

馒头的老化机理及延缓老化方法的研究进展

王春霞, 周国燕, 胡晓亮, 詹 博

(上海理工大学低温生物与食品冷冻研究所, 上海 200093)

摘 要: 馒头是我国的传统主食, 深受人们喜爱。随着主食工业化发展, 馒头老化成为馒头工业化过程中的一个难题, 给生产和消费带来极大的损失, 因此, 研究馒头老化机理有着重要的意义。文章综述了近年来国内外关于馒头老化的研究成果, 从影响馒头老化的各个因素详细论述馒头老化的机理, 并从改善馒头主要成分、贮藏温度、水分含量、加工工艺及添加剂等方面出发, 提出延缓馒头老化的方法。

关键词: 馒头; 老化; 机理; 延缓

Research Progress in Staling Mechanism and Retarding Methods of Steamed Bread

WANG Chun-xia, ZHOU Guo-yan, HU Xiao-liang, ZHAN Bo

(Institute of Cryo-medicine and Food Refrigeration, Shanghai University of Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: Steamed bread is a traditional staple food in China, which is very popular. Along with the development of staple food industrialization, the stabling of steamed bread is always a difficult problem. Therefore, the study of the stabling mechanism of steamed bread has great significance. In this paper, recent research advances at home and abroad are reviewed. Meanwhile, the factors that influence steamed bread staling are also discussed. Moreover, some strategies for retarding the staling process through improving major ingredients, storage temperature, water content, processing technology and additives are proposed.

Key words: steamed bread; aging; mechanism; retarding

中图分类号: TS213.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2012)11-0328-05

馒头是深受中国人民喜爱的主食品种, 通常是现做现吃。随着人们生活水平的提高和生活节奏加快, 主食工业化的发展势不可挡, 馒头的工业化是其中重要的组成部分。馒头生产由家庭作坊到工业化的转变还存在许多问题亟待解决, 其中最主要的就是馒头的老化问题^[1]。馒头老化主要是指馒头贮存过程中随着贮藏时间延长, 产品新鲜度(质地和风味)的损失, 也称“硬化”。具体表现为香气和口感下降, 硬度增加, 弹性和咀嚼性下降, 组织紧密且易碎断、掉渣, 消化吸收率降低, 而非指微生物的变化^[2]。馒头老化势必会缩短其货架期, 会给生产企业和消费者带来很大的经济损失。

针对面制品老化的问题已有大量报道, 尤其关于面包老化方面已取得较大进展, 但其老化机制尚无完全定论, 有待进一步深入研究。馒头与面包同属于发酵面制品, 但是馒头的原料成分比面包简单得多, 使其比面包更易老化。国内外有关馒头老化的研究较少, 大多是从添加添加剂防止馒头老化角度进行研究。馒头体系与面包既相似又有区别, 对馒头老化的研究将有助于

对整个老化问题的深入认识。本文对馒头老化机理进行综述, 综合分析延缓馒头老化的可行方法。

1 馒头老化的影响因素

1.1 主要成分对馒头老化的影响

1.1.1 淀粉回生的作用

馒头的主要成分淀粉是由许多葡萄糖分子聚合而成的高分子化合物, 分直链淀粉和支链淀粉, 其中支链淀粉占 80% 左右。直链淀粉和支链淀粉可形成微小的结晶, 即 β -淀粉。加热生面团时, 淀粉发生糊化, 淀粉的晶体结构被破坏, β -淀粉分子间的氢键断裂, 与水分子形成氢键成胶体溶液, 形成 α -淀粉。馒头中的淀粉就是糊化后的 α -淀粉。温度降低到常温后, 糊化的 α -淀粉又自动排序, 形成致密的高度晶化的不溶性淀粉分子, 重现淀粉的 β 化, 这也就是淀粉的回生, 又叫做淀粉老化或凝沉现象。

有关研究表明, 直链淀粉含量与馒头品质呈负相

收稿日期: 2011-04-30

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目(50206013); 上海市教委科研创新项目(09YZ230); 上海市重点学科建设项目(S30503)

作者简介: 王春霞(1984—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品冷冻冷藏。E-mail: wangchunxia@126.com

关:而支链淀粉含量与馒头品质呈正相关。另外,破损淀粉含量对馒头品质有很大影响,因为适量破损淀粉可提高面团吸水量,提高对酶敏感性。

馒头老化并不能完全归因淀粉回生,与老化相比,淀粉回生是一个较慢的过程。沙坤^[3]的研究表明,支链淀粉的回生是馒头硬化的主要因素,但不是唯一因素。这与国外研究者^[4-5]发现的淀粉老化是面包老化的主要原因结果一致。

1.1.2 蛋白质的作用

面筋蛋白质含量是影响馒头老化速率的一个重要的因素。面筋蛋白质所形成的网状结构与淀粉颗粒的交互作用也是一个影响馒头老化不容忽视的问题。

在现有的研究中,关于蛋白质与馒头老化的关系一直存在争议。传统观点认为,面粉食品所用面粉蛋白质含量高,贮存期间的老化速率较慢。这是因为随着面粉中蛋白质含量的增加,面团中面筋的数量也随之增加,面筋的增加则阻碍了面点中淀粉分子之间的相互聚扰,不利于“微晶束状体”的形成,从而使面点中的老化现象延缓发生。但钱平^[6]研究发现,小麦粉中蛋白质促进了馒头硬化。采用 Martin 等^[7]在研究面包硬化机理中相关理论可以解释,馒头中蛋白质含量增多,就会加剧面筋网络与游离于淀粉颗粒表面的直链淀粉分子的交联,从而加速馒头的硬化。

Addo 等^[8]通过对比不同硬度的小麦发现:在软麦中,蛋白质含量升高对馒头质量是十分有利的,然而在硬麦中蛋白质含量高则是不利的。Rubenthaler 等^[9]研究也发现硬麦中蛋白质的含量与馒头的体积呈负相关,在软麦中蛋白质的含量与馒头的体积呈正相关。这可能是蛋白质含量与馒头老化关系存在争议的关键所在。

1.1.3 脂类物质的作用

制作馒头用小麦粉中存在极少量的脂质,其中一部分与面筋蛋白质结合,从而影响面筋的网络结构;另一部分主要分布在淀粉颗粒表面和气液界面上。分布在淀粉表面的脂类物质能抑制淀粉分子重新排列,从而限制了微晶束的重新形成;它还能与淀粉分子通过疏水作用,形成包络化合物。这种复合物不溶于水,阻止了面筋和淀粉之间的水分迁移,从而能够抑制馒头老化。

Hoseney 等^[10]研究表明,游离脂可以以亲水键结合到“醇溶蛋白-脂-谷蛋白”复合体中。在面团形成时,脂类物质对面筋网络的黏着力起着重要作用。Pomeranz 等^[11]将脂质、植物油、起酥油、乳化剂添加到未经处理的和脱脂的软麦粉中,发现面粉脱脂后显著得降低了馒头的体积和柔软度。李昌文等^[12]研究也表明,脂类物质对馒头具有一定的抗老化作用,因为脂质与淀粉能形成复合物,阻止了淀粉分子间的缔合作

用,从而阻止淀粉的老化。徐广文等^[13]研究发现馒头中粗脂肪含量与馒头芯的硬度、回复性及两者增量均不呈有意义的相关性。目前有关脂类对馒头品质的影响报道较少,有待进一步研究。

1.2 环境对馒头老化的影响

1.2.1 贮藏温度

温度是影响淀粉质食品老化的重要因素。温度与大部分淀粉类食物发生老化关系的一般规律为:在淀粉糊化温度(约 40~60℃)以上和淀粉冻结温度(大约为-7℃)以下时,淀粉类食物一般不容易发生老化现象,但在较高温度(60℃以上)下保藏馒头难以防止由于细菌而引起的变化。而如果把淀粉类食物放置于上述二者温度之间,淀粉类食物的老化程度随着环境温度的下降而增加,老化速度也呈逐步加快的趋势,2~4℃老化最快。

成晓瑜等^[14]研究了采用室温(23℃)、冷藏室(3℃)、冷冻室(-18℃)3个不同的温度贮藏馒头,发现冷冻贮存是抑制馒头老化的良好方法,它可将馒头贮存期至少延长两个月。冷藏(3℃)条件比室温(23℃)和冷冻(-18℃)条件更加加速了贮存馒头的老化,其原因是由于水在没有冻结前,贮存温度越低,分子动能越小,也就越不能维持淀粉分子与水分子之间氢键结合所需的能量。在此温度下,淀粉分子失去水分子的速度加快,形成能量低、稳定有序的晶型结构,从而导致了此温度条件下馒头老化速度最快。而冷冻贮存(-18℃)导致水分子形成细小结晶,从而淀粉分子与水分子的结合也被固定下来,因而温度恢复到室温后,馒头仍有良好的软度。王杭勇等^[15]研究了一18、-3、2、37、49℃贮藏72h馒头老化程度,确定贮藏温度对馒头老化影响很大,贮藏在2℃条件馒头最易老化。此外馒头老化有临界温度,低于-18℃,高于49℃馒头则不易老化。这可能是由于过于低温,淀粉分子降低运动速度使其不易凝沉,高于49℃则淀粉分子运动加速使其不易重行结晶、凝沉,这点与 Marston 等^[16]所得结论大致相同。

1.2.2 水分含量

馒头硬化速率与馒头水分含量密切相关。蒸熟后的馒头在贮藏中,由于水分迁移,硬化逐渐增加。水分含量越少,硬化速率越快。馒头在贮藏过程中,中心区和表皮区之间存在较小的水分浓度差,没有明显的水分迁移,中心区的水分含量并没发生显著的变化,但是馒头的硬化现象却明显发生,表明宏观上的水分迁移并不是馒头硬化的直接原因。随着贮存时间的延长,自由水的含量不断减少,水分从无定形区到结晶区发生了重新分配,其对馒头硬化的影响可能会比水分迁移的作用更大些,但确切的影响机制还不清楚,由于其伴随淀粉重结晶过程发生,所以更可能通过引发重结晶而影响硬化。沙坤^[3]研究表明馒头贮存过程中,中心区域的

水分含量并没发生显著的变化,在表皮层、中间层发生了局部的水分迁移,从无定形区到淀粉结晶区发生了水分的重新分配,后者对馒头硬化起的作用更大。

1.2.3 加工工艺

在馒头的制作加工过程,不同工艺对馒头老化产生不同的影响。

1.2.3.1 搅拌时间

搅拌时间对馒头品质影响极为重要,搅拌时间不足时,面筋未能达到充分扩展,面筋弹性和延伸性不平衡,不能保持发酵时产生二氧化碳气体。馒头体积小,比容差,易收缩;且内部组织粗糙、颗粒大,表现色泽差、易老化^[17]。因此加工过程中控制好搅拌时间可有效减缓馒头老化。

1.2.3.2 发酵成熟度

馒头发酵是在酶的作用下,将各种双糖和多糖转化成单糖,再利用酵母在有效时间内产生大量二氧化碳气体,使面团膨胀的过程^[18]。发酵不足时,馒头体积小、内部组织粗糙、颗粒大、口感不佳、易老化。

2 延缓老化的方法

通过对馒头老化因素的分析,可以看出,馒头老化主要是由于馒头中主要成分如淀粉、蛋白质、水分等在制作和贮存过程中所发生的化学和物理变化及它们之间的相互作用。此外,馒头老化还受温度、水分迁移、加工工艺等因素相互影响。因而,可以从这些方面入手抑制馒头的老化。

2.1 条件下面粉品质

面粉中的淀粉、蛋白质、脂类等对馒头的老化都有一定得影响。淀粉回生是影响馒头老化的主要因素,通过改进面粉成分,促进淀粉与亲水性成分结合,提高馒头中淀粉持水能力,从而抑制馒头贮存过程中老化的发生。脂质可减缓老化的速率,改善馒头的体积。此外,馒头在贮藏过程中的老化速度与蛋白质的含量有关。高蛋白面粉可增大馒头的体积,可促进内部组织软化,进而减缓馒头老化速度。因此蒸制馒头时,要选择适宜品质的面粉。

2.2 水分含量

在馒头的贮藏过程中,由于水分迁移使馒头因为内部水分减少而硬化。随着贮藏过程中水分含量的降低,馒头老化速率呈线性增加。因此,控制馒头中水分的迁移,可起到抑制馒头老化作用。通常采用添加部分面粉改良剂如亲水胶体等,提高馒头的持水性,使馒头在贮藏中水分含量保持在35%~40%这样较高的水平,可使馒头硬化缓慢,长时间保持柔软,而这一含水量对馒头质量的感官指标及理化指标均无影响。

2.3 贮存温度

馒头的贮藏温度直接影响馒头的老化速度。在较低温度(2℃)条件下,馒头老化速率快;在较高温度(30℃)条件下,馒头老化速率慢,但难以防止由于细菌而引起的变化。若要长时间保持馒头的新鲜状态,需要进行冷冻。在-20~-18℃时,馒头中80%水分已冻结,这时馒头能长时间保鲜。随着我国发达地区和大中城市中食品生产、贮运、家庭或社会团体消费的整个“冷链”系统基本形成,这为馒头的冷冻保鲜贮藏的发展创造了最好条件。

2.4 添加剂

在馒头的商业化生产中,酶制剂、乳化剂、亲水胶体等添加剂目前广泛应用于馒头的品质改良和抗老化研究中。

2.4.1 酶制剂

酶是一种具有生物催化活性的蛋白质,它有催化效率高、专一性强、操作条件温和等特点。利用酶制剂改良小麦粉及其制品是当今谷物食品研究中的热点之一,国内已有部分研究。

2.4.1.1 麦芽糖淀粉酶与 α -淀粉酶

研究表明,淀粉和蛋白质之间的相互作用是引起馒头蒸制后老化的主要原因。麦芽糖淀粉酶能够水解直链和支链淀粉,生成 α -麦芽糖和一小部分的糊精,防止淀粉面筋之间的相互作用而产生的老化。 α -淀粉酶能将面粉中的损伤淀粉连续不断地水解成小分子糊精和可溶性淀粉,这些小分子糊精阻止了淀粉与面筋蛋白中的麦谷蛋白之间的相互作用,从而起到延缓淀粉老化的作用。这种糊精的含量与馒头老化的速率的下降呈正相关。

方坤^[18]研究发现 α -淀粉酶的抗馒头老化效果比葡萄糖淀粉酶要好,其最适添加量为0.2%~0.5%。王学东等^[19]研究结果表明,真菌 α -淀粉酶对馒头综合品质的提高优于麦芽糖 α -淀粉酶,而麦芽糖 α -淀粉酶在馒头贮存过程中的抗老化效果优于真菌 α -淀粉酶。鲍宇茹等^[20]研究了低温 α -淀粉酶在馒头贮存过程中对馒头品质的影响,添加量为30mg/kg时馒头的质构品质最佳。

2.4.1.2 脂肪酶

脂肪酶在面团内氧化不饱和脂肪酸使之形成过氧化物,过氧化物可氧化蛋白质分子中的硫氢基团,形成分子内或分子间二硫键,并能诱导蛋白质分子(主要是麦谷蛋白)聚合,使蛋白质分子变得更大,从而提高了面团筋力,改善馒头的质构。

王金水等^[21]研究了5种酶对馒头的抗老化效应,得到酶制剂复配的最佳配方(质量分数)为真菌 α -淀粉酶10%、麦芽糖淀粉酶10%、脂肪酶4%。

2.4.2 乳化剂

乳化剂能使互不相溶的两相(如油和水)相互混溶,并形成均匀分散体或乳化体。它主要与面粉中的淀粉、蛋白质和脂质相互作用。乳化剂的分子中具有线型的脂肪酸长链,可与直链淀粉连接而成为 α -螺旋状复合物,降低淀粉分子的结晶程度,并进入直链淀粉内部,阻止支链淀粉的凝聚,从而起到抗老化的作用。

2.4.2.1 单甘酯和二乙酰酒石酸单甘酯(DATEM)

单甘酯主要通过影响淀粉性质来延缓馒头的硬化的,一方面在糊化过程中与淀粉分子络合,增加了糊化温度,抑制了淀粉颗粒的膨胀,减弱了淀粉颗粒与面筋蛋白之间的相互作用,另一方面延缓了支链淀粉在贮存过程中的回生。

DATEM的疏水基团进入 α -螺旋结构内并在这里与淀粉以疏水方式结合起来,形成一种稳定的强复合物,因而直链淀粉在淀粉粒中被固定下来,向淀粉周围自由水中溶出的直链淀粉减少,防止了因淀粉粒之间的再结晶而发生老化。再者,DATEM使淀粉的吸水溶胀能力降低,从而使更多的水分向蛋白转移,因而增加了食品的柔软度,客观上是延缓了馒头的老化。

钱平^[6]在研究中发现3种乳化剂单甘酯、硬脂酰乳酸钠(SSL)、DATEM都具有较好的延缓馒头硬化的效果,但对馒头的初始硬度都没有改善,与Ofelt等^[22]研究的乳化剂对面包的硬度变化影响现象相似。

2.4.2.2 硬脂酰乳酸钙(CSL)

CSL在制备馒头面团时被吸附在淀粉粒表面,从而起到了防止淀粉粒之间的链接作用,在馒头蒸制阶段,CSL则与水一起向淀粉粒中渗透,与直链淀粉相互作用,CSL被紧包在直链淀粉螺旋结构中形成复合物,防止了淀粉粒之间的再结晶,即发生老化。

何承云等^[23]研究表明4℃条件下,3种乳化剂(CSL、蔗糖酯、单甘酯)对馒头均有一定的抗老化效果。最佳复配比例:CSL 0.15%、单甘酯 0.10%、蔗糖酯 0.08%。

2.4.3 油脂

油脂是面制品制作中的重要原料,能够改善面制品的风味、口感、外观和保质期等。脂质能够与淀粉形成复合物,阻止淀粉分子间的缔合作用,从而阻止淀粉的老化。也可以和不同的蛋白质进行结合,从而影响面筋的网络结构。

王凤成等^[24]研究结果发现,起酥油和精制猪油都能够起到延缓馒头老化的作用。可能是由于油脂的加入提高了馒头的持水性,有效阻止了馒头芯水分向馒头表面迁移,从而使馒头芯的硬度增加变缓。白建民等^[25]研究结果表明,随着乳化油脂的加入,馒头硬度有所降低,可以看出乳化油脂对馒头有延缓其老化的作用。李里特等^[26]研究了猪油对馒头品质的影响,结果表明,

猪油在延缓馒头老化上起到了一定作用。猪油延缓馒头老化的原因并不是因为它与直链淀粉形成复合物。猪油抗老化机理可能与小麦粉脂质有关^[27],这一点有待于进一步研究。

2.4.4 食用胶及亲水胶体

亲水胶体多为天然多糖大分子及其衍生物,一定条件下充分水合而形成黏稠的溶液或凝胶,使其在食品中具有特殊的质构改良以及持水等作用。

食用胶一般都是亲水性的高分子化合物,本身有较强的吸水性,可以使食品保持一定的水分含量,因此也具有防止食品老化的作用。

2.4.4.1 交联淀粉

由于交联淀粉分别引入了亲水性较强的基团,增加了淀粉分子的亲和力,具有增稠性、黏性及保水性,面团中的淀粉分子之间以及淀粉分子与面筋蛋白分子之间形成了较为细密的网络结构,从而延缓馒头老化。

于秀荣等^[28]研究发现交联淀粉对馒头的抗老化效果明显,最佳添加量为0.55%。苏东民等^[29]研究表明,添加适量的玉米羧甲基淀粉能明显抑制馒头老化进程,添加量为0.5%时抗老化性最佳。

2.4.4.2 黄原胶与海藻酸钠

黄原胶可充塞到膨胀的淀粉三维网状组织中形成膜壁,从而阻止淀粉羟基之间的缔结,防止淀粉的重结晶,从而增大馒头的持水能力,延缓馒头老化。

海藻酸钠具有亲水性,可改善馒头组织的黏结性,使面团增加筋性,改善制品内部组织的均一性和持水作用,抑制馒头老化,延长贮藏的时间。

Sim等^[30]研究发现,添加0.2%海藻酸钠(ALG)或0.8%魔芋胶葡甘糖(KGM)对防止馒头的老化有一定作用。何承云等^[31]研究表明,3种亲水胶体(黄原胶、海藻酸钠、卡拉胶)均有显著的抗馒头老化效果,这与国外有研究者^[32]指出黄原胶和藻酸钠在焙烤产品中具有一定的抗硬化效果结论一致。正交试验得到3种胶体最佳复配比为:黄原胶 0.15%、海藻酸钠 0.05%、卡拉胶 0.15%。

2.4.5 复合添加剂

不同添加剂延缓馒头老化机理不尽相同。单一添加剂对馒头的老化虽然能起到一定延缓作用,但效果不够理想且添加量较大,增加成本。在实际生产中,不同添加剂复配使用,抗馒头老化效果更显著。

王显伦等^[33]研究表明DATEM、SSL、CSL和脂肪酶单体复配添加剂比单一乳化剂、酶制剂对馒头质构改善效果更明显,最佳复配比例为DATEM 3g/kg、CSL-SSL 1g/kg、脂肪酶 8mg/kg。潘丽军等^[34]研究了复合改良剂对馒头低温贮存过程中抗老化效果的影响,得到最佳改良剂配方是 α -淀粉酶 0.3%、DATEM 0.7%、马铃薯变

性淀粉3%。肖安红等^[35]研究发现低温脱脂豆粉与维生素对改善馒头品质具有良好的协同改良作用,添加量要依面粉品质而定。

3 结 语

现在人们越来越注重传统食品的研究和开发,馒头作为我国传统主食有着广阔的市场。但馒头老化问题阻碍了主食工业化的发展,也给生产和消费带来极大的损失。通过对影响馒头老化因素的分析,可以从改善馒头主要成分、贮藏温度、加工工艺及添加添加剂等方法延缓馒头老化。

多年来,人们通过研究,已基本了解了各因素对馒头老化的影响。但要真正弄清各因素如何具体地影响馒头的老化过程,探求馒头老化的抑制方法,还必须借助现代分析技术,进一步探求馒头本身成分,包括淀粉,蛋白质,脂肪和外界因素之间的相互作用,进行更为深入和细微的研究。随着研究的不断深入,新的研究成果不断出现,必将进一步延长馒头的货架期,为主食馒头的工业化奠定基础。同时也给食品行业带来巨大的经济效益,为人民的生活提供更多的便利。

参考文献:

- [1] 李里特. 要把餐桌主食品作为食品工业发展的主流[J]. 食品工业科技, 2000(3): 5-7.
- [2] BARCENAS M E, ROSELL C M. Effect of HPMC addition on the microstructure, quality and aging of wheat bread[J]. Food Hydrocolloids, 2005, 19: 1037-1043.
- [3] 沙坤. 中国传统主食馒头老化的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2007.
- [4] RAO P A, NUSSINOVITCH A, CHINACHOTI P. Effect of selected surfactants on amylopectin recrystallization and on recoverability of bread crumb during storage[J]. Cereal Chem, 1992, 69(6): 613-618.
- [5] ROACH R R, HOSENEY R C. Effect of certain surfactants on the starch in bread[J]. Cereal Chem, 1995, 72: 578-582.
- [6] 钱平. 小麦粉品质对馒头老化的影响及馒头抗老化研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2005.
- [7] MARTIN M L, ZELENZNAK K J, HOSENEY R C. A mechanism of bread firming I, role of starch swelling[J]. Cereal Chem, 1991, 68(5): 498-503.
- [8] ADDO K, POMERANZ Y, HUANG M L, et al. Steamed bread II, role of protein content and strength[J]. Cereal Chem, 1991, 68: 39-43.
- [9] RUBENTHALER G L, POMERANZ Y, HUANG M L. Steamed bread IV, Negative Steamer-spring of strong flours[J]. Cereal Chem, 1992, 69(3): 334-337.
- [10] HOSENEY R C, FINNEY K F, POMERANZ Y. Functional (breadmaking) and biochemical properties of wheat flour components. VI. Gliadin-lipid-glutenin interaction in wheat gluten[J]. Cereal Chem, 1970, 47(2): 135-139.
- [11] POMERANZ Y, HUANG M, RUBENTHALER G L. Steamed bread III, role of lipids[J]. Cereal Chemistry, 1991, 68(4): 353-356.
- [12] 李昌文, 欧阳韶晖, 张国权, 等. 面粉中的脂类物质对面团特性和主要食品品质的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2003(10): 4-5.
- [13] 徐广文, 朱帆, 丁文平. 小麦理化性质对馒头老化影响的研究[J]. 面粉通讯, 2007, 6(11): 31-34.
- [14] 成晓瑜. 改善馒头品质的研究[J]. 北京: 中国农业大学, 1998.
- [15] 王杭勇, 秦礼谦. 延缓馒头老化方法的研究[J]. 郑州粮食学院学报, 1986(4): 1-10.
- [16] MARSTON P E, SHORT A L. Factors involved in the storage of bread [J]. Food Technol, 1969, 21: 154-159.
- [17] 李云波, 胡燕. 淀粉质食品的抗老化研究进展[J]. 现代商贸工业, 2009(10): 272-273.
- [18] 方坤. 复合改良剂对低温面制品抗老化及防褐变效果的研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2010.
- [19] 王学东, 杨浩, 姚娟, 等. 真菌 α -淀粉酶和麦芽糖 α -淀粉酶对馒头粉品质改良的比较研究[J]. 食品科技, 2006(10): 48-52.
- [20] 鲍宇茹, 李辉. 低温 α -淀粉酶对馒头储存特性影响研究[J]. 粮食工程技术, 2007(12): 91-93.
- [21] 王金水, 司学艺, 崔剑锋. 酶制剂抗馒头老化效果研究[J]. 粮油食品科技, 2004, 12(1): 4-7.
- [22] OFELT C W, MACMARTEN M M, LANCASTER E B, et al. Effect on crumb firmness I. Mono- and diglycerides[J]. Cereal Chem, 1958, 35: 137-138.
- [23] 何承云, 林向阳. 乳化剂抗馒头老化效果的研究[J]. 农产品加工: 学刊, 2010(5): 20-26.
- [24] 王凤成, 李鹏, 王显伦. 油脂对馒头品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2006, 21(3): 238-240.
- [25] 白建民, 刘长虹, 韩禅娟. 乳化油脂对面团流变特性和馒头品质的影响[J]. 粮食加工, 2009, 34(6): 46-48.
- [26] 李里特, 成晓瑜. 添加猪油对馒头品质的改善[J]. 中国粮油学报, 1999, 14(1): 47-50.
- [27] HEBEDA R E, ZOBEL H F. Baked goods freshness[M]. Marcel Dekker, 1996.
- [28] 于秀荣, 吴存荣, 张浩, 等. 马铃薯和玉米交联淀粉对馒头抗老化性的研究[J]. 粮食贮藏, 2006(5): 46-48.
- [29] 苏东民, 李浩, 马荣琨, 等. 玉米羧甲基淀粉对馒头品质及老化特性的影响[J]. 粮食加工, 2009(4): 47-51.
- [30] SIM S Y, NOOR AZIAH A A, CHENG L H. Characteristics of wheat dough and Chinese steamed bread added with sodium alginates or konjac glucomannan[J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25(5): 951-957.
- [31] 何承云, 林向阳, 孙科祥, 等. 亲水胶体抗馒头老化效果的研究[J]. 农产品加工: 学刊, 2008(1): 23-28.
- [32] GUARDA A, ROSELL C M, BENEDITO C, et al. Different hydrocolloids as bread improvers and antistaling agents[J]. Food Hydrocolloids, 2004, 18(2): 241-247.
- [33] 王显伦, 王凤成. 复合乳化剂酶制剂对馒头品质的影响研究[J]. 中国粮油学报, 2006, 21(3): 241-244.
- [34] 潘丽军, 方坤, 马道荣, 等. 复合改良剂对馒头低温贮藏抗老化效果的影响[J]. 食品科学, 2010, 31(12): 284-287.
- [35] 肖安红, 李学昌, 马昌义. 低温脱脂豆粉及其与维生素C协同改良馒头品质的研究[J]. 食品工业科技, 2005, 26(2): 91-94.