

DOI:10.3969/j.issn.1003-5060.2025.06.014

玉米抗性淀粉对面包品质的影响

刘浩天^{1,2}, 操丽丽^{1,2}, 孙玉丛¹, 王清伟³, 尤国安³, 庞敏^{1,2}

(1. 合肥工业大学 食品与生物工程学院, 安徽 合肥 230601; 2. 农产品精深加工安徽省重点实验室, 安徽 合肥 230601; 3. 安徽昊晨食品有限公司, 安徽 淮北 235100)

摘要:文章将玉米抗性淀粉添加到高筋粉中,并探讨其对面包品质的影响。结果表明:随着玉米抗性淀粉添加量的增加,面包的硬度、咀嚼度和水分质量分数不断提高,面包芯的颜色也逐渐变白,而面包的比容和内聚性不断降低,弹性则无明显变化,其中添加5%玉米抗性淀粉的面包最受喜爱;玉米抗性淀粉的添加导致面包的淀粉水解率降低,经过180 min水解,添加25%玉米抗性淀粉面包的淀粉水解率比未添加玉米抗性淀粉面包降低了13.72%。贮藏结果实验表明,添加玉米抗性淀粉后所有面包的硬度和咀嚼度上升、弹性和内聚性下降,且可以减缓面包品质的劣化。

关键词:玉米抗性淀粉;面包;品质;消化;老化

中图分类号:TS213.21

文献标志码:A

文章编号:1003-5060(2025)06-0804-08

Effect of maize resistant starch on bread quality

LIU Haotian^{1,2}, CAO Lili^{1,2}, SUN Yucong¹, WANG Qingwei³, YOU Guoan³, PANG Min^{1,2}

(1. School of Food and Biological Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230601, China; 2. Key Laboratory for Agricultural Products Processing of Anhui Province, Hefei 230601, China; 3. Anhui Haochen Foodstuffs Co., Ltd., Huaibei 235100, China)

Abstract: This paper explored the effect of adding maize resistant starch to high gluten flour on the quality of bread. The results showed that the hardness, chewiness and moisture mass fraction of the bread were increased with the addition of maize resistant starch and the color of the bread core gradually became whiter, while the specific volume and cohesiveness of the bread were decreased, with no significant change in springiness. The bread with 5% maize resistant starch was the most preferred. The addition of maize resistant starch resulted in a reduction in the starch hydrolysis rate of the bread. After 180 min of hydrolysis, the starch hydrolysis rate of the bread with 25% maize resistant starch was 13.72% lower than that of the bread without maize resistant starch. Storage tests showed an increase in hardness and chewiness, and a decrease in springiness and cohesiveness in all breads with maize resistant starch. The addition of maize resistant starch could slow down the deterioration of the bread quality.

Key words: maize resistant starch; bread; quality; digestion; staling

随着国民经济的高速发展,人们的生活节奏不断加快,越来越多的高热量和高碳水饮食被人们所青睐,在满足味蕾的同时也带来了与膳食相关的疾病,肥胖和糖尿病等疾病的发病率不断提

高,极大地威胁了人们的身体健康^[1]。摄入更多的膳食纤维有利于人体健康饮食结构的搭建,但我国的饮食是以纤维含量较低的精制米面、糖和油脂等为基础构建的。膳食纤维具有降胆固醇、

收稿日期:2023-03-07;修回日期:2023-03-27

基金项目:安徽省科技重大专项资助项目(202103b06020022);合肥工业大学大学生创新创业训练计划资助项目(X202210359868)

作者简介:刘浩天(1999—),男,吉林长春人,合肥工业大学硕士生;

操丽丽(1979—),女,安徽安庆人,博士,合肥工业大学副教授,硕士生导师,通信作者,E-mail:lilycao504@hfut.edu.cn.

降血糖、改善肠道运输等功效。此外,膳食纤维还具有益生元功能,可以被结肠微生物群利用。每人每日摄入 25 g 的膳食纤维是中国营养学会给出的最低标准,但绝大多数人的摄入量达不到要求^[2]。

抗性淀粉指无法酶解的淀粉,在人体中扮演膳食纤维的角色,近年来已得到国内外学者的关注^[3-4]。文献[5]研究发现,抗性淀粉可以参与调节人体肠道菌群的生长,促进有益细菌的繁殖;文献[6]研究了抗性淀粉在人体内作为益生元的作用形式和作用效果,发现Ⅱ型和Ⅲ型抗性淀粉益生元效果更好;文献[7]研究发现,在人体试验中,添加抗性淀粉的主食可以降低血糖波动、减少低血糖发生次数;文献[8]通过实验发现了高抗性淀粉有降低 2 型糖尿病患者血糖的趋势。大量研究表明,抗性淀粉具有良好的益生元作用以及控血糖效果。

面包是人们日常膳食之一,具有方便、美味等优点,深受消费者喜爱。但面包含有大量快速消化淀粉,容易被水解消化,导致吃完后血糖上升幅度较大,对于因疾病原因不得限制血糖上升的人来说,面包不是一个优质的选择。研究发现,以一定比例抗性淀粉制作的面包,增加了膳食纤维摄入,降低了热量和碳水化合物的可利用率,有助于满足有特殊需求的消费者^[9]。用麦麸制作的全麦面包纤维含量高、热量低,但感官评分明显低于非全麦面包,因此,用对面包感官影响较小的抗性淀粉来替代麦麸是一个好的选择^[10-12]。

目前,国内外关于抗性淀粉对面包品质影响的研究较少,因此本文将玉米抗性淀粉加入到高

筋粉中并研究其对面包品质的影响,为开发新的功能性面包提供数据支持。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

玉米抗性淀粉购于东域达调味品专营店;高筋粉购于益海嘉里金龙鱼粮油食品股份有限公司;活性干酵母购于安琪酵母股份有限公司;鸡蛋、糖、盐、黄油、奶粉均购于超市,均为食品级。

α -淀粉酶(400 U/g)、葡萄糖淀粉酶(1.0×10^5 U/mL)均购于上海麦克林生化科技有限公司;无水葡萄糖、3,5-二硝基水杨酸试剂、醋酸钠均购于国药集团化学试剂有限公司,均为分析纯。

1.2 仪器与设备

所用仪器有:分析天平(梅特勒-托利多仪器公司);电热鼓风恒温箱(上海一恒科技有限公司);超速冷冻离心机(HITACHI);TA-XTplus 物性测试仪(英国 Stable 公司);B-220 型恒温水浴锅(上海贤德实验仪器有限公司);色差仪(宇宏光电科技有限公司)。

1.3 方法

1.3.1 高筋粉与玉米抗性淀粉基本成分测定

本实验采用文献[13-17]的方法对高筋粉和玉米抗性淀粉的水分、灰分、蛋白质、脂肪、淀粉的质量分数进行测定。

1.3.2 面包的制作及amp;工艺流程

面包的制作采用文献[18-19]的方法并进行一定修改。分别将 0%、5%、10%、15%、20%、25% 的玉米抗性淀粉加到高筋粉中,其他配料一致,详细配方见表 1 所列。

表 1 添加玉米抗性淀粉的面包配方

单位:g

添加量/%	m (高筋粉)	m (玉米抗性淀粉)	m (水)	m (酵母)	m (糖)	m (盐)	m (奶粉)	m (黄油)	m (鸡蛋液)
0	300	0	130	4	30	2	15	30	35
5	285	15	130	4	30	2	15	30	35
10	270	30	130	4	30	2	15	30	35
15	255	45	130	4	30	2	15	30	35
20	240	60	130	4	30	2	15	30	35
25	225	75	130	4	30	2	15	30	35

面包的制作工艺流程如下:

- 1) 用电子天平称取各配料质量;
- 2) 在盛有 130 g 温水的碗中放入 4 g 酵母,搅拌均匀,以活化酵母;
- 3) 向碗中加入一定比例的高筋粉、玉米抗性淀粉以及其他配料,搅拌均匀成团,揉搓 15 min,

揉至面团表面光滑平整即可;

- 4) 将揉好的面团在 30 °C 下醒发 60 min;
- 5) 用切刀将醒好的面团平均分成 3 份,并用天平进行校正,然后用擀面杖擀成长条形,自下而上卷起来制成面包卷;
- 6) 将 3 份面包卷放入吐司模具中,在 30 °C

下再次醒发 60 min;

7) 将 3 份面包卷放入烤箱,烤箱温度设置为上火 170 °C、下火 190 °C,烘烤时间为 30 min。

1.3.3 面包比容的测定

本文采用菜籽体积排除法计算面包的比容^[20],具体公式为 $R=V/m$ 。其中: R 为面包比容; m 为面包质量; V 为面包体积。

1.3.4 面包色泽和水分质量分数的测定

本文利用色差仪测定面包芯的亮度值 L^* 、红绿色值 a^* 和黄蓝色值 b^* 。采用文献[21]中的直接干燥法测定面包中水分质量分数。

1.3.5 面包感官的测定

采用文献[22]的方法并作一定修改,测定指标包括面包的形态、组织、口感、香味以及喜爱程度,其中每项指标 20 分,总分 100 分。具体评价标准见表 2 所列。

表 2 面包感官评价标准

指标	评价标准	得分
形态	面包表面完整、饱满、无塌陷	15~20
	面包表皮皴裂,结构不对称	6~14
	面包形态不完整,严重变形且表面粗糙	0~5
组织	面包切片组织细腻、有弹性,气孔分布均匀	15~20
	面包切片气孔分布不均,弹性较差	6~14
	面包切面气孔分布严重不均,有明显孔洞	0~5
口感	面包松软适口、无异味,富有弹性	15~20
	面包较松软,有一定弹性	6~14
	面包口感较差,掉渣粘牙	0~5
香味	具有发酵或烘焙好的面包香味	15~20
	面包香味很淡	6~14
	没有香味,有异味	0~5
喜爱程度	非常喜欢	15~20
	比较喜欢	6~14
	不喜欢	0~5

1.3.6 面包质构的测定

烘焙后的面包需冷却 40 min 后进行质构检

测,面包样品的切片厚度为 20 mm。质构仪的探头为 P/36R 圆柱形探头,测试速度 1.0 mm/s,探头感应力 1 g,压缩程度 50%^[23]。

1.3.7 面包体外淀粉消化率的测定

准确称取 (0.50 ± 0.01) g 面包样品,放入 50 mL 小烧杯中,取 10 mL 醋酸钠缓冲液(pH 值为 4.6)、10 mL α -淀粉酶液(400 U/mL)和 4 μ L 葡萄糖淀粉酶(100 000 U/mL)依次放入烧杯中,在 37 °C 下水浴酶解 0、20、60、90、120、180 min,在每个时间点各取 2.0 mL 消化液,沸水浴 5 min 灭酶活,在 8 000 r/min 下离心 10 min,取上清液,采用 DNS 法测定还原糖质量分数^[24-26]。采用酶水解法^[17]测定总淀粉质量分数,并计算淀粉水解率 w ,其计算公式为:

$$w = (0.9m_t/m) \times 100\%$$

其中: m_t 为 t 时间点水解葡萄糖的质量; m 为总淀粉质量。

1.3.8 面包老化特性的测定

将烘焙好的面包放入保鲜袋中贮藏 0、1、2、3 d 后按照 1.3.6 节所述测定面包的质构^[27]。

1.4 数据处理分析

所有实验重复 3 次,数据运用 Excel 2016 进行数据记录,采用 Origin 2022 进行绘图;SPSS Statistics 26 进行数据显著性分析;不同小写字母表示具有显著性差异($P < 0.05$)。

2 结果和分析

2.1 高筋粉和玉米抗性淀粉基本成分分析

高筋粉和玉米抗性淀粉基本成分及其质量分数见表 3 所列。从表 3 可以看出,高筋粉与玉米抗性淀粉的基本成分差异很大,尤其是灰分、蛋白质和脂肪。由此可知,高筋粉中添加玉米抗性淀粉会降低其蛋白质质量分数。

表 3 高筋粉和玉米抗性淀粉基本成分及其质量分数

	淀粉	w (水分)	w (灰分)	w (蛋白质)	w (脂肪)	w (淀粉)
						%
高筋粉		14.021±0.163	0.499±0.016	11.797±0.058	1.410±0.021	72.532±1.134
玉米抗性淀粉		12.535±0.185	0.182±0.013	0.821±0.074	0.521±0.033	83.820±0.443

2.2 玉米抗性淀粉对面包比容的影响

面包的比容是评估面包品质非常重要的指标之一,能直观地反映关于面包整体特性和最终空气保持能力,面包的质构和口感在一定程度上也与其比容有关。玉米抗性淀粉不同添加量对面包比容的影响如图 1 所示。

从图 1 可以看出:面包的比容随着玉米抗性淀粉添加量的增加而不断降低,从最初的 4.07 mL/g 降低至 3.91 mL/g;添加 5%、10% 玉米抗性淀粉不会显著影响面包的比容,与未添加玉米抗性淀粉相比,没有显著差异;玉米抗性淀粉添加量为 15%、20%、25% 时会显著影响面包的

比容($P < 0.05$),这可能是由于添加过多的玉米抗性淀粉会在一定程度上破坏面筋网络,从而导致面包比容降低。

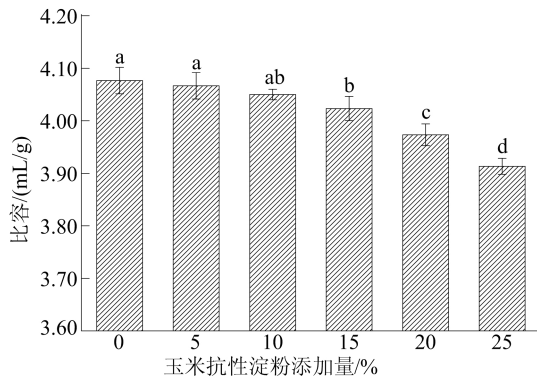


图 1 玉米抗性淀粉添加量对面包比容的影响

2.3 面包色泽和水分质量分数的变化

玉米抗性淀粉添加量对面包色泽和水分质量分数的影响见表 4 所列。

从表 4 可以看出:随着玉米抗性淀粉添加量的增加,面包芯的 L^* 值和 b^* 值逐渐增加,说明面包芯不断变亮变黄,面包芯的 a^* 值呈不断下降趋势,说明面包芯红色值逐渐下降;除添加 5%、10%玉米抗性淀粉的面包之间无显著的亮度差异外,其余各组均有显著差异($P < 0.05$);各组面包的 a^* 值之间存在较明显的差异($P < 0.05$);添加 5%玉米抗性淀粉的面包并不会对面包芯的 b^* 值产生显著影响,更多的添加量则会显著增加 b^* 值($P < 0.05$)。玉米抗性淀粉较高筋粉色白,且由于高筋粉质量分数减少,可用于美拉德反应的还原糖质量分数减少,2 种原因共同导致面包芯颜色变亮^[28]。

面包的水分质量分数随着玉米抗性淀粉添加量的增加呈上升趋势,这可能是玉米抗性淀粉的保水性高于高筋粉所导致,其添加会提高面团的吸水率和持水性,使得成品面包的水分质量分数较高^[29]。

表 4 玉米抗性淀粉添加量对面包色泽和水分质量分数的影响

添加量/%	L^*	a^*	b^*	$w(\text{水分})/\%$
0	(73.98±0.46) ^e	(2.76±0.12) ^a	(22.54±0.34) ^d	(35.48±0.16) ^e
5	(75.92±1.06) ^d	(2.18±0.16) ^b	(22.66±0.26) ^d	(35.82±0.19) ^d
10	(76.49±0.64) ^d	(1.87±0.11) ^c	(23.46±0.30) ^c	(36.17±0.15) ^c
15	(79.60±0.59) ^c	(1.19±0.19) ^d	(23.88±0.62) ^c	(36.60±0.27) ^b
20	(81.26±0.95) ^b	(0.84±0.07) ^e	(24.81±0.16) ^b	(36.80±0.70) ^{ab}
25	(83.48±0.42) ^a	(0.39±0.09) ^f	(25.88±0.18) ^a	(37.08±0.14) ^a

2.4 玉米抗性淀粉对面包质构的影响

玉米抗性淀粉添加量对面包硬度和咀嚼度的影响如图 2 所示。

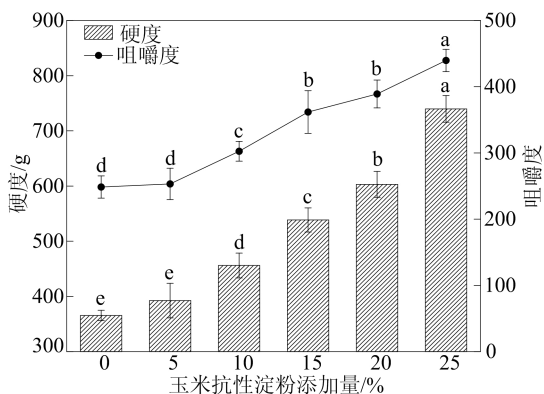


图 2 玉米抗性淀粉添加量对面包硬度和咀嚼度的影响

由图 2 可知,当玉米抗性淀粉添加量为 25% 时,面包的硬度为 739.77 g,未添加玉米抗性淀粉面包的硬度为 365.49 g,硬度的增幅达到

102.40%,除添加 5%玉米抗性淀粉的面包与未添加玉米抗性淀粉的面包硬度无显著差异外,其余各添加量面包硬度均有显著差异($P < 0.05$)。

面包的硬度受蛋白质质量分数的影响很大,玉米抗性淀粉的添加降低了面团中蛋白质的质量分数,使面筋网络结构不完整,削弱了面团在发酵过程中的气体保持能力,从而降低了面包的比容,同时增加了面包的硬度^[30-31]。有学者认为,面包在烘焙过程中,面团中的淀粉会在加热过程中进行糊化,从而吸收水分形成凝胶,该过程可能会增加面包的硬度,说明面包水分质量分数的增加与面包硬度变大有一定关联,具体的机理有待进一步研究^[32]。

由图 2 可知,面包的咀嚼度与玉米抗性淀粉添加量呈正相关。添加 5%玉米抗性淀粉的面包与未添加玉米抗性淀粉面包咀嚼度无显著差异,当玉米抗性淀粉添加量大于 10%时,面包的咀嚼度显著提高($P < 0.05$),这会使面包更硬,不易

咀嚼。

面包的弹性表现为面包受外力挤压后恢复原状的能力,面包的内聚性则反映了面包抵抗受损保持自身完整的能力^[33]。玉米抗性淀粉添加量对面包弹性和内聚性的影响如图 3 所示。

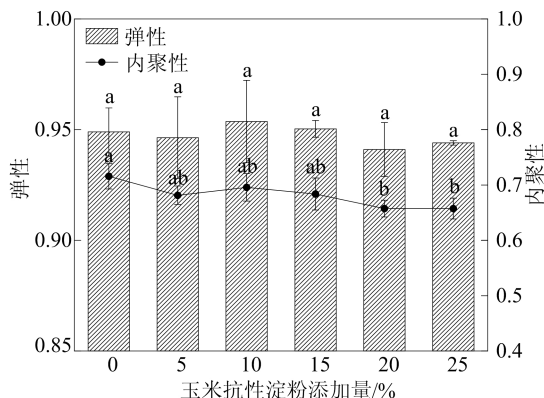


图 3 玉米抗性淀粉添加量对面包弹性和内聚性的影响

由图 3 可知:面包的弹性并未随着玉米抗性淀粉添加量的增加发生显著变化($P < 0.05$),因此玉米抗性淀粉的添加对面包的弹性影响不大;玉米抗性淀粉添加量低于 15% 时对面包的内聚性影响不显著,当玉米抗性淀粉添加量为 20%、25% 时,面包的内聚性分别降低至 0.657、0.656,面包内聚性的降低会使其更易碎、易掉渣,且口感也会变差。

2.5 玉米抗性淀粉对面包感官的影响

面包的感官是决定消费者是否购买的重要因素之一,一种食品能成为商品,最终需要消费者的检验而非仪器,因此感官评价依旧作为目前评价面包品质的重要方法。玉米抗性淀粉对面包感官的影响如图 4 所示。

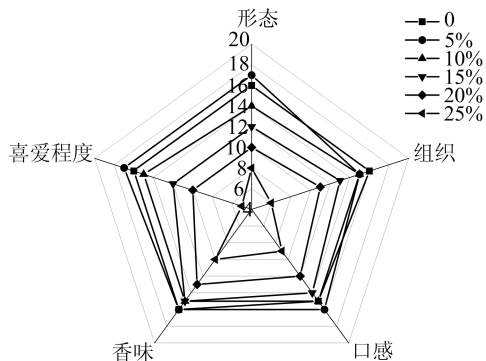


图 4 玉米抗性淀粉添加量对面包感官的影响

由图 4 可知,添加 5% 玉米抗性淀粉的面包最受消费者的喜爱,其结构完整、气孔均匀、口感

良好,感官评分最高。由于玉米抗性淀粉的加入导致面筋蛋白被稀释,面团的强度也随之降低。随着玉米抗性淀粉添加量的增加,面包的比容下降,从而在一定程度上影响了感官评分。当玉米抗性淀粉添加量大于 10% 时,面包的感官急剧恶化,具体表现为面包表面皴裂、气孔分布不均、气味异常且口感变差。

2.6 面包体外淀粉消化率的变化趋势

玉米抗性淀粉添加量对面包体外淀粉消化率的影响如图 5 所示。从图 5 可以看出:在最初的 20 min 内,所有面包样品的淀粉水解速率最大,随后水解速率逐渐降低;玉米抗性淀粉的添加会降低面包的淀粉水解率,其中添加 25% 玉米抗性淀粉的面包淀粉水解率较水解同样 180 min 的未添加玉米抗性淀粉面包低 13.72%,差异显著($P < 0.05$),且各组之间也有较明显的差异($P < 0.05$),这与文献[34]的实验结果一致。据文献[35],3 类淀粉中快消化淀粉水解速率最快,而抗性淀粉几乎不会发生水解,因此玉米抗性淀粉的加入降低了高筋粉中快消化淀粉的比例,从而降低了总体的面包淀粉水解率。随着人们健康饮食的意识逐渐提高,抗性淀粉在面包乃至全食品领域的应用将进一步扩大。

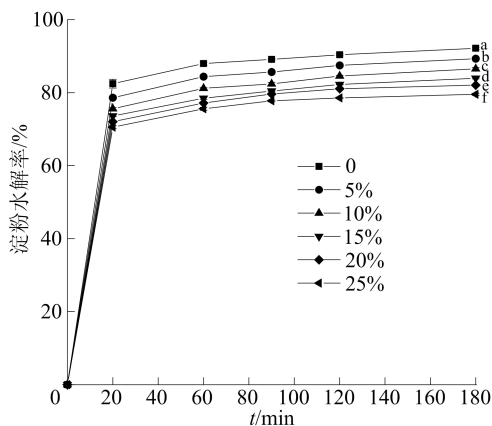


图 5 玉米抗性淀粉添加量对面包体外淀粉消化率的影响

2.7 玉米抗性淀粉对面包老化特性的影响

2.7.1 贮藏时间对面包硬度的影响

面包的硬度反映其老化程度和品质高低。本文研究了面包硬度随贮藏时间的变化情况,如图 6 所示。由图 6 可知,在 3 d 的贮藏过程中,面包的硬度逐渐变大,这种情况在第 1 天尤为显著,随后 2 d 硬度上升的速率放缓,但贮藏时间相同的各组之间差异显著($P < 0.05$)。贮藏 3 d 后,未添加玉米抗性淀粉面包的硬度从 365.49 g 升至

1 186.12 g,增幅 224.53%;25%玉米抗性淀粉面包的硬度从 739.77 g 升至 2 223.08 g,增幅 200.51%。以上数据可以反映出玉米抗性淀粉的添加对面包硬度的上升有阻碍作用,说明玉米抗性淀粉对面包老化有一定延缓的效果。面包硬度变大主要有 2 个原因:① 面包内部水分向外迁移,改变了其内部水分的分布状态;② 贮藏过程中,淀粉发生了重结晶,导致面包内部结构发生变化^[36]。

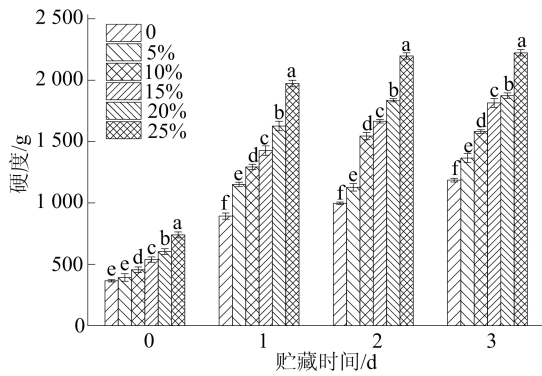


图 6 面包硬度随贮藏时间的变化

2.7.2 贮藏时间对面包咀嚼度的影响

咀嚼度的大小与硬度相关,咀嚼度变大则代表面包口感欠佳、品质变差。本文研究了面包的咀嚼度随贮藏时间的变化,如图 7 所示。

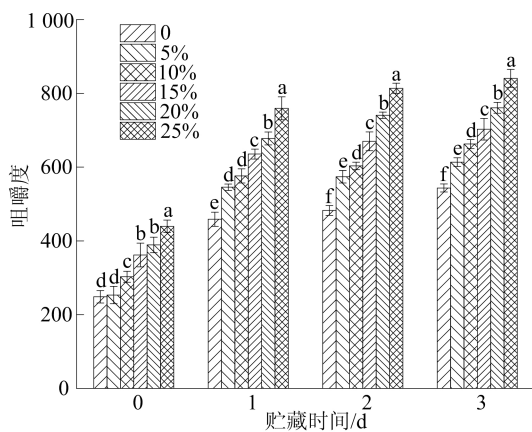


图 7 面包的咀嚼度随贮藏时间的变化

从图 7 可以看出,面包的咀嚼度随着贮藏时间的增大而增大,与硬度随贮藏时间的变化趋势相同,面包的咀嚼度在贮藏第 1 天的增大幅度最大,之后增幅减缓。与贮藏面包的硬度变化趋势基本相同,除了贮藏 1 d 的 5%和 10%玉米抗性淀粉添加量的面包之外,其他贮藏时间的各组之间差异显著($P < 0.05$)。贮藏 3 d,使未添加玉米

抗性淀粉面包的咀嚼度上升了 118.65%,而添加 25%玉米抗性淀粉面包的咀嚼度只上升了 91.21%,可见玉米抗性淀粉能延缓面包咀嚼度的上升。

2.7.3 贮藏时间对面包弹性的影响

柔软细腻的面包最受消费者喜爱,但在贮藏过程中面包品质会下降,导致弹性降低,食用价值大打折扣。本文分析了面包弹性随贮藏时间的变化情况,如图 8 所示。

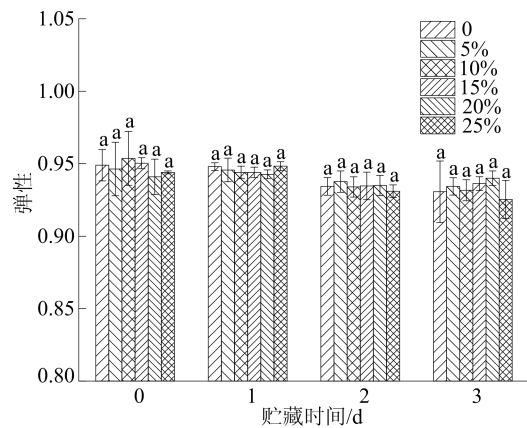


图 8 面包弹性随贮藏时间的变化

从图 8 可以看出,贮藏时间的延长会对面包的弹性产生一定负面影响,但影响程度不大,与前文所述一致,且贮藏时间相同的各组之间没有显著差异,实验并没有发现玉米抗性淀粉对面包的弹性产生显著影响,弹性的下降可能与水分损失、淀粉重结晶或与其他复杂机理有关。

2.7.4 贮藏时间对面包内聚性的影响

面包内聚性的下降则代表着面包品质的恶化。本文研究了贮藏时间对面包内聚性的影响,如图 9 所示。

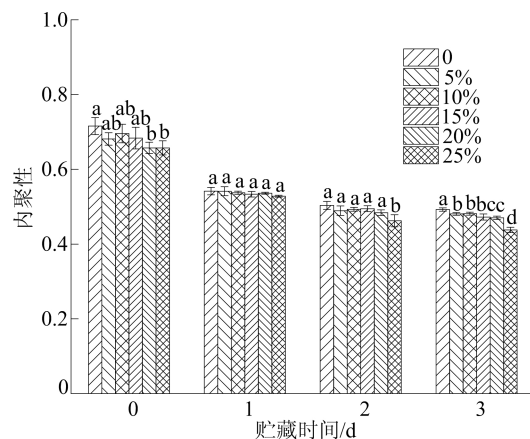


图 9 面包内聚性随贮藏时间的变化

从图 9 可以看出:贮藏 1 d 后,面包的内聚性急剧下降,其中未添加玉米抗性淀粉面包的内聚性从 0.715 降低至 0.542,下降幅度高达 24.20%;添加 25%玉米抗性淀粉面包的内聚性从 0.657 降低至 0.528,下降幅度为 19.63%,说明玉米抗性淀粉可以有效延缓面包内聚性的下降。随后 2 d,面包内聚性的变化程度减缓,继续贮藏则基本保持稳定,在同一贮藏时间下,各组面包内聚性随贮藏时间的变化性差异不明显。

3 结 论

本文研究了玉米抗性淀粉对面包品质的影响,结果表明:随着玉米抗性淀粉添加量的增加,面包的比容不断下降,面包芯不断变亮,水分质量分数不断增大,面包的硬度和咀嚼度不断增大,内聚性则相反,弹性并未发生显著变化,添加 5%玉米抗性淀粉的面包感官评分最高;3 d 的贮藏使面包的品质不断变差,但添加玉米抗性淀粉可在一定程度上缓解面包的老化;玉米抗性淀粉的添加降低了面包淀粉水解率,延缓了血糖上升速度,这将是患有糖尿病和肥胖等疾病人群的福音,且添加合适比例的玉米抗性淀粉也有助于提高面包的品质,吸引消费者购买。本研究有效提高了玉米抗性淀粉的利用价值,也为开发功能型面包提供了一种思路。

[参 考 文 献]

- [1] 陈岑,杨雯,蔡国子,等. 芡实粉对面包品质及淀粉消化性的影响[J]. 食品科技,2018,43(12):179-185.
- [2] MA Z,BOYE J I. Research advances on structural characterization of resistant starch and its structure-physiological function relationship:a review[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition,2018,58(7):1059-1083.
- [3] 米红波,邓婷月,李毅,等. 玉米抗性淀粉的消化特性及其在食品中的应用[J]. 食品与生物技术学报,2021,40(9):9-15.
- [4] ARP C G,CORREA M J,FERRERO C. Rheological and microstructural characterization of wheat dough formulated with high levels of resistant starch[J]. Food and Bioprocess Technology,2018,11(6):1149-1163.
- [5] JAMES S L,CHRISTOPHERSEN C T,BIRD A R,et al. Abnormal fibre usage in UC in remission[J]. Gut,2015,64(4):562-570.
- [6] TEKIN T,DINCER E. Effect of resistant starch types as a prebiotic [J]. Applied Microbiology and Biotechnology,2022,107:491-515.
- [7] 杨帆,朱佳妮,张伦,等. 高抗性淀粉主食对住院 2 型糖尿病患者血糖波动的影响[J]. 中国食物与营养,2019,25(6):75-78.
- [8] 郑洁,曾小庆,宋德明,等. 高抗性淀粉大米对 2 型糖尿病患者血糖的影响研究[J]. 重庆医学,2020,49(18):75-78.
- [9] ARP C G,CORREA M J,ZULETA Á,et al. Techno-functional properties of wheat flour-resistant starch mixtures applied to breadmaking[J]. International Journal of Food Science & Technology,2017,52(2):550-558.
- [10] 费洪立,李志江,阮长青,等. 玉米抗性淀粉的生理功能及其在食品中的应用[J]. 食品工业科技,2022,43(18):425-432.
- [11] BARROS J H T,TELIS V,TABOGA S,et al. Resistant starch:effect on rheology,quality,and staling rate of white wheat bread[J]. Journal of Food Science and Technology,2018,55(11):4578-4588.
- [12] 张婧婷. 玉米抗性淀粉的类型及其制备技术研究进展[J]. 现代面粉工业,2021,35(6):26-33.
- [13] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品国家安全标准 食品中水分的测定:GB 5009. 3—2016[S]. [S. l. :s. n.],2016:1-2.
- [14] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品国家安全标准 食品中灰分的测定:GB 5009. 4—2016[S]. [S. l. :s. n.],2016:1-4.
- [15] 国家食品药品监督管理总局. 食品国家安全标准 食品中蛋白质的测定:GB 5009. 5—2016[S]. [S. l. :s. n.],2016:1-3.
- [16] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品国家安全标准食品中脂肪的测定:GB 5009. 6—2016[S]. [S. l. :s. n.],2016:1-2.
- [17] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品国家安全标准 食品中淀粉的测定:GB 5009. 9—2016[S]. [S. l. :s. n.],2016:1-5.
- [18] 贾彦杰,申飞,魏楠,等. 紫薯面包的研制及其品质和质构特性分析[J]. 食品工业,2021,42(9):60-64.
- [19] ŠMIDOVÁ Z,RYSOVÁ J. Gluten-free bread and bakery products technology[J]. Foods,2022,11(3):480.
- [20] 李芮芷,李师,陈革,等. 微波热处理对马铃薯全粉品质改良及马铃薯面包消化特性的影响[J]. 食品工业科技,2021,42(12):1-7.
- [21] 周枫,李飞,张园园,等. 茶多酚对面包品质及贮藏特性的影响[J]. 粮食与油脂,2021,34(7):153-156.
- [22] 国家市场监督管理总局,国家标准化管理委员会. 面包质量通则:GB/T 20981—2021[S]. 北京:中国质量标准出版传媒有限公司,2021:1-4.
- [23] 徐管. 低 GI 面包的研制及其终产品血糖生成指数的测定[D]. 邯郸:河北工程大学,2020.
- [24] ALIMI B A,WORKNEH T S,OYEYINKA S A. Structural,rheological and *in-vitro* digestibility properties of composite corn-banana starch custard paste [J]. LWT-Food Science and Technology,2017,79:84-91.
- [25] SULLIVAN W R,HUGHES J G,COCKMAN R W,et al. The effects of temperature on the crystalline properties and resistant starch during storage of white bread[J]. Food Chemistry,2017,228:57-61.

- 业研究与开发,2019,39(6):103-108.
- [4] 尹光志,王文松,魏作安,等.地震作用下高堆尾矿坝永久变形与稳定性分析[J].岩土力学,2018,39(10):3717-3726.
- [5] 于斯滢,邵龙潭,刘士乙.基于有限元极限平衡法的尾矿坝坝体稳定分析[J].岩土力学,2013,34(4):1185-1190.
- [6] 王在军.基于有限元强度折减法的尾矿坝稳定性分析[J].工程建设,2021,53(7):30-33,50.
- [7] 贺林林,钱进,赵陈雨,等.巫山神女峰机场高填方边坡稳定性分析方法研究[J].合肥工业大学学报(自然科学版),2023,46(5):646-651,703.
- [8] CHAKRABORTY D, CHOUDHURY D. Pseudo-static and pseudo-dynamic stability analysis of tailings dam under seismic conditions[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section A: Physical Sciences, 2013, 83(1): 63-71.
- [9] ZARDARI A M, MATTSSON H, KNUTSSON S, et al. Numerical analyses of earthquake induced liquefaction and deformation behaviour of an upstream tailings dam[J]. Advances in Materials Science and Engineering, 2017, 2017(1): 1-12.
- [10] 郑长海,岑威钧,赵昱豪.某上游式尾矿坝抗震有限元分析[J].水资源与水工程学报,2021,32(5):215-218.
- [11] 陈战旗,解道举,邹莉清,等.物理力学性质对尾矿坝稳定性影响研究[J].地质灾害与环境保护,2023,34(2): 78-85.
- [12] 刘佳浩,刘红岩,邹宗山,等.竖向及水平地震作用下尾矿库动力响应及液化稳定性分析[J/OL].金属矿山,2023-11-21.(2023-11-21)[2025-01-17].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1055.TD.20231120.1147.002.html>.
- [13] 刘兴宗.齐大山铁矿尾矿坝静动力稳定性分析[D].鞍山:辽宁科技大学,2014.
- [14] 侯超群,丁莹,孙志彬,等.抗滑桩加固边坡三维稳定因素的敏感性分析[J].合肥工业大学学报(自然科学版),2022,45(8):1092-1099.
- [15] 孙志彬,潘秋景,杨小礼,等.非均质边坡上限分析的离散机构及应用[J].岩石力学与工程学报,2017,36(7): 1680-1688.
- [16] DU W Q. Effects of directionality and vertical component of ground motions on seismic slope displacements in Newmark sliding-block analysis [J]. Engineering Geology, 2018, 239: 13-21.
- [17] 黄师,吕悦军,彭艳菊.基于永久位移的边坡地震稳定性安全评价方法研究[J].土木工程学报,2016,49(增刊2): 120-125.

(责任编辑 吴亮)

(上接第810页)

- [26] ARP C G, CORREA M J, FERRERO C. High-amylose resistant starch as a functional ingredient in breads: a technological and microstructural approach[J]. Food and Bioprocess Technology, 2018, 11(12): 2182-2193.
- [27] EVŽEN Š, MIROSLAVA K, IVA W, et al. Two resistant starches applied in bread[J]. Czech Journal of Food Sciences, 2017, 35(1): 67-72.
- [28] BERNHARDT D C, CASTELLI M V, ARQUEROS V, et al. Effect of fibers from bracts of maize (*Zea mays*) as natural additives in wheat bread-making: a technological approach[J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2022, 16(5): 4036-4049.
- [29] 王菲,孙丹蕊,杨留枝,等.苹果酸酯抗性淀粉对曲奇饼干的影响[J].食品工业,2020,41(12):28-32.
- [30] 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.
- [31] SHYU Y S, HWANG J Y, HUANG T C, et al. Effect of resistant starch on physicochemical properties of wheat dough and bread[J]. Journal of Food and Nutrition Research, 2018, 6(5): 335-340.
- [32] ZHU F, QU W, ZHOU Y, et al. Structural and rheological characteristics of wheat flour doughs with different resistant starch contents[J]. Food Chemistry, 2009, 36(6): 226-232.
- [33] 路飞,孟燕楠,李哲,等.不同酶制剂对预糊处理化大米面包品质的影响[J].食品工业,2017,38(5):43-46.
- [34] 程冰,李梦琴,赵龙珂,等.马铃薯抗性淀粉对韧性饼干品质及消化性能的控制[J].食品安全质量检测学报,2022, 12(13): 3746-3753.
- [35] ENGLYST H N, KINGMAN S M, CUMMINGS J H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions[J]. European Journal of Clinical Nutrition, 1992, 46(suppl 2): S33-50.
- [36] 孙莹,苗榕芯,江连洲.不同贮藏时间和方式对马铃薯面包老化的影响[J].粮食加工,2018,43(4):49-54.

(责任编辑 闫杏丽)