

低血糖生成指数马铃薯代餐粉的配方优化研究

李铁梅^{1,2}, 王玺³, 刘美玉^{1,2*}, 刘杰¹, 段盛林³, 苑鹏³, 夏凯³

(1. 河北工程大学生命科学与食品工程学院, 邯郸 056038; 2. 邯郸市天然产物与功能性食品开发重点实验室, 邯郸 056038; 3. 中国食品发酵工业研究院有限公司, 北京 100015)

摘要: **目的** 优化低血糖生成指数(glycemic index, GI)的马铃薯代餐粉配方。**方法** 以含高抗性淀粉的马铃薯全粉为主要原料, 复配大米粉及葡萄籽提取物等配料, 通过单因素和正交实验优化配方, 并以 GI 值、感官总分、风味和分散液稳定性等指标对其进行评价。**结果** 研制的马铃薯代餐粉的最佳配方为: 含高抗性淀粉的马铃薯全粉 45%、熟大米粉 25%、芝麻粉 5%、大豆分离蛋白 13.5%、中链甘油三酸酯 10%、魔芋粉 2.0%、葡萄籽提取物 0.125%、三氯蔗糖 0.04%。此配方条件下制备出的代餐粉感官总分为 77.5 分, GI 值为 45.94, 为低 GI 食品, 对稳定餐后血糖有促进作用, 且口感适宜, 具有良好的稳定性。**结论** 本研究基于功能性薯类深加工思路, 为开发低 GI 薯类产品研制提供了实验基础。

关键词: 马铃薯全粉; 抗性淀粉; 代餐粉; 低血糖生成指数; 电子鼻

Study on the formulation optimization of low glycemic index potato meal replacement powder

LI Tie-Mei^{1,2}, WANG Xi³, LIU Mei-Yu^{1,2*}, LIU Jie¹, DUAN Sheng-Lin³, YUAN Peng³, XIA Kai³

(1. College of Life Science and Food Engineering, Hebei University of Engineering, Handan 056038, China; 2. Handan Key Laboratory of Natural Products and Functional Food Development, Handan 056038, China; 3. China National Research Institute of Food and Fermentation Industries Co., Ltd., Beijing 100015, China)

ABSTRACT: Objective To optimize the formula of potato meal replacement powder with low hypoglycemic index (GI). **Methods** High-resistant starch potato whole powder was used as the major raw material, as well as compound rice flour and grape seed extract was used as additives. The formula was optimized by single factor and orthogonal tests, then evaluate it using indicators like GI value, total sensory score, flavor, and dispersion stability. **Results** The optimum formula of potato meal replacement powder was 45% of high-resistant starch potato powder, 25% of cooked rice flour, 5% of sesame powder, 13.5% of soy protein isolate, 10% of medium-chain triglycerides, 2.0% of konjac flour, 0.125% of grape seed extract, and 0.04% of sucralose. The sensory total score of the meal replacement powder was 77.5, and the GI value was 45.94. The developed meal replacement powder was a low-GI food which could stabilize blood sugar, and had a pleasant taste and good stability. **Conclusion** This research is based on the concept of deep processing functional tubers and establishes an experimental foundation for the development of tuber products with low glycemic index.

基金项目: “十三五”国家重点研发计划专项(2016YFD0401303)

Fund: Supported by the “Thirteenth Five-Year” National Key Research and Development Program Special Project (2016YFD0401303)

*通信作者: 刘美玉, 博士, 教授, 主要研究方向为食品加工与安全。E-mail: lmy200751@163.com

*Corresponding author: LIU Mei-Yu, Ph.D, Professor, College of Life Science and Food Engineering, Hebei University of Engineering, No.19, Taiji Road, Economic-Technological Development Area, Handan 056038, China. E-mail: lmy200751@163.com

KEY WORDS: potato whole powder; resistant starch; meal replacement powder; low glycemic index; electronic nose

0 引言

随着 2015 年马铃薯主粮化战略的启动, 营养价值丰富的马铃薯已成为我国的第四大主粮, 马铃薯的各种营养成分如蛋白质、膳食纤维、维生素及矿物质等可以满足人体的需要^[1-2]。当前, 市场上马铃薯加工形式主要有初级加工和深加工两种形式, 初级加工以经马铃薯脱水干燥制成的马铃薯淀粉及全粉为主, 而深加工主要包括以马铃薯全粉为原料的马铃薯面包和马铃薯面条等产品^[3]。马铃薯全粉是食品加工的基础原料, 其制作工艺对于食品品质有很大影响。它的制作过程主要是将马铃薯进行洗净, 去皮后进行漂烫处理, 最后煮熟脱水干燥制成^[4-5]。马铃薯淀粉是马铃薯全粉中含量最高的组分(约占 64.09%), 在食品加工过程中马铃薯淀粉与其他原料中各物质相互作用, 对产品的风味口感、消化性等发挥重要作用。马铃薯淀粉采用加热-冷却法使淀粉充分糊化后再经过储存在 4 °C 的温度下产生回生, 降低其淀粉消化率, 从而制得抗性淀粉^[6-8]。抗性淀粉又被称作不消化淀粉, 在消化过程中, 人体小肠无法进行正常消化吸收^[9]。有研究报道, 抗性淀粉主要通过作用肠道影响人体内糖类物质的消化吸收速率, 对于人体的血糖上升有一定的控制作用^[10-12], 低升糖的食物可减缓机体对碳水化合物的消化和吸收, 有助于控制食欲和维持血糖平衡。由此, 低血糖生成指数(glycemic index, GI)的食品在将来功能食品发展领域中占有重要的地位。

目前, 膳食代餐逐渐成为一种健康和流行的饮食替代方式。低 GI 营养代餐食品不仅可以满足身体各种营养素的需求, 而且能量较低, 适合一些人群对低糖低能量食品的需求^[13-15]。代餐粉是目前市场上比较流行一种代餐食品, 具有低脂肪、低热量、饱腹感强等优点^[16-17]。马铃薯全粉原料基于其蛋白质、碳水化合物、维生素和多种微量元素含量丰富, 营养成分全面且脂肪含量低的特性, 在食品加工过程中应用广泛^[18]。目前关于低 GI 马铃薯代餐粉类产品的研究较少, 本研究以制备高抗性淀粉的马铃薯全粉为主要原料, 所研究的代餐粉具有低升糖、营养全面、食用方便的优点, 为糖代谢异常人群提供一款高营养价值、低血糖生成指数的代餐产品, 为马铃薯深加工产业提供新思路。

1 材料与方法

1.1 主要材料与试剂

白面包、马铃薯全粉(本实验室自制); 熟大米粉(山东青稻夫食品有限公司); 黑芝麻粉(北京朔方科技发展股份有限公司); 大豆分离蛋白(山东东达纤维素有限公司); 魔

芋粉(陕西新天域生物科技有限公司)。

葡萄籽提取物(原花青素含量 $\geq 95\%$, 陕西嘉禾生物科技股份有限公司); 中链甘油三酸酯(medium-chain triglyceride, MCT)(广东中食营科科技有限公司); 三氯蔗糖、葡萄糖(郑州启源食品添加剂有限公司); 胃蛋白酶、胰酶、 α -淀粉酶、淀粉葡萄糖苷酶(美国 Sigma 公司); 乙腈、甲醇(色谱纯, 美国 Fisher 公司)。

1.2 主要仪器与设备

DK-8 三温三控水槽(上海百典仪器有限公司); PL203 分析天平(瑞士梅特勒-托利多仪器有限公司); LC-20AT 高效液相色谱仪(日本岛津公司); GL-20G-II 高速冷冻离心机(上海坤权生物科技有限公司); FOX 40000 电子鼻(带 18 跟 MOS 传感器)、HS-100 自动进样器、AG 2301 高纯空气发生器(法国 Alpha M.O.S 公司); 20 mL 顶空瓶(上海安谱实验科技有限公司); LUMi Sizer 611 稳定性分析仪(德国 LUM 仪器公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 高抗性淀粉的马铃薯全粉制备

挑选新鲜的马铃薯, 首先经清洗, 然后去掉皮, 将其进行 8 mm 切片, 之后在沸水浴中漂烫 2~3 min, 于锅中蒸煮 15~20 min, 在室温冷却后, 置于 4 °C 冰箱中进行冷藏 24 h 处理, 最后以 60 °C 放在鼓风干燥箱内进行烘干, 大概 6~7 h 取出, 粉碎过筛, 得到高抗性淀粉的马铃薯全粉样品^[19]。经前期实验研究此种方法制得的马铃薯全粉中的抗性淀粉含量达到 43%。

1.3.2 马铃薯代餐粉配方设计

三大营养素的供能比分别设计为碳水化合物 40%~55%、蛋白质 20%~30%、脂肪 25%~30%^[20]。依据中国居民膳食指南, 增加谷薯类的摄入量, 选择马铃薯全粉和熟大米粉(马铃薯全粉和熟大米粉总占比为 70%)作为碳水化合物的主要来源, 同时具有高蛋白的大豆分离蛋白, MCT 作为脂肪的主要来源, 辅以高膳食纤维的芝麻粉和魔芋粉, 减少饥饿感且提供能量, 将添加具有能够抑制 α -葡萄糖苷酶活性的葡萄籽提取物, 对控制血糖方面起到一定作用。按照初始配方对各原料进行复配, 最终确定代餐粉每份样品按 1:6 (*m:V*) 进行冲调。

1.3.3 单因素实验条件设计

(1) 马铃薯全粉单因素实验

设定马铃薯全粉的添加量分别为 35%、45%、55%、65%、70%, 芝麻粉(5%)、大豆分离蛋白(13.5%)、MCT 粉(10%)、魔芋粉(1%)、葡萄籽提取物(0.05%)和三氯蔗糖(0.04%)。评价指标主要设置为 GI 值、感官总分、风味、稳定性, 通过测定各指标对代餐粉品质影响, 得到最适马

铃薯全粉添加量。

(2) 魔芋粉单因素实验

确定最适的马铃薯全粉添加量后, 设定魔芋粉添加量分别为 0.5%、1.0%、1.5%、2.0%、2.5%, 其他原料配比保持不变(同上), 分别测定影响代餐粉品质因素的 GI 值、感官总分、风味、稳定性等, 最终确定魔芋粉的最适添加量。

(3) 葡萄籽提取物单因素实验

确定最适的马铃薯全粉和魔芋粉添加量后, 设定葡萄籽提取物的添加量分别为 0.025%、0.050%、0.075%、0.100%、0.125%, 其他原料配比保持不变(同上), 由 GI 值、感官总分、风味、稳定性等指标确定葡萄籽提取物的最适添加量。

1.3.4 马铃薯代餐粉正交实验设计

基于马铃薯全粉原料的营养性和魔芋粉、葡萄籽提取物的原料的功能特性, 以马铃薯全粉添加量、魔芋粉添加量、葡萄籽提取物添加量为考察主要因素, 以 GI 值和感官总分为主要评价指标, 选取 3 个水平, 用 $L_9(3^3)$ 正交表设计实验(表 1), 确定马铃薯减肥代餐粉最佳工艺条件。

表 1 正交实验因素和水平设计表

Table 1 Orthogonal experimental factors and level design table

| 水平 | A 马铃薯全粉 添加量/% | B 魔芋粉 添加量/% | C 葡萄籽提取物 添加量/% |
|----|------------------|----------------|-------------------|
| 1 | 45 | 1.5 | 0.075 |
| 2 | 55 | 2.0 | 0.100 |
| 3 | 65 | 2.5 | 0.125 |

1.4 马铃薯代餐粉测定指标方法

1.4.1 马铃薯代餐粉体外消化特性测定 GI 值

口腔模拟: 取含有 1 g 碳水化合物样品置于烧杯中, 将 3 mL 的 0.1 mol/L 的磷酸缓冲液和加热到 37 °C 的 1 mL 淀粉酶加入到烧杯中, 用玻璃棒搅拌 15 s, 使其置于 37 °C 的环境中^[21]。

胃部模拟: 用 4 mL 0.1 mol/L 的磷酸缓冲液冲洗玻璃棒于烧杯中, 加入 6 mL 含有 0.4 g/L 的 NaCl, 胃蛋白酶和瓜尔豆胶各 0.05 g 的 0.1 mol/L 磷酸缓冲液, 使其溶液为酸性环境(pH 为 1.5), 在摇床中以 37 °C 保持 30 min^[22]。

小肠模拟: 胃部模拟后加入 10 mL 磷酸缓冲液(pH 6.9), 使其处于碱性, 用 50% 的 NaOH 溶液调节 pH 为 6.9, 之后分别加入 $MgCl_2-CaCl_2$ 溶液(125 μ L)、胰酶溶液(125 μ L)、淀粉转葡萄糖苷酶(400 μ L), 加蒸馏水使其体积达到 50 mL, 在 37 °C 摇床中保温 120 min^[23]。先将 95% 乙醇溶液加热至 60 °C, 分别间隔一定时间取 1 mL 样品放入含有 4 mL 乙醇溶液中, 离心(10000 r/min, 10 min)取上清溶液, 进行葡萄糖含量测定。

葡萄糖含量的测定: 色谱柱: Hypersil NH₂S 氨基色谱

柱(4.6 mm×250 mm, 5 μ m); 柱温: 40 °C; 流动相: 乙腈:水=70:30 (V/V); 检测器: 示差检测器; 流速: 1.0 mL/min; 进样量: 10 μ L, 葡萄糖浓度 1~10 mg/mL。

GI 值计算: 通过以峰面积为纵坐标(Y), 以葡萄糖浓度为横坐标(X, mg/mL), 绘制标准曲线, 得到线性关系良好的回归方程, 得到淀粉水解率。定义面包的水解率为 100, 计算样品的淀粉水解指数(hydrolysis index, HI), 则 $GI=0.862HI+8.189$, 计算样品的 GI 值^[24]。

1.4.2 马铃薯代餐粉感官评价

参照 GB/T 18738—2006《速溶豆粉和豆奶粉》, 对决定马铃薯代餐粉质量的主要 6 个指标: 色泽、滋味及气味、组织形态、黏性、溶解性、口感等进行评价。由经过提前培训的感官人员组成评定小组进行感官评价, 称取适量的代餐粉, 冲调后请专业人员进行品评, 并按照表 2 所示进行打分。最后结果把最高分和最低分舍去, 取各分数平均值。

表 2 马铃薯代餐粉感官评分标准表
Table 2 Sensory score standard table of potato meal replacement powder

| 项目 | 评分标准 | 评分/分 |
|---------------------|-----------------------|-------|
| 色泽 (10 分) | 色泽呈灰黑色, 冲调后呈亮黑色, 色泽均匀 | 7~10 |
| | 灰黑色, 色泽不太均匀 | 4~6 |
| | 颜色过深或过浅 | 1~3 |
| 滋味及 气味 (10 分) | 有马铃薯及芝麻糊香气, 香味浓郁 | 7~10 |
| | 马铃薯香气较淡, 芝麻糊香气不明显 | 4~6 |
| 组织形态 (10 分) | 马铃薯生粉味较重 | 1~3 |
| | 表面粉质细腻, 基本上不结块, 无颗粒物 | 7~10 |
| | 粉末疏松, 有部分结块 | 4~6 |
| 黏性 (20 分) | 粉末不均匀, 结块很明显 | 1~3 |
| | 黏度适当, 不稀不稠 | 14~20 |
| | 黏度适当, 黏连性好 | 7~13 |
| 溶解性 (30 分) | 黏度过稠或过稀 | 1~6 |
| | 溶液呈糊糊状, 溶解性良好 | 21~30 |
| | 冲调后溶液较稀, 粉末均匀分散 | 11~20 |
| 口感 (20 分) | 冲调后水分分离, 析出物明显 | 1~10 |
| | 口感细腻丝滑, 无明显颗粒感 | 15~20 |
| | 甜味适宜, 有部分颗粒感 | 7~14 |
| | 味道过甜或无味, 口感粗糙 | 1~6 |

1.4.3 电子鼻测定方法

将代餐粉按 1:6 (m:V) 加水溶解, 向顶空瓶中取 10 mL 样品溶液, 加盖密封, 静置 1 h, 每个样品做 3 组平行, 测定样品的风味。电子鼻主机参数设置为: 采集时间 120 s, 数据采集延迟 500 s, 流量 150 mL/min, 注射速度 500 μ L;

自动进样器参数设置: 孵化时间 360 s, 孵化温度 40 °C, 进样针温度 90 °C^[25]。

1.4.4 样品分散稳定性的测定

样品前处理: 将代餐粉按照冲调比例(1:6, *m:l*)加水溶解成溶液, 将样品溶液利用稳定性分析仪(LUMi Sizer, LUM Gmb H, Berlin, Germany)进行稳定性分析。由于样品溶液容易产生如沉淀、悬浮、絮凝等现象, 导致分层, 根据其在离心场中速度不同以及粒径分布进行快速表征。取混匀的待测样品 1 mL 加到离心管, 放入粒子分散稳定性分析仪中, 每个样品设置 3 个平行。

参数设置: 温度 60 °C, 离心速度 5000 r/min, 样品的透光率特征线每 10 s 记录 1 次, 共计 500 次^[26]。

1.5 数据处理

使用软件 SPSS 18.0 和 GraphPad Prism 8.0.2 对数据结果进行分析, $P < 0.05$ 表示具有显著性差异。实验进行 3 次平行, 结果以平均值±标准偏差的形式表示。

2 结果与分析

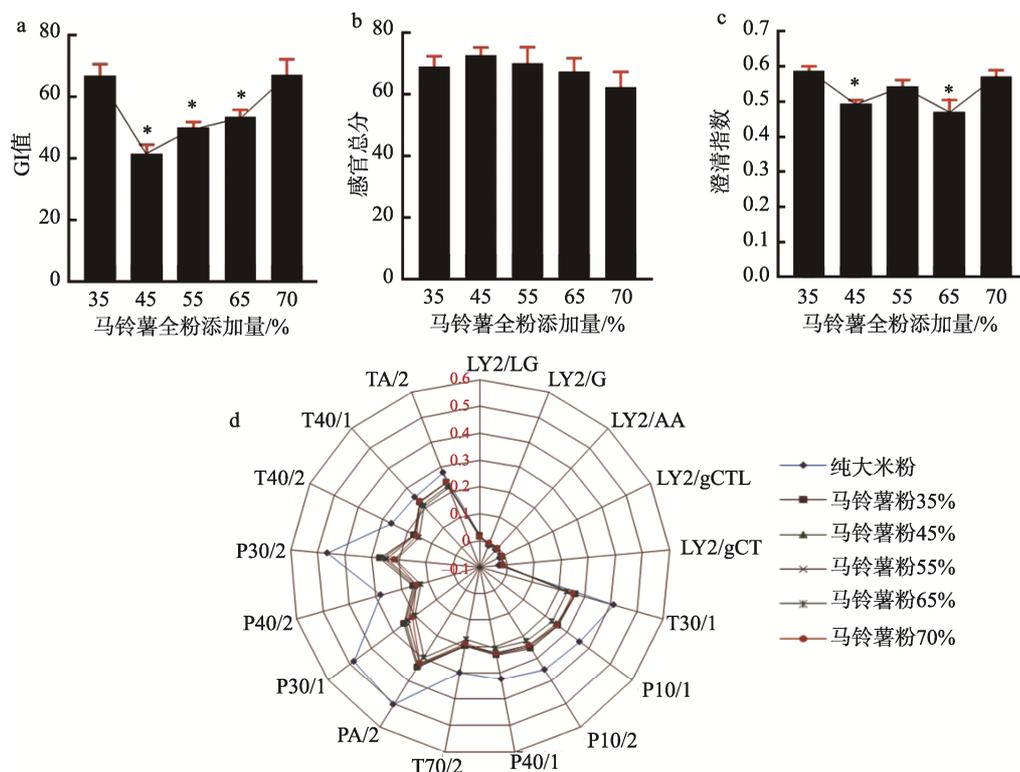
2.1 马铃薯全粉单因素实验结果分析

图 1a 为马铃薯全粉添加量与 GI 值变化的关系图。可

以看出, 当马铃薯全粉添加量增加时, GI 值明显变化, 当马铃薯全粉添加量为 35% 时, 此时 GI 值最高, 随着增加马铃薯全粉添加量至 45%, GI 值最低, 继续增马铃薯全粉添加量, 即大米粉添加量占比逐渐增加, GI 值呈上升趋势, 因此确定马铃薯全粉最适添加量为 45%。

图 1b 为马铃薯全粉添加量与感官总分之间关系图。如图 1b 所示, 马铃薯全粉添加量变化对感官总分变化不是很明显, 在添加量为 45% 时, 感官总分最高, 为 72.7 分。继续增加马铃薯全粉的添加量, 感官总分呈下降的趋势, 此时大米粉添加量占比减少, 因此过多地添加马铃薯全粉可能由于马铃薯沙粒感和马铃薯全粉本身的土腥味, 导致口感变差, 因此确定马铃薯全粉应添加 45% 为最佳。

图 1c 为马铃薯全粉添加量对代餐粉稳定性影响。代餐粉冲调稳定性是代餐粉品质的重要评价指标。通过样品溶液离心时观察其微小粒子及透光率发生变化, 进而根据透光率得出澄清指数, 用于反映样品的整体分层情况, 当澄清指数越接近 0, 此时稳定性越好^[27]。由图 1c 可知, 马铃薯全粉添加量对代餐粉稳定性有影响, 在添加量为 45% 和 65% 时澄清指数均较小, 具有较好的稳定性。马铃薯全粉添加量过低或过高都会引起不稳定现象, 通过 GI 值和感官结合可以得到马铃薯全粉添加量为 45%。



注: a: 马铃薯全粉添加量对 GI 值影响; b: 马铃薯全粉添加量对感官总分影响; c: 马铃薯全粉添加量对代餐粉稳定性影响; d: 马铃薯全粉对代餐粉风味影响。*: 与 35% 添加量相比有显著性 ($P < 0.05$)。

图 1 马铃薯全粉单因素实验结果

Fig.1 Single factor experimental results of potato whole powder

图 1d 为马铃薯全粉添加量的风味影响的雷达图。由传感器性能表可知, 有机化合物、氧化能力强的气体及芳香族化合物变化主要表现在 T、P 型传感器, 由图 1d 可看出, 马铃薯全粉不同添加量在传感器 P30/1、PA/2 上面反应比较敏感, 主要原因是大米粉和马铃薯全粉均有各自独特的气味, 随着不同配比添加量变化, 且熟化后的马铃薯全粉和米粉挥发的气味物质更丰富, 因此传感器对不同添加量马铃薯全粉的相应信号强度表现不同^[28-29], 可以看出, 纯大米粉风味物质更突出, 而不同添加量马铃薯全粉之间变化不明显, 但对风味变化也有一定的影响。

2.2 魔芋粉单因素实验

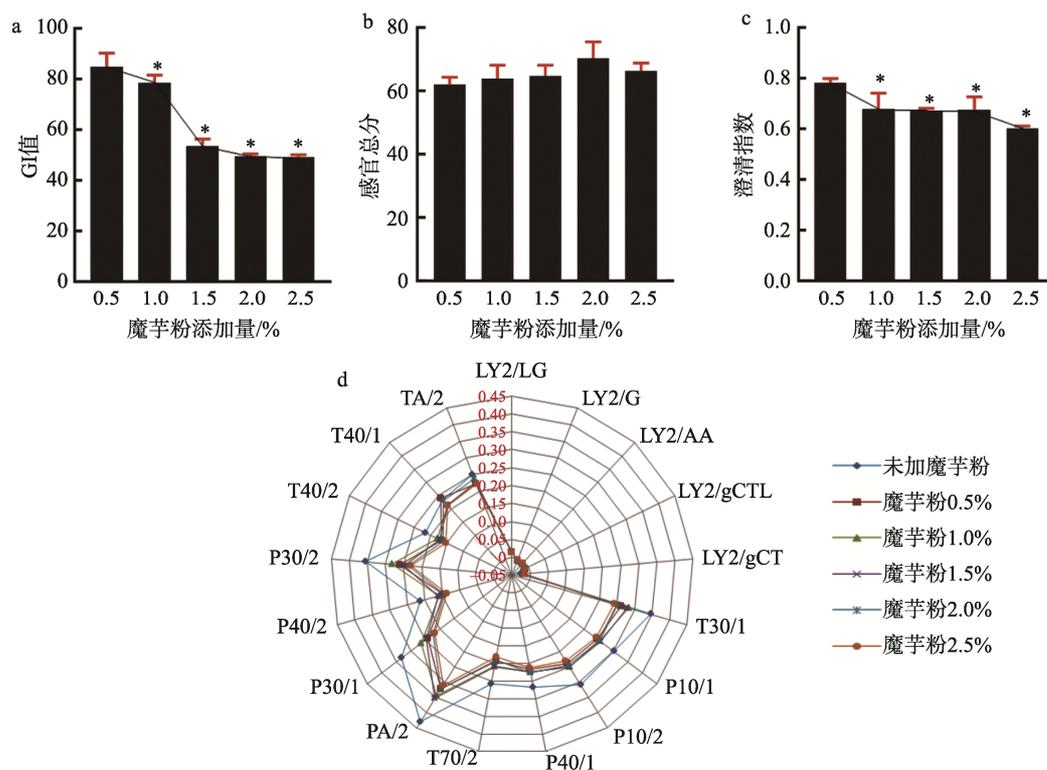
图 2a 为魔芋粉添加量与 GI 值变化的关系图。由图 2a 可以看出, 魔芋粉添加量越多, GI 值随之降低。魔芋粉添加量为 1.5% 时 GI 值明显降低, 魔芋粉添加量为 2.0% 时, 继续增加魔芋粉添加量, GI 值基本不变, 此时属于低 GI 范围, 由于魔芋粉属于膳食纤维类, 增加饱腹感同时, 在人体内几乎不能产生能量。因此, 最终确定魔芋粉的添加量为 2.0%。

图 2b 为魔芋粉添加量与感官总分之间关系图。可以

看出, 魔芋粉添加量对感官总分有一定影响, 魔芋粉添加量为 2.0% 时感官总分较高, 随着添加量增加, 反而口感降低, 很大程度上是因为具有增稠效果的魔芋粉使代餐粉产生胶体状, 极其黏稠, 凝胶状的代餐粉口感极差, 因此最终选用 2.0% 的添加量的魔芋粉。

图 2c 为魔芋粉添加量对代餐粉稳定性影响。如图 2c 所示, 魔芋粉添加量越高, 澄清指数也逐渐降低, 添加量为 1.0% 时澄清指数显著降低, 之后维持不变, 继续增加魔芋粉添加量, 当为 2.5% 澄清指数最低, 魔芋粉黏度较高, 使溶液处于稳定状态, 根据斯托克斯定理, 分散在高黏度体系中的液滴具有较低的沉降速度, 因而其溶液也具有更稳定的溶液体系^[30]。澄清指数越小, 乳液越稳定, 但是太高对口感也有影响, 根据感官总分得出魔芋粉添加量为 2.0%。

图 2d 为魔芋粉添加量对风味影响的雷达图。由图 2d 可知, 未添加魔芋粉的代餐粉风味在传感器 PA/2 时比较突出。添加了魔芋粉的代餐粉风味均较未添加魔芋粉的减弱, 从而很好地区分出来, 说明魔芋粉添加对于风味有很大影响, 魔芋粉添加量不同, 风味在不同传感器上均变化不大, 说明魔芋粉添加具有掩盖风味的作用。



注: a: 魔芋粉添加量对 GI 值影响; b: 魔芋粉添加量对感官总分影响; c: 魔芋粉添加量对代餐粉的稳定性影响; d: 魔芋粉添加量对代餐粉风味影响。*: 与 0.5% 添加量相比有显著性 ($P < 0.05$)。

图 2 魔芋粉单因素实验结果

Fig.2 Single factor experimental results of konjac flour

2.3 葡萄籽提取物单因素实验

图 3a 为葡萄籽提取物添加量与 GI 值变化的关系图。如图 3a 所示, 葡萄籽提取物对 GI 值具有显著的抑制作用, 葡萄籽提取物含量越高, GI 值越低, GI<55 时为低 GI 食物, 可以看出添加量为 0.075% 时, 代餐粉为低 GI 食品范畴, GI 值为 54.96。葡萄籽提取物中的原花青素具有能够抑制 α -淀粉酶和 α -葡萄糖苷酶的活性, 调节糖、脂代谢, 达到控制血糖水平的作用^[31], 从而控制人体 GI 值, 在葡萄籽提取物添加量为 0.1% 时为低 GI, 葡萄籽提取物添加量为 0.100% 时最优。

图 3b 为葡萄籽提取物添加量与感官总分之间关系图。如图 3b 可知, 葡萄籽提取物添加量越高, 感官总分呈缓慢上升趋势, 0.100% 添加量时感官总分最高, 为 75.2, 此时口感色泽适宜。当添加量为 0.125% 时感官总分下降, 一方面由于葡萄籽提取物对代餐粉颜色的影响, 随着葡萄籽提取物添加量增加代餐粉颜色逐渐呈暗色, 使人食欲降低。另一方面葡萄籽提取物中含有的多酚类物质可能对代餐粉的口感产生影响, 结果表明葡萄籽提取物添加量越高代餐粉苦涩味明显^[32], 由此得到葡萄籽提取物添加量为 0.100%。

图 3c 为葡萄籽提取物添加量对代餐粉稳定性影响。由图 3c 可知, 葡萄籽提取物添加对于澄清指数变化不大, 添加量为 0.100% 时, 澄清指数具有显著性降低, 葡萄籽提取物对代餐粉稳定性基本无影响, 在 0.100% 时代餐粉稳定性相对较好。从 GI 值和感官总分角度来看, 添加量为

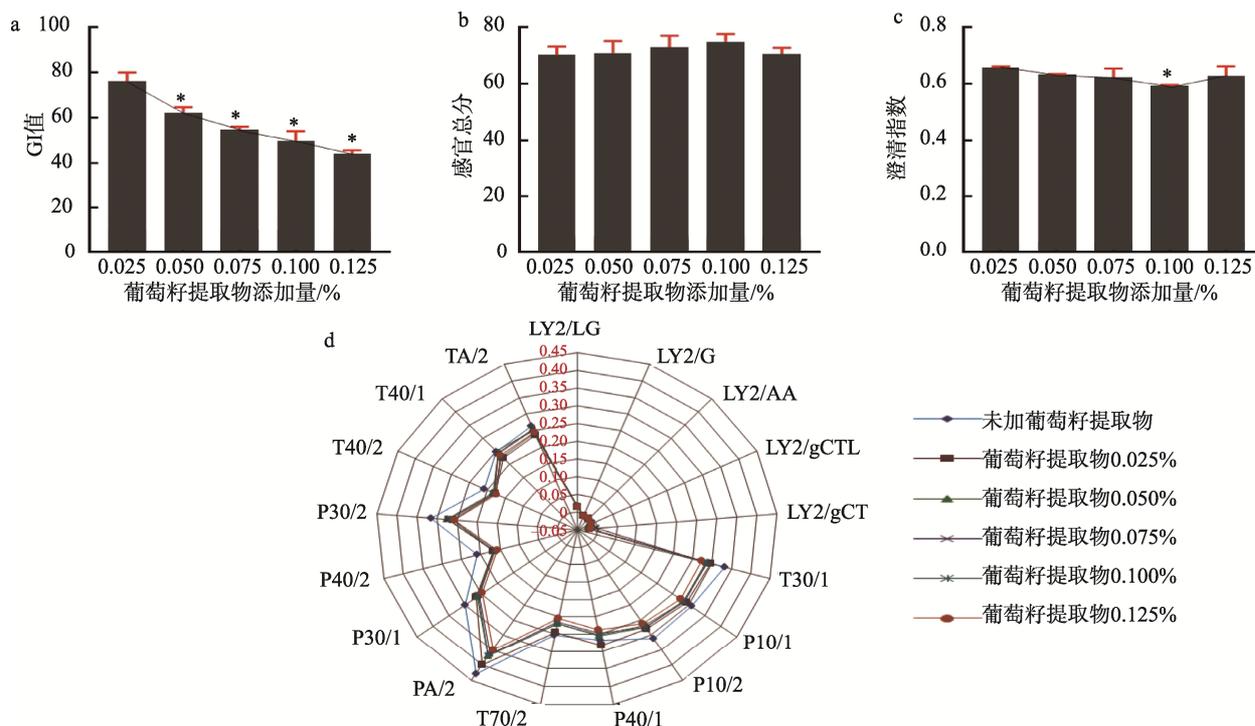
0.100% 呈现一种比较好的状态。

图 3d 为葡萄籽提取物添加量对风味影响的雷达图。由图 3d 可知, 未添加葡萄籽提取物的代餐粉与添加葡萄籽提取物的代餐粉相比, 风味在传感器上没有很大变化, 由此得出葡萄籽提取物对于代餐粉风味上没有影响。

2.4 正交实验结果分析

以感官总分和 GI 值为评价指标, 正交实验设计及结果如表 3。

由表 3 可以得出, 影响 GI 值因素的主次顺序为: 魔芋粉>葡萄籽提取物>马铃薯全粉, 对感官总分影响的主次顺序为: 魔芋粉>马铃薯全粉>葡萄籽提取物。由结果可知, 对 GI 值影响的最大因素为魔芋粉, 葡萄籽提取物次之, 具有抑制血糖升高的作用, 对 GI 值有一定影响。魔芋粉对感官总分也有很大影响, 这主要是因为魔芋粉冲调后呈胶体状, 在产品的稳定状态和口感方面有很大影响, 其次为马铃薯全粉, 马铃薯全粉具有沙粒感, 过度使代餐粉口感粗糙。基于本文主要研制低 GI 代餐粉, 主要考虑其功能特性, 即 GI 值为主要考察因素, 综合考虑选取的最佳因素组合为 $A_1B_2C_3$, 此时代餐粉感官总分相对较高。最终马铃薯代餐粉的最佳配方为马铃薯全粉 45%、大米粉 25%、芝麻粉 5%、大豆分离蛋白 13.5%、MCT 粉 10%、魔芋粉 2.0%、葡萄籽提取物 0.125%、三氯蔗糖 0.04%。



注: a: 葡萄籽提取物添加量对 GI 值影响; b: 葡萄籽提取物添加量对感官总分影响; c: 葡萄籽提取物对代餐粉稳定性影响; d: 葡萄籽提取物添加量对代餐粉风味的影响。*: 与 0.025% 添加量相比有显著性 ($P < 0.05$)。

图 3 葡萄籽提取物单因素实验结果
Fig.3 Single factor experimental results of grape seed extract

表 3 正交实验结果
Table 3 Orthogonal test results

| 水平 | | | | GI 值 | 感官总分/分 |
|--------|------------|-------------|-------------|-------|--------|
| | A | B | C | | |
| | 马铃薯全粉添加量/% | 魔芋粉添加量/% | 葡萄籽提取物添加量/% | | |
| 1 | 45 | 2.0 | 0.125 | 45.94 | 77.5 |
| 2 | 65 | 1.5 | 0.100 | 64.07 | 64.2 |
| 3 | 65 | 2.5 | 0.125 | 48.94 | 73.4 |
| 4 | 65 | 2.0 | 0.075 | 58.21 | 74.1 |
| 5 | 55 | 1.5 | 0.125 | 68.66 | 64.2 |
| 6 | 55 | 2.0 | 0.100 | 56.25 | 75.5 |
| 7 | 45 | 1.5 | 0.075 | 64.52 | 76.1 |
| 8 | 45 | 2.5 | 0.100 | 66.09 | 82.4 |
| 9 | 55 | 2.5 | 0.075 | 77.05 | 78.3 |
| K_1 | 176.55 | 210.25 | 199.78 | | |
| K_2 | 201.96 | 164.4 | 199.41 | | |
| K_3 | 184.22 | 192.08 | 163.54 | | |
| k_1 | 58.85 | 70.08 | 66.59 | | |
| k_2 | 67.32 | 53.47 | 66.47 | | |
| k_3 | 61.41 | 64.03 | 54.51 | | |
| 极差 R | 8.47 | 16.61 | 12.08 | | |
| 主次顺序 | | $B>C>A$ | | | |
| 优水平 | A_1 | B_2 | C_3 | | |
| 优组合 | | $A_1B_2C_3$ | | | |
| K_1 | 236 | 204.5 | 228.5 | | |
| K_2 | 218 | 227.1 | 222.1 | | |
| K_3 | 209.9 | 234.1 | 215.1 | | |
| k_1 | 78.6 | 68.2 | 76.2 | | |
| k_2 | 72.7 | 75.7 | 74.03 | | |
| k_3 | 70 | 78.03 | 71.7 | | |
| 极差 R | 26.1 | 29.6 | 13.4 | | |
| 主次顺序 | | $B>A>C$ | | | |
| 优水平 | A_1 | B_3 | C_2 | | |
| 优组合 | | $A_1B_3C_1$ | | | |

3 结 论

本研究以 GI 值、感官总分、电子鼻、稳定性等评价指标,对马铃薯代餐粉配方进行优化。通过单因素实验和正交实验确定马铃薯全粉添加量、魔芋粉添加量和葡萄籽提取物的最优添加量。即 45%马铃薯全粉、2.0%魔芋粉和

0.125%葡萄籽提取物。得到马铃薯代餐粉的最佳配方为:马铃薯全粉 45%、大米粉 25%、芝麻粉 5%、大豆分离蛋白 13.5%、MCT 粉 10%、魔芋粉 2.0%、葡萄籽提取物 0.125%、三氯蔗糖 0.04%。在确定配方调配下代餐粉感官总分最高为 77.5 分,此条件下代餐粉 GI 值为 45.94,属于低血糖生成指数食品。

本研究与先前研究相比,除了研制了低升糖的马铃薯代餐粉外,还制得了高抗性淀粉的低GI原料粉,此方面在国内研究较少。代餐粉冲泡后口感滑腻香甜、营养丰富、稳定性好,对于糖代谢异常膳食选择有一定的参考意义。本研究对于主要原料马铃薯可以进一步探索马铃薯发酵产物通过抑制肠道菌群代谢物以及营养干预的方式为脂代谢紊乱人群膳食结构提供基础。

参考文献

- [1] 张辉. 马铃薯复配米配方及工艺优化[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2016.
ZHANG H. The formulation and process optimization of potato extrusion rice [D]. Changsha: Central South University of Forestry & Technology, 2016.
- [2] 马莹. 马铃薯全粉蛋糕工艺研究及品质分析[D]. 银川: 宁夏大学, 2018.
MA Y. Study on the process and quality of potato powder cake [D]. Yinchuan: Ningxia University, 2018.
- [3] 王丽, 罗红霞, 李淑荣, 等. 马铃薯淀粉、蛋白质及全粉的特性及加工利用研究进展[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(3): 141–146.
WANG L, LUO HX, LI SR, *et al.* Review on processing and utilization of potato starch, protein and whole powder [J]. J China Cere Oils Assoc, 2017, 32(3): 141–146.
- [4] 闫巧珍. 马铃薯全粉理化性质和消化特性的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2017.
YAN QZ. Study on physicochemical properties and digestibility of potato granules [D]. Yangling: Northwest Agriculture & Forestry University, 2017.
- [5] 马喜山, 王玺, 苑鹏, 等. 马铃薯全粉加工工艺及应用研究进展[J]. 现代食品, 2020, 5(24): 11–15.
MA XS, WANG X, YUAN P, *et al.* Research progress of processing technology and application of potato powder [J]. Mod Food, 2020, 5(24): 11–15.
- [6] RITUDOMPHOL O, LUANGSAKUL N. Optimization of processing condition of instant rice to lower the glycemic index [J]. J Food, 2019, 84(1): 101–110.
- [7] 王丽, 李淑荣, 句荣辉, 等. 马铃薯淀粉的消化吸收特性研究进展[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(20): 220–224.
WANG L, LI SY, JU RH, *et al.* Research progress on digestion and absorption characteristics of potato starch [J]. Food Res Dev, 2021, 42(20): 220–224.
- [8] 王怡, 陈祖琴, 李萍, 等. 抗性淀粉的制备、生理功能及应用[J]. 食品工业科技, 2017, 38(2): 396–400.
WANG Y, CHEN ZQ, LI P, *et al.* Preparation and physiological function of resistant starch and its application [J]. Sci Technol Food Ind, 2017, 38(2): 396–400.
- [9] 张伟, 张焕新, 武云龙. 银杏抗性淀粉蛋糕的研制及其消化性能评价[J]. 食品工业科技, 2018, 39(19): 168–174.
ZHANG W, ZHANG HX, WU YL. Development and digestion function evaluation of ginkgo biloba resistant starch cake [J]. Sci Technol Food Ind, 2018, 39(19): 168–174.
- [10] 杨小雪. 红小豆淀粉消化性及血糖生成指数的影响因素研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2020.
YANG XX. The study of factors influencing digestibility and glycemic index of adzuki bean starch and its application [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2020.
- [11] HARTMANN C, KELLER C, SIEGRIST M. Compensatory beliefs, nutrition knowledge and eating styles of users and non-users of meal replacement products [J]. Appetite, 2016, 105: 775–781.
- [12] KUMAR SB, PRABHASANKAR P. Low glycemic index ingredients and modified starches in wheat based food processing: A review [J]. Trends Food Sci Technol, 2014, 35(1): 32–41.
- [13] CRAIG J. Meal replacement shakes and nutrition bars: Do they help individuals with diabetes lose weight [J]. Diabet Spectrum, 2013, 26(3): 179–182.
- [14] SOELIMAN FA, AZADBAKHT L. Weight loss maintenance: A review on dietary related strategies [J]. J Res Med Sci, 2014, 19(3): 268–275.
- [15] PATTINSON AL, SEIMON RV, CLAUDIA H, *et al.* Diet quality following total meal replacement compared with food-based weight-loss diets in postmenopausal woysis of the tempo diet trial [J]. J Nutr, 2021, (11): 11.
- [16] 李娜. 多酚果蔬粉固体饮料的研究[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(2): 153–156.
LI N. Research of polyphenol-containing fruit and vegetable powder solid beverage [J]. Food Res Dev, 2017, 38(2): 153–156.
- [17] 张丽, 宋留丽, 张琪, 等. 荞麦复合代餐粉的配方优化[J]. 食品工业, 2019, 40(12): 82–84.
ZHANG L, SONG LL, ZHANG Q, *et al.* Optimization of the formula of buckwheat composite meal powder [J]. Food Ind, 2019, 40(12): 82–84.
- [18] KAUR A, KOCHHAR A, PRASAD P. Development and nutritional evaluation of products using potato flour for malnourished children [J]. Int J Health Sci Res, 2015, 5(6): 554–555.
- [19] 王新伟, 赵仁勇, 王彦波, 等. 马铃薯生全粉制备过程中复合护色工艺的优化[J]. 食品工业, 2020, 41(4): 127–130.
WANG X, ZHAO RY, WANG YB, *et al.* Optimization of compound color protection technology in the preparation of potato raw whole powder [J]. Food Ind, 2020, 41(4): 127–130.
- [20] 王雪, 段盛林, 刘辉, 等. 一款胚芽八宝粥的智能感官以及稳定性评价[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(2): 215–219.
WANG X, DUAN SL, LIU H, *et al.* Intelligent sensory and stability evaluation of a mixed germ congee [J]. Food Ferment Ind, 2017, 43(2): 215–219.
- [21] ENGLYST HN, KINGMAN SM, CUMMINGS JH. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions [J]. Eur J Clin Nutr, 1992, 46(2): 33–50.
- [22] TIAN J, CAI Y, QIN W, *et al.* Parboiling reduced the crystallinity and *in vitro* digestibility of non-waxy short grain rice [J]. Food Chem, 2018, 257: 23–28.
- [23] 韩玲玉, 汪丽萍, 谭斌, 等. 7种杂粮抗氧化活性及其挤压杂粮粉体外消化特性研究[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(6): 45–52.
HAN LY, WANG LP, TAN B, *et al.* Comparative study of 7 kinds of cereal on antioxidant activity and *in vitro* digestion characteristics of extruded cereal powders [J]. J Chin Cere Oils Assoc, 2019, 34(6): 45–52.
- [24] 林艳平, 王鸿艳, 邢紫娟, 等. 一种特殊医学用途糖尿病全营养配方粉的研制[J]. 食品工业科技, 2021, 42(5): 188–193.

- LIN YP, WANG HY, XING ZJ, *et al.* Development of one kind of diabetic total nutrition formula powder for special medical purposes [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2021, 42(5): 188–193.
- [25] 王鑫, 李雅丽, 马笑俊, 等. 红枣发酵饮料的研制及电子感官技术在其货架期评定中的应用[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(5): 140–146.
- WANG X, LI YL, MA FJ, *et al.* Development of jujube fermented beverage and the application of electronic sensory technology in its shelf life evaluation [J]. *Food Ferment Ind*, 2020, 46(5): 140–146.
- [26] 房一明, 初众, 卢少芳, 等. 电子鼻与电子舌在可可椰奶品质评价中的应用[J]. *海南大学学报(自然科学版)*, 2012, 30(1): 41–47.
- FANG YM, CHU Z, LU SF, *et al.* Application of electronic noses and electronic tongue on quality evaluation of cocoa coconut milk drink [J]. *Nat Sci J Hainan Univ (Nat Sci Ed)*, 2012, 30(1): 41–47.
- [27] 刘义凤, 段盛林, 柳嘉, 等. 低升糖八宝粥的自稳定体系筛选及其 GI 人体测实[J]. *食品科学*, 2020, 41(5): 143–151.
- LIU YF, DUAN SL, LIU J, *et al.* Screening for self-stabilizing system for mixed congee with low glycemic index and evaluation of its GI in the human body [J]. *Food Sci*, 2020, 41(5): 143–151.
- [28] 高雅馨, 李晓倩, 于有强, 等. 沙棘籽油凝胶的制备及流变特性研究[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(15): 119–127.
- GAO YX, LI XQ, YU YQ, *et al.* Preparation and rheological properties of sea buckthorn seed oil gel [J]. *Food Ferment Ind*, 2020, 46(15): 119–127.
- [29] 张凡, 李书田, 王显瑞, 等. 不同品种小米蒸煮食味品质评价及比较[J]. *食品科学*, 2020, 41(9): 23–29.
- ZHANG F, LI ST, WANG XR, *et al.* Comparative evaluation and analysis of cooking and eating quality of different foxtail millet varieties [J]. *Food Sci*, 2020, 41(9): 23–29.
- [30] 于有强, 高雅馨, 朱巧莎, 等. 紫苏籽油双层乳液的制备及其物理化学稳定性评价[J]. *食品科学*, 2019, 40(24): 60–65.
- YU YQ, GAO YX, ZHU QS, *et al.* Preparation and physicochemical stability of perilla seed oil double-layer emulsions [J]. *Food Sci*, 2019, 40(24): 60–65.
- [31] 彭冰洁, 宋卓, 刘云龙, 等. 多酚类化合物对糖脂代谢影响的研究进展[J]. *食品科学*, 2015, 36(17): 270–275.
- PENG BJ, SONG Z, LIU YL, *et al.* Impact of polyphenols on carbohydrate and lipids metabolism [J]. *Food Sci*, 2015, 36(17): 270–275.
- [32] 沈晓喻. 葡萄籽提取物对小麦粉馒头的品质、抗老化的影响及其机理研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2017.
- SHEN XY. Effect of grape seed extract on quality and anti-aging of Chinese steam ed bread and the anti-aging mechanism [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2017.

(责任编辑: 于梦娇 韩晓红)

作者简介



李铁梅, 硕士研究生, 主要研究方向为食品加工与安全。
E-mail: 2517136172@qq.com



刘美玉, 博士, 教授, 主要研究方向为食品加工与安全。
E-mail: lmy200751@163.com