

鲜湿米粉抗老化研究进展

Research progress on anti-retrogradation of fresh rice noodles

钱鑫^{1,2,3}周文化^{1,2,3}李良怡^{1,2,3}QIAN Xin^{1,2,3}ZHOU Wen-hua^{1,2,3}LI Liang-yi^{1,2,3}谭玉珩^{1,2,3}胡瀚^{1,2,3}张雨鑫^{1,2,3}TAN Yu-heng^{1,2,3}HU Han^{1,2,3}ZHANG Yu-xin^{1,2,3}

(1. 中南林业科技大学食品科学与工程学院, 湖南 长沙 410004; 2. 特医食品加工湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410004; 3. 国家稻谷深加工及副产物实验室, 湖南 长沙 410004)

(1. College of Food Science and Engineering, Central South University of Forestry and Technology, Changsha, Hunan 410004, China; 2. Hunan Key Laboratory of Special Medical Food Processing, Changsha, Hunan 410004, China; 3. National Laboratory of Rice Deep Processing and By-products, Changsha, Hunan 410004, China)

摘要:文章主要介绍了鲜湿米粉老化的机理,探讨了影响鲜湿米粉老化的因素,归纳了目前在食品领域中物理法、酶法、食品添加剂法在鲜湿米粉中抗老化的应用情况及可能存在的问题,并对鲜湿米粉抗老化方法未来的研究方向进行了展望。

关键词:鲜湿米粉;抗老化;食品添加剂

Abstract: In this review, the mechanism of retrogradation of fresh rice noodle was introduced, and the factors affecting the retrogradation of fresh rice noodle were discussed. At present, the application of physical method, enzyme method and food additive method in anti-retrogradation of fresh rice noodle and the possible problems were summarized, and the future research direction of anti-retrogradation methods of fresh rice noodle was prospected.

Keywords: fresh rice noodles; anti-retrogradation; food additives

鲜湿米粉因口感柔软滑爽等特征深受消费者的喜爱。其加工方式主要是通过通过在粳米中添加发酵剂浸泡发酵,再经磨浆、糊化、挤丝(切条)等一系列工序制成。相比传统干米粉,鲜湿米粉可以直接加工食用,方便且口感

佳^[1]。但鲜湿米粉也存在一些问题,如经过一段时间存放后,新鲜米粉就会逐渐老化(又称回生),表现出口感变硬、韧性变差、脆且易断、复水性变差等特征^[2],而且不能长期存放,在一定条件下容易滋生微生物如蜡样芽孢杆菌等,导致鲜湿米粉的市场占有率低。文章拟主要介绍鲜湿米粉老化的机理,以及影响其老化的因素,并根据鲜湿米粉老化的问题进行进一步的解决,综述现有的鲜湿米粉抗老化的主要方法(物理法、酶法、食品添加剂法)的研究进展,以期今后解决鲜湿米粉老化产生不良品质的问题提供依据。

1 鲜湿米粉老化概述

1.1 鲜湿米粉老化机理

鲜湿米粉的老化涉及到淀粉的老化,而淀粉老化的机理迄今为止还没有完全准确的说法。但目前对于淀粉老化机理的研究,主要归因于淀粉分子在混合体系中不断迁移,水分的二次分配和糊化淀粉的重结晶。针对淀粉的老化,国内外也有许多报道对淀粉老化特性进行研究,按照直链淀粉分子的快速重结晶和支链淀粉分子的缓慢重结晶,将淀粉的老化划分为短期老化和长期老化^[3-4]。在鲜湿米粉加工过程中,淀粉糊化后会经历短期老化(图1),如将新鲜的大米研磨打浆后,米浆经过加热糊化冷却到接近于室温的温度,淀粉分子间会相互凝结而沉淀变成不透明状,形成良好的凝胶特性,并赋予米粉较好的食用品质。而鲜湿米粉在贮藏过程中因存放时间过长所引起淀粉的长期老化,这种老化对鲜湿米粉的品质是不利的。鲜湿米粉的长期老化使淀粉的化学性质变差,结合水的能力会明显下降,难于复水并变硬,且随

基金项目:湖南省重点研发计划(编号:2020NK2020);长沙市自然科学基金资助项目(编号:kq2014150);湖南省创新平台与人才计划(编号:2017TP1021);湖南省创新型省份建设专项(编号:2019TP2011);长沙市科技计划(编号:KC17040007)

作者简介:钱鑫,女,中南林业科技大学在读硕士研究生。

通信作者:周文化(1969—),男,中南林业科技大学教授,博士生导师,博士。E-mail:1479674265@qq.com

收稿日期:2021-06-08

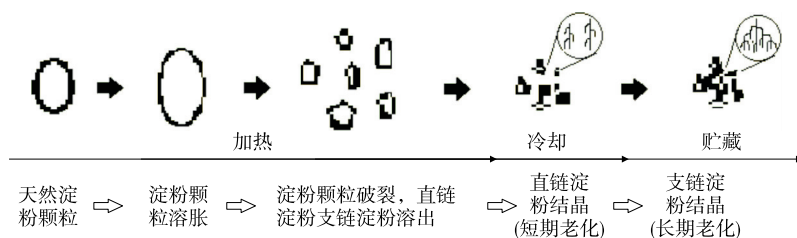


图1 鲜湿米粉老化过程模拟图

Figure 1 Simulation diagram of the retrogradation process of fresh rice noodles

着淀粉老化程度增大,鲜湿米粉混合体系的硬度不断上升,弹性逐渐降低,断条率增加,导致米粉的食用品质降低,从而影响人体的消化吸收。长期老化从淀粉微观结构进行分析,涉及到支链淀粉的重结晶,并受支链淀粉分子大小、长短以及直链淀粉与支链淀粉之间相互作用的影响^[5],体系中润胀的淀粉颗粒与直链淀粉和支链淀粉聚集结合成一个有序的微晶束结构,从而引起米粉的质构老化^[6]。从某种意义上来说,淀粉老化的现象是不可避免的,但是可以通过一定的措施来延缓淀粉的老化,减轻淀粉老化对鲜湿米粉带来的负面影响。

1.2 鲜湿米粉老化的影响因素

目前,据统计影响鲜湿米粉老化的因素有很多,主要受贮藏条件、水分含量、淀粉组成、加工条件等因素的影响,其相关研究结果如表1所示。

1.2.1 贮藏条件 鲜湿米粉的贮藏条件是影响老化的主要因素之一。鲜湿米粉在贮藏过程中易受温度、湿度和时间的影响而产生淀粉老化的现象。其中,温度对淀粉老化的影响最为显著。淀粉类食物达到糊化温度后,会随着环境温度降低逐渐开始发生老化现象。一般在淀粉的糊化温度和冻结温度之间,淀粉会随着环境温度的降低,老化程度逐渐加深,尤其在 $2\sim 4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 贮藏时最易发生老化^{[8]46}。同样湿度对鲜湿米粉的老化品质也有一定的影响作用,良好的相对湿度条件可以促进淀粉分子形成凝胶结构。相反,湿度条件过低会造成米粉向空气中失水,导致品质变差^[10]。

1.2.2 含水量 鲜湿米粉主要由淀粉组成,淀粉质食物含水量的高低可以直接影响淀粉的老化速率。鲜湿米粉相比其他淀粉质食物来说,含水量较高一般为 $60\%\sim 80\%$,而高含水量是维持鲜湿米粉表面光泽和独特食用口感的关键^[28]。有关研究^[11]表明,含水量在 $30\%\sim 70\%$ 时,淀粉易发生老化。而鲜湿米粉的含水量刚好在易老化的范围内,因此在贮藏过程中淀粉易老化而使其食用品质明显下降。所以在生产研究鲜湿米粉的过程中,应该合理地控制鲜湿米粉中的含水量,才能最大限度地防止鲜湿米粉的老化。

1.2.3 淀粉组成 不同品种大米制成的鲜湿米粉直链淀粉含量有明显差别,从而对鲜湿米粉的品质有显著的影

响^[24]。淀粉的老化受直链淀粉分子特性和支链淀粉分子特性的影响^[25]。有相关研究^[12-13]表明,直链淀粉含量越高,淀粉的老化速率会越快。总体来说,直链淀粉比支链淀粉更容易发生老化且影响鲜湿米粉的综合品质,这也反映了在米粉生产工艺中选取适度直链淀粉含量的大米品种的重要性。

1.2.4 加工条件 据报道,大米经发酵处理制成的米粉淀粉颗粒糊化温度降低,能够形成致密的凝胶结构更大程度地吸水溶胀,并且具有更高的抗分解性^[18],回生速度较慢^[26]。另外,也有一些研究^[19]发现,利用酸浸处理鲜湿米粉可以减缓其老化,延长保质期。

1.2.5 其他因素 添加糖类(葡萄糖、蔗糖、麦芽糖以及水溶性麦芽糊精等)可以减小淀粉凝胶的程度,延缓老化速度。糖分子的分子量越小,淀粉的老化速度越延缓。一些脂类的物质也能延缓淀粉的老化^[22]。除此之外,pH、一些无机盐离子、蛋白质和植物胶也能抑制淀粉的老化^{[8]8}。

2 鲜湿米粉抗老化方法的研究进展

2.1 物理法抗老化

通过控制鲜湿米粉的加工或贮藏条件来达到延缓老化的常见方法为物理抗老化。姜国富等^[27]研究表明,米粉的老化工艺在 $45\sim 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下进行,米粉的品质比较好。陈志瑜等^[28]研究含水量对大米淀粉老化回生的影响时,发现鲜湿米粉最宜含水量约为 65% ,此时能保证鲜湿米粉在贮藏过程中一直保持较好品质。祝红等^[7]研究表明,鲜湿米粉在 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右的温度贮藏,米粉质构特性、蒸煮损失和颜色变化等品质指标较好。此外,有研究表明淀粉类食物经过微波、高温高压或超微粉碎处理后,不易发生老化。如:罗永丹等^[29]发现微波处理能够影响鲜湿米粉的保鲜品质,鲜湿米粉经过微波处理 40 s 左右后不易老化,延长了其保质期,且产品的食用品质较好;田耀旗^[30]在对比超高压糊化和热糊化的淀粉样品中,在 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 600 MPa 超高压静压处理条件下处理 30 min ,可显著降低淀粉的回生速率,并且直链淀粉溶出越高,淀粉回生速率越大;夏文等^[31]利用超微粉碎技术破坏淀粉颗粒表面结构,发现能一定程度上延缓淀粉的短期老化。但在

表 1 影响鲜湿米粉老化的因素

Table 1 Factors affecting the retrogradation of fresh rice noodles

影响因素	研究结果	参考文献
温度	鲜湿米粉在 25℃左右的温度贮藏时,口感、弹性、蒸煮损失等品质比较适中,且鲜湿米粉随着贮藏时间增加,淀粉的老化会使米粉变硬、韧性变差	[7]
	鲜湿米粉老化程度随着贮藏时间的延长会不断加深,逐渐发生短期老化和长期老化	[8] ⁴⁵
时间	随贮藏时间延长,鲜湿米粉内部的淀粉会因发生老化从而使淀粉与水分子之间的结合能力减弱,导致鲜湿米粉的含水量下降	[9]
湿度	在相对湿度大于 80%的贮藏条件下会对米粉的工艺优化效果最好	[10]
含水量	含水量在 30%~70%时,淀粉易发生老化	[11]
	直链淀粉含量越高,淀粉的老化速率会越快	[12-13]
淀粉组成	鲜湿米粉质构特性与籼米直链淀粉含量、凝胶强度显著相关	[14]
	选用的大米中直链淀粉质量分数在 21.0%~25.0%时,加工出的米粉具有较好的食用品质	[15]
	大米中直链淀粉质量分数会影响米粉的综合品质	[16]
发酵处理	大米经过发酵处理改变了淀粉颗粒的结晶区域,降低了其化学组成蛋白质、脂质和灰分含量,促进了米粉中淀粉分子之间和氢键之间的氢键形成	[17]
	在发酵过程中淀粉颗粒的晶体结构受到中等程度的破坏和塌陷,从而导致大米淀粉颗粒的分解和倒退下降,使发酵米粉回生率降低	[18]
酸浸处理	鲜湿米粉用乳酸/醋酸钠溶液酸浸处理,再通过水浴杀菌,能达到抗老化并延长保质期的目的	[1]
	水浴与酸浸能增强鲜湿米粉的热糊稳定性及抗剪切能力,减缓鲜湿米粉的老化	[19]
糖类	水溶性大豆多糖能通过降低老化淀粉的吸热焓达到淀粉抗老化作用	[20]
	葡萄糖、海藻糖、蔗糖、木糖醇 4 种糖类中海藻糖能最大程度抑制淀粉的老化,抗老化效果最好且抑制效果最明显	[21]
脂类	添加具有表面活性的极性脂如大米粉内源脂,可以与直链淀粉形成复合物,延缓淀粉结构的转变从而抑制米粉的老化	[22]
pH	在酸性条件下比碱性条件下存在更多的氢离子容易与淀粉形成凝胶结构,促进淀粉的老化	[8] ⁸

生产实际应用中,鲜湿米粉一般在室温下贮藏,难免不会受到不可控因素的影响,如温度和水分含量等,难以控制其老化程度。且要考虑鲜湿米粉在生产贮藏过程中的成本以及销售运输的方便性,仅采用物理法来抑制鲜湿米粉老化的技术还不是很成熟,并不适合工业生产上大规模的使用,具有一定的局限性。

2.2 酶法抗老化

酶法抗老化用于鲜湿米粉中是现代科技发展的大背景下生物保鲜抗老化的热点问题。酶法抗老化具有专一性强、催化效率高、抗老化效果显著的优势,所以在鲜湿米粉生产过程中常被人们所使用。但也有研究^{[8]12}发现酶法抗老化存在一些弊端,如过量的 α -淀粉酶在一定程度上会破坏淀粉结构,导致鲜湿米粉的食用品质变差。用于鲜湿米粉抗老化的酶主要分为淀粉酶和非淀粉酶,如表 2 所示。目前来说,应用 β -淀粉酶抗老化的研究相对比较多,使用效果也较好,而 α -淀粉酶的使用有一定的局限性^[32-34]。还有研究^[35-37]发现麦芽糖淀粉酶和一些非淀粉质的酶如谷氨酰胺转氨酶和脂肪酶也具有一定的抗老化作用。

另外,也有研究^[38]发现,环葡聚糖水解酶和葡聚糖分支酶可以通过对淀粉的改性,显著抑制淀粉的老化。研究^[39]发现,在淀粉抗老化试验中,从葡聚糖分支酶中克隆编码高效的基因 *rAqGBE* 在大肠杆菌中进行表达,可以使马铃薯淀粉的回生特性降低。

综上所述,使用酶法抗老化不仅可以提高鲜湿米粉的抗老化效果,还可以在在一定程度上改善鲜湿米粉的质构特性,提高口感质量。但酶法抗老化也仍然存在一些问题,如酶法抗老化工艺繁琐,酶的价格昂贵,添加量与酶解程度难以控制,这些原因限制了酶在工业化生产中的应用,成为现阶段工业化生产鲜湿米粉中待解决的难题。

2.3 食品添加剂抗老化

食品添加剂的种类繁多,不同的添加剂对鲜湿米粉的品质改善效果不同。在鲜湿米粉生产过程中,米粉体系中蛋白质、水、淀粉等多种成分与食品添加剂之间产生相互作用,从而一定程度地减弱了米粉的老化程度,改善其食用品质。目前,在鲜湿米粉中用于抗老化的食品添加剂主要有变性淀粉、乳化剂、食用胶等,关于这些食品添加剂的抗老化作用机理已经有相关研究。

表 2 酶法抗老化在鲜湿米粉中的应用

Table 2 Application of enzymatic anti- retrogradation in fresh rice noodles

名称	研究结果	参考文献
α -淀粉酶	α -淀粉酶运用于生产米粉中抗老化的同时,会导致米粉断条率显著增高,韧性降低以及蒸煮性质受损	[8] ¹²
β -淀粉酶	米片经过糊化后添加 0.15% β -淀粉酶可以有效防止米饭老化变硬,且制成的鲜湿米粉具有显著的抗老化效果,贮藏 1 年也不会老化	[32]
	β -淀粉酶的添加量为 0.1% 时,可以显著抑制鲜湿米线的品质劣变	[33]
麦芽糖淀粉酶	麦芽糖淀粉酶能够使即食米饭具有最好的抗老化效果,同时对米饭质构有一定改善作用	[34]
	谷氨酰胺转氨酶作为一种新型抗老化剂应用于鲜湿方便米粉中,可延缓淀粉的老化速度,保持水分,增加米粉的弹性,维持米粉新鲜爽滑的口感	[35]
谷氨酰胺转氨酶	谷氨酰胺转氨酶可以催化蛋白质分子交联形成网络结构,阻碍淀粉分子的迁移,进而抑制淀粉分子的重结晶	[36]
脂肪酶	添加一定量脂肪酶可以延缓米粉的老化	[37]

2.3.1 变性淀粉 变性淀粉是利用某些手段切断和重排引入新的官能团,改变天然淀粉的分子结构及其分子大小,因而改变了淀粉的特性。变性淀粉中常引入一些亲水基团,用于鲜湿米粉中可以通过阻碍淀粉分子间氢键缩合脱水作用,起到抗老化的效果^[40]。

变性淀粉具有增稠、稳定、乳化、凝胶的作用,用于食品工业中不仅可以增加米粉的光滑度及透明度,而且还可以提高米粉的弹性,劲道和耐嚼性等品质特性。变性淀粉品种、规格繁多,现阶段大多数米粉制造商用于米粉中抗老化的变性淀粉主要有羟丙基淀粉、马铃薯变性淀粉、环状糊精等^[41]。邹育等^[42]研究表明,在大米为原料的食品加工和贮藏过程中,马铃薯变性淀粉比单硬脂酸甘油酯使用效果好,对淀粉老化具有很好的抑制作用,且二者复配使用的效果会更好。谢定等^[43]研究发现,多种添加剂如木薯变性淀粉、马铃薯变性淀粉等对米粉具有一定的抗老化作用,其中麦芽糊精延缓米片的回生效果最好。李超^[44]³⁰研究鲜湿米粉抗老化优化配方结果表明,麦芽糊精添加量为 1.59% 时,可以维持米粉较好的品质。另外也有一些关于复合变性淀粉的研究表明,复合变性淀粉有更优越的持水性和抗老化效果,延缓淀粉贮藏过程中的重结晶。如黄丽等^[45]研究发现,添加 15% 羟丙基二淀粉磷酸酯的样品可显著延缓鲜湿米粉的长期老化。

2.3.2 乳化剂 乳化剂是谷类食品最理想的抗老化剂^[46],它可以渗入淀粉的内部,与直链淀粉反应形成不溶性的结构,防止淀粉的溶出,增强淀粉结构的稳定性,阻止淀粉重新结晶而发生老化,支链淀粉可以通过氢键作用于支链淀粉外部的分支上,阻止支链淀粉的凝聚,从而起到抗老化的作用^[47]。

王邦辉等^[35]研究发现甘油脂肪酸酯能提高淀粉的持水性,防止鲜湿方便米粉老化,用量一般为 0.2%~0.5%。

李超^[44]³⁰研究表明蔗糖酯添加量为 0.13%,单甘酯添加量为 0.15% 时,对于鲜湿米粉抗老化效果较好。单甘脂可以和淀粉分子间氢键产生络合,使活性较强的游离氨基直接与单甘脂等结合,使其失去活性,缔合作用停止,防止游离淀粉溶出,防止老化。邓丹雯等^[48]研究表明:添加蔗糖酯和单甘酯对大米具有显著的抗老化作用。谢定等^[43]也同样证实了这个观点。在大米淀粉体系中加入了单甘脂与蔗糖酯,发现乳化剂可以和直链淀粉形成复合物,抑制淀粉颗粒的膨胀,从而改变大米淀粉体系的短期老化过程。而王月慧等^[33]研究表明单甘脂对改善米粉品质没有效果。李超^[44]²⁵⁻²⁶对比发现,蔗糖酯对发酵湿米粉的抗老化效果比单甘脂好。赵萌等^[49]研究结果表明,在 20℃ 室温条件下短期放置时,单硬脂酸甘油酯抗老化效果最好,而长期放置在一 20℃ 冷冻条件下,蔗糖脂肪酸酯抗老化作用最显著。由此可以看出,乳化剂会受到一些物理因素的影响,从而呈现不同的使用效果。乳化剂给鲜湿米粉带来良好品质的同时如果使用不当也会使米粉的韧性大大降低,断条率高,导致产品质量变差。此外,生产乳化剂的厂家较多,产品质量参差不齐,添加剂量尚不明确,应用效果较差,所以乳化剂在鲜湿米粉中的应用仍需要进一步研究。

2.3.3 食用胶 食用胶一般为亲水性的高分子化合物,具有较强的吸水持水性、成膜性以及增稠性。将其添加至鲜湿米粉中,可以防止水分散失,使米粉保持较高含水量,从而延缓其老化,而且它还可以与淀粉、蛋白质等相互作用形成复合结构,降低米粉煮后浑汤现象的发生,从而提高米粉的品质,延长鲜湿米粉的货架期。

常见的植物胶如刺槐果胶、瓜尔豆胶、魔芋胶等,均可有效抑制鲜湿米粉的老化,但添加量不宜过大,否则会加速鲜湿米粉老化的速度,导致其食用品质下降^[50]。钟远爱等^[51]研究发现,瓜尔豆胶、沙蒿胶和魔芋胶等对小麦

淀粉粉丝的品质都有较好的改善作用。何承云等^[52]研究表明,黄原胶、海藻酸钠和卡拉胶对馒头均有一定的抗老化效果,黄原胶添加量为0.15%,海藻酸钠添加量为0.05%,卡拉胶添加量为0.15%的复配比例抗馒头老化效果较好。白菊红等^[53]通过研究食用胶对苦荞冻糕抗老化作用,得出最优抗老化剂配方为黄原胶添加量0.13%、海藻酸钠添加量0.17%、卡拉胶添加量0.24%。谢定等^[48]研究保鲜米粉抗老化时发现,瓜尔豆胶、黄原胶对保鲜方便米粉有一定的抗老化效果。汪霞丽等^[54]研究发现,鲜湿米粉中添加0.3%的瓜尔豆胶可显著抑制米粉老化。截至目前,食用胶用于鲜湿米粉中的研究还比较少,尤其是复配食用胶在鲜湿米粉中的应用研究,有很大的空间值得更多的学者去探索和发现。

3 展望

目前,关于鲜湿米粉工艺方面的研究较多,而关于鲜湿米粉抗老化机理的研究较少,特别是对使用酶制剂或者添加各种食品添加剂来探究鲜湿米粉抗老化的机理还不是很明确。鲜湿米粉抗老化的研究相比于其他淀粉类食品还比较落后,因此针对关于鲜湿米粉的老化机理可以作为今后研究方向的重点。

对比鲜湿米粉抗老化3种主要方法,发现:①物理法抗老化难以控制,不适合大规模化生产;②酶法抗老化用于鲜湿米粉中的种类比较单一,且酶的添加量和酶解程度不好控制,有待研究发现更好的复配酶制剂应用于米粉的生产中,如可以尝试用淀粉酶和非淀粉酶复配,可能会达到更好的效果;③食品添加剂抗老化是目前工业生产应用比较广泛的一种方法,食品添加剂在米粉中的应用目前来说还达不到长期保鲜延长保质期的效果,且单一的食品添加剂抗老化方法仍有不足,未来可注重多种食品添加剂复配使用的研究,并综合考虑各方面的因素,以达到扬长避短的效果。

参考文献

- [1] 刘超. 湿米粉加工工艺与保鲜技术研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2016: 1-4.
LIU Chao. Research on the processing technology and fresh-keeping technology of wet rice noodles [D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2016: 1-4.
- [2] 罗舜菁, 占柳菁, 刘成梅. 食品添加剂抗鲜湿方便米粉老化的研究进展[J]. 食品工业科技, 2016, 37(6): 392-395, 399.
LUO Shun-jing, ZHAN Liu-jing, LIU Cheng-mei. Research progress in food additives on instant fresh rice noodle retrogradation[J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(6): 392-395, 399.
- [3] 牛猛, 王莉, 杨冰, 等. 大米淀粉老化特性的研究进展[J]. 中国粮油学报, 2011, 26(11): 124-128.

- NIU Meng, WANG Li, YANG Bing, et al. Advance in research of retrogradation of rice starch[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2011, 26(11): 124-128.
- [4] 李彩丽. 淀粉回生过程中的自组装机制及对淀粉消化性的影响[D]. 天津: 天津科技大学, 2016: 1-3.
LI Cai-li. The self-assembly mechanism of starch retrogradation and its effect on starch digestibility[D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2016: 1-3.
- [5] 乔聪聪, 吴娜娜, 陈辉球, 等. 谷物制品老化机理及其调控技术研究进展[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(4): 133-140.
QIAO Cong-cong, WU Na-na, CHEN Hui-qiu, et al. Research progress on the mechanisms of retrogradation and technologies of retrogradation controlling of cereal products[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2019, 34(4): 133-140.
- [6] 张雨, 张康逸, 张国治. 淀粉老化过程机理及淀粉抗老化剂应用的研究进展[J]. 食品工业科技, 2019, 40(13): 316-321.
ZHANG Yu, ZHANG Kang-yi, ZHANG Guo-zhi. Research progress on starch retrogradation process mechanism and application of starch anti-retrogradation agents [J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(13): 316-321.
- [7] 祝红, 王芳, 易翠平. 贮藏温度和时间对鲜湿米粉品质的影响[J]. 食品与机械, 2018, 34(3): 132-136.
ZHU Hong, WANG Fang, YI Cui-ping. Effect of storage temperature and duration on the quality properties of fresh rice noodles[J]. Food & Machinery, 2018, 34(3): 132-136.
- [8] 汪霞丽. 方便湿米粉的抗老化研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2012.
WANG Xia-li. Anti-aging research of instant wet rice noodles[D]. Changsha: Changsha University of Science and Technology, 2012.
- [9] 章焰. 方便米粉的抗老化及品质控制研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2005: 7-8.
ZHANG Yan. Research on anti-aging and quality control of instant rice noodles[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2005: 7-8.
- [10] 郭利利, 周显青, 熊宁, 等. 压榨型鲜湿米粉条制作方法的研究[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(5): 110-116, 126.
GUO Li-li, ZHOU Xian-qing, XIONG Ning, et al. Study on the method of making squeezed fresh wet rice noodles[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2017, 32(5): 110-116, 126.
- [11] 王丽丽. 淀粉质食品的抗老化研究[J]. 农产品加工·学刊, 2011(4): 63-64, 69.
WANG Li-li. Starch foods of anti-aging[J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2011(4): 63-64, 69.
- [12] ITURRIAGA L B, MISHIMA B, ANON M C. A study of the retrogradation process in five argentine rice starches[J]. LWT-Food Science and Technology, 2010, 43(4): 670-674.
- [13] 李刚凤. 米粉老化的影响因素及其机理研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2013: 2.
LI Gang-feng. Research on the influencing factors and mechanism

- of rice noodle aging[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2013: 2.
- [14] 卫攀杰, 陈洁, 许飞, 等. 籼米品种对鲜湿米粉品质影响的研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2020, 41(5): 38-43, 49. WEI Pan-jie, CHEN Jie, XU Fei, et al. Effects of indica rice varieties on the quality of instant fresh rice noodles[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2020, 41(5): 38-43, 49.
- [15] 高晓旭, 佟立涛, 钟葵, 等. 鲜米粉加工专用原料的选择研究[J]. 中国粮油学报, 2015, 30(2): 1-5. GAO Xiao-xu, TONG Li-tao, ZHONG Kui, et al. Raw material selection for fresh rice noodles[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2015, 30(2): 1-5.
- [16] 雷婉莹, 吴卫国, 廖卢艳, 等. 鲜湿米粉品质评价及原料选择[J]. 食品科学, 2020, 41(1): 74-79. LEI Wan-ying, WU We-iguo, LIAO Lu-yan, et al. Quality evaluation of and raw material selection for wet rice noodles[J]. Food Science, 2020, 41(1): 74-79.
- [17] LU Zhan-hui, LI Li-te, MIN Wei-hong, et al. The effects of natural fermentation on the physical properties of rice flour and the rheological characteristics of rice noodles[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2010, 40(9): 985-992.
- [18] YANG Yong, TAO Wen-yi. Effects of lactic acid fermentation on FT-IR and pasting properties of rice flour[J]. Food Research International, 2008, 41(9): 937-940.
- [19] 卫攀杰, 陈洁, 许飞, 等. 保鲜方式对鲜湿米粉品质的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(4): 1-12. WEI Pan-jie, CHEN Jie, XU Fei, et al. Effect of preservation methods on the quality of fresh rice noodles[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(4): 1-12.
- [20] 谭永辉, 李俊, 李军国, 等. 水溶性大豆多糖对淀粉老化特性的影响[J]. 食品工业科技, 2008(4): 93-94. TAN Yong-hui, LI Jun, LI Jun-guo, et al. Effect of soluble soybean polysaccharides on retrogradation behavior of starch[J]. Science and Technology of Food Industry, 2008(4): 93-94.
- [21] 汪佳文. 糖及其衍生物对大米原料特性及鲜湿米粉品质的影响[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2019: 62-64. WANG Jia-wen. Effects of sugar and its derivatives on the characteristics of rice raw materials and the quality of fresh wet rice noodles[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2019: 62-64.
- [22] PUTSEYS J A, LAMBERTS L, DELCOUR J A. Amylose-inclusion complexes: Formation, identity and physico-chemical properties[J]. Journal of Cereal Science, 2010, 51(3): 238-247.
- [23] 董宏浩, 徐丽, 全珂, 等. 鲜湿米粉品质劣变机理及保鲜技术研究进展[J]. 中国粮油学报, 2021, 36(3): 161-168. DONG Hong-hao, XU Li, QUAN Ke, et al. Research progress in quality deterioration mechanism and preservation technology of fresh rice noodles[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2021, 36(3): 161-168.
- [24] 梅小弟. 常德米粉原料适应性及生产工艺研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2016: 1-2. MEI Xiao-di. Study on the raw material adaptability and production technology of Changde rice noodles[D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2016: 1-2.
- [25] 王丽群, 郑先哲, 孟庆虹, 等. 大米淀粉结构组成与其品质特性关系的研究进展[J]. 食品工业, 2017, 38(5): 273-276. WANG Li-qun, ZHENG Xian-zhe, MENG Qing-hong, et al. Advance in research of relationship between the composition of rice starch structure and its quality characteristic[J]. Food Industry, 2017, 38(5): 273-276.
- [26] LU Zhan-hui, SASAKI T, KOBAYASHI N, et al. Elucidation of fermentation effect on rice noodles using combined dynamic viscoelasticity and thermal analyses[J]. Cereal Chemistry, 2009, 86(1): 70-75.
- [27] 姜国富, 顾玉广. 高档直条米粉最佳工艺探讨[J]. 食品研究与开发, 2001(6): 32-33. JIANG Guo-fu, GU Yu-guang. Discussion on the best technology of high-grade straight rice noodles[J]. Food Research and Development, 2001(6): 32-33.
- [28] 陈志瑜, 周文化, 宋显良, 等. 水分含量对鲜湿米粉品质影响[J]. 粮食与油脂, 2012, 25(7): 23-26. CHEN Zhi-yu, ZHOU Wen-hua, SONG Xian-liang, et al. Effect of moisture content on the quality of fresh rice noodles[J]. Cereals & Oils, 2012, 25(7): 23-26.
- [29] 罗永丹, 尹秀华, 朱韧, 等. 微波处理对鲜湿米粉保鲜品质的影响[J]. 粮食与油脂, 2020, 33(5): 64-68. LUO Yong-dan, YIN Xiu-hua, ZHU Ren, et al. Effect of microwave treatment on the preservation quality of fresh wet rice noodles[J]. Cereals & Oils, 2020, 33(5): 64-68.
- [30] 田耀旗. 淀粉回生及其控制研究[D]. 无锡: 江南大学, 2011: 67-72. TIAN Yao-qi. Research on starch retrogradation and its control[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2011: 67-72.
- [31] 夏文, 胡洋, 李积华, 等. 超微粉碎对木薯淀粉老化特性的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(24): 44-47, 57. XIA Wen, HU Yang, LI Ji-hua, et al. Effect of superfine grinding on the retrogradation properties of tapioca starch[J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(24): 44-47, 57.
- [32] 邱泼, 韩文凤, 殷七荣, 等. 生物酶法抑制鲜湿米粉回生的研究[J]. 粮食与饲料工业, 2006(11): 17-18, 21. QIU Po, HAN Wen-feng, YIN Qi-rong, et al. Studies on the inhibition of retrogradation of instant fresh rice noodles by amylase[J]. Food and Feed Industry, 2006(11): 17-18, 21.
- [33] 王月慧, 丁文平. 品质改良剂对鲜湿米线储藏品质影响的研究[J]. 粮食与饲料工业, 2005(2): 20-21. WANG Yue-hui, DING Wen-ping. Effect of modifier on the storage properties of the instant wet rice noodles[J]. Cereal and Feed Industries, 2005(2): 20-21.
- [34] 王睿, 马晓军. 几种淀粉酶对即食米饭老化影响的研究[J]. 中国粮油学报, 2007, 22(4): 114-116.

- WANG Rui, MA Xiao-jun. Influence of amylases on retrogradation of instant rice[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2007, 22(4): 114-116.
- [35] 王邦辉, 李玮, 郭琦, 等. 新型食品添加剂在鲜湿方便食品改良中的应用[J]. 食品研究与开发, 2009, 30(9): 184-186.
- WANG Bang-hui, LI Wei, GUO Qi, et al. The application of new food additive in fresh-wetter instant food[J]. Food Research and Development, 2009, 30(9): 184-186.
- [36] 陈世龙. 大米凝胶的质构调控及抗老化研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013: 24-25.
- CHEN Shi-long. Research on texture control and anti-aging of rice gel[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2013: 24-25.
- [37] 胡燕, 陈忠杰, 赵思明. 脂肪酶对大米凝胶特性的影响研究[J]. 中国食品添加剂, 2011(2): 129-135.
- HU Yan, CHEN Zhong-jie, ZHAO Si-ming. Influence of lipase on rice gel characteristics[J]. China Food Additives, 2011(2): 129-135.
- [38] AUH J H, CHAE H Y, KIM Y R, et al. Modification of rice starch by selective degradation of amylose using alkalophilic Bacillus cyclomaltodextrinase[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54(6): 2314.
- [39] XIA Cheng-yao, QIAO Yan, DONG Chao-nan, et al. Enzymatic properties of an efficient glucan branching enzyme and its potential application in starch modification[J]. Protein Expression and Purification, 2021, 178: 105779.
- [40] 胡爱军, 郑捷, 秦志平, 等. 变性淀粉特性及其在食品工业中的应用[J]. 粮食与油脂, 2010(6): 1-4.
- HU Ai-jun, ZHENG Jie, QIN Zhi-ping, et al. Properties of modified starches and their applications in food industry [J]. Cereals and Oils, 2010(6): 1-4.
- [41] 王坤, 吕振磊, 王雨生, 等. 变性淀粉对面团流变学特性和面包品质的影响[J]. 食品与机械, 2011, 27(4): 20-24.
- WANG Kun, LU Zhen-lei, WANG Yu-sheng, et al. Effects of modified starch on dough rheological properties and bread quality[J]. Food & Machinery, 2011, 27(4): 20-24.
- [42] 邹育, 任元元, 康建平, 等. 传统冻糕工业化生产技术研究[J]. 食品与发酵科技, 2019, 55(2): 33-36.
- ZOU Yu, REN Yuan-yuan, KANG Jian-ping, et al. Research on industrial production technology of traditional parfait[J]. Food and Fermentation Technology, 2019, 55(2): 33-36.
- [43] 谢定, 刘永乐, 单阳, 等. 保鲜方便米粉抗老化研究[J]. 食品与机械, 2006, 22(2): 8-10, 29.
- XIE Ding, LIU Yong-le, SHAN Yang, et al. Investigation of anti-retrogradation of fresh instant rice noodles[J]. Food & Machinery, 2006, 22(2): 8-10, 29.
- [44] 李超. 发酵型湿米粉品质分析及抗老化研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2012.
- LI Chao. Quality analysis and anti-aging research of fermented wet rice noodles[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2012.
- [45] 黄丽, 占柳菁, 梁露, 等. 羟丙基二淀粉磷酸酯对鲜湿方便米粉品质的影响[J]. 食品与机械, 2016, 32(7): 177-180, 213.
- HUANG Li, ZHAN Liu-jing, LIANG Lu, et al. Effect of hydroxypropyl distarch phosphate on retrogradation and cooking quality of instant fresh rice noodl[J]. Food & Machinery, 2016, 32(7): 177-180, 213.
- [46] 张佳程, 周浩. 乳化剂在食品中的作用原理[J]. 食品科技, 1997(3): 22-24.
- ZHANG Jia-cheng, ZHOU Hao. The role of emulsifier in food[J]. Food Science and Technology, 1997(3): 22-24.
- [47] 朱蝶, 胡蓝, 汪师帅. 乳化剂分类、作用及在食品工业中应用[J]. 现代食品, 2019(9): 7-10, 13.
- ZHU Die, HU Lan, WANG Shi-shuai. Emulsifier classification, action and application in food industry[J]. Modern Food, 2019(9): 7-10, 13.
- [48] 邓丹雯, 郑功源, 陈红兵. 湿米粉保鲜工艺的研究[J]. 食品科学, 2001(4): 70-72.
- DENG Dan-wen, ZHENG Gong-yuan, CHEN Hong-bing. Research on the fresh-keeping process of wet rice noodles[J]. Food Science, 2001(4): 70-72.
- [49] 赵萌, 聂刘畅, 沈群, 等. 乳化剂及保藏温度对小米馒头贮藏过程老化的影响[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(6): 52-56.
- ZHAO Meng, NIE Liu-chang, SHEN Qun, et al. Effects of emulsifiers and storage temperature on millet steamed bread aging during storage[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2017, 32(6): 52-56.
- [50] 王思宇, 刘海清, 张芬淑, 等. 物性修饰对方便面皮抗老化的影响[J]. 食品工业, 2019, 40(8): 163-168.
- WANG Si-yu, LIU Hai-qing, ZHANG Fen-shu, et al. Effect of modification of physical properties on anti-retrogradation of instant wheat sheet jelly[J]. Food Industry, 2019, 40(8): 163-168.
- [51] 钟远爱, 唐小俊, 魏振承, 等. 几种食用胶对小麦淀粉粉丝品质的影响[J]. 食品科技, 2018, 43(3): 245-250.
- ZHONG Yuan-ai, TANG Xiao-jun, WEI Zhen-cheng, et al. Effects of several kinds of edible gums on quality of wheat starch vermicelli[J]. Food Science and Technology, 2018, 43(3): 245-250.
- [52] 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): 23-25, 28.
- HE Cheng-yun, LIN Xiang-yang, SUN Ke-xiang, et al. Anti-staling effect of hydrophilic colloids on steamed bread[J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2008(1): 23-25, 28.
- [53] 白菊红, 康建平, 张星灿, 等. 亲水胶体对苦荞冻糕的抗老化作用[J]. 粮油食品科技, 2019, 27(4): 12-18.
- BAI Ju-hong, KANG Jian-ping, ZHANG Xing-can, et al. Anti-aging effect of hydrocolloid on tartary buckwheat parfaith[J]. Cereals, Oils and Foods Technology, 2019, 27(4): 12-18.
- [54] 汪霞丽, 许宙, 卜汉萍, 等. 物性修饰抗方便湿米粉老化的研究[J]. 食品与机械, 2013, 29(6): 15-18, 29.
- WANG Xia-li, XU Zhou, BU Han-ping, et al. Study on anti-retrogradation of instant wet rice noodles by modification of physical properties[J]. Food & Machinery, 2013, 29(6): 15-18, 29.