高链玉米淀粉改善面包的品质及消化性能

王凯，马俊宇，吴钰冰，区卓燊，徐宝珊，赵雷，胡卓炎

（华南农业大学食品学院，广东广州 510642）

摘要：本文研究添加高链玉米淀粉对面包品质特性和消化性能的影响，以期为高链玉米淀粉等抗性淀粉在慢消化食品中的应用提供理论依据。结果表明，添加高链玉米淀粉能显著性提高面包的持水性和表面亮度，有利于提高消费者的接受度。但面包比容随高链玉米淀粉添加量的增加而逐渐显著降低。弹性、粘附性和恢复性未受高链玉米淀粉的影响，但硬度明显增加，添加 10%和 20%高链玉米淀粉的面包硬度升高为未添加时的 1.2 和 1.8 倍。面包的胶黏性和咀嚼性在高链玉米淀粉添加量小于 10%时没有明显变化，而添加量进一步增加时，其胶黏性和咀嚼性逐渐显著提高。高链玉米淀粉能显著降低面包的消化速率，添加量为 20%时面包的消化速率降低了 54%。说明添加高链玉米淀粉会对面包的品质产生一定的影响，但合理控制其添加量可在面包的品质没有大幅降低的同时显著降低淀粉的消化速率。

关键词：面包；高链玉米淀粉；面包品质；消化性能

文章篇号：1673-9078(2018)04-69-74 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2018.04.012

Improvement of the Quality and Digestibility of Bread Using High Amylose Maize Starch

WANG Kai, MA Jun-yu, WU Yu-bing, OU Zhuo-shen, XU Bao-shan, ZHAO Lei, HU Zhuo-yan

(College of Food Sciences, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: The effects of high amylose maize starch addition on the quality and digestion properties of bread were investigated in order to provide theoretical support for the application of resistant starch, such as high amylose maize starch, in slowly digestible foods. The results showed that the water-holding ability and surface brightness of bread were improved with the addition of high amylose maize starch, which might be beneficial to improve the consumer acceptability of the bakery products. However, the specific volume of bread was significantly decreased with the increasing addition of high amylose maize starch. In terms of the texture properties of bread, springiness, adhesiveness and resilience were not significantly impacted by the addition of high amylose maize starch, whereas the hardness was apparently increased. The hardness of bread with adding 10% and 20% of high amylose maize starch increased to 1.2 and 1.8 folds, respectively, as that of the control bread. The gumminess and chewiness of bread were not significantly impacted when the addition amount of high amylose maize starch was less than 10%, while the gumminess and chewiness were both significantly increased with further increase of the addition amount. In addition, high amylose maize starch could effectively reduce the in vitro digestion rate of bread, and the digestion rate of bread reduced by 54% with the addition high amylose maize starch of20%. These results showed that the addition of high amylose maize starch could influence the quality of bread at some extent, and reasonable addition amount of high amylose maize starch could significantly decrease the digestion rate of bread and simultaneously maintain the bread quality. .

Key words: bread; high amylose maize starch; bread quality; digestibility

大量临床医学研究发现，Ⅱ型糖尿病人的糖代谢与淀粉在人体小肠中的消化速率和程度密切相关[1]。高血糖生成指数食物的摄入引发的餐后高血糖是糖尿病等慢性疾病的重要风险因子，因此，淀粉类食品摄入后产生的血糖反应引起了更多食品领域和健康机构研究人员的关注[2]。而研究如何生产具有慢速消化特性的淀粉类食品，对于开发针对糖尿病等代谢综合征患者的特膳食品、提高人体健康水平具有重要的现实意义。

面包是一种深受人们喜爱的方便食品，目前世界上大约有 2/3 的人以面包为主食。但面包中快速消化的淀粉含量高，人体摄入后淀粉被快速消化成葡萄糖，导致餐后血糖迅速升高，不利于维持人体血糖稳态[3]。

收稿日期：2017-12-14

基金项目：国家荔枝龙眼产业技术体系项目（CARS-33）；广东省扬帆计划创新团队项目（2014YT02H013）

作者简介：王凯（1985-），女，博士，副教授，研究方向：农产品加工

通讯作者：胡卓炎（1961-），男，博士，教授，研究方向：食品加工与保藏

近年来，国内外学者试图将膳食纤维添加到面包中以生产慢速消化的面包，来改善面包餐后血糖生成过快的状况。传统的高膳食纤维面包通常添加小麦纤维和燕麦纤维等，具有颜色较暗、质地粗糙、体积小和口感差等品质缺陷[4]。抗性淀粉在人体的胃和小肠中不能被消化分解成葡萄糖，既增加了饱腹感，也有效降低了餐后血糖和胰岛素浓度[5,6]。它有原淀粉粒细、色白、风味淡、口感好的特点，不会引起面包色泽、质地等品质的劣变，故应用在面包等焙烤食品中具有传统膳食纤维无法比拟的优势，是一种优良的新型膳食纤维食品添加剂。高链玉米淀粉是一种天然存在的抗性淀粉，不经过淀粉改性的过程，因而不存在食品安全性方面的问题。

本实验拟以高链玉米淀粉作为抗性淀粉来源，添加到面包中部分替代高筋面粉，开发具有慢消化特性的面包，研究添加不同比例的高链玉米淀粉对面包体外消化性能的影响，并对面包的色泽、质构等品质特性进行评价，以期为高链玉米淀粉等抗性淀粉在慢消化食品中的使用提供理论依据，并对开发针对糖尿病等代谢疾病的新型特膳食品奠定基础。

1 材料与方法

1.1 实验材料

高筋面粉，深圳市泰东源实业有限公司；高链玉米淀粉，宜瑞安（Ingredion）食品配料有限公司；酵母，安琪酵母股份有限公司；糖、奶粉、黄油、精盐等均为食用级，乙酸、氢氧化钠、氯化钙、氯化镁、叠氮化钠均为上海润捷化学试剂有限公司；猪胰酶(pancreatin from porcine pancreas)，美国 Sigma-Aldrich 有限公司；淀粉葡萄糖苷酶(amyloglucosidase from *Aspergillus niger*)和 D-glucose 试剂盒(GOPOD Format)购于爱尔兰 Megazyme International 有限责任公司。

1.2 实验设备

HM730 型食品加工机，青岛汉尚电器有限公司；LRH-250-GSB 型人工气候箱，广东省医疗器械厂；MFT-2-20 型电烤箱，佛山市乐创网络科技有限公司；CM-3500d 型全自动色差计，日本 Minolta 有限公司；MX-S 型旋涡振荡器，SCILOGEX；721 型分光光度计，上海佑科仪器仪表有限公司；AUW120 型电子分析天平，日本岛津公司；HWS24 型电热恒温水浴锅，上海一恒科学仪器有限公司；TA.XT plus 型质构分析仪，英国 SMS 公司。

1.3 实验方法

1.3.1 面包的制备

在揉面盆中分别加入高筋面粉、高链玉米淀粉、酵母、盐、奶粉、糖等配料，混匀后加入水，用食品加工机 2 档搅拌 5 min 使物料混匀，用 4 档搅拌 10 min 后，加入黄油，再搅拌 10 min，直到可以用手撑开面膜而不破裂。将面团搓成光滑团状，放入恒温箱中在 37 ℃、80%湿度条件下发酵约 40 min，直至面团发酵到原有体积的 1.5 至 2 倍时，取出面团。稍用力揉搓、拍打后，放回恒温箱，用湿度适宜的纱布盖好松弛 10 min。整形后放入涂好黄油的模具中，二次发酵 40 min。预热烤箱 10 min 后，将面团放入烤箱烤制 10 min（底火 230 ℃，面火 200 ℃）。面包配方如表 1 所示，其中以高链玉米淀粉部分替代一定量的高筋面粉，高链玉米淀粉的添加比例分别为 5、10、15、20%，以未添加高链玉米淀粉的面包（添加比例 0%）为对照。

表 1 添加高链玉米淀粉的面包配方

Table 1 The formula of bread with the addition of high amylose maize starch

面包编号（对应添加比例，*m/m*）	高筋面粉/g	高链玉米淀粉/g	干酵母/g	黄油/g	食盐（茶匙）	糖/g	奶粉（茶匙）	水/g
1（0%）	180	0	2.5	6	0.5	22.5	1.5	90
2（5%）	171	9	2.5	6	0.5	22.5	1.5	90
3（10%）	162	18	2.5	6	0.5	22.5	1.5	90
4（15%）	153	27	2.5	6	0.5	22.5	1.5	90
5（20%）	144	36	2.5	6	0.5	22.5	1.5	90

1.3.2 面包水分含量的测定

参考 GB 5009.3-2016 的方法[7]，将混合均匀的试样迅速研磨至颗粒小于 2 mm，不易研磨的样品应尽可能切碎，称取 2~10 g 试样（精确至 0.0001 g），放入称量瓶中，试样厚度不超过 10 mm，加盖，精密称量后，置于 105 ℃烘箱中，敞口干燥 2~4 h 后，盖好取出，放入干燥器内冷却 0.5 h 后称量。然后再放入 105 ℃烘箱中干燥 1 h 左右，取出后放入干燥器内冷却 0.5 h 后再称量。并重复以上操作至前后两次质量差不超过 2 mg，即为恒重。

试样中的水分含量，按式（1）进行计算：

$$X=\frac{m_1-m_2}{m_2-m_3}\times 100 \quad (1)$$

式中：X-试样中水分的含量（g/100 g）；m_1-称量瓶和试样的质量（g）；m_2-称量瓶和干燥后的试样质量（g）；m_3-称量瓶的质量（g）；100-单位换算系数。

1.3.3 面包膨胀度测定

将待测面包称重 W；取容量适宜的烧杯（能容纳面包），用小米充满整个烧杯。倒出小米，将待测面包放入烧杯内，用小米边放边摇填满烧杯。用量筒量取剩余的小米体积 V，即为面包的实测体积。面包比容按式（2）进行计算[8]：

$$P=\frac{V}{W} \quad (2)$$

式中：P-面包比容（mL/g）；V-面包体积（mL）；W-面包质量（g）。

1.3.4 面包质构分析（TPA）

采用 Rouille 等[9]所采用的方法，每个面包样品先切除一端的两片 10 mm 的面包片，然后切出 2 片 20 mm 厚的面包片作为测试样品。质构测试仪采用 Φ 36 mm 的圆柱形平底探头，测试方式选用开始返回测试模式，触发类型设置为“Auto”，触发力设置为 5 g，数据采集速率为 200 pps。测试时探头的测前速度为 60 mm/min，测后速度为 120 mm/min，除试验条件标明的测试参数外，面包质构测定的压缩速度和压缩程度的标准设置分别为 100 mm/min 和 50%。面包质构测定值由质构测试仪的专用软件 TE 32 自动读取面包的厚度及压缩程度为 25%的硬度值。

1.3.5 色差分析

面包色泽采用 CIE-L*a*b*色空间表示法，用手持色差仪测量面包表面和面包芯的色泽，分别得到 L*、a*和 b*三个参数。其中 L*代表亮度，L*越大表示亮度越高；a*代表红色-绿色之间的变化，+a*为红色方向，-a*为绿色方向；b*代表黄色-蓝色之间的变化，+b*为黄色方向，-b*为蓝色方向[10]。

1.3.6 消化性能测定

采用体外法模拟面包在胃和小肠中的消化过程[11]。称量 100 mg（干基）面包碎屑置于 50 mL 离心管中，加入 2 mL 蒸馏水及 7.5 mL 醋酸钠缓冲液（0.2 mol/L，pH 6.0）。在 37 ℃的水浴锅中平衡 15 min 后，加入 0.5 mL 猪胰酶/淀粉葡萄糖苷酶混合液（含有 1 mg 猪胰酶及 50 μL 淀粉葡萄糖苷酶），在 200 r/min 搅拌速度下混合均匀后于 37 ℃的水浴锅中温育。在 0、10、20、40、60、120、180 min 后，分别取 0.1 mL 的样品，转移到装有 0.9 mL 无水乙醇的微量离心管中并混合均匀。采用葡萄糖氧化酶法（GOPOD）测定淀粉酶解过程中葡萄糖生成量。分别移取 1 mL 的样品于微量离心管中，添加 3 mL GOPOD 试剂，在 50 ℃水浴锅中保温 30 min，读取样品和葡萄糖标准品在分光光度计 510 nm 处的吸光值，做葡萄糖标准曲线。根据样品吸光值和葡萄糖标准曲线，计算葡萄糖当量，得淀粉的消化率（%）。拟合一阶酶动力学方程：$\ln(dC/dt)=\ln(C_\infty k)-kt$（其中 C 为葡萄糖浓度，t 为消化时间），得到淀粉消化的速率（k，min^{-1}），从而对淀粉产品的消化性能进行评估。

1.3.7 数据统计分析

所有试验均重复两次，采用 SPSS Statistics 20 进行数据统计分析，运用方差分析方法（ANOVA）进行显著性分析，当 $p<0.05$ 认为有显著性差异。

2 结果与讨论

2.1 面包的水分含量

表 2 添加高链玉米淀粉对面包含水量和比容的影响

Table 2 Effect of high amylose maize starch on the water content and specific volume of bread

高链玉米淀粉添加量	含水量/%	面包比容/(mL/g)
0	34.36±0.14 ^{c}	3.32±0.008 ^{a}
5%	35.15±0.07 ^{b}	3.21±0.039 ^{b}
10%	36.38±0.38 ^{a}	2.95±0.022 ^{c}
15%	36.70±0.22 ^{a}	2.66±0.067 ^{d}
20%	36.98±0.20 ^{a}	2.45±0.015 ^{e}

注：结果表示为两组平行实验的平均值±标准偏差，同一列的不同字母表示存在显著性差异（$p<0.05$）。

由表 2 可知，随着高链玉米淀粉添加量的增大，面包含水量升高。这可能是因为高链玉米淀粉的持水率高于高筋面粉[12]，其添加提高了面包的持水性与吸水率，导致面包产品的含水量上升。当高链玉米淀粉的添加量大于 10%时，高链玉米淀粉添加量的增加未能进一步显著提高面包产品的含水量。这与胡国华等[13]的研究结果类似，说明高链玉米淀粉加入后可一定程度上改良面粉的加工性能，且随着高链玉米淀粉的添加，面团的吸水率逐渐增高。这有利于提高面包加工的经济意义，可减少水分的损失，延长面包的货架期[14]。

2.2 面包的膨胀度

添加高链玉米淀粉对面包膨胀度的影响趋势可由面包的外观体积（见图 1）直观观察，并通过面包比容（表 2）进行定量表征。

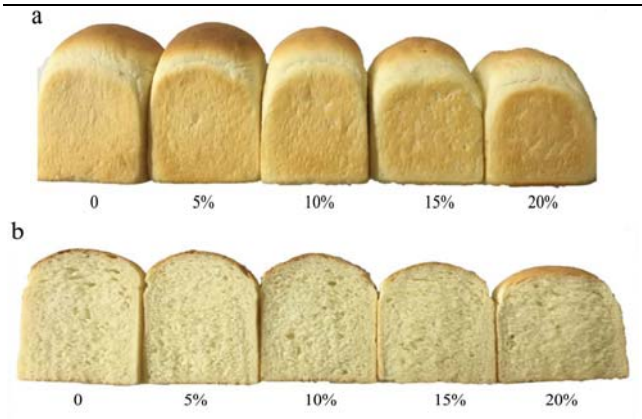


图 1 添加高链玉米淀粉的面包表面和剖面

Fig.1 Surfaces and slices of bread with various amounts of high amylose maize starch

比容反映面包体积的膨胀程度和保持能力，直接影响面包产品的外观、内部组织结构及口感，是衡量面包品质的重要指标。由图 1 可以看出，随着高链玉米淀粉添加量的增加，面包的体积呈减小趋势，即面包膨胀度减小。面包比容的测量结果（见表 3）呈相同趋势。随着高链玉米淀粉添加量增加至 20%，面包的比容逐渐显著性降低，且降低程度与高链玉米淀粉的添加量成正比。

添加 20%高链玉米淀粉的面包比容较未添加高链玉米淀粉的面包比容降低了约 26%。这可能是因为用高链玉米淀粉部分替代高筋面粉后，使得面团中的蛋白质含量减少，连续的面筋网络结构难以形成，从而导致面包的膨胀度减小。

2.3 面包色泽

色泽，尤其是亮度（L*）对焙烤食品尤为重要，它显著影响消费者对产品的接受度。由表 3 可知，随着高链玉米淀粉添加量的增多，面包的表面亮度（L*）显著提高。这可能是由于高链玉米淀粉的色泽较高筋面粉更白[15]，且面包持水性更好，导致其亮度提高。面包表面的红色和黄色受高链玉米淀粉影响较小。

表 3 添加高链玉米淀粉对面包表面色差和面包消化速率的影响

Table 3 Effect of high amylose maize starch on the color parameters and digestion rate of bread

高链玉米淀粉添加量/%	L*	a*	b*	消化速率 k
0	54.25±0.46^{c}	19.28±0.06^{ab}	31.22±0.77^{bc}	0.0374±0.0017^{a}
5	56.12±0.47^{b}	19.96±0.02^{a}	30.02±0.02^{c}	0.0339±0.0012^{b}
10	56.22±1.03^{b}	19.43±0.33^{ab}	33.30±0.27^{ab}	0.0218±0.0007^{c}
15	58.07±0.69^{a}	19.62±0.08^{b}	33.10±0.40^{bc}	0.0194±0.0002^{cd}
20	58.14±0.52^{a}	20.17±0.41^{a}	34.29±0.94^{a}	0.0172±0.0001^{d}

注：结果表示为两组平行实验的平均值±标准偏差，同一列的不同字母表示存在显著性差异（p<0.05）。

2.4 面包的质构分析

TPA 质构测试通过模拟人口腔的咀嚼运动，对面包样品进行两次压缩，通过界面输出质构测试曲线，从中可分析质构特性参数：硬度、粘附性、内聚性、弹性、胶粘性、咀嚼性、恢复性。

添加不同量高链玉米淀粉的面包的质构分析结果见表 4。结果显示，高链玉米淀粉的添加对面包质构有明显影响。添加 5%高链玉米淀粉后，面包的硬度由未添加高链玉米淀粉时的 471.3 g 显著增加至 543.6 g，且随着高链玉米淀粉添加量的增加，面包的硬度逐渐提高。添加 20%高链玉米淀粉的面包比未添加的面包硬度提高约 40%。面包的硬度等品质主要受到面粉中的蛋白含量影响。面筋蛋白在面团制作过程中可形成包裹淀粉及其它成分的网络结构，并在发酵过程中保持气体，形成细密而均匀的气孔结构，对面包等发酵面制品的品质至关重要[16]。高链玉米淀粉的添加置换了面包配方中的高筋面粉，使得面包中面筋蛋白的比例降低，从而发酵过程中形成的气孔结构减少，使得面包比容降低且硬度增加[17]。

面包的胶黏性和咀嚼性均与高链玉米淀粉添加量呈正相关。胶黏性是指把半固态食品咀嚼成能够吞咽的状态所需要的能量，而咀嚼性是指把固态食品咀嚼成能够吞咽的状态所需要的能量。高链玉米淀粉添加量小于 10%时，对面包的胶黏性和咀嚼性没有显著影响。当添加量提高至 15%以上时，面包的胶黏性和咀嚼性显著提高，且提高程度与高链玉米淀粉添加量呈正相关。这使得面包的绵软程度降低，吃起来更加劲道[18]。

内聚性反映了样品抵抗受损、保持自身完整性的能力。高链玉米淀粉添加量为 5%（0.693）和 10%（0.712）的面包内聚性较未添加高链玉米淀粉的面包（0.709）没有显著性差异；当添加量为 15%和 20%时，面包内聚性分别显著降低至 0.674 和 0.664。粘附性代表食品表面和其他物体（舌、牙和口腔）附着时，剥离它们所需要的力。面包的粘附性随高链玉米淀粉添加量的改变没有明显趋势，其中 10%高链玉米淀粉添加量的面包粘附性最大（-0.03），5%高链玉米淀粉

添加量的面包粘附性最小（-1.74）。弹性表示物体在外力作用下发生形变，当撤去外力后恢复原来状态的能力[19]。不同高链玉米淀粉添加量的面包弹性区别不大，说明高链玉米淀粉的添加不会显著影响面包的弹性。类似的，面包的恢复性与高链玉米淀粉的添加量也无明显相关性，说明不受高链玉米淀粉的添加影响。

表 4 不同高链玉米淀粉添加量下的面包的质构

Table 4 Texture parameters of breads with addition of different amounts of high amylose maize starch

高链淀粉添加量/%	硬度/g	粘附性	弹性	内聚性	胶黏性/g	咀嚼性/g	恢复性
0	471.3±22.2 ^{d}	-1.21±0.38 ^{bc}	0.882±0.012 ^{ab}	0.709±0.013 ^{ab}	343.5±33.3 ^{c}	306.5±28.9 ^{c}	0.312±0.014 ^{a}
5	543.6±27.0 ^{c}	-1.74±0.51 ^{c}	0.877±0.019 ^{ab}	0.693±0.015 ^{b}	367.5±24.0 ^{c}	322.2±19.2 ^{c}	0.290±0.013 ^{b}
10	558.2±40.0 ^{c}	-0.03±0.01 ^{a}	0.901±0.011 ^{a}	0.712±0.006 ^{a}	384.2±40.5 ^{c}	346.2±37.1 ^{bc}	0.322±0.007 ^{a}
15	721.4±33.4 ^{b}	-0.98±0.15 ^{b}	0.823±0.074 ^{c}	0.674±0.012 ^{c}	471.2±35.5 ^{b}	389.3±56.0 ^{b}	0.279±0.011 ^{b}
20	836.3±57.3 ^{a}	-1.52±0.17 ^{bc}	0.851±0.031 ^{bc}	0.664±0.020 ^{c}	546.9±57.9 ^{a}	466.3±57.7 ^{a}	0.283±0.019 ^{b}

注：结果表示为两组平行实验的平均值±标准偏差，同一列的不同字母表示存在显著性差异（p<0.05）。

2.5 面包的消化特性

含淀粉的食物在胃和小肠中酶的作用下被分解成葡萄糖，引起人体血糖升高。降低淀粉类食品的消化速率有利于维持人体血糖稳态，从而降低糖尿病、肥胖症等代谢综合征的发病率[5]。本研究在体外模拟面包在酶的作用下的消化情况，测得高链玉米淀粉添加量分别为 0、5%、10%、15%和 20%的面包的消化速率曲线见图 2。

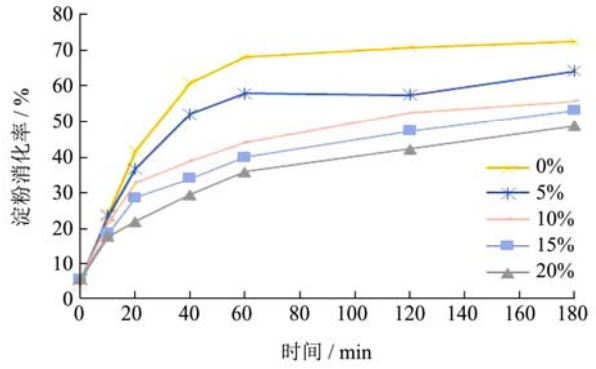


图 2 不同高链玉米淀粉添加量（0~20%）的面包消化率曲线

Fig.2 Digestibility curves of bread with the addition of various amounts of high amylose maize starch

由图 2 可知，面包在酶的作用下进行消化时，消化速率呈先快后慢的趋势，即消化速率随消化时间的延长而降低。在前 40 min 内，面包中的淀粉被快速消化；随着消化时间的延长，消化速率逐渐降低。未添加高链玉米淀粉的面包，在消化 60 min 时，被消化的淀粉含量达到 68.0%。继续延长消化时间，淀粉消化率没有显著提高，当消化至 180 min 后，被消化的淀粉量为 72.2%。

添加高链玉米淀粉后，面包的消化速率较未添加时明显降低，且随高链玉米淀粉的添加量的提高，面包的消化越来越慢（图 2）。消化 60 min 时，添加 5%高链玉米淀粉的面包中淀粉消化率为 57.8%，显著低于未添加高链玉米淀粉面包的淀粉消化率（68.0%）。当高链玉米淀粉添加量分别增加至 10%、15%、20%时，消化 60 min 时淀粉的消化率降低至 44.0%、39.9%、35.8%。添加 5%高链玉米淀粉面包在消化 60 min 后，淀粉消化率接近最大值（57.8%）；当消化 180 min 时，淀粉消化率近小幅上升至 64.1%。与之不同，当添加 10%、15%、20%的高链玉米淀粉时，面包中淀粉消化率在 180 min 内呈逐渐上升趋势，至消化 180 min 时，淀粉消化率分别为 55.7%、53.1%和 48.7%，均大幅低于未添加高链玉米淀粉的面包此时的淀粉消化率（72.2%）。

将面包中淀粉的消化率曲线拟合酶动力学模型，结果显示所有面包的淀粉消化速率曲线均符合一阶酶动力学方程，拟合得到面包的消化速率 k 见表 3。结果显示，未添加高链玉米淀粉的面包消化速率 k 值为 0.0374。随着高链玉米淀粉添加量的增大，面包消化速率逐渐下降，添加 20%高链玉米淀粉后，面包的消化速率 k 值大幅降低至 0.0172。说明高链玉米淀粉的添加能有效地降低面包的消化速率，且随着高链玉米淀粉添加量的提高，面包的消化速率逐渐降低。

3 结论

本文研究了添加不同比例的高链玉米淀粉对面包品质特性及体外消化性的影响。结果表明高链玉米淀粉能显著提高面包的持水性和表面亮度，有利于提高消费者对面包的可接受程度。但降低了面包的膨胀度，面包比容随高链玉米淀粉添加量的增加而显著降低。在质构方面，高链玉米淀粉显著提高了面包的硬度，添加 10%和 20%的高链玉米淀粉的面包硬度升高为未添加时的 1.2 和 1.8 倍。面包的胶黏性和咀嚼性在高链玉米淀粉添加量小于 10%时没有明显变化，而当高链玉米淀粉添加量进一步增加时，其胶黏性和咀嚼性逐渐显著提高。面包的弹性、粘附性和恢复性受高链玉

米淀粉添加的影响不显著。在消化性质方面，高链玉米淀粉的添加能有效地降低面包的消化速率，添加20%高链玉米淀粉后面包的消化速率降低了 54%。说明添加高链玉米淀粉会对面包的品质特性产生一定的影响，但合理控制高链玉米淀粉的添加量，可在面包的品质没有大幅降低的同时降低淀粉的消化速率，从而有利于降低餐后血糖生成指数，维持餐后血糖稳态。研究结果将对应用高链玉米淀粉等抗性淀粉生产慢消化面包产品奠定理论基础。

参考文献

[1] 张天馨,刘柳,王肖肖,等.2014 年部分地区糖尿病的调研[J].大家健康(下旬版),2016,2:10-11
ZHANG Tian-xin, LIU Liu, WANG Xiao-xiao, et al. Investigation of diabetes in some areas in 2014 [J]. Everyone Healthy (edition of the next ten days of month), 2016, 2: 10-11

[2] 缪铭,江波,张涛.低血糖生成指数淀粉类衍生物的研究进展[J].食品科学,2008,29(4):452-456
MIU Ming, JIANG Bo, ZHANG Tao. Research progress on hypoglycemic index starch derivatives [J]. Science of Food, 2008, 29(4): 452-456

[3] Ferrer-Mairal A, Penalva-Lapuente C, Iglesia I, et al. In vitro and in vivo assessment of the glycemic index of bakery products: influence of the reformulation of ingredients [J]. European Journal of Nutrition, 2012, 51(8): 947-954

[4] 姚蕊,张守文.抗性淀粉的研究发展现状与前景[J].粮食与食品工业,2006,13(1):30-33
YAO Rui, ZHANG Shou-wen. Research status and prospects of resistant starch [J]. Food and Food Industry, 2006, 13(1): 30-33

[5] Fuentes-Zaragoza E, Riquelme-Navarrete M J, Sanchez-Zapata E, et al. Resistant starch as functional ingredient: A review [J]. Food Research International, 2010, 43(4): 931-942

[6] 朱平,孔祥礼,包劲松.抗性淀粉在食品中的应用及功效研究进展[J].核农学报,2015,29(2):327-336
ZHU Ping, KONG Xiang-li, BAO Jin-song. Progress in research and application of resistant starch in food [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2015, 29(2): 327-336

[7] GB 5009.3-2016 食品安全国家标准,食品中水分的测定[S]
GB 5009.3-2016 National Food Safety Standards Determination of Moisture in Food [S]

[8] 张园园,温白娥,卢宇,等.藜麦粉对小麦面团、面包质构特性及品质的影响[J].食品与发酵工业,2017,10:197-202
ZHANG Yuan-yuan, WEN Bai-e, LU Yu, et al. Effects of quinoa flour on wheat dough, bread texture characteristics and quality [J]. Food and Fermentation Industries, 2017, 10: 197-202

[9] Rouillé J, Della Valle G, Lefebvre J, et al. Shear and extensional properties of bread doughs affected by their minor components [J]. Journal of Cereal Science, 2005, 42(1): 45-57

[10] 徐芬,胡宏海,张春江,等.不同蛋白对马铃薯面条食用品质的影响[J].现代食品科技,2015,31(12):269-276
XU Fen, HU Hong-hai, ZHANG Chun-jiang, et al. Effect of different proteins on edible quality of potato noodles [J]. Modern Food Science and Technology, 2015, 31(12): 269-276

[11] Wang K, Hasjim J, Wu A, et al. Variation in amylose fine structure of starches from different botanical sources [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2014, 62: 4443-4453

[12] Sajilata M G, Singhal R S, Kulkami P R. Resistant starch: a review [J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2006, 5(1): 1-17

[13] 胡国华,翟瑞文,黄绍华.米糠膳食纤维对面团粉质和烘焙特性影响的研究[J].中国食品添加剂,2002,3:27-30
HU Guo-hua, ZHAI Rui-wen, HUANG Shao-hua. Effect of fietary fiber from rice bran on dough's quality and baking characteristics [J]. Chinese Food Additives, 2002, 3: 27-30

[14] Courtin C M, Delcour J A. Arabinoxylans and endoxylanases in wheat flour bread-making [J]. Journal of Cereal Science, 2002, 35(3): 225-243

[15] Angioloni A, Collar C. Physicochemical and nutritional properties of reduced-caloric density high-fibre breads [J]. LWT-Food Science and Technology, 2011, 44: 747-758

[16] 黄婷玉.焙烤食品组分与面筋质构的关系及应用[D].南昌:江西农业大学,2015
HUANG Ting-yu. The relationship between bakery ingredients and gluten texture and its application [D]. Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2015

[17] Pérez Quirce S, Lazaridou A, Biliaderis C G, et al. Effect of β-glucan molecular weight on rice flour dough rheology, quality parameters of breads and in vitro starch digestibility [J]. LWT - Food Science and Technology, 2017, 82: 446-453

[18] Homayouni A, Amini A, Keshtiban A K, et al. Resistant starch in food industry: A changing outlook for consumer and producer [J]. Starch-Starke, 2014, 66(1/2): 102-114

[19] 楚炎沛.物性测试仪在食品品质评价中的应用研究[J].粮食

与饲料工业,2003,7:40-42

CHU Yan-pei. Application of material tester in food quality evaluation [J]. Food and Feed Industry, 2003, 7: 40-42

现代食品科技