

糖尿病并发肾病患者 专用馒头配方优化研究

王 洁,徐同成,刘丽娜,杜方岭,邱 斌,

宗爱珍,李 玮

(山东省农业科学院 农产品研究所 山东省农产品精深加工技术重点实验室,山东 济南 250000)

摘 要:根据糖尿病并发肾病患者饮食特点,通过单因素和正交实验对低血糖指数低蛋白馒头配方进行研究。结果表明,增抗淀粉添加量 50%、预糊化淀粉添加量 8%、直链淀粉添加量 10%、小麦淀粉添加量 5% 时,制得的馒头品质较好,所制得的馒头按血糖指数分类属于中等血糖指数食品,蛋白质含量可降到 3%。

关键词:糖尿病肾病专用馒头;低糖低蛋白馒头;马铃薯增抗淀粉;感官评价;血糖指数

中图分类号:TS 213.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-7561(2016)04-0047-05

Optimization of formula of steamed bread for diabetic nephropathy patients

WANG Jie, XU Tong-cheng, LIU Li-na, DU Fang-ling, QIU Bin,

ZONG Ai-zhen, LI Wei

(Key Laboratory of Agricultural Products Deep Processing Technology of Shandong Province, Institute of Agro-food Science and Technology, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan Shandong 250000)

Abstract: The formula of steamed bread with low sugar and low protein for diabetic nephropathy patients was researched by single factor and orthogonal experiments. The results showed that the optimal formula was the addition amount of resistant potato starch 50%, of pregelatinized starch 8%, of amylose 10% and of wheat starch 5%. The steamed bread under this formula, whose protein content can reduced to 3%, is classified to food with moderate blood glucose index.

Key words: steamed bread for diabetic nephropathy; steamed bread with low sugar and low protein; resistant potato starch; sensory evaluation; blood glucose index

糖尿病肾病(DN)是由糖尿病引起的一种慢性并发症。据统计,20%~40%的糖尿病患者会在五年内出现糖尿病肾病。发病原因是由于高血糖使肾脏毛细血管受损,无法排出尿素等蛋白质代谢产生的废物,严重者需要人工透析或是移植肾脏,因此及时防治很重要。饮食治疗是延缓糖尿病肾病发展的有效手段,控制进食后血糖指数的升高,严格

限制主食中非优质蛋白的摄入量是食疗的关键所在。马铃薯淀粉经过增抗处理后,抗性淀粉(Resistant Starch, RS)含量大幅度增加。研究表明,含高抗性淀粉的食物能减少胰岛素反应,尤其是对非胰岛素依赖型的病人。且马铃薯淀粉价格较低廉,适合作为 DN 患者主食理想原料之一。馒头是中国传统主食,本实验研究在馒头制作中添加马铃薯增抗淀粉,研制糖尿病肾病患者专用的低糖低蛋白馒头,并对馒头主料配方进行优化,使其兼顾口感与功效。

收稿日期:2015-12-09

基金项目:山东省科技重大专项(2015ZDZX05005)

作者简介:王洁,1992 年出生,女,在读研究生。

通讯作者:刘丽娜,1978 年出生,女,副研究员。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

中筋小麦粉:滨州市华立麦业有限公司;马铃薯(庄薯3号):甘肃亚盛实业股份有限公司;预糊化淀粉:杭州普罗星淀粉有限公司;小麦淀粉:常熟市宏新淀粉有限公司;直链淀粉:国民淀粉公司;胰 α -淀粉酶、淀粉葡萄糖苷酶:Sigma公司;酵母、改良剂、泡打粉:安琪酵母股份有限公司;3,5-二硝基水杨酸:天津市凯通化学试剂有限公司。

1.2 设备与仪器

多功能拌粉和面机:深圳市牧人电器五金制品有限公司;发酵箱:广州双俊马厨具有限公司;蒸锅:佛山市宇帆贸易有限公司;电热恒温水浴槽:常州国华电器有限公司;DHG-9003BS鼓风干燥箱:南京先欧仪器公司;恒温振荡培养箱:金坛市环宇科学仪器公司;酸度计:METTLER TOLEDO仪器公司;紫外分光光度计:岛津仪器有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 马铃薯增抗淀粉制备

工艺流程:马铃薯→清洗去皮→破碎→微波处理→筛分→洗涤精制→糊化处理→冷却老化→抽滤→脱水干燥→马铃薯增抗淀粉。

马铃薯与水的比例为1:3,在功率500 W下微波处理200 s,经水洗涤筛分,配成水含量为60%的淀粉乳,在55℃,糊化处理18 h,然后于4℃下冷藏24 h,烘干粉碎过100目筛,在此条件下RS含量达到26.85%。

1.3.2 馒头制作方法

每组混合粉(增抗淀粉、小麦粉、预糊化淀粉、直链淀粉、小麦淀粉等)做2份平行,每份200 g。称取200 g混合粉倒入拌粉机中,加入55%的水(以混合粉为基准),慢速搅拌1 min,快速搅拌3 min。然后将面团置于38℃的醒发箱中发酵1 h。取出面团压片10次,分割成2份,成型。将成型后的馒头放入醒发箱中醒发20 min。放入蒸锅上蒸制30 min。关火2 min后揭开锅盖,馒头盖上纱布在常温下冷却1 h后进行相关的品质特性分析。

1.3.3 蛋白质测定方法

按国家标准GB/T 5009.5—1985食品中蛋白质的测定方法。

1.3.4 馒头消化动力学测定

准确称取粉碎均匀的馒头样品粉末100 mg于离心管中,加入20 mL磷酸盐缓冲液(0.2 g/L KCl, 8.0 g/L NaCl, 0.2 g/L KH_2PO_4 , 3.14 g/L $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$),用HCl调pH至1.5,加入0.2 mL胃蛋白酶溶液(115 U/mL),在37℃水浴中加热30 min后冷却至室温,用NaOH调pH至6.9,加入1 mL α -淀粉酶溶液(110 U/mL),用磷酸盐缓冲液(pH 6.9, 13.62 g/L KH_2PO_4 , 2.36 g/L NaOH)定容至50 mL。37℃恒温水浴振荡,0~3 h内每隔30 min取样品1 mL,在100℃水浴中振荡使酶失活,然后冷却至室温,加入3 mL 0.4 mol/L 醋酸钠缓冲液(pH 4.5, 0.04 mol/L)及20 μL 葡萄糖淀粉酶(110 U/mL),在55℃恒温水浴振荡45 min。用DNS法^[1]测定葡萄糖含量,计算水解率^[2-3]:

$$\text{水解率}/\% = \frac{\text{取样时间点还原糖释放量}}{\text{样品质量}} \times 0.9$$

$\times 100$ 。

淀粉水解曲线遵循一级反应方程式,水解曲线下的面积计算公式为:

$$C = C_{\infty}(t_f - t_0) - (C_{\infty}/k)[1 - e^{-k(t_f - t_0)}]$$

C_{∞} :反应平衡浓度; t_f :最终时间(180 min); t_0 :初始时间(0 min); k :一级反应动力学常数。

样品的水解指数: $HI(100\%) =$

$$\frac{\text{样品水解曲线下的面积}}{\text{新鲜白面包水解曲线下面积}} \times 100。$$

样品水解指数 HI 和血糖指数 EGI 之间有较好的相关性($r=0.894$),馒头血糖指数 $EGI = 39.71 + 0.549HI$ 。

以白面包作为标准,其血糖指数定为100,测定馒头的淀粉体外消化速率,对馒头的血糖指数进行估计评价^[4]。

1.3.5 馒头感官评价方法^[5]

馒头品质采用感官评价的方法进行评定,由10人组成的品尝小组品尝评分,评分人员按表1对馒头各个指标评分,每个馒头样品去掉最高分与最低

分,剩余取平均值作为感官评分结果。

表 1 馒头感官评分标准

项目	满分/分	评分标准
比容	20	用电子天平称重,用油菜籽替代法测体积,计算比容;2.30 mL/g 为满分,每少 0.1 扣 1 分。
外观形状	15	表皮光滑,对称,挺,12.1~15 分;中等,9.1~12 分;表皮粗糙有硬块,形状不对称,1~9 分。
色泽	10	白,乳白,奶白,8.1~10 分;中等,6.1~8 分;发灰发暗,1~6 分。
结构	15	纵剖面气孔小而均匀,12.1~15 分;中等,9.1~12 分;气孔大而不均匀,1~9 分。
弹韧性	20	用手指按复原性好、有咬劲,16.1~20 分;中等,12.1~16 分;复原性、咬劲均差,1~12 分。
黏牙	15	咀嚼爽口不黏牙,12.1~15 分;中等,9.1~12 分;咀嚼不爽口、发黏,1~9 分。
气味	5	具麦清香、无异味,4.1~5 分;中等,3.1~4 分;有异味,1~3 分。
合计	100	

1.3.6 实验设计

设定马铃薯增抗淀粉 50%、预糊化淀粉 8%、小麦淀粉 5%、直链淀粉 10%、中筋小麦粉 25%、酵母 0.5%、改良剂 0.5%、泡打粉 1% (以 200 g 混合粉为基准),实验中改变单一因素条件固定其他条件。考察马铃薯增抗淀粉添加量 (40%、45%、50%、55%、60%)、预糊化淀粉添加量 (4%、6%、8%、10%、12%)、小麦淀粉添加量 (3%、4%、5%、6%、7%)、直链淀粉添加量 (6%、8%、10%、12%、14%) 对馒头感官品质的影响。在单因素实验基础上,选取马铃薯增抗淀粉添加量、预糊化淀粉添加量、小麦淀粉添加量、直链淀粉添加量四个因素进行正交实验,因素水平设置见表 2。

表 2 正交实验因素水平

水平	A 增抗淀粉/%	B 预糊化淀粉/%	C 直链淀粉/%	D 小麦淀粉/%
1	50	6	8	4
2	52.5	8	10	5
3	55	10	12	6

2 结果与分析

2.1 单因素实验结果

2.1.1 马铃薯增抗淀粉添加量对馒头品质的影响

采用微波、韧化与老化处理相结合的方法制备增抗淀粉,机理是微波可降解部分支链淀粉,老化过程中有利于直链淀粉分子发生定向有序排列。同时微波辐射使温度上升迅速,淀粉糊化冷却后有利于

淀粉晶核形成^[6]。韧化处理是指体系水分含量在 40% 以上,温度在玻璃化转变温度与糊化温度之间对淀粉液进行热处理^[7],可使淀粉颗粒分子排列处于相对更有序的状态,使得结晶度提高,结晶构型更为紧密,从而增强抵抗酶的作用。

由表 3 可知,当马铃薯增抗淀粉添加量低于 50% 时,增抗淀粉添加量对馒头感官品质影响不大,甚至略有升高趋势,原因可能是微波升温可使部分淀粉发生糊化变性,使淀粉溶解速度加快,粘接性提高,在馒头制作中起到增稠、保型的作用,稳定其内部组织结构。当增抗淀粉的添加量超过 50% 时,馒头口感和组织状态明显下降,且馒头面团整型较困难,表面不光滑,易形成裂纹。感官表现为馒头比容减小,口感僵硬,断面馒头气孔较大且不均匀,导致感官综合得分明显降低。这可能是由于添加过多的增抗淀粉一定程度上稀释了面团中面筋蛋白的含量,从而使面团的持气性降低,造成馒头体积的减小。为确保馒头的感官品质,选定 50%~55% 为增抗淀粉的添加量范围,进行正交实验,优化馒头的最佳配方。

表 3 马铃薯增抗淀粉添加量对馒头感官品质的影响 分

增抗淀粉 添加量/%	比容	外观 形状	色泽	结构	弹韧性	黏牙	气味	总分
40	18.5	13.7	9.2	14.5	12.4	14.3	4.5	87.1
45	18.3	13.6	9.6	14.3	12.9	14.6	4.5	87.8
50	18.2	13.2	9.0	14.7	13.5	15.2	4.6	88.4
55	17.5	12.8	8.2	13.1	12.8	13.7	4.1	82.2
60	15.2	11.9	7.8	11.3	10.5	12.0	4.0	72.7

2.1.2 预糊化淀粉添加量对馒头品质的影响

由表 4 可知,当预糊化淀粉添加量较低时形成的面团韧性较差,蒸煮后馒头易开裂。随着预糊化淀粉添加量的增加,馒头总评分先升高,表现在馒头内部结构变得细腻,柔软蓬松,粘弹性、延展性增加。原因是预糊化淀粉是经过物理改性制得的淀粉,具有吸水性、保水性较强的特点,溶于水后能形成高黏度、膨胀性强的淀粉糊,可作为面筋替代物。预糊化淀粉添加量达到 10% 时,馒头比容反而会有所减小,馒头的弹性变差并且发黏。综合考虑将预糊化淀粉添加量确定为 8%。

表 4 预糊化淀粉添加量对馒头品质的影响 分

预糊化淀粉添加量/%	比容	外观形状	色泽	结构	弹韧性	黏牙	气味	总分
4	12.6	12.2	7.5	10.1	10.5	13.5	4.4	70.8
6	15.5	11.4	8.0	12.1	14.8	14.2	4.3	80.3
8	17.9	13.3	8.5	13.4	15.6	14.3	4.3	87.3
10	17.4	12.9	8.4	13.2	13.2	11.2	4.2	80.5
12	16.0	12.4	8.1	12.3	13.9	11.1	4.0	77.8

2.1.3 直链淀粉添加量对馒头品质的影响

Faulks R M 研究表明^[8],直链—支链淀粉比率与淀粉消化速率呈负相关。高直链淀粉糊化时,附着在淀粉颗粒表面的直链淀粉能够与支链淀粉缔合成紧密的网状结构,使其糊化温度升高,这种结构能抵抗酶解,从而延缓血糖指数的升高^[9]。由表 5 可知,随着直链淀粉含量的增加,馒头的总评分呈下降趋势,尤其是当直链淀粉添加量超过 10% 时,馒头总评分随直链淀粉添加量的增加下降明显,馒头体积变小,且内部结构变差,韧性差且发黏,这与王晓曦文献报道一致^[10]。出现这种情况的原因是直链淀粉具有较小的分子量,溶于热水中生成的胶体凝固性差,因此直链淀粉比例大的面粉,糊化后黏性较小。因此最佳直链淀粉添加量选 10%。

表 5 直链淀粉添加量对馒头感官品质的影响 分

直链淀粉添加量/%	比容	外观形状	色泽	结构	弹韧性	黏牙	气味	总分
6	18.2	14.1	8.9	14.9	13.7	15.9	4.5	90.2
8	18	13.9	8.1	14.8	13.6	15.5	4.6	88.5
10	17.6	13.0	8.1	14.5	13.3	15.4	4.6	86.5
12	16.4	12.6	7.7	14.1	12.4	14.6	4.2	82.0
14	15.6	10.9	7.4	13.7	11.7	13.6	4.1	77.0

2.1.4 小麦淀粉添加量对馒头品质的影响

传统馒头以小麦粉为主要原料制作而成,由于小麦粉中含有蛋白质,会增加肾病患者肾脏负担,因此选择从口感、内部结构上与小麦粉最为接近的小麦淀粉替代部分小麦粉。如表 6 所示,随着小麦淀粉添加量的增加馒头感官评分逐渐减小,原因是当小麦淀粉添加量超过 5% 时,配方粉中小麦粉的比例降到 25% 以下,面筋蛋白的含量较少,不易形成

面筋网络结构,表现为馒头比容和弹性下降,蜂窝状空隙减小。因此最佳小麦淀粉添加量确定为 5%。

表 6 小麦淀粉添加量对馒头感官品质的影响 分

小麦淀粉添加量/%	比容	外观形状	色泽	结构	弹韧性	黏牙	气味	总分
3	18.6	13.0	8.2	14.6	13.1	16.5	4.5	88.5
4	18.3	13.2	8.3	14.6	13.2	16.2	4.5	88.3
5	17.8	13.1	8.1	14.5	12.9	15.8	4.3	86.5
6	17.1	12.3	7.5	13.0	12.9	15.8	4.3	82.9
7	17.0	12.9	7.7	12.5	12.2	14.9	4.3	81.5

2.2 正交实验结果

在单因素实验的基础上,对增抗淀粉添加量(A)、预糊化淀粉添加量(B)、直链淀粉添加量(C)、小麦淀粉添加量(D)4 个因素进行正交实验,实验结果见表 7。由表 7 可知,影响馒头感官评分的因素主次顺序是预糊化淀粉添加量、增抗淀粉添加量、直链淀粉添加量、小麦淀粉添加量,各因素的最佳组合是 A₁B₂C₂D₂,即增抗淀粉添加量 50%、预糊化淀粉添加量 8%、直链淀粉添加量 10%、小麦淀粉添加量 5%。按照此组合进行验证实验,得到馒头感官评分为 88.8,蛋白质含量可降到 3%。

表 7 馒头配方正交实验方案及结果

实验号	A	B	C	D	感官评分/分
1	1	1	1	1	83.1
2	1	2	2	2	88.8
3	1	3	3	3	84.0
4	2	1	2	3	81.5
5	2	2	3	1	84.8
6	2	3	1	2	83.4
7	3	1	3	2	79.6
8	3	2	1	3	85.3
9	3	3	2	1	83.8
k ₁	85.30	81.40	83.93	83.90	
k ₂	83.23	86.30	84.70	83.93	
k ₃	82.90	83.73	82.80	83.60	
R	2.40	4.90	1.90	0.33	

2.3 馒头消化性测定与血糖指数评价

按照优化后配方,即增抗淀粉添加量 50%、预

糊化淀粉添加量 8%、直链淀粉添加量 10%、小麦淀粉添加量 5%，小麦粉 25%，酵母 0.5%，改良剂 0.5%，泡打粉 1%，制作低糖低蛋白馒头，采用复合酶体外水解的方法测定馒头的消化率，对其血糖指数进行评价。

由图 1 可见，作为参考的白面包反应达到平衡时(180 min)水解率接近 50%。在水解反应初始阶段(0~30 min)，普通小麦粉馒头水解速率较快，低糖低蛋白馒头水解速率明显小于普通小麦粉馒头，在 60 min 时接近水解反应平衡状态，而普通小麦粉馒头在 90 min 时接近水解反应平衡状态。普通小麦粉馒头与低糖低蛋白馒头最终水解率分别为 40% 与 25%。

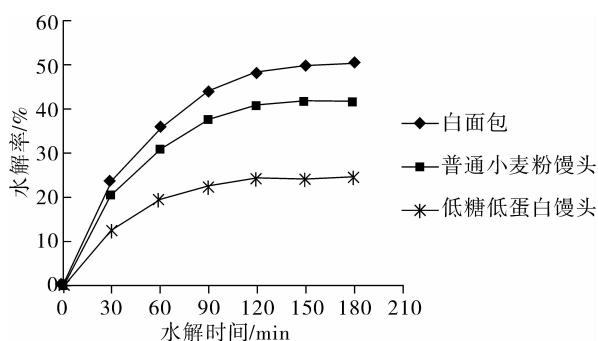


图 1 模拟体外水解曲线

由表 8 可知，普通小麦粉馒头与低糖低蛋白馒头血糖指数分别为 78.42、68.26，显著性分析表明优化后的馒头配方可有效地降低血糖指数 ($P < 0.05$)。按照血糖指数可以划分为高血糖指数食品 ($EGI \geq 70$)，中等血糖指数食品 (56~69，包括两端值)，低血糖指数食品 (≤ 55)^[11]。由此可见，由此配方生产的馒头属于中等血糖指数食品。

表 8 馒头水解指数和血糖指数

组别	HI	EGI
白面包	100 ^a	94.61 ^a
普通小麦粉馒头	70.51 ± 0.92 ^b	78.42 ^b
低糖低蛋白馒头	52.01 ± 1.03 ^c	68.26 ^c

注：不含相同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

3 结论

本文研究了不同添加量的马铃薯增抗淀粉、预

糊化淀粉、直链淀粉、小麦淀粉对低糖低蛋白馒头品质的影响。通过单因素和正交实验确定了低糖低蛋白馒头的最佳配方为：50% 马铃薯增抗淀粉、8% 预糊化淀粉、10% 直链淀粉、5% 小麦淀粉、25% 小麦粉、0.5% 酵母、0.5% 改良剂、1% 泡打粉。在此优化后的配方下，制作的馒头比容大，表面光滑洁白，馒头内部气孔大小均匀，颗粒细腻，馒头感官评分可达 88.8。经验证，在此配方下制作的馒头蛋白质含量可降至 3%，血糖估计指数为 68.26，属于中等血糖指数食品。

参考文献：

- [1] 宁正祥. 食品成分分析手册[M]. 北京：中国轻工业出版社，1998.
- [2] Goni I, Garcia-Alonso A, Saura-Calixto F. A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index [J]. Nutrition Research, 1997, 17(3): 427-437.
- [3] Brennan C S, Kuri V, Tudorica C M. Inulin-enriched pasta: effects on textural properties and starch degradation [J]. Food Chemistry, 2004, 86(2): 189-193.
- [4] 张焕新. 抗性淀粉酶法制备及其特性与应用的研究[D]. 无锡：江南大学，2012，51-52.
- [5] 汪磊，李飞，朱波. 莜麦馒头配方研究[J]. 中国粮油学报，2013，28(1): 27-30.
- [6] Lewandowicz G, Jankowski T, Fornal J. Effect of microwave radiation on physico-chemical properties and structure of cereal starches [J]. Carbohydrate Polymers, 2000, 42(2): 193-199.
- [7] Hoover R, Vasanathan T. The effect of annealing on the physicochemical properties of wheat, oat, potato and lentil starches [J]. Journal of Food Biochemistry, 1993, 17(5): 303-325.
- [8] Faulks R M, Biley A L. Digestion of cooked starches from different food sources by porcine α -Amylase [J]. Food Chemistry, 1990, 36(3): 191-203.
- [9] 方克旋. 小麦直链淀粉含量的测定及其含量对食品品质的影响 [J]. 中国粮油食品，1985(3): 27-28.
- [10] 王晓曦，徐荣敏. 小麦胚乳中直链淀粉含量分布及其对面条品质的影响 [J]. 中国粮油学报，2007，22(4): 33-37.
- [11] 衣杰荣，姚惠源. 低血糖指数食品的研究进展 [J]. 粮食与饲料工业，2001(4): 41-43.