

复合生物酶对鲜湿米粉老化的影响及体外消化特性研究

周慧星¹, 高雪琴², 王连生³

(1. 许昌职业技术学院园林与食品工程学院, 许昌 461000; 2. 河南牧业经济学院食品与生物工程学院, 郑州 450054; 3. 辽宁鞍山市粮食运营储备集团有限公司, 鞍山 114000)

摘要: 为了提高鲜湿米粉保质期内的品质, 基于鲜湿米粉设计单因素试验, 对麦芽糖淀粉酶、 α -淀粉酶、 β -淀粉酶、普鲁兰酶等生物酶对鲜湿米粉老化的影响进行研究, 采用响应面优化复合酶制剂的最优配比, 结合体外消化实验研究鲜湿米粉的消化特性。结果显示: 延缓鲜湿米粉老化的关键生物酶及复配比例麦芽糖淀粉酶 0.018%、 α -淀粉酶 0.031%、 β -淀粉酶 0.017%, 并建立数学模型, 预测鲜湿米粉在 4℃ 放置 8 d 硬度值 110.86 gf, 进行 4 次验证试验, 所得鲜湿米粉在 4℃ 放置 8 d 后, 实测硬度为 108.22 gf, 拉伸长度为 27 mm, 断条率为 2.89%。通过体外消化试验显示本研究可以降低鲜湿米粉中淀粉的水解率、水解指数与血糖生成指数预测值, 即可以提高鲜湿米粉的抗消化性。可见生物酶延缓鲜湿米粉老化优化方案基本可行, 对鲜湿米粉在货架期内保证品质及消化深入研究具有指导意义。

关键词: 鲜湿米粉; 生物酶处理; 响应面分析; 老化调控; 体外消化

中图分类号: TS202.3/TS210.1

文献标识码: A

文章编号: 1006-2513(2023)03-0157-07

doi: 10.19804/j.issn1006-2513.2023.03.019

Effect of compound enzymes on aging of fresh wet rice noodles and its digestion characteristics *in vitro*

ZHOU Huixing¹, GAO Xueqin², WANG Liansheng³

(1. Department of Garden and Food Engineering, Xuchang Vocational and Technical College, Xuchang 461000; 2. Food and Bioengineering Department, Henan University of Animal Husbandry and Economy, Zhengzhou 450054; 3. Liaoning Anshan Grain Operation and Reserve Group Co., Ltd., Anshan 114000)

Abstract: In order to improve the quality of fresh wet rice noodles within the shelf life, using fresh wet rice noodles as raw materials, the effects of α -amylase, β -amylase, maltose amylase and pullulanase on the aging of fresh wet rice noodles were studied with single factor experiments. Response surface methodology was used to optimize the

收稿日期: 2022-03-20

基金项目: 2020年度河南省科技攻关项目(202102110286); 2021河南省自然科学基金面上项目(212300410350)。

作者简介: 周慧星(1972-), 女, 讲师, 硕士, 研究方向: 食品安全、食品保藏。

ratio of compound enzyme preparation, and the digestion characteristics of fresh wet rice noodles were studied with *in vitro* digestion experiments. The results showed that the ratio of key enzymes to delay the aging of fresh wet rice noodles was maltose amylase 0.018%, α -Amylase 0.031%, β -Amylase 0.017%. And a mathematical model was established to predict the hardness value of 110.86 gf of fresh wet rice noodles after being stored at 4 °C for 8 d. The validation test was repeated for 4 times. The hardness of the fresh wet rice noodles after being stored at 4 °C for 8 d was 108.22 gf, the tensile length was 27 mm, and the broken bar rate was 2.89%. The *in vitro* digestion test showed that the starch hydrolysis rate, starch hydrolysis index and prediction value of blood glucose generation index in fresh wet rice noodles were reduced by the compound enzymes, indicating that the compound enzymes could improve the digestibility of fresh wet rice noodles. The results showed that the optimization scheme of compound enzymes to delay the aging of fresh wet rice flour was basically feasible, which has guiding significance for further research on the quality assurance and digestion of fresh wet rice noodles in the shelf life.

Key words: fresh rice noodles; enzymes treatment; response surface analysis; aging regulation; *in vitro* digestion

鲜湿米粉加工原理是大米中的淀粉加水混合后,高温挤压剪切作用破坏淀粉分子内的氢键,后续老化过程中直链淀粉分子以双螺旋形式有序重排,米粉的弹性与凝胶网络得以形成^[1]。老化是鲜湿米粉加工过程中糊化以外最重要的生产工序,在老化过程中直链淀粉和支链淀粉会重新进行有序排列,导致淀粉体系黏度增大、凝胶变硬和质构变化^[2-3],从而影响鲜湿米粉的弹性、爽滑性、断条率与质构特性^[4],内部结构的致密程度与咀嚼性的强弱反映米粉的力学性能^[5-6]。鲜湿米粉老化大致可分为两个阶段:短期老化与长期老化。短期老化是由直链淀粉分子结晶导致,持续时间较短,基本在加工过程中就可以完成;长期老化影响体现在鲜湿米粉整个保质期内,长达数周甚至数月,由支链淀粉分子的外侧短链作用导致,持续时间受支链淀粉分子复杂程度支配,控制相对较难^[7-9]。为了降低鲜湿米粉加工成本与提高品质,需要缩短短期老化时间并延长长期老化时间。

目前鲜湿米粉老化延缓的研究主要集中在老化工艺研究^[10],添加胶体^[11-13]、多糖^[14]、变性淀粉^[15]及其他等^[16-17],但针对复合生物酶对鲜湿米粉老化影响的系统研究尚未见报道。本研究首先通过单因素试验考察麦芽糖淀粉酶、 α -淀粉酶、 β -淀粉酶、普鲁兰酶等生物酶对鲜湿米粉老化的影响,采用响应面试验优化复合酶制剂的最优复合比例,结合体外消化试验研究鲜湿米粉的消化性能。

1 材料与方法

1.1 原辅料与试剂

麦芽糖淀粉酶(酶活 6000 U/g)、 β -淀粉酶(酶活 7000 U/g):沧州夏盛酶生物技术有限公司; α -淀粉酶(酶活 7000 U/g):南宁东恒华道生物科技有限责任公司;普鲁兰酶(酶活 6000 U/g):江苏奥福生物科技有限公司;大米及常规试剂:市售。

1.2 实验仪器

鲜湿米粉挤压设备:东莞市陈辉球米粉设备;TMS-PRO 质构仪:美国 FTC 公司;其他玻璃仪器:市售。

1.3 实验设计与方法

1.3.1 鲜湿米粉制作工艺

大米浸泡温度 20 ~ 24 °C,浸泡 4 ~ 6 h,粉碎过 60 目筛,添加大米质量 10% 玉米淀粉,和料(控制进料水分 46% ~ 48%),酶处理(pH 6.5 ~ 7.5、温度 60 °C、时间 30 min),挤压(140 ~ 160 °C)、冷却(40 °C 以下)、切分(40 cm)、老化(0 ~ 4 °C,8 ~ 10 h)、洗粉包装后灭菌(90 ~ 95 °C,20 min)制得鲜湿米粉样品。

1.3.2 单因素试验设计

根据前期预试验,初步确定鲜湿米粉在 4 °C 条件下放置 8 d 达到鲜湿米粉长期老化的终点。本试验分别考察麦芽糖淀粉酶、 α -淀粉酶、 β -淀粉酶、普鲁兰酶四种酶添加量为 0、0.01%、0.02%、0.03%、0.04%、0.05% 时,在 4 °C 放置 8

d 后鲜湿米粉的硬度、拉伸长度、断条率等指标。

1.3.3 响应面试验设计

在 1.3.2 单因素试验结果的基础上, 进行响应面设计考察自变量(麦芽糖淀粉酶、 α -淀粉酶、 β -淀粉酶)对响应值(硬度)的影响程度。

表 1 实验设计因素与水平
Table 1 Factors and levels of experimental design

因素	编码及水平		
	-1	0	1
麦芽糖淀粉酶 (A) /%	0.015	0.020	0.025
α -淀粉酶 (B) /%	0.025	0.030	0.035
β -淀粉酶 (C) /%	0.015	0.020	0.025

1.4 实验方法

$$\text{淀粉水解率}/\% = \frac{\text{取样点消化液中葡萄糖当量} \times 9.0}{\text{总淀粉含量}} \times 100$$

(2) 估算血糖生成指数的计算方法

采用淀粉水解率计算淀粉水解指数(HI)和预测血糖生成指数(eGI)。

$$HI = \frac{AUC_{\text{样品}}}{AUC_{\text{参考食品(白面包)}}}$$

$$eGI = 39.71 + (0.549 \times HI)$$

式中: AUC 表示计算曲线下面积; HI 表示样品淀粉水解指数; eGI 表示预测血糖生成指数。

1.5 统计分析

采用 SPSS 19.0 统计软件单因子方差分析; 采用 Design-Expert V8.0.6 分析 Box-Behnken 响应面实验。

2 结果与分析

2.1 不同生物酶对鲜湿米粉硬度的影响

鲜湿米粉在制作过程中老化工序极为重要, 从淀粉分子糊化后的无序状态到有序状态的一系列过程, 老化恰当与否直接关系到鲜湿米粉的结构与品质。鲜湿米粉老化效果不仅与老化工艺(温度、时间、湿度参数)有关, 生物酶修饰对鲜湿米粉老化程度的调控也非常重要^[17]。

麦芽糖淀粉酶、 α -淀粉酶、 β -淀粉酶、

1.4.1 硬度的测定

取鲜湿米粉一块(约 80 g), 沸水冲泡 3 ~ 5 min 捞出, 滤干后测定。测定参数: 探头 HDP/PFS, 测前速度 2 mm/s, 测试速度 1 mm/s, 测后速度 1 mm/s, 压缩率 70%, 时间 1 s, 测试间隔 10s^[18]。

1.4.2 拉伸长度测定

样品处理参考 1.4.1。测试参数: 探头 P/SPR, 测前速度 1 mm/s; 测试速度 3.0 mm/s; 测后速度 5 mm/s; 引发力 5 g; 拉伸距离 15 mm^[19]。

1.4.3 血糖生成指数体外测定方法

(1) 体外模拟消化

体外模拟消化试验按 Goni 等^[20]的方法进行, 消化液采用葡萄糖含试剂盒测定, 利用淀粉的水解速率体现消化速度, 计算公式:

普鲁兰酶添加量为 0、0.01%、0.02%、0.03%、0.04%、0.05% 时, 设定处理条件: pH 6.5 ~ 7.5、温度 60 ℃、时间 30 min, 考察鲜湿米粉在 4 ℃ 放置 8 d 对硬度的影响, 结果见图 1。

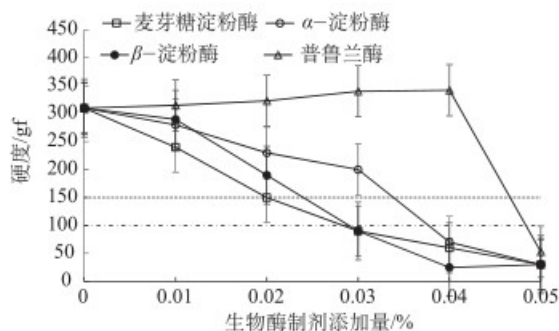


图 1 不同生物酶添加量对鲜湿米粉硬度的影响
Figure 1 Effect of different bio-enzymes on the hardness of fresh and wet rice noodles

由图 1 可知, 普鲁兰酶添加量小于 0.04% 时, 随着普鲁兰酶添加量的增加, 鲜湿米粉的硬度增加, 当添加量为 0.05%, 鲜湿米粉冲泡过程中, 轻轻搅动容易断条。麦芽糖淀粉酶、 α -淀粉酶、 β -淀粉酶添加量小于 0.03% 时, 随着酶制剂添加量的不断增加, 鲜湿米粉的硬度均有所降低, 其中添加麦芽糖淀粉酶的样品降低速率最

大;当这三种酶添加量大于 0.04% 时,结果与添加 0.05% 的普鲁兰酶相似,冲泡时搅动易断条。根据文献资料与经验,鲜湿米粉的硬度在 100 ~ 150 gf 之间可以满足食用要求,可以判断麦芽糖淀粉酶添加量为 0.02% ~ 0.03%, α -淀粉酶添加量为 0.03% ~ 0.04%, β -淀粉酶添加量为 0.02% ~ 0.03%,普鲁兰酶添加量为 0.04% ~ 0.05%。

2.2 不同生物酶对鲜湿米粉拉伸长度的影响

麦芽糖淀粉酶、 α -淀粉酶、 β -淀粉酶、普鲁兰酶添加量为 0、0.01%、0.02%、0.03%、0.04%、0.05% 时,设定处理条件: pH 6.5 ~ 7.5、温度 60 °C、时间 30 min,考察鲜湿米粉在 4 °C 放置 8 d 对拉伸长度的影响,结果见图 2。由图 2 可知,普鲁兰酶添加后鲜湿米粉拉伸长度检出均为 0。麦芽糖淀粉酶、 α -淀粉酶、 β -淀粉酶添加量小于 0.03% 时,随着添加量的增加鲜湿米粉 4 °C 放置 8 d 后拉伸长度均增加,其中麦芽糖淀粉酶增加速率最大;当分别添加 0.02% 麦芽糖淀粉酶、0.03% α -淀粉酶、0.03% β -淀粉酶时,检出该酶制剂鲜湿米粉样品拉伸长度最大值分别是 26 mm、15 mm、17 mm。

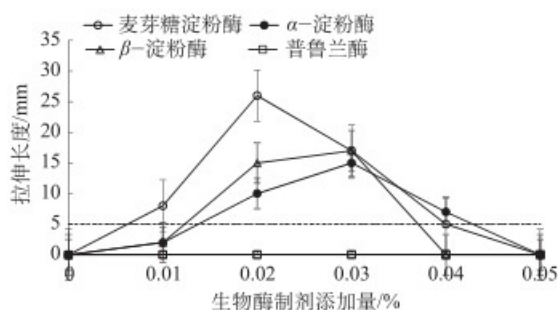


图 2 不同生物酶添加量对鲜湿米粉拉伸长度的影响
Figure 2 Effects of different bio-enzymes on the stretch of fresh and wet rice noodles

2.3 不同生物酶对鲜湿米粉断条率的影响

麦芽糖淀粉酶、 α -淀粉酶、 β -淀粉酶、普鲁兰酶添加量为 0、0.01%、0.02%、0.03%、0.04%、0.05% 时,设定处理条件: pH 6.5 ~ 7.5、温度 60 °C、时间 30 min,考察鲜湿米粉在 4 °C 放置 8 d 对断条率的影响,结果见图 3。由图 3 可知,在添加普鲁兰酶的鲜湿米粉样品中,断条现象严重,检出率均高于 35%。麦芽糖淀粉酶添加

量为 0.01% 时,检出米粉断条率已在可接受范围内。当添加 0.02% 麦芽糖淀粉酶、0.03% α -淀粉酶、0.02% β -淀粉酶时,检出添加该酶的鲜湿米粉样品断条率最小值分别是 2.5%、3%、2%。该三种酶制剂添加量为 0.05% 时,断条率均高于 35%。

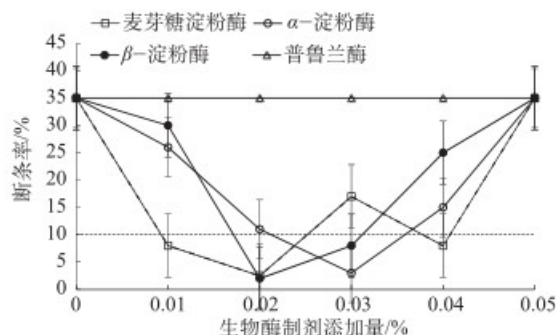


图 3 不同生物酶添加量对鲜湿米粉断条率的影响
Figure 3 Effects of different bio-enzymes on breaking rate of fresh wet rice noodles

普鲁兰酶会增加鲜湿米粉的硬度和断条率,降低拉伸长度,强化鲜湿米粉的老化,可能是普鲁兰酶能够切开支链淀粉分支点中的 α -1, 6-糖苷键,将支链淀粉转变为直链淀粉,提高直链淀粉的含量,加强了鲜湿米粉的老化;麦芽糖淀粉酶、 α -淀粉酶、 β -淀粉酶能够降低米粉的硬度和断条率,提高拉伸长度,延缓鲜湿米粉的老化,麦芽糖淀粉酶的效果较佳。可能是因为麦芽糖淀粉酶切断支链淀粉分子外侧支链缩短链长,扰乱稳定分子结构的形成,还会提高短链糊精的产生,延缓长期老化的时间,提高鲜湿米粉的品质^[21]。

2.4 鲜湿米粉复合生物酶延缓老化的响应面优化实验

2.4.1 响应面试验回归模型

根据单因素试验结果,以麦芽糖淀粉酶、 α -淀粉酶、 β -淀粉酶作为自变量,以鲜湿米粉在 4 °C 放置 8 d 后的硬度作为响应值 (Y)。

表 2 响应面设计方案与结果
Table 2 Response surface design scheme and results

序号	麦芽糖淀粉酶 (A) /%	α -淀粉酶 (B) /%	β -淀粉酶 (C) /%	硬度 (Y) / gf
1	0.025	0.025	0.020	105.28
2	0.020	0.030	0.020	164.96

序号	麦芽糖淀粉酶 (A) /%	α -淀粉酶 (B) /%	β -淀粉酶 (C) /%	硬度 (Y) / gf
3	0.020	0.030	0.020	155.54
4	0.015	0.030	0.015	113.98
5	0.020	0.030	0.020	141.75
6	0.020	0.025	0.025	125.84
7	0.015	0.025	0.020	113.03
8	0.015	0.035	0.020	175.88
9	0.015	0.030	0.025	139.55
10	0.025	0.035	0.020	222.87
11	0.020	0.030	0.020	149.41
12	0.020	0.030	0.020	153.89
13	0.025	0.030	0.025	158.12
14	0.020	0.025	0.015	100.80
15	0.025	0.030	0.015	125.61
16	0.020	0.035	0.025	236.73
17	0.020	0.035	0.015	173.28

应用 Design-Expert V8.0.7 软件对表 2 实验结果进行多元回归拟合分析,可得到硬度 (Y) 与各因素 A、B、C 之间的二次多项模型:

$$Y=153.11+8.68A+45.48B+18.32C+13.69AB+1.73AC+9.60BC-11.85A^2+13.00B^2-6.95C^2$$

表 3 回归模型方差分析及显著性检验
Table 3 Analysis of variance and significance test of the regression model

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	22401.29	9	2489.03	41.83	< 0.0001	**
A	602.74	1	602.74	10.13	0.0154	*
B	16544.71	1	16544.71	278.02	< 0.0001	**
C	2685.35	1	2685.35	45.13	0.0003	**
A ²	602.74	1	602.74	10.13	0.0154	*
B ²	16544.71	1	16544.71	278.02	< 0.0001	**
C ²	2685.35	1	2685.35	45.13	0.0003	**
AB	749.12	1	749.12	12.59	0.0094	**
AC	12.04	1	12.04	0.20	0.6664	—
BC	368.83	1	368.83	6.20	0.0416	*

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
剩余	416.56	7	59.51			
失拟项	126.88	3	42.29	0.58	0.6565	—
纯误差	289.68	4	72.42			
总离差	22817.85	16				
R ²	0.9817					
RSN	7.71					
R ² Adj	0.9853					
R ² Pred	0.8912					
CV	5.13					

注: ** 表示差异极显著 ($P < 0.01$); * 表示差异显著 ($P < 0.05$); — 表示不显著。

根据表 3 的 F 值和 P 值,各因素对米粉样品的硬度 (Y) 的影响程度依次为 $B=B^2 > C=C^2 > AB > A=A^2 > BC > AC$,其中因素 B、B²、C、C²、AB 的 $P < 0.01$,影响极显著;因素 A、A²、BC 的 $P < 0.05$,影响显著;其余因素的 $P > 0.05$,影响不显著。该回归模型的 $P < 0.01$,方程模型极显著;模型失拟项的 $P=0.6565 > 0.05$,不显著,方程拟合较好;模型相关系数 $R^2=0.98177 > 0.9$,模型高度相关;信噪比 $RSN=7.71 > 4$,说明模型设计合理可用于预测结果。

2.4.2 交互作用对响应值硬度的影响

鲜湿米线硬度响应面分析,通过选取相应的合理范围内的自变量(麦芽糖淀粉酶 (A) /%、 α -淀粉酶 (B) /%、 β -淀粉酶 (C) /%) 构成一个五维空间图形,因此可以直观地反映出自变量对鲜湿米线硬度的影响,等高线的密集程度更是直观表示交互作用的强弱,从而间接反应不同生物酶制剂对鲜湿米线老化程度延缓的效果。

图 4 三个近似椭圆形的等高线,表明麦芽糖淀粉酶 (A) 与 α -淀粉酶 (B) 交互作用较强,其中 α -淀粉酶 (B) 等高线比较密集,说明 α -淀粉酶 (B) 的作用强于麦芽糖淀粉酶 (A)。

图 5 五个椭圆形的等高线,表明 α -淀粉酶 (B) 与 β -淀粉酶 (C) 交互作用较强,其中 β -淀粉酶 (C) 等高线比较密集,说明 β -淀粉酶 (C) 的作用强于 α -淀粉酶 (B)。

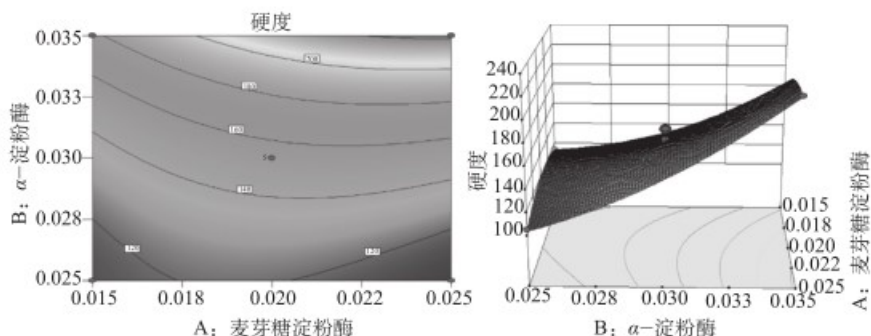


图4 AB交互作用的响应面和等高线

Figure 4 Response surface and contour plot of AB interactions

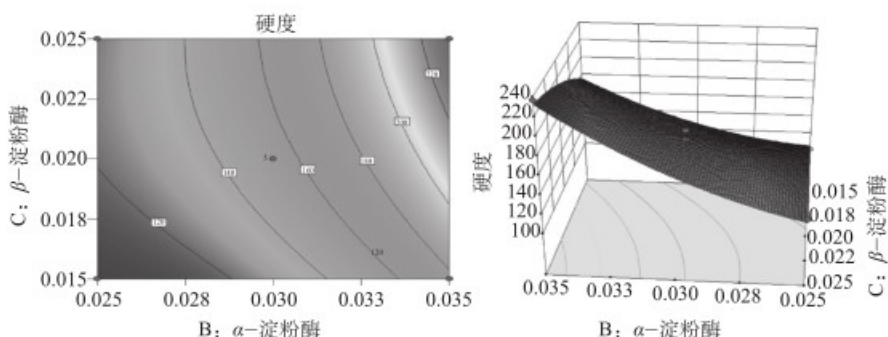


图5 BC交互作用的响应面和等高线

Figure 5 Response surface and contour plot of BC interactions

2.5 最佳复合生物酶验证实验

优化回归方程求解极小值结果表明,当麦芽糖淀粉酶、 α -淀粉酶、 β -淀粉酶的添加量分别为0.018%、0.031%、0.017%时,鲜湿米粉在4℃放置8 d硬度为110.86 gf。为了验证本方案的可靠性,重复4次验证试验,所得鲜湿米粉在4℃放置8 d后,平均硬度为108.22 gf,拉伸长度为27 mm,断条率为2.89%。由此可知,本研究通过响应面优化的生物酶延缓鲜湿米粉老化方案基本可行,对鲜湿米粉在货架期内保证品质具有实践意义。

2.6 鲜湿米粉消化水解特性及血糖生成指数预测

根据葡萄糖标准曲线计算白面包、对照组(未经酶处理)、实验组(本实验方案)的淀粉水解率绘制水解曲线见图6,水解指数与血糖生成指数预测见表4。由图6可知,实验组鲜湿米粉水解平衡浓度明显最低,且与白面包和对照组水解率存在显著差异。说明本实验方案优化后延缓

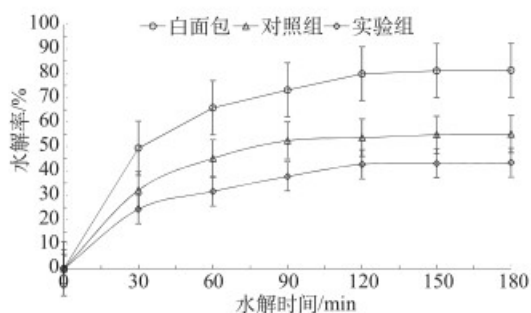


图6 鲜湿米粉体外消化水解曲线

Figure 6 *In vitro* digestion and hydrolysis curve of fresh wet rice noodles

老化的鲜湿米粉较未经生物酶处理的对照组水解率低,同时鲜湿米粉的水解率明显低于白面包,可见鲜湿米粉老化工艺可使鲜湿米粉具有抗消化性。由表4可知,鲜湿米粉的水解指数与血糖生成指数可以更为直观的表现鲜湿米粉中淀粉的水解消化速率,且表4中的水解指数HI及血糖指数cGI之间的存在显著差异,由此可见本实验方

案可以降低鲜湿米粉的水解指数与血糖生成指数预测值。

表 4 鲜湿米粉水解指数及血糖生成指数预测
Table 4 Predicted value of hydrolysis index and glycemic index of fresh wet rice noodles

样品	HI	eGI
白面包	100.00 ± 0.00 ^a	100.00 ± 0.00 ^a
对照组	46.32 ± 0.34 ^b	61.61 ± 0.73 ^b
实验组	35.96 ± 0.15 ^c	51.92 ± 0.31 ^c

注：同列同指标不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)，相同表示差异不显著。

3 结论

基于鲜湿米粉，对麦芽糖淀粉酶、 α -淀粉酶、 β -淀粉酶、普鲁兰酶等生物酶单因素对鲜湿米粉老化的影响进行研究，优化复合酶制剂的工艺参数，并研究米粉消化特性。结果表明延缓鲜湿米粉老化的关键生物酶及复配比例麦芽糖淀粉酶 0.018%、 α -淀粉酶 0.031%、 β -淀粉酶 0.017%，预测鲜湿米粉在 4 ℃ 放置 8 d 硬度值 110.86 gf，进行 4 次验证试验，所得鲜湿米粉在 4 ℃ 放置 8 d 后，实测硬度为 108.22 gf，拉伸长度为 27 mm，断条率为 2.89%。体外消化结果表明出本试验可以降低鲜湿米粉中淀粉的水解率、水解指数与血糖生成指数预测值，即可以提高鲜湿米粉的抗消化性。可见生物酶延缓鲜湿米粉老化优化方案基本可行，对鲜湿米粉在货架期内保证品质及消化深入研究具有指导意义。

参考文献：

- [1] 杨健, 白菊红, 张星灿, 等. 新型鲜湿方便米粉二级挤压工艺的研究 [J]. 中国粮油学报, 2020, 35 (4): 134-141.
- [2] Tsen C C, Weber J. Dough properties and proof times of yeasted doughs affected by surfactants [J]. Cereal Chemistry, 1981, 58 (3): 180-181.
- [3] 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.
- [4] 周显青, 彭超, 张玉荣, 等. 压榨型鲜湿米粉条凝胶质构特性及食用品质影响因素 [J]. 食品科学, 2017, 38 (21): 93-99.
- [5] 孟亚萍. 挤压米粉加工及品质改良技术研究 [D]. 无锡: 江南大学, 2015: 43-46.

- [6] Sandhu K S, Kaur M, Mukesh. Studies on noodle quality of potato and rice starches and their blends in relation to their physicochemical, pasting and gel textural properties [J]. LWT—Food Science and Technology, 2010, 43 (8): 1289-1293.
- [7] Sopade P A, Halley P J, Junming L L. Gelatinisation of starch in mixtures of sugars. II. Application of differential scanning calorimetry [J]. Carbohydrate Polymers, 2004, 58 (3): 311-321.
- [8] Al-Hajji L, Nassehi V, Stapley A. Spatial variation of starch retrogradation in Arabic flat bread during storage [J]. Journal of Food Engineering, 2016, 187: 44-52.
- [9] Siswoyo T A, Morita N. Influence of acyl chain lengths in mono- and diacyl-sn-glycerophosphatidylcholine on gelatinization and retrogradation of starch [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2001, 49 (10): 4688-4693.
- [10] 耿铭晔. 方便米粉老化工艺的优化研究 [J]. 中国食品添加剂, 2021, 32 (11): 90-97.
- [11] Yalcin S, Basman A. Effects of gelatinisation level, gum and transglutaminase on the quality characteristics of rice noodle [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2008, 43 (9): 1637-1644.
- [12] 唐敏敏, 洪雁, 顾正彪, 等. 黄原胶对大米淀粉长期回生的影响 [J]. 食品与生物技术学报, 2013, 32 (7): 692-697.
- [13] 王玉珠, 林伟锋, 陈中. 多糖类食品添加剂对大米粉黏度特性的影响研究 [J]. 食品科技, 2012, 37 (7): 154-158.
- [14] 周剑敏, 卞旭, 孙佳, 等. 普鲁兰多糖对籼米粉凝胶及老化特性的影响 [J]. 中国粮油学报, 2020, 35 (5): 1-5.
- [15] 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.
- [16] 唐煜括, 郑波, 徐捍山, 等. 茶多酚、抹茶对鲜湿米粉储藏过程中老化行为与消化性能影响的研究 [J]. 粮油食品科技, 2020, 28 (2): 1-6.
- [17] 杨健, 张星灿, 华苗苗, 等. Plackett-Burman 设计联用 Box-Behnken 响应面法优化鲜湿米粉延缓老化的研究 [J]. 中国粮油学报, 2022, 37 (1): 7-12.
- [18] Charutigon C, Jitpuakdree J, Namsree P, et al. Effects of processing conditions and the use of modified starch and monoglyceride on some properties of extruded rice vermicelli [J]. LWT—Food Science and Technology, 2008, 41 (4): 642-651.
- [19] Yalcin S, Basman A. Effects of gelatinisation level, gum and transglutaminase on the quality characteristics of rice noodle [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2008, 43 (9): 1637-1644.
- [20] Goñi I, Garcia-Alonso A, Saura-Calixto F. A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index [J]. Nutrition Research, 1997, 17 (3): 427-437.
- [21] 汪霞丽. 方便湿米粉的抗老化研究 [D]. 长沙: 长沙理工大学, 2012: 21-22.