水溶性大的则起正面作用。国外研究^[13-15]也表明,添加谷糠类膳食纤维(小麦、大米、燕麦和大麦)能增加面团的水分含量,延长面团形成时间,但不利于面团的稳定性、抗拉伸性和延伸性。

通常上述类常见膳食纤维在有限添加量的情况下,在一定程度上能够改善面团流变学性质和提高产品品质。目前多数观点认为^[16-17]:膳食纤维结构中含有大量的亲水基团,具有强的持水力,能够增大面团吸水率,延缓产品(面包)陈化速率和延长货架期;另外膳食纤维所含的凝胶多糖和戊聚糖具有类似面筋网络结构的功能,能引起面团稳定时间延长、衰落值减小、抗拉阻力和拉力比数增大、产品(面包、馒头)体积增大、烹煮(面条)损失减小和质量增加等;但同时也有观点认为:膳食纤维的添加会稀释面粉中面筋蛋白的含量,对面团品质产生了恶化作用^[18-19]。

然而,目前限制膳食纤维在面粉中被广泛应用的最主要原因是:这类常见的膳食纤维绝大多数水溶性低,粒径粗大,色泽和食品加工性能差,即使低的添加量也会给最终产品品质带来严重的不良影响,尤其是在口感、色泽和质构特性等方面。一些研究表明,随米糠不溶性纤维添加比例的增加(2%~6%),面包的体积和比容均呈较为明显的减小趋势,感官特性尤其是口感变差,焙烤品质发生劣变;添加5%的麦麸会导致面团的揉混特性显著降低;而羽扇豆粉、大豆粉、黑小麦粉的添加会降低面团的抗拉伸性^[20]。

在过去几十年中,国内外很少关注菊粉对面团及制品品质的影响。其实在国外,菊粉在面粉中的实际应用要领先于相关理论的研究。在欧洲一些国家,如意大利、德国和比利时,已将长链菊粉替代部分面粉应用于意大利面条、烤土司和面包配方中,以提升产品的营养功效和口感质地,延长存放时间。

3 菊粉在面制品行业中的应用

3.1 菊粉对面团性质的影响

面团的吸水性、流变特性和发酵特性很大程度上取决于其蛋白质和淀粉的种类与含量,菊粉的加入一方面会降低它们的含量,尤其是蛋白质,这会影响面筋蛋白的网络结构;另一方面菊粉良好的亲水性,特别是短链菊粉吸湿性更强,它们同蛋白质和淀粉存在与水分子的竞争,从而影响蛋白质和淀粉与水分子之间的键合作用以及蛋白质-淀粉之间的作用,部分菊粉分子甚至可能

还参与了面筋蛋白的网络结构。因此,不同链长的菊粉及其添加量多少对不同筋度的面团性质影响存在显著区别。通常随菊粉添加量的增加,面团的吸水性下降,当菊粉添加量不超过3%时,这种下降不明显。菊粉的加入会明显延长面团的形成时间和提高其稳定性,增加面团的抗延伸阻力和黏弹性,但对延伸性、黏着性和黏附力影响不明显,对不同聚合度的菊粉这种影响存在差异。在一定的条件下菊粉可能会提高面团的品质,而在其他条件下菊粉可能会对面团的品质产生恶化作用。

Karolini-Skaradzińska等^[21]探讨了长链菊粉T对由两种不同蛋白质含量面粉所制作的面团性质的影响,发现菊粉的加入会降低面粉的吸水性,当面粉中添加4%的菊粉时,样品的吸水性由未添加前的58.1%降至53.6%,他认为这可能归因于菊粉在淀粉颗粒周围形成一层障碍,阻碍了水分子与淀粉颗粒的接触。菊粉的加入还会明显延长面团的形成时间,由原来需2.3 min增加至9.9 min,面团强度也明显提高,表现出更好的稳定性和低的柔软性。菊粉在对面团黏弹性的影响方面,蛋白质含量较低的面粉(11.2%)比蛋白质含量较高的(11.8%)表现得更为明显,在菊粉添加量不超过2%时,随菊粉添加量的增加,面团的韧性下降。综合评分得出,菊粉的加入有利于面团品质的提高,这种改良效果在菊粉添加量为3%~4%时尤为明显。

Peressini等^[22]研究了不同链长的菊粉对面团流变性的影响,进一步证实菊粉的加入会降低面团的吸水性,而短链菊粉的作用更明显,这可能与短链菊粉含较多蔗糖和低聚糖所具有的润滑性有关。而只有当菊粉添加量达到一定程度时(长链菊粉含量 $\geq 5\%$,短链菊粉含量 $\geq 7.5\%$),面团的形成时间才会明显延长,稳定性也会得到提高。菊粉的添加还能提高面团的强度,尤其对弱筋度的面团效果更好,说明菊粉可替代部分面粉而不会影响面团的品质。通过共聚焦激光扫描显微镜分析显示,添加了短链菊粉的面团中含有较高的蛋白质,这可能与面团较低的吸水性有关,但并不影响面筋蛋白所形成的网状结构;而长链菊粉的添加能提高面筋蛋白网状结构的致密性和均匀性。长链菊粉能够增大面团的贮藏模量值(G'),降低损失角正切值($\tan\delta$),增加面团强度,延长面团形成时间和稳定时间。在面团发酵过程中,随菊粉聚合度的增大,对面团膨胀的抑制作用就越明显。

Wang等^[23]的研究也证实菊粉的添加降低了面团的吸水性,但其他常见膳食纤维(长豆角、豌豆)则能增加面团的吸水性。相比这些常见膳食纤维,菊粉能显著提高面团的稳定性、张力、比功和 P/L 值,但对延伸性没有影响;在面团发酵过程中,菊粉能缩短面团的发酵周期、最大气体产生的时间和气体开始从面包逸出的时

间,减少体积损失,而对持气能力没有影响。但Frutos等^[24]认为由于菊粉的添加降低了面筋蛋白的含量,导致面团发酵过程中持气能力的下降;Hager等^[25]的实验结果则显示,添加3%的菊苣菊粉或6.8%的短链菊粉会降低面团的弹性和水分含量。

Filipovic等^[26]比较了普通膳食纤维和两种类型菊粉(HPX和GR)对冷冻面团特性的影响。相比其他膳食纤维(甜菜),菊粉的加入有利于缩短经长时间冷冻贮藏后面团的发酵周期,显示菊粉有利于保持面团在冷冻过程中酵母的活性,而其他膳食纤维则相反,这种影响在面团冷冻1 d后就表现出来,他认为这取决于膳食纤维本身的特性,即各自与面筋蛋白网络结构之间的作用关系。

3.2 菊粉对面包烘焙品质的影响

与常见的膳食纤维相比,菊粉的分子质量较小,决定了其具有良好的吸湿性,有利于其参与面筋蛋白网络结构的形成,从而对面包的含水率、瓤硬度、体积和贮存期产生作用^[22-24]。通常菊粉的加入会减小面包的体积,增加面包的含水量和硬度,延长面包的保存期,这也受到菊粉种类与添加量及面粉品质的影响。菊粉聚合度不高,特别是短链类菊粉,常含有较高比例的低聚果糖和少量的单糖和双糖,在面包的高温焙烤过程中,这些低聚果糖易于发生水解,生成一定数量的还原糖,从而促进了还原糖与氨基酸或蛋白质之间的美拉德反应,引起面包在焙烤时间、外观颜色和风味物质等的变化,最终对产品的感官评价得分和可接受性产生明显影响^[27]。

Praznik等^[28]考察了不同DP值的菊粉对面包烘焙品质的影响,发现菊粉的加入均能增大面包的体积和产品得率,面包的口感和色泽也都有所提高,尤其以短链菊粉的改善效果最好,但对面包的吸水性影响不明显。当面粉中短链菊粉添加量为8%时,面包烘焙实验感官评价得分最高,等级划分为一级,但当添加量增加至10%时,评价得分低于未添加,等级划分为二级,这可能归因于在较低的菊粉添加量时,会导致在面包焙烤过程中产生更多的美拉德反应产物,从而赋予面包良好的外观色泽和风味;而当添加量过高时,会引起产品过甜和原有风味的丧失,因为短链菊粉在面包制作过程中易发生水解而生成较多甜度较高的果糖,但对于长链菊粉发生水解的程度则轻得多。而其他一些研究则显示,长链菊粉的添加不会明显影响由不同筋度面粉所制作的面包体积,但在产品感官评价方面,菊粉的加入更有利于提高由高筋面粉制作的面包品质^[21]。当长链菊粉添加量达5%~7%时,会明显降低面包的体积,增大面包的硬度,而短链菊粉却相反,其加入会增大面包的体积^[21]。Wang等^[23]和Frutos等^[24]的研究也证实,菊粉的添加导致了面包体积和比容的减小,水分含量降低,面包瓤的硬度增加,虽然感官评价得分略有下降,但高于添加其他膳食纤维的面

包得分。也有文献报道,添加一定量的菊粉(3%的菊苣菊粉或6.8%的短链菊粉)会增加面包瓤的硬度,缩短面包的货架期,但不会引起面包比容的减小和焙烤损失率的增大,报道认为面包色泽的加深也与其降解和本身含有一定量的还原糖所引发强的美拉德反应有关^[25]。

Poinot等^[29]的研究显示,菊粉能够缩短面包的焙烤时间,但面包的品质不会受到影响。添加5%菊粉的面团焙烤只需17 min,而未添加的则需20 min,表明菊粉能加速面包壳及其颜色和风味物质的形成,认为这可能也与菊粉在焙烤过程中果聚糖的降解有关。通过固相微萃取技术分析发现,菊粉对面包焙烤过程中产生的挥发性成分影响明显,尤其能引起促发酵类物和脂质氧化类物含量的下降。推测其主要原因有两个方面:一方面菊粉强的吸湿性阻碍了水分与面筋蛋白的水合作用,弱化了面筋蛋白的网络结构;另一方面菊粉的存在限制了淀粉酶与淀粉的接触,导致能发酵的碳水化合物量的降低。在检测出的23种美拉德反应产物中,有18种产物的含量升高,特别是2-甲基吡嗪、乙酰基呋喃、甲基糠醛、糠醇、2(5H)呋喃酮等物质,另还发现有两种新物质的产生(吡嗪、2,5-二甲基吡嗪或2,6-二甲基吡嗪),这进一步证实菊粉能加速面包焙烤过程中的美拉德反应。

当前,速冻面食类由于其加工简单、方便,深受消费者喜爱。研究发现,菊粉也能显著改善由冷冻面团加工而成的面包品质,而普通膳食纤维作用不明显甚至具有相反作用。例如:添加甜菜膳食纤维的冷冻面团,焙烤出的面包体积变小,这种变化程度的大小取决于冷冻周期的长短,由于在冷冻过程中生成的冰晶能阻碍面筋蛋白网络结构的形成,从而引起面包体积的缩小,另外面包瓤芯也变硬。如果用菊粉GR取代普通膳食纤维,在30 d的冷冻期内,焙烤出的面包体积明显增大,但随冷冻期的进一步延长(60 d),面包的体积会减小;如果改用纯度为100%的长链菊粉HPX,面团即使经过60 d的冷冻期后,焙烤出的面包体积仍会增大,且面包瓤的品质得到提高,这说明菊粉的加入有助于降低冷冻方式对面团的不良影响,只是不同类型的菊粉其作用大小有所差异,这可能归因于菊粉HPX与面筋蛋白分子之间存在一定的协同效应^[26]。

3.3 菊粉对面条品质的影响

面条品质评判标准明显不同于面包类发酵制品,人们更关注面条的煮制性、拉伸强度、延伸率和黏性。菊粉对面条品质的影响可能主要通过改变面筋蛋白的网络结构和淀粉的糊化与水合程度而起作用的。菊粉的加入能缩短面条的煮制时间,对面条的黏性和膨胀大小无影响;当菊粉添加量不大(<7.5%)时,面条的煮制损失率变化不明显,但短链菊粉会引起面条吸水性和膨胀度的下降。目前国外在菊粉对面条品质的影响方面的文献

报道很少,仅对硬质小麦面条开展了某些方面的初步研究^[30]。

Aravind等^[31]考察了菊粉对硬质小麦面条——意大利面品质的影响。在面条煮制需时方面,菊粉的加入能缩短煮制时间,短链菊粉这种作用(DP值7~8)较长链菊粉(DP值12~14)更突出,这与加入的菊粉削弱了面筋蛋白所形成的网络结构和短链菊粉具有较高的水溶性有关。在面条煮制损失率方面,只有当长链菊粉的添加量≥20%时,面条的煮制损失率才会明显上升;但对短链菊粉而言,其添加量≥7.5%时这种损失率就表现得明显。在面条的吸水性和膨胀度方面,长链菊粉不会影响面条的吸水性和膨胀度,而短链菊粉即使在添加量为2.5%条件下也会引起面条吸水性的下降,其原因可能是由于菊粉同淀粉之间存在与水分子的竞争,抑制了淀粉的膨胀和面条的吸水性。在面条的质构影响方面,长链菊粉添加量只有达20%以上时才会增加面条的柔软性,相反短链菊粉(7.5%添加量)的加入则会导致面条变硬,两类菊粉对面条的黏性和煮制后直径大小无影响。在感官评价方面,添加短链菊粉的面条得分偏低。X射线衍射和电镜分析显示,当长链菊粉添加量较低时(5%)时,其在淀粉颗粒周围形成了保护层,阻碍了淀粉与酶的接触,从而抑制了淀粉的消化吸收;然而随着菊粉添加量的增大,形成了更多的开放结构并伴随淀粉结晶数量的下降,反而有利于酶的水解。综合来看,长链菊粉的加入有利于提高面条的品质,而短链菊粉则起负作用。

Manno等^[32]分析了菊粉对硬质小麦面条形态和和结构性质的影响。菊粉的加入虽然不会影响面条的水分和灰分含量,但能影响面条的结构状态和感官评价,从而影响到消费者对产品的可接受性。这可能是由于菊粉的加入改变了面食中蛋白质与淀粉的连接:一方面菊粉同淀粉之间存在与蛋白质相连的竞争关系,影响到淀粉与蛋白质之间的连接;另一方面菊粉良好的亲水性能,与淀粉和蛋白质相比能更快地与水发生水合,引起淀粉与蛋白质的分离,阻碍了它们之间的相互作用。当菊粉的添加量不超过10%时,生产出的面食仍然可被消费者所接受,这有助于降低面食的热量和提供更多的膳食纤维。

4 存在问题及展望

4.1 存在问题

总体来看,近年来国内外在菊粉对面团及制品品质的影响方面已开始了一些初步探索,但多数局限于加工工艺和最终产品品质评价等方面,一些重要的基础性问题尚未涉及,甚至某些方面还处于空白,主要表现在以下三方面:1)菊粉与面团中各组分之间的分子作用机制缺乏研究,绝大多数文献仅是理论性的推测,无任何

实验证据支持。虽然一些文献报道菊粉能够增加面团强度、延长面团形成时间和稳定时间,但是具体原因不清楚,是归因于菊粉与面团中面筋蛋白分子发生了作用,还是菊粉本身所形成凝胶网络结构的影响,或是菊粉改变了面团中淀粉的性质,在这些重要和基础的方面缺乏研究。2)在菊粉对面团流变特性的影响方面,许多研究结果之间相互矛盾,缺乏系统性和完整性。第一,由于菊粉来源不同,导致其平均聚合度相差很大,彼此之间的物化性质就存在很大差异;第二,对不同品质(筋度)的面粉,菊粉产生的影响可能不同。第三,面团类型(发酵面团和不发酵面团)不同,菊粉的影响可能不同,在这方面未见有报道。第四,菊粉的添加量也是需要考虑的因素,添加过多可能会对面筋蛋白的网络结构产生不良影响,添加过少不能发挥其生理功能。3)关于菊粉对具有中国特色面制品——馒头的影响方面,国内外的研究很少涉及。馒头作为我国北方地区人们的日常主食,无论在面粉原料、加工工艺、面团性质还是产品品质方面均与西方面包存在很大区别。因此,菊粉的影响可能不同。

4.2 展望

基于上述问题,建议今后对菊粉的研究在以下几个方面重点展开:1)菊粉与面团中蛋白质和淀粉的作用关系。菊粉分子与面团体系中各组分分子之间存在哪些主要作用力,这些作用力起决于哪些基团,它们如何影响面团的品质。只有弄清这些问题,才能从分子层面上阐明菊粉对面团品质影响的作用机理。可先分别单独研究谷蛋白-菊粉二元体系、醇溶蛋白-菊粉二元体系、谷蛋白-醇溶蛋白-菊粉三元体系中菊粉与面粉中各类蛋白质间的作用力(共价键、氢键、静电作用、疏水作用等),分析各元组分体系的面团网络结构特点;从热力学角度,研究菊粉-蛋白质混合面团制作过程中的焓变,分析混合面团的形成过程;考察菊粉与淀粉共混体系的相容性与玻璃化转变、渗漏直链淀粉量、菊粉与淀粉间相互作用力(氢键、静电作用、疏水作用等),探讨菊粉对淀粉糊化特性和流变特性的影响,分析菊粉添加前后淀粉焓值、晶体结构和抗老化作用的变化。2)构建菊粉-面粉混合面团的流变学本构方程。研究不同类型和添加量菊粉与不同品质面粉的混合面团的粉质曲线、拉伸曲线、蠕变和应力松弛,构建菊粉-面粉混合面团的流变学本构方程。该科学问题的解决,将有助于从力学理论角度更深入理解菊粉在面团黏弹性体中的作用,为实际工业化生产提供重要的理论指导。3)菊粉在焙烤过程中所发生的美拉德反应及新风味物质的形成。菊粉本身含一定量的还原糖,并且在焙烤过程中会发生部分降解,这部分物质会促进面制品在焙烤过程中的美拉德反应,从而对产品的外观颜色、风味和口感产生影响。了解不同焙

烤温度、焙烤时间与色泽和风味物质产生的关系,这对生产出满足消费者需求的菊粉焙烤面制品具有实际应用价值。4)菊粉在普通食品中的工业化应用。菊粉作为一种来源广泛、含量丰富和易于制取的膳食纤维,能方便地添加于各类食品中,包括面制品、乳制品、肉制品和软饮料等,赋予普通食品丰富的膳食纤维和良好的生理功能,但又不会明显增加其生产成本。以目前市场上含量为90%菊粉为例,其销售价格约为20元/kg,一般建议在食品中的添加量为5%,以市场上普通面粉售价3元/kg计算,含5%菊粉的面粉价格为3.85元/kg,即面粉成本增加约29%,以1kg面粉可制作10个100g规格馒头计,每个馒头原料成本不到0.4元;若将菊粉添加到肉制品中,其价格与纯肉相当,则成本增加不会明显;若将菊粉开发成功能食品,则更具成本优势。深入开展在工业化生产中菊粉对各类面制品品质的影响规律及其质量控制措施,将为开发营养价值高、口感好、符合我国消费习惯的面制品提供科学的技术指导,有力促进菊粉在食品中的工业化生产。

参考文献:

- [1] BROWNLEE I A. The physiological roles of dietary fibre[J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25(2): 238-250.
- [2] BARROS F, ALVIOLA J N, ROONEY L W. Comparison of quality of refined and whole wheat tortillas[J]. Journal of Cereal Science, 2010, 51(1): 50-56.
- [3] CHI Z M, ZHANG T, CAO T S, et al. Biotechnological potential of inulin for bioprocesses[J]. Bioresource Technology, 2011, 102(6): 4295-4303.
- [4] BOSSCHER D, van LOO J, FRANCK A. Inulin and oligofructose as functional ingredients to improve bone mineralization[J]. International Dairy Journal, 2006, 16: 1092-1097.
- [5] MEYER D, BAYARRI S, TÁRREGA A, et al. Inulin as texture modifier in dairy products[J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25(8): 1881-1890.
- [6] GRIGELMO-MIGUEL N, MARTIN-BELLOSO O. Comparison of dietary fibre from by-products of processing fruits and greens and from cereals[J]. LWT-Food Science and Technology, 1999, 32: 503-508.
- [7] KIP P, MEYER D, JELLEMA R H. Inulins improve sensoric and textural properties of low-fat yoghurts[J]. International Dairy Journal, 2006, 16(9): 1098-1103.
- [8] CHIAVARO E, VITTADINI E, CORRADINI C. Physicochemical characterization and stability of inulin gels[J]. European Food Research and Technology, 2007, 225(1): 85-94.
- [9] 李艳芳, 郝建雄, 程永强, 等. 黑曲霉和米曲霉发酵改善豆渣口感[J]. 农业工程学报, 2012, 28(7): 248-253.
- [10] BONNAND-DUCASSE M, DELLA VALLE G, LEFEBVRE J, et al. Effect of wheat dietary fibres on bread dough development and rheological properties[J]. Journal of Cereal Science, 2010, 52(2): 200-206.
- [11] 王晓艳, 王宏兹, 黄卫宁, 等. 高膳食纤维面团热机械学及面包的烘焙特性[J]. 食品科学, 2011, 32(13): 78-83.
- [12] 陶颜娟, 钱海峰, 朱科学, 等. 麦麸膳食纤维对面团流变学性质的影响[J]. 中国粮油学报, 2008, 23(6): 28-32.
- [13] BONNAND-DUCASSE M, DELLA VALLE G, LEFEBVRE J, et al.

- Effect of wheat dietary fibres on bread dough development and rheological properties[J]. *Journal of Cereal Science*, 2010, 52(2): 200-206.
- [14] SUDHA M L, VETRIMANI R, LEELAVATHI K. Influence of fibre from different cereals on the rheological characteristics of wheat flour dough and on biscuit quality[J]. *Food Chemistry*, 2007, 100(4): 1365-1370.
- [15] PITEIRA M F, MAIA J M, RAYMUNDO A, et al. Extensional flow behaviour of natural fibre-filled dough and its relationship with structure and properties[J]. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 2006, 137(1/3): 72-80.
- [16] 宋欢, 明建, 赵国华. 添加膳食纤维对面团及面制品品质的影响[J]. *食品科学*, 2008, 29(2): 493-496.
- [17] 郑学玲, 李利民, 姚惠源, 等. 小麦麸皮及面粉戊聚糖对面团特性及面包烘焙品质影响的比较研究[J]. *中国粮油学报*, 2005, 20(2): 21-25.
- [18] ARAVIND N, SISSONS M, EGAN N, et al. Effect of insoluble dietary fibre addition on technological, sensory, and structural properties of durum wheat spaghetti[J]. *Food Chemistry*, 2012, 130(2): 299-309.
- [19] ELLEUCH M, BEDIGIAN D, ROISEUX O, et al. Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: characterisation, technological functionality and commercial applications: a review[J]. *Food Chemistry*, 2011, 124(2): 411-421.
- [20] 陈建省, 崔金龙, 邓志英, 等. 麦麸添加量和粒度对面团揉混特性的影响[J]. *中国农业科学*, 2011, 44(14): 2990-2998.
- [21] KAROLINI-SKARADZIŃSKA Z, BIHUNIAK P, PIOTROWSKA E, et al. Properties of dough and qualitative characteristics of wheat bread with addition of inulin[J]. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 2007, 57(4): 267-270.
- [22] PERESSINI D, SENSIDONI A. Effect of soluble dietary fibre addition on rheological and breadmaking properties of wheat doughs[J]. *Journal of Cereal Science*, 2009, 49(2): 190-201.
- [23] WANG J S, ROSELL C M, BARBER C B. Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality[J]. *Food Chemistry*, 2002, 79(2): 221-226.
- [24] FRUTOS M J, GUILABERT-ANTON L, TOMAS-BELLIDO A, et al. Effect of artichoke (*Cynara scolymus* L.) fiber on textural and sensory qualities of wheat bread[J]. *Food Science and Technology International*, 2008, 14(5): 49-55.
- [25] HAGER A, RYAN L A M, SCHWAB C, et al. Influence of the soluble fibres inulin and oat beta-glucan on quality of dough and bread[J]. *European Food Research and Technology*, 2011, 232(3): 405-413.
- [26] FILIPOVIC J, FILIPOVIC N, FILIPOVIC V. The effects of commercial fibres on frozen bread dough[J]. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 2010, 75(2): 195-207.
- [27] MORRIS C, MORRIS G A. The effect of inulin and fructo-oligosaccharide supplementation on the textural, rheological and sensory properties of bread and their role in weight management: a review[J]. *Food Chemistry*, 2012, 133(2): 237-248.
- [28] PRAZNIK W, CIEŚLIK E, FILIPIAK-FLORKIEWICZ A. Soluble dietary fibres in Jerusalem artichoke powders: composition and application in bread[J]. *Nahrung/Food*, 2002, 46(3): 151-157.
- [29] POINOT P, ARVISENET G, GRUA-PRIOL J, et al. Influence of inulin on bread: kinetics and physico-chemical indicators of the formation of volatile compounds during baking[J]. *Food Chemistry*, 2010, 119(4): 1474-1484.
- [30] BRENNAN C S, KURI V, TUDORICA C M. Inulin-enriched pasta: Effects on textural properties and starch degradation[J]. *Food Chemistry*, 2004, 86(2): 189-193.
- [31] ARAVIND N, SISSONS M J, FELLOWS C M, et al. Effect of inulin soluble dietary fibre addition on technological, sensory, and structural properties of durum wheat spaghetti[J]. *Food Chemistry*, 2012, 132(2): 993-1002.
- [32] MANNO D, FILIPPO E, SERRA A, et al. The influence of inulin addition on the morphological and structural properties of durum wheat pasta[J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2009, 44(11): 2218-2224.