

无麸质食品品质改良研究进展

吴娜娜¹, 王娜^{1,2}, 谭斌¹, 田晓红¹, 刘明¹, 刘艳香¹, 汪丽萍¹

(1. 国家粮食局科学研究院, 北京 100037; 2. 河北科技大学, 河北石家庄 050018)

摘要:无麸质食品主要是针对乳糜泻疾病患者等对面筋蛋白过敏人群而生产的食品。由于无麸质食品的原料中不含面筋蛋白,在食品制作过程中面团难以形成有效的网络结构,不易成型,持水性、持气性、弹性和内聚性差,老化速率高。主要介绍无麸质食品采用的原料及其营养成分,综述通过添加功能成分和控制工艺技术来改善无麸质食品品质的研究进展,以期在无麸质食品品质改良研究与生产提供参考。

关键词:无麸质食品;乳糜泻;功能性成分;工艺控制技术

中图分类号:TS 218 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-7561(2015)04-0024-05

Research progress on qualities improvement of gluten-free foods

WU Na-na¹, WANG Na^{1,2}, TAN Bin¹, TIAN Xiao-hong¹,

LIU Ming¹, LIU Yan-xiang¹, WANG Li-ping¹

(1. Academy of State Administration of Grain, Beijing 100037;

2. Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang Hebei 050018)

Abstract: Gluten-free foods are mainly produced for people with celiac disease who are allergic to gluten. Since the raw material of gluten-free food lack of gluten, it is difficult for gluten-free food to form effective network structure and molding, with poor water retention, gas retention, springness and cohesiveness, and high aging velocity. The materials for gluten-free foods and their nutritional components were described. The progress in quality improvement by adding functional components and the techniques for processing was summarized in order to provide references for gluten-free food quality improvement and research.

Key words: gluten-free food; celiac disease; functional components; process control technology

无麸质食品是指用天然的不含麸质的原料按照良好操作规范生产的食品。欧盟规定只有含低于20 mg/kg 麸质的食品才允许在包装上标注“不含麸质”^[1]。麸质也称面筋,主要成分是麦谷蛋白和醇溶谷蛋白,主要存在于小麦、大麦和黑麦等谷物中。麸质是一种过敏原,可引发乳糜泻等病症。乳糜泻(Celiac disease)是一种慢性肠道吸收不良疾病,可引起发育滞后、身材矮小、缺铁性贫血、不育症、复发性溃疡性口炎等疾病^[2]。乳糜泻在北美、北欧和澳大利亚的发病率为0.5%~2%,近年来在亚洲国家的发病率呈上升趋势,在我国南部也有部分病例。Kang等^[3]评价了乳糜泻病症发病率的地理性差异

及发病频率的时间趋势,结果表明,在中国和撒哈拉沙漠以南的非洲具有与西欧同等显著的乳糜泻病症抗原DQ2流行程度,而这两个地区小麦的消费与西欧一致,虽然目前乳糜泻病症在这两个地区发病率较低,但在不久的将来,乳糜泻病症发病率在中国和撒哈拉沙漠以南的非洲可能会越来越普遍。无麸质饮食不仅可用于治疗乳糜泻,研究表明,无麸质食品也可用于风湿性关节炎、I型糖尿病、肥胖、胰岛素抗性、心血管病等病症的预防和治疗^[4-5]。近年来,随着我国经济社会发展日趋国际化,无麸质食品的需求和健康促进作用日益受到关注。

1 无麸质食品的原料与成分组成

无麸质食品的原料主要包括大米、玉米、高粱、荞麦、小米、马铃薯和藜麦、籽粒苋等,以及各种淀粉^[6-7]。其中,大米和玉米中蛋白、纤维和叶酸含量

收稿日期:2014-10-10

基金项目:中央级公益性科研院所基本科研业务费(ZX1303)

作者简介:吴娜娜,1981年出生,女,博士,副研究员。

通讯作者:谭斌,1972年出生,男,博士,研究员。

少,藜麦、籽粒苋和荞麦所含脂肪的脂肪酸组成合理,蛋白含量高。籽粒苋中的钙、镁和铁的含量较高。

表1 无麸质谷物与小麦中各成分的含量组成比较^[6]

成分	小麦	大米	玉米	藜麦	籽粒苋	埃塞俄比亚画眉草	荞麦	高粱
淀粉/%	75.9	77.2	74.3	64.2	65.7	73.1	71.5	74.6
膳食纤维/%	12.2	3.5	7.3	7.0	6.7	8.0	10.0	6.3
蛋白质/%	11.3	7.9	9.4	14.1	13.6	13.3	13.2	11.3
脂肪/%	1.7	2.9	4.7	6.1	7.0	2.4	3.4	3.3
钙/mg	32.0	23.0	7.0	47.0	159.0	180.0	18.0	28.0
铁/mg	4.6	1.5	2.7	4.6	7.6	7.6	2.2	4.4
镁/mg	93.0	143.0	127.0	197.0	248.0	184.0	231.0	
叶酸/mg	38.0	20.0	19.0	184.0	82.0		30.0	

目前,一些植物粉也用于制造无麸质食品^[7],包括栗子粉、芡欧鼠尾草粉(chia flour)、长豆角胚芽粉、虎坚果粉(Tigernut flour)、羽扇豆粉(Lupin seed flour),蔬菜粉(如胡椒粉、西红柿粉、菠菜粉、南瓜粉、胡萝卜粉、茴香粉、茄子粉等)^[8]。还有一些食品加工副产物也用于生产无麸质食品,如香蕉粉、橘子果渣、草莓籽、黑醋栗籽、南瓜籽、苹果渣等。它们含有大量的纤维素、矿物质和维生素等生理活性物质,且具有较低的脂肪含量。因此,作为无麸质食品的原料具有很高的营养价值。

醇溶谷蛋白含量较低的麦芽水解物也可能成为无麸质食品的原料^[9]。芬兰赫尔辛基大学 Lopenon 教授团队采用脯氨酸肽链内切酶水解小麦、大麦和黑麦中的醇溶谷蛋白,得到麦芽水解物。研究表明,利用一种来源于黑曲霉的特异性的脯氨酸内切酶能大幅降低小麦和黑麦中的醇溶谷蛋白,得到的麦芽水解物中面筋蛋白的含量低于 100 mg/kg^[9]。麦芽水解物中除了含有小分子肽、氨基酸、酶、矿物质、维生素和纤维素等,还含有一些风味物质,如 3-甲基丁醛、2-苯乙醛、游离氨基酸等,能提升焙烤食品的风味。

2 无麸质食品的缺陷

由于无麸质食品的原料中不含面筋蛋白,导致在食品制作过程,面团难以形成有效的网络结构,不易成型,持水性、持气性、弹性和内聚性差,老化速率高。在焙烤过程中,面包或饼干的结构容易崩裂。因此,无麸质面包和饼干等产品的制作非常困难,无麸质食品的品质有待于改善和提高。

3 无麸质食品品质提升技术

随着无麸质食品的发展和需求的增加,研究人员正试图通过各种方法改善无麸质食品的品质,包括添加功能性成分来提高面团的成型性能;在无麸质食品制作过程,通过控制原料中损伤淀粉含量和粗细度、优化成型工艺参数以及采用新型烘烤技术等来改善食品感官和营养品质。

3.1 添加功能性成分

目前,在无麸质食品中,添加的功能性成分主要有盐、多糖和蛋白胶体、抗性淀粉等。

3.1.1 铁盐和钙盐

在无麸质面包的制作过程,添加氯化钠,可以改善面包风味,抑制细菌,增强面团筋力,改善面包内部色泽等。除了氯化钠外,一些研究人员还通过添加钙盐和铁盐来改善无麸质食品的质构特性和营养品质。

由于铁离子的摄入量减少,缺铁性贫血是乳糜泻患者的并发症,在无麸质食品中添加铁盐是改善乳糜泻症状的重要办法。Kiskini 等^[10]研究了可溶性铁盐焦磷酸铁、不溶性的铁盐乙二胺四乙酸铁钠、胶囊化的硫酸亚铁对无麸质面包和小麦面包品质的影响,结果表明,铁离子的类型对面包的色泽、表面的紧实度、比容、内部孔隙度均有影响。加入铁盐后,小麦面包的体积下降了 30%,孔隙度降低了 50%。铁盐的加入增加了无麸质面包的感官评分。Kiskini 等^[11]也进一步研究了焦磷酸铁、乙二胺四乙酸铁、硫酸亚铁和元素铁等对无麸质面包品质的影响,结果表明,含有焦磷酸铁和乙二胺四乙酸铁钠的无麸质面包具有更紧实的内部结构,而元素铁的加入对面包的品质没有改善作用。

添加钙也是改善无麸质食品品质及乳糜泻患者骨质疏松症的一个重要办法。李里特^[12]研究了氢氧化钙对荞麦面条品质的影响,氢氧化钙的加入量为 0.4% 时,蒸煮后的荞麦面条具有较高的拉伸强度和剪切力,且面条内部结构紧密均匀,孔隙度少。Krupa - Kozak 等^[13]采用酪蛋白酸钙和柠檬酸钙改善无麸质面包的质构特性和感官品质,研究表明,柠檬酸钙能显著提高面包的比容,两种钙盐均能显著改善面包的色泽,使面包更柔软和更有弹性,而且也显著提高了面包的感官品质。

3.1.2 多糖和蛋白胶体

韩薇薇等^[14]报道了无麸质食品中用到的多糖

胶体有羟丙基甲基纤维素(HPMC)、羟甲基纤维素(CMC)、黄原胶、瓜儿胶、刺槐豆胶、果胶、琼脂等。另外,目前无麸质食品中添加的多糖和蛋白胶体还有菊粉、 β -葡聚糖、壳聚糖、蛋白胶体和抗性淀粉等。这些多糖和蛋白胶体能够改善无麸质食品的结构,使其具有良好的粘弹性。

菊粉是一类天然果聚糖的混合物。果聚糖是果糖单元通过(2-1)链链接而成,并以葡萄糖单元终止的碳水化合物。几乎所有的植物中都可以发现菊粉的存在,它是除淀粉外植物的另一种能量储存形式。通常商品菊粉中果聚糖的平均聚合度(DP)为10~30;菊粉经过不同分离手段,可生产平均聚合度在2~9的低聚果糖和平均聚合度大于23的多聚果糖。它们在肠道的上部不会被水解成单糖,因而不会提高血糖水平和胰岛素含量。Gularte等^[15]采用添加20%以内的菊粉和燕麦纤维混合物代替大米粉,制作无麸质蛋糕,研究表明,燕麦纤维—菊粉的混合物提高了蛋糕的比容,蛋糕表面和内部品质显著提升,加入纤维素后显著降低了蛋糕淀粉的消化速率,无麸质蛋糕品质良好。Ziobro等^[16]研究表明,不同聚合度的菊粉能增加无麸质面包的体积,降低面包内部硬度,但面包内部的结构不太一致。低聚合度的菊粉比高聚合度的菊粉对面包的改善效果更好,面包的老化速率更低。

β -葡聚糖是一种可溶性膳食纤维,大量存在于燕麦和大麦中,可以降低血液中的低密度脂蛋白—胆固醇和餐后的血糖指数。Andersson等^[17]比较了HPMC和高 β -葡聚糖含量(28%)的燕麦麸皮对玉米粉和淀粉面团性质的影响。结果表明,高 β -葡聚糖含量的燕麦麸皮显著降低了面团的老化速率,使面团形成更好的网络结构,拉伸强度更大,适合于制作焙烤食品。有些研究人员采用玉米粉和燕麦麸皮为原料制作意大利面,燕麦麸皮添加量为20%,CMC和壳聚糖添加量为2%时,鲜意大利面条和干意大利面条的感官评分最高,原因可能是壳聚糖对预胶凝的淀粉有较高的亲和性,形成了连续的淀粉网络结构;CMC降低了直链淀粉从面条内部分散到表面的机率^[18]。

利用乳清蛋白(粒度100 nm~100 μ m)来模仿面筋蛋白网络结构,是改善无麸质食品质构特性的一个独特的方法。Goot^[19-20]研究了乳清蛋白聚集体、乳清蛋白冷凝胶和乳清蛋白颗粒等蛋白质—淀粉面团性质。结果表明,乳清蛋白与淀粉制成的面团具有

较强的内聚力,类似小麦粉制成的面团。三种蛋白原料分别与淀粉混合制成面团,烤出的面包具有和小麦粉面包类似的体积,但面包孔隙度较大;乳清蛋白颗粒与淀粉混合制成面团,烤出面包的结构与小麦面包相似。这可能是乳清蛋白颗粒与乳清蛋白聚集体、乳清蛋白冷凝胶相比,具有更大的应力所致。

抗性淀粉是不被小肠消化吸收的淀粉,通常被认为是一种益生元,与传统的纤维作用不同,抗性淀粉对消化道的功能有积极的作用,可以减少血胆固醇,有利于饮食的控制。抗性淀粉呈白色、无味,粒度小,持水性低,与不溶性的纤维相比,抗性淀粉具有类似于脂肪的性质。Tsatsaragkou等^[21]将抗性淀粉和长豆角粉加入米粉中,制作无麸质面包。结果表明,添加抗性淀粉后,面包心的坚实度没有增加,但提升了面包心的弹性,使面包心的孔隙度增加。抗性淀粉可以起到增强面包弹性的作用。因此利用长豆角粉和抗性淀粉是制作品质良好的无麸质面包的有效方法,可以增加人们膳食纤维的摄入,满足膳食纤维缺乏人群的需要。

3.2 原料粉性质的控制技术

控制原料粉的性质是提高无麸质食品品质的一种有效方法。破损淀粉含量越高的谷物粉,和面时的吸水率也越高。如果破损淀粉含量过高,在和面过程中需要的加水量就大,和好的面团在放置的过程中,水又会从面团中析出,易造成假吸水现象,面团比较粘。Heo等^[22]比较了干法和湿法加工的大米粉面团的性质及面条的品质。研究表明,干法加工的大米粉有较高的破损淀粉含量及吸水率,造成面团的拉伸黏度高,面条的蒸煮损失较大。湿法加工的大米粉面团有较高的峰值黏度,面条的蒸煮损失率较低。

粗细度也是原料粉性质的一个重要指标。de la Hera等^[23]用5种粗细度的玉米粉(<80 μ m, 80~106 μ m, 106~150 μ m, 150~180 μ m, >180 μ m)制作无麸质面包,研究了粗细度对面团流变性质和面包品质的影响。结果显示,粒度越细,面团成型时间越长,面包比容越小,而粒度较大的玉米粉制作的面包体积较大,面包心硬度较低。de la Hera等^[24]研究了不同粒度的长粒大米和短粒大米对无麸质面团和蛋糕品质的影响,粒度加大的米粉焙烤后的蛋糕比容较小。粒度较细的米粉有较高的峰值黏度,蛋糕比容大,气孔分布均匀。米粉粒度越大,制作出的食品口感越粗糙,因此,控制原料粉粗细度也是改

善无麸质食品品质的方法之一。

3.3 无麸质面团制作过程控制技术

面团在制作过程,搅拌速度、搅拌时间及加水量等都对面团性质产生影响,进而对无麸质食品的品质发生作用。研究人员^[25]研究了搅拌速度、搅拌时间、发酵时间对无麸质面团、面糊性质和面包品质的影响。结果显示,水分含量较低的面包,随着搅拌时间的延长,面包的比容积越大,发酵时间越长,面包体积越小;而水分含量较高时,发酵时间越长,面包比容积越大。因此,可以优化无麸质食品制作过程中的工艺条件,增加无麸质食品的体积,降低硬度,提升无麸质食品的品质。

3.4 无麸质面团发酵技术

谷物粉、水、糖、盐等物质的混合物与乳酸菌、酵母菌等酵母一起发酵制作焙烤食品。酵母在无麸质食品中的应用是通过发酵促进食品形成较好的质构、感官和营养品质。乳酸菌能产生胞外多糖作为无麸质面团中亲水胶的替代物,促进无麸质食品形成较软的质构;有些酵母菌的发酵还可以使无麸质食品形成良好风味,以及促进一些生物活性物质由结合态变为游离态,更有利于人体的吸收利用^[26-27]。

Rühmkorf 等^[28]分别采用四种乳酸菌 *Lactobacillus* (L.) *curvatus* TMW 1.624、*L. reuteri* TMW 1.106、*L. animalis* TMW 1.971、*L. sanfranciscensis* TMW 1.392 用于荞麦一大米粉面团制作面包。结果发现,添加乳酸菌均能增加面包体积,添加 *Lactobacillus curvatus* TMW 1.624 制作的的面包水分含量增加,面包硬度和老化速率降低,原因是在发酵过程,*Lactobacillus curvatus* TMW 1.624 产生了更高分子量的3-位葡聚糖(118~242 kDa),增加了面团的持水性。

Rühmkorf 等^[29]进一步研究了不同谷物粉(荞麦、藜麦)、面团、乳酸菌、蔗糖浓度对胞外多糖生成量的影响。结果表明,以下几种乳酸菌和不同谷物粉的组合可产生更多的胞外多糖,*L. animalis* TMW 1.971 在荞麦芯粉面团中产生了17.93 g/kg 胞外多糖,*L. reuteri* TMW 1.106 在藜麦面团中产生了15.69 g/kg胞外多糖,*L. curvatus* TMW 1.624 在荞麦粉面团中产生了16.28 g/kg 胞外多糖。

Novotni 等^[30]研究了发酵乳杆菌对无麸质面包硬化动力学的改进作用。对大米、荞麦、马铃薯淀粉和挤压玉米粉形成的无麸质面团进行1 h的预焙

烤,结果发现,面包比容增加,面包心硬度降低,储存72 h后,部分面包心仍然具有较低的硬度。这说明发酵乳杆菌对面包硬度具有一定的改善作用。

3.5 红外光谱干燥/烘焙技术

用红外光谱能量来干燥或焙烤无麸质食品,优点是花费少、能耗低,干燥速度快、制作的无麸质食品品质构、营养和感官品质良好。Melito 等^[31]研究了工艺参数对半煎炸、红外线干燥的油炸圈品质的影响。结果显示,所有用红外线干燥的无麸质油炸圈含油量均比小麦的油炸圈低,感官评分与全煎炸的无麸质油炸圈类似。一些研究者^[32]采用红外线—微波技术烘烤栗子一大米粉面包。研究表明,红外线能量和微波能量是影响面包硬度和比容的主要因素,当红外线和微波能量在最高时焙烤面包,制作的面包心干燥,硬度大。红外线对面包比容影响最大,随着红外光谱能量的增加,面包表皮温度升高速度比面包心速度快,面包心成长能力降低,因而体积减小。最佳的焙烤条件是红外光谱能量是40%,微波能量30%,焙烤时间是9 min。因此与小麦面包的焙烤时间需要25 min相比,大大节省了焙烤所消耗的能量。

4 结论与展望

避免摄入含有面筋蛋白的食品是治疗乳糜泻病症的唯一方式,无麸质食品在相关慢性疾病的治疗方面也有积极的作用。由于无麸质食品不含面筋蛋白,成型难,因此以栗子粉、蔬菜粉等新型原料,需要添加菊粉等多糖和蛋白胶体,控制好面团制作、发酵、焙烤工艺过程,才有可能制得质构、感官和营养品质良好的无麸质食品。虽然目前无麸质食品的品质有了一定的改良,一些学者也在积极研究改善无麸质食品品质的技术,但目前市场上无麸质食品种类较少,还需要食品工作者继续努力,进一步提升无麸质食品的品质,增加品种,以满足乳糜泻患者和相关慢性疾病人群的需要。随着食品科技和食品工业的不断发展,无麸质食品将越来越受人们欢迎。

参考文献:

- [1] Commission Regulation (EC) No41/2009 of composition and labeling of food stuffs suitable for people into lerant gluten [S].
- [2] 朱晓燕,袁娟丽,陈红兵,高金燕. 致乳糜泻小麦麸质检测方法研究进展[J]. 食品工业科技, 2012, 33(23): 419-423.
- [3] Kang J Y, Kang A H Y, Green A, et al. . Systematic review: worldwide variation in the frequency of coeliac disease and changes over time [J]. Alimentary Pharmacology & Therapeutics, 2013, 38: 226-245.

- [4] Soares F L P, Matosob R D O, Teixeira L G, et al. Gluten - free diet reduces adiposity, inflammation and insulin resistance associated with the induction of PPAR - alpha and PPAR - gamma expression [J]. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 2013, 24: 1105 - 1111.
- [5] Zanini B, Mazzoncini E, Lanzarotto F, et al. Impact of gluten - free diet on cardiovascular risk factors. A retrospective analysis in a large cohort of coeliac patients [J]. *Digestive and Liver Disease*, 2013, 45: 810 - 815.
- [6] Rosell C M, Barro F, Sousa C, Mena M C. Cereals for developing gluten - free products and analytical tools for gluten detection [J]. *Journal of Cereal Science*, 2014, 59(3): 354 - 364.
- [7] O'Shea N, Arendt E, Gallagher E. State of the art in gluten - free research [J]. *Journal of Food Science*, 2014, 79(6): 1067 - 1076.
- [8] Padalino L, Mastromatteo M, Lecce L, et al. Manufacture and characterization of gluten - free spaghetti enriched with vegetable flour [J]. *Journal of Cereal Science*, 2013, 57: 333 - 342.
- [9] Luoto S, Jiang Z, Brinck O, et al. Malt hydrolysates for gluten - free applications: Autolytic and proline endopeptidase assisted removal of prolamins from wheat, barley and rye [J]. *Journal of Cereal Science*, 2012, 56: 504 - 509.
- [10] Kiskini A, Kapsokafalou M, Yanniotisa S, et al. Effect of different iron compounds on wheat and gluten - free breads [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2010, 90: 1136 - 1145.
- [11] Kiskini A, Kapsokafalou M, Yanniotis S, et al. Effect of iron fortification on physical and sensory quality of gluten - free bread [J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2012, 5(1): 385 - 390.
- [12] Han L, Lu Z, Hao X, et al. Impact of calcium hydroxide on the textural properties of buckwheat noodles [J]. *Journal of Texture Studies*, 2012, 43(3): 227 - 34.
- [13] Krupa - Kozak U, Troszyńska A, Baczek N, et al. Effect of organic calcium supplements on the technological characteristic and sensory properties of gluten - free bread [J]. *European Food Research and Technology*, 2011, 232(3): 497 - 508.
- [14] 韩薇薇, 郭晓娜, 朱科学, 等. 无麸质食品 [J]. *粮食与饲料工业*, 2013, 2: 30 - 33.
- [15] Gularte M A, de la Hera E, Gomez M, et al. Effect of different fibers on batter and gluten - free layer cake properties [J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2012, 48(2): 209 - 214.
- [16] Ziobro R, Korus J, Juszczak L, et al. Influence of inulin on physical characteristics and staling rate of gluten - free bread [J]. *Journal of Food Engineering*, 2013, 116(1): 21 - 27.
- [17] Andersson H, öhgren C, Johansson D, et al. Extensional flow, viscoelasticity and baking performance of gluten - free zein - starch doughs supplemented with hydrocolloids [J]. *Food Hydrocolloids*, 2011, 25(6): 1587 - 1595.
- [18] Padalino L, Mastromatteo M, Sepielli G, et al. Optimization of gluten - free functional spaghetti based on maize flour and oat bran enriched in β - glucans [J]. *Materials*, 2011, 4: 2119 - 2135.
- [19] van Riemsdijk L E, Pelgrom P J M, van der Goot A J, et al. A novel method to prepare gluten - free dough using a meso - structured whey protein particle system [J]. *Journal of Cereal Science*, 2011, 53(1): 133 - 138.
- [20] van Riemsdijk L E, van der Goot A J, Hamer R J, et al. Preparation of gluten - free bread using a meso - structured whey protein particle system [J]. *Journal of Cereal Science*, 2011, 53(3): 355 - 61.
- [21] Tsatsaragkou K, Gounaropoulos G, Mandala I. Development of gluten free bread containing carob flour and resistant Starch [J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2014, 58: 124 - 129.
- [22] Heo S, Lee S M, Shim J H, et al. Effect of dry - and wet - milled rice flours on the quality attributes of gluten - free dough and noodles [J]. *Journal of Food Engineering*, 2013, 116: 213 - 217.
- [23] dela Hera E, Tategón M, Caballero P, et al. Influence of maize flour particle size on gluten - free bread making [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2013, 93(4): 924 - 932.
- [24] dela Hera E, Martinez M, Oliete B, et al. Influence of flour particle size on quality of gluten - free rice cakes [J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2013, 6(9): 2280 - 2288.
- [25] Gómez M, Tategón M, de la Hera E. Influence of mixing on quality of gluten - free bread [J]. *Journal of Food Quality*, 2013, 36(2): 139 - 145.
- [26] Galle S, Schwab C, Arendt E K, et al. Structural and rheological characterization of heteropolysaccharides produced by lactic acid bacteria in wheat and sorghum sourdough [J]. *Food Microbiology*, 2011, 28(3): 547 - 53.
- [27] Galle S, Schwab C, Dal Bello F, et al. Influence of in - situ synthesized exopolysaccharides on the quality of gluten - free sorghum sourdough bread [J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2012, 155(3): 105 - 112.
- [28] Rühmkorf C, RübSam H, Becker T, et al. Effect of structurally different microbial homoexopolysaccharides on the quality of gluten - free bread [J]. *European Food Research and Technology*, 2012, 235(1): 139 - 146.
- [29] Rühmkorf C, Jungkunz S, Wagner M, et al. Optimization of homoexopolysaccharide formation by lactobacilli in gluten - free sourdoughs [J]. *Food Microbiology*, 2012, (32): 286 - 294.
- [30] Novotni D, Cukelj N, Smerdel B, Bituh M, et al. Glycemic index and firming kinetics of partially baked frozen gluten - free bread with sourdough [J]. *Journal of Cereal Science*, 2012, 55(2): 120 - 125.
- [31] Melito H S, Farkas B E. Effect of infrared finishing process parameters on physical, mechanical, and sensory properties of par - fried, infrared - finished gluten - free donuts [J]. *Journal of Food Engineering*, 2013, 117: 399 - 407.
- [32] Demirkenen I, Sumnu G, Sahin S, et al. Optimisation of formulations and infrared - microwave combination baking conditions of chestnut - rice breads [J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2011, 46(9): 1809 - 1815. 完