

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2020.03.040

中老年人马铃薯复合米粉的研制及消化性研究

Research on the development and digestibility of potato compound rice flour for the middle-aged and elderly

刘皖骄 刘勇 张卫华 杨剑婷

LIU Wan-jiao LIU Yong ZHANG Wei-hua YANG Jian-ting

(安徽科技学院, 安徽 滁州 233100)

(Anhui Science and Technology University, Chuzhou, Anhui 233100, China)

摘要:通过不同比例配比优选出最佳马铃薯与大米的比例,添加不同量的大豆、绿豆、小米,测定其黏度值,并结合感官评分筛选出各单因素的添加量,再采用混料设计确定马铃薯复合米粉的最佳配方,结合中老年人生理特征对制备的马铃薯复配米粉进行体外模拟消化试验。结果表明:马铃薯复配米粉的最佳配方为黄豆 12.31%,绿豆 20.84%,小米 24.36%,马铃薯 14.88%,大米 27.61%,淀粉消化率为 82.48%,符合中老年人对营养的基本需求。

关键词:马铃薯;米粉;中老年;混料设计

Abstract: The best proportion of potato and rice was obtained by different proportion ratio. Thereafter, different amounts of soybean, mung bean and millet were added to determine their viscosity value, and the addition amount of each single factor was screened by combining with sensory score. The optimal formula of potato compound rice flour was determined by mixing design, and *in vitro* simulated digestion experiments were carried out on the potato compound rice flour prepared by combining the physiological characteristics of middle-aged and elderly. The results showed that the best formula of potato with rice flour consisted of 12.31% soybean, 20.84% mung bean, 24.36% millet, 14.88% potato, and 27.61% rice. The starch digestibility is 82.48%, meeting the basic nutritional needs of the elderly.

Keywords: potato; rice flour; middle-aged and elderly people; mixture design

2016 年,农业部发布的《关于推进马铃薯产业开发的指导意见》开启了中国马铃薯主食化战略新篇章^[1]。目前已研发出适合中国居民饮食习惯的中式马铃薯主食产品如馒头、面条等^[2-5]。截至 2017 年底,中国 60 岁及以

基金项目:安徽省高校协同创新项目(编号:GXXT-2019-011)

作者简介:刘皖骄,女,安徽科技学院在读硕士研究生。

通信作者:杨剑婷(1975—),女,安徽科技学院副教授,博士。

E-mail: 517114570@qq.com

收稿日期:2019-01-02

上老年人口已达 2.41 亿人,占总人口的 17.3%(国际标准占比为 7%)。预计到 2050 年前后,老年人口占比将达 34.9%^[6]。人口老龄化已成为不可忽视的社会问题,中老年人的健康也越来越引起人们的关注。

随着年龄的增长,中老年人代谢功能逐渐下降,消化功能逐渐衰退,神经系统功能不断退化,骨骼形态也发生改变,心脑血管疾病发病率提高^[7-9]。根据中国中老年人膳食指南,综合疾病的需求,中老年人应提高优质蛋白质的摄入量,并适当摄入粗粮有利于中老年人强身健体^[10]。由于米粉具有营养、方便、易消化等特点,近几年来广受中老年人的欢迎,为改变目前市场上米粉种类单一的现状,越来越多的米粉生产商开始尝试添加五谷杂粮及营养素^[11-12],但添加物过于单一,无法满足中老年人的营养需求^[13];过于复杂,增加中老年人的胃肠道负担^[14-15],而关于马铃薯应用于中老年米粉产品中的研究应用鲜见报道^[16-17]。试验拟研究一种满足中老年人营养需求的、符合国家马铃薯主食化大趋势的、添加大豆、绿豆、玉米的马铃薯复合米粉,旨在为中老年人提供更加符合其生理特征的马铃薯复合米粉。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

粳米:安徽盛农农业发展有限公司;
马铃薯(晋薯 2 号)、绿豆、大豆、小米:市售;
碱性蛋白酶:20 万 U/g,济南龙源生物公司;
猪胰酶:10 U/mg,上海凯尔生物科技有限公司;
淀粉葡萄糖苷酶:10 U/mg,上海麦克林生物科技有限公司。

1.1.2 主要仪器设备

喷雾制粒包衣机:YC-1000 型,上海雅程仪器设备有限公司;

数显黏度计:NDJ-5S 型,上海横平仪器仪表厂;

小型高速粉碎机:RT-02A 型,北京开创同和科技发展有限公司;

均质机:D-500 型,上海珂淮仪器有限公司;

高速组织捣碎机:DS-1 型,上海精科实业有限公司;

电磁搅拌机:HS-12 型,宁波市鄞州群安实验仪器有限公司;

超声波提取机:VOSHIN-D650UE 型,无锡沃信仪器制造有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 马铃薯复合米粉的工艺制备 根据杨冬彦等^[18]的方法稍作修改,以煮制为熟化方式再经喷雾干燥制备马铃薯复合米粉。称取 500 g 粳米去除杂质,淘洗,浸泡 30 min 后转入 60 °C 烘箱中干燥至恒备用;马铃薯洗净、削皮,切成 3 mm 薄片,经护色、烫漂^[19]后转入 60 °C 烘箱中干燥至恒备用;称取 250 g 大豆去除杂质,洗净于 60 °C 烘箱中烘 1 h,倒入炒锅,电磁炉功率 1 000 W,炒制 15 min,晾凉备用;绿豆和小米洗净浸泡后于沸水中烫漂 5 min,其余前处理方式同粳米。根据不同的试验方案,将样品混合打粉过 80 目筛,按料液比 1 : 20 (g/mL) 加入蒸馏水煮沸后再煮制 5 min,使用高速组织捣碎机捣碎 20 min 后在进样温度 170 °C,进料流量 480 mL/h 条件下进行喷雾干燥,得成品马铃薯复合米粉。

1.2.2 马铃薯和粳米粉配比的确定 将马铃薯粉和粳米按质量比 25 : 75,30 : 60,35 : 45,40 : 60,45 : 55 进行配比,并以全粳米粉为对照,按料液比 1 : 20 (g/mL) 添加蒸馏水,煮 5 min 后喷雾干燥,干燥后粉末按料液比 1 : 10 (g/mL) 用 100 °C 蒸馏水冲泡,立即测定其黏度值,计算黏度比率,并根据感官评价结果,优选最佳比例。

1.2.3 大豆、绿豆、小米添加量的确定 在确定马铃薯复合米粉比例的基础上,以 0%,5%,10%,15%,20% 的大豆添加量;0%,5%,10%,15%,20% 的绿豆添加量;0%,5%,10%,15%,20% 的小米添加量进行单因素试验,在相同的工艺条件下,按料液比 1 : 10 (g/mL) 用 100 °C 蒸馏水冲泡,检测不同大豆、绿豆、小米添加量的马铃薯复合米粉的黏度值,计算黏度比率,并根据感官评价,优选出大豆的最佳添加量。

1.2.4 马铃薯复合米粉最佳配方的混料设计 在单因素试验的基础上,利用 DPS 7.05 软件采用极端顶点原理进行混料设计试验,以大豆、绿豆、小米添加量以及马铃薯复合米粉的添加量为自变量,以黏度值为因变量,确定混料设计的最佳配方。

1.2.5 马铃薯米粉的感官评价 将单因素试验和混料试验制得的各米粉按料液比 1 : 10 (g/mL) 添加 100 °C 蒸馏水冲泡,通过 20 名经感官评价训练的鉴别员对不同的复合米粉进行感官鉴别,评分标准参照表 1。

表 1 感官评分标准

Table 1 Sensory scoring criteria

指标	内容	分值
外观	冲泡前 分布均匀,呈淡黄色粉末,粉质细腻	20
	冲泡后 分布均匀,呈淡黄色糊状液体,表面光滑,有光泽感	20
口感	口感细腻光滑,无粗糙颗粒感	20
风味	含马铃薯、大米(及绿豆/小米/黄豆)特有的芳香,适当的甜味,口齿留香	20
质地	质地黏稠,结构细密均匀	20

1.2.6 黏度的测定及黏度比率的计算 参照 1.2.5 的冲泡方法,按不同的料液比将各米粉冲泡完成后,使用 NDJ-5S 数显黏度计分别在转速 6,60 r/min 下测定其黏度值,按式(1)计算黏度比率。

$$T = \log\left(\frac{x}{x_{\max}}\right), \tag{1}$$

式中:

T——黏度比率;

x——低速时黏度表的读数,mPa · s;

x_{max}——高速时黏度表的读数,mPa · s。

1.2.7 马铃薯复合米粉的模拟消化试验 根据 Englyst 法^[20-21],用淀粉消化指数(SDI)表示淀粉体外消化率,并按式(2)计算。

$$SDI = \frac{G}{F} \times 100\%, \tag{2}$$

式中:

SDI——淀粉体外消化率,%;

G——淀粉水解产生的最大葡萄糖含量(以水解后葡萄糖含量计算),g;

F——理论上淀粉水解成葡萄糖的含量,g。

酶解动力学:根据王睿^[22]的方法并稍作修改,准确称取待测淀粉样品 200 mg 于烧瓶中,以市售样品为对照,加入 pH 5.2 的 0.2 mol/L 醋酸钠缓冲溶液 15 mL,配制猪胰 α-淀粉酶和淀粉葡萄糖苷酶的混酶液,将醋酸钠缓冲溶液和混酶液同时于 37 °C 水浴锅中预热 5 min,混合,立即于 37 °C 水浴锅中并以 150 r/min 振荡,分别在 0,10,20,30,60,90,120,180 min 时取样 0.5 mL 于离心管中,

迅速加入 4 mL 无水乙醇摇匀,4 000 r/min 离心 10 min。使用苯酚—硫酸法,按式(3)计算淀粉酶解率。

$$A = \frac{Gt \times 25 \times 0.9}{200} \times 100\%, \quad (3)$$

式中:

A——酶解率,%;

Gt——淀粉酶解 t 时间后产生的葡萄糖含量,mg。

1.2.8 营养成分的测定

(1) 蛋白质含量:按 GB 5009.5—2016 中的凯氏定氮法执行。

(2) 脂肪含量:按 GB 5009.6—2016 中的索氏抽提法执行。

(3) 粗纤维含量:按 GB 5009.88—2014 中的中性洗涤剂法。

(4) 总糖含量:按 GB/T 18738—2006 执行。

(5) V_A 含量:按 GB 5009.82—2016 执行。

(6) V_{B1} 含量:按 GB 5009.84—2016 执行。

(7) V_C 含量:按 GB/T 14754—2010 执行。

(8) Na 含量:按 GB 5009.91—2017 执行。

(9) Ca 含量:按 GB 5009.92—2016 执行。

(10) Fe 含量:按 GB 5009.90—2016 执行。

(11) Zn 含量:按 GB 5009.14—2017 执行。

1.2.9 数据处理 根据下限约束原理设计混料试验,采用 DPS 7.05 软件,对试验结果进行数据分析,建立回归模型,确定马铃薯复合米粉的最佳配方。

2 结果与分析

2.1 马铃薯和粳米比对复合米粉感官评价及黏度比率的影响

由图 1 可知,质量比为 35:65 的马铃薯与米粉配比感官评价最高,在外观、口感、风味上最优,质地差异较小。由于马铃薯中淀粉含量小于粳米中的,米粉中淀粉含量随马铃薯添加量的增多先减小后增加;当马铃薯添

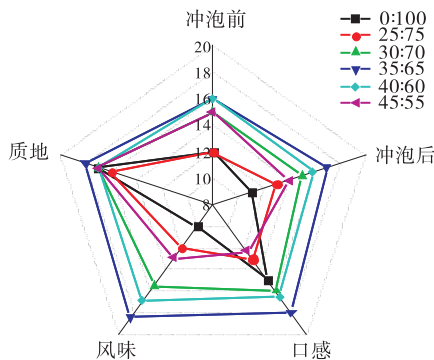


图 1 马铃薯和粳米配比感官评价图

Figure 1 Sensory evaluation map of different proportions of potato and rice

加量为 35% 时,淀粉含量最小,其冲泡口感最好,既具有马铃薯的特殊风味也具有粳米的独有芳香。

由图 2 可知,黏度比值随马铃薯与粳米的质量比的增加呈先降低后升高的趋势。由于黏度比值 > 1 表明马铃薯复合米粉是伪塑性流体,复合米粉冲泡后,淀粉大分子之间相互作用,在低速流动时,大分子之间相互勾黏缠结;当高速旋转时,由于流层之间剪切应力的作用,一些散乱的大分子物质顺应搅拌棒滚动旋转成团,相互作用减小,因此,当搅拌棒速度增加时,在剪切应力的作用下,表观黏度值减小,黏度比值增加;大分子物质含量越高,黏度比值越大。随着马铃薯与粳米配比的增大,淀粉含量先减小后增大,大分子物质含量也先减小后增大,黏度比率随之发生改变。综合感官评价的结果,确定以质量比 35:65 的马铃薯米粉配比为基料,进行大豆、绿豆、小米与马铃薯复合米粉的复配。

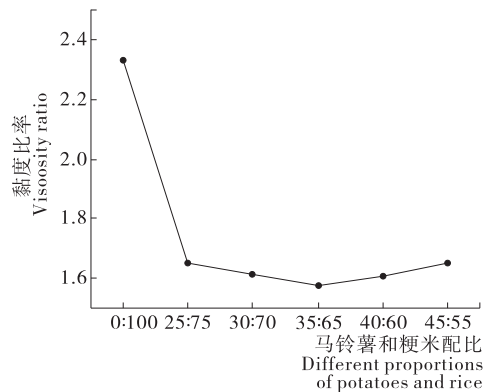


图 2 马铃薯和粳米配比黏度比率

Figure 2 Different ratio of viscosity of potato and rice

2.2 大豆添加量对马铃薯复合米粉的感官评价及黏度比率的影响

由图 3 可知,当大豆添加量为 5% 时,复合米粉的感官评分最高,不同大豆添加量的马铃薯复合米粉在口感、外观、风味上差异较大,质地差异较小。由图 4 可知,黏度比率随大豆添加量的增加呈下降趋势,由于大豆中淀

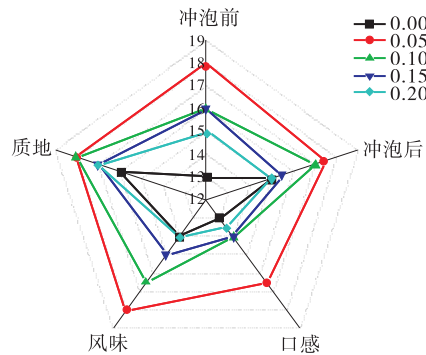


图 3 大豆单因素感官评价

Figure 3 Single-factor sensory evaluation of soybean

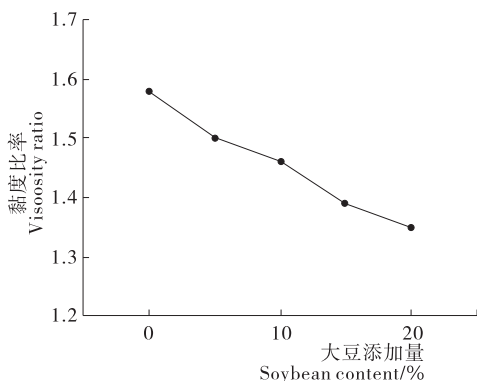


图 4 大豆单因素黏度比率

Figure 4 Single-factor viscosity ratio soybean

粉含量低,随着添加量的增大,具有黏结性的大分子物质的量减小,黏度比率降低。因此,以 5%大豆添加量为最小添加量。

2.3 绿豆添加量对马铃薯复合米粉的感官评价及黏度比率的影响

由图 5 可知,当绿豆添加量为 10%时,复合米粉的感官评分最高,不同绿豆添加量的马铃薯米粉在质地上区别较小,在口感、外观、风味上有较大区别。由图 6 可知,

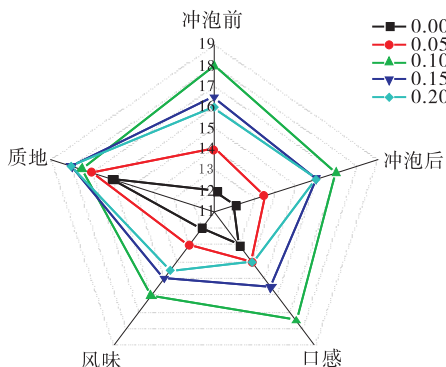


图 5 绿豆单因素感官评价

Figure 5 Single-factor sensory evaluation ratio of mung bean

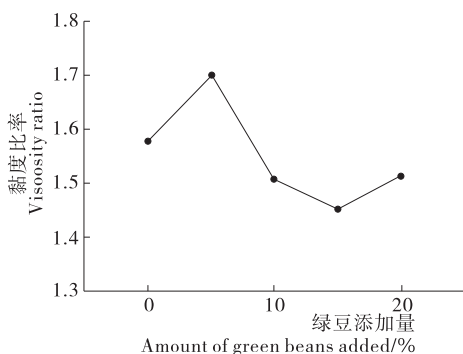


图 6 绿豆单因素黏度比率

Figure 6 Single-factor viscosity mung bean

黏度比率随绿豆添加量的增加呈先上升后下降再上升趋势。绿豆的淀粉含量略高于马铃薯,绿豆添加量在一定范围内时,米糊中的淀粉含量增大,黏度比率上升;绿豆淀粉含量低于大米淀粉含量,继续添加绿豆,稀释米粉中的淀粉,淀粉含量降低,黏度比率降低;绿豆中含有约 40%的支链淀粉,绿豆添加量达到一定值后黏度上升。综合感官评分,选择 10%的绿豆添加量作为混料设计的最小添加量。

2.4 小米添加量对马铃薯复合米粉的感官评价及黏度比率的影响

由图 7 可知,当小米添加量为 10%时,复合米粉的感官评分最高,不同小米添加量对米糊的质地影响不大,对口感、外观、风味有较大影响。由图 8 可知,黏度比率随小米添加量的增加先下降后上升。小米的淀粉含量较高,且多为支链淀粉,支链淀粉需在加热加压的条件下才溶于水,并且不可形成凝胶体,因此,随着小米添加量的增大,直链淀粉与支链淀粉的比例呈先下降后上升趋势,黏度比率随之发生改变。当小米添加量为 2.5%, 10%时,黏度比率为 1.5,综合感官评价结果,选择 10%的小米添加量为最小添加量。

2.5 混料设计试验

结合单因素试验结果,以黏度比率为响应值,大豆添

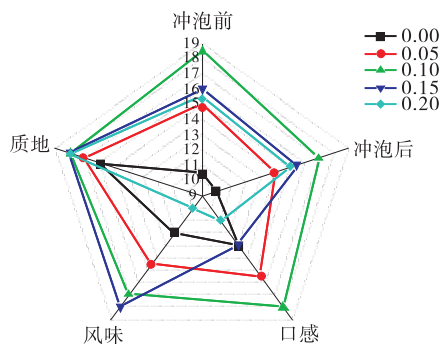


图 7 小米单因素感官评价

Figure 7 Millet single-factor sensory evaluation

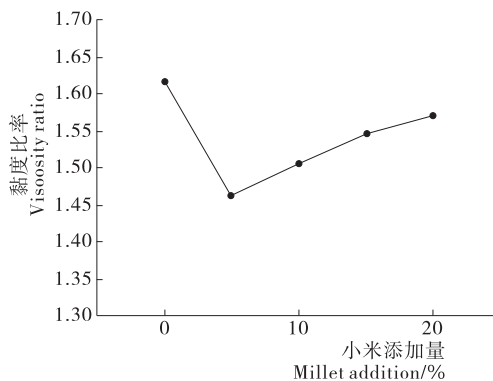


图 8 小米单因素黏度比率

Figure 8 Millet single-factor viscosity ratio

加量 X_1 、绿豆添加量 X_2 、小米添加量 X_3 、马铃薯复配米粉 X_4 ,限定 $X_1 \geq 5\%$, $X_2 \geq 10\%$, $X_3 \geq 10\%$, $X_4 \geq 40\%$,设定 $X_1 + X_2 + X_3 + X_4 = 1$,根据下限约束设计原理,利用 DPS 7.05 软件进行混料设计,设计各添加物比例及结果见表 2。

经 DPS 7.05 软件拟合混料二次项回归方程:

$$Y = 2.746\ 522\ 676 - 11.344\ 033\ 43X_1 + 9.339\ 401\ 24X_2 - 4.503\ 667\ 87X_3 - 3.578\ 930\ 43X_4 + 0.914\ 272\ 534X_1^2 - 19.058\ 811\ 30X_2^2 + 16.966\ 117\ 18X_1X_3 + 18.456\ 201\ 08X_1X_4 - 2.321\ 984\ 159X_2X_3 + 8.831\ 594\ 13X_3X_4 \quad (4)$$

表 2 混料设计优化最佳配方结果

Table 2 Mix design optimization optimal formula result

序号	X_1	X_2	X_3	X_4	黏度比率		误差	感官评分
					实测值	计算值		
1	0.400 0	0.100 0	0.100 0	0.400 0	1.19	1.178 3	0.011 7	59.0
2	0.050 0	0.450 0	0.100 0	0.400 0	1.35	1.345 7	0.004 3	60.5
3	0.050 0	0.100 0	0.450 0	0.400 0	1.72	1.702 8	0.017 2	61.5
4	0.050 0	0.100 0	0.100 0	0.750 0	1.18	1.206 5	-0.026 5	60.0
5	0.312 5	0.187 5	0.100 0	0.400 0	1.56	1.636 9	-0.076 9	61.0
6	0.312 5	0.100 0	0.187 5	0.400 0	1.72	1.678 1	0.041 9	62.5
7	0.312 5	0.100 0	0.100 0	0.487 5	1.58	1.588 3	-0.008 3	61.0
8	0.137 5	0.100 0	0.362 5	0.400 0	1.92	1.940 4	-0.020 4	78.0
9	0.137 5	0.100 0	0.100 0	0.662 5	1.63	1.602 3	0.027 7	62.0
10	0.050 0	0.362 5	0.187 5	0.400 0	1.82	1.819 4	0.000 6	63.0
11	0.050 0	0.100 0	0.187 5	0.662 5	1.58	1.533 4	0.046 6	60.0
12	0.225 0	0.275 0	0.100 0	0.400 0	1.83	1.817 7	0.012 3	71.0
13	0.225 0	0.100 0	0.275 0	0.400 0	1.92	1.932 1	-0.012 1	76.0
14	0.225 0	0.100 0	0.100 0	0.575 0	1.73	1.729 6	0.000 4	68.0
15	0.050 0	0.275 0	0.275 0	0.400 0	2.01	2.036 8	-0.026 8	78.5
16	0.050 0	0.275 0	0.100 0	0.575 0	1.83	1.859 8	-0.029 8	71.0
17	0.225 0	0.187 5	0.187 5	0.400 0	2.06	2.003 0	0.057 0	78.0
18	0.225 0	0.187 5	0.100 0	0.487 5	1.92	1.919 6	0.000 4	72.5
19	0.225 0	0.100 0	0.187 5	0.487 5	1.90	1.898 5	0.001 5	73.0
20	0.137 5	0.275 0	0.187 5	0.400 0	2.01	2.050 1	-0.040 1	79.5
21	0.137 5	0.275 0	0.100 0	0.487 5	2.03	1.973 0	0.057 0	75.0
22	0.137 5	0.187 5	0.275 0	0.400 0	2.16	2.123 4	0.036 6	83.0
23	0.137 5	0.187 5	0.100 0	0.575 0	1.93	1.933 6	-0.003 6	73.0
24	0.137 5	0.100 0	0.275 0	0.487 5	1.89	1.962 9	-0.072 9	73.0
25	0.137 5	0.100 0	0.187 5	0.575 0	1.83	1.850 3	-0.020 3	79.0
26	0.050 0	0.187 5	0.275 0	0.487 5	2.06	2.026 9	0.033 1	70.0
27	0.050 0	0.187 5	0.187 5	0.575 0	1.91	1.920 6	-0.010 6	72.0

由表 3 可知,模型 $R^2 = 0.981\ 6$, $R_{adj}^2 = 0.971\ 8$, $P < 0.000\ 1$,说明该模型拟合效果较好,具有统计学意义。残差由随机误差产生,可用于马铃薯米粉的混料设计最优配方的预测和结果分析。通过 Scheffe 优化混料设计方案,得出最优配方为大豆添加量 12.31%,绿豆添加量 20.84%,小米添加量 24.36%,马铃薯复配米粉添加量 42.50%。经验证($n=3$),该配方为最佳配方,黏度比率为 1.52,感官评分为 82。

表 3 混料设计拟合方程方差分析表[†]

Table 3 Variance analysis table of mixing design fitting equation

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	P
模型	1.624 7	9	0.180 5	100.495 1	0.000 1
剩余	0.030 5	17	0.001 8		
总变异	1.655 3	26			

[†] $R^2 = 0.981\ 6$; $R_{adj}^2 = 0.971\ 8$ 。

2.6 马铃薯复合米粉模拟消化试验

2.6.1 淀粉体外消化 由图 9 可知,马铃薯复合米粉的淀粉体外消化率为 82.48%,低于市售某品牌的中老年山药米粉的(淀粉体外消化率为 89.86%)。试验所制备的复合米粉中大米的含量约占 1/4,小于某市售山药米粉中的大米添加量,大米淀粉相较于其他淀粉更易消化;且马铃薯中具有较多的慢消化淀粉和抗性淀粉,即使经过熟化,也达不到大米淀粉的消化率^[23];该米粉中的支链淀粉含量较高,支链淀粉的分子量更大,不易消化,导致消化率降低^[24];复合米粉中杂粮含有较多的膳食纤维,膳食纤维会在胃部与淀粉结合,延缓淀粉的消化吸收,降低淀粉酶解率。

2.6.2 体外消化动力学 由图 9 可知,某市售山药米粉的酶解率高于马铃薯复合米粉的,但在淀粉酶解过程中,两种米粉的酶解曲线趋势接近。淀粉酶解过程中,酶能通过淀粉表面的孔洞进入到淀粉颗粒内部,从而加速淀粉颗粒的水解速率,大米淀粉颗粒是不规则形,表面光滑,粒径小,比表面积大,更易吸水膨胀,被淀粉酶消化水解^[25]。

2.6.3 营养成分 由表 4 可知,试验所制备的马铃薯复合米粉的维生素和微量元素的含量基本高于市售米粉

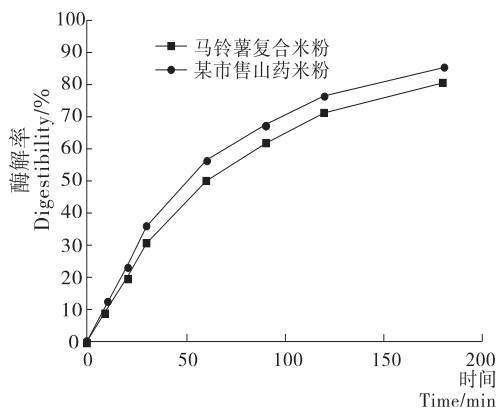


图 9 两种淀粉体外酶解动力学模型曲线

Figure 9 Kinetics curves of enzymatic hydrolysis of two kinds of starch in vitro

的,有利于中老年人补充基本营养;其能量和碳水化合物含量低于市售米粉的,减少该部分摄入量有利于降低各类疾病的发生率;其膳食纤维含量高于市售米粉的,有利于增加肠道蠕动,控制血糖水平^[26]。但该米粉的脂肪含量高于市售米粉的,不利于中老年人血液流通,容易动脉硬化。

表 4 两种米粉的各营养成分含量

Table 4 The nutrient content of two kinds of rice flour

米粉	能量/ kJ	蛋白质/ g	脂肪/ g	碳水化 合物/g	膳食纤 维/g	V _A / μgRE	V _D / μg	V _{B1} / μg	V _C / mg	钙/ mg	钠/ mg	铁/ mg	锌/ mg
试验复合米粉	1 265	12.49	2.91	61.5	3.24	190	5.3	210	12.05	761	33	5.3	4.62
市售米粉	1 506	5.57	0.90	80.0	1.27	215	4.1	196	0.12	188	20	3.9	3.01

3 结论

马铃薯复配米粉的最佳配方为黄豆 12.31%,绿豆 20.84%,小米 24.36%,马铃薯 14.88%,大米 27.61%,淀粉消化率为 82.48%;黏度比值受直链淀粉和支链淀粉的影响;消化率不仅受不同淀粉种类影响,还会被膳食纤维延缓吸收;该马铃薯复合米粉能量摄入较低,维生素和微量元素含量较高,更贴合中老年人的营养健康需求。该产品扩充了马铃薯主食产品,但是相较于市售米粉,该复合米粉的脂肪和钠含量较高,容易导致高血压、动脉硬化等慢性疾病的发生,还需进一步研究降低此类成分,使该米粉更加契合中老年人的生理需求。

参考文献

[1] 湖北省农业厅. 加快推进马铃薯主食化促进粮食品种结构调整[N]. 湖北日报, 2015-09-14(12).
[2] CHEN Yu-fan, JASPREET S, JOCELYN M, et al. Influence of time-temperature cycles on potato starch retrogradation in tuber

and starch digestion in vitro[J]. Food Hydrocolloids, 2020, 98 (1): 105240.
[3] ZHU Fan, SUN Jia. Physicochemical and sensory properties of steamed bread fortified with purple sweet potato flour[J]. Food Bioscience, 2019, 54(5): 1 670-1 676.
[4] ERLIANA G, RAHMI Y. Characteristics of noodle prepared from orange-fleshed sweet potato, and domestic wheat flour[J]. Procedia Food Science, 2015, 3(1): 289-302.
[5] EL-QUTOB D, PINEDA F, RADUCAN I, et al. Generalized urticaria caused by ingestion of sweet potato cake[J]. Allergy International, 2018, 67(4): 527-528.
[6] LIU Zhen-qiu, JIANG Yan-feng, FANG Qi-wen, et al. Future of cancer incidence in Shanghai, China; Predicting the burden upon the ageing population[J]. Cancer Epidemiology, 2019, 60(6): 8-15.
[7] 邓婷鹤. 人口老龄化进程中的食物消费变化研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2017: 31-37.
[8] MURRAY S, KROLL C, AVENA N. Food and addiction a-

- mong the ageing population [J]. Ageing Research Reviews, 2015, 20: 79-85.
- [9] TOMOKO I, RYOKO K, KUMPEI T, et al. Dietary patterns and abdominal obesity in middle-aged and elderly Japanese adults: Waseda Alumni's sports, exercise, daily activity, sedentariness and health study (WASEDA'S health study)[J]. Nutrition, 2019, 58(2): 149-155.
- [10] WANG Cui-jiang, YANG Tong-fang, WANG Guang-sheng, et al. Association between dietary patterns and depressive symptoms among middle-aged adults in China in 2016-2017 [J]. Psychiatry Research, 2018, 260 (2): 123-129.
- [11] 毛军伟. 含大豆、玉米和小米烘烤婴幼儿营养米粉的糊化特性研究和营养评价[D]. 杭州: 浙江大学, 2015: 4-13.
- [12] SEMASAKA C. 玉米、小米和大豆制备挤压婴儿食品及其营养特性的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2010: 5-7.
- [13] 徐树来, 吴阳, 金慧荣, 等. 基于响应曲面法的中老年营养米粉酶解工艺优化研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(10): 236-241.
- [14] 全椒县崇明米业有限公司. 一种中老年专用降血压复合大米粉及其制备方法: 中国, 201711472829.1 [P]. 2018-06-08.
- [15] 望江县山映米业有限公司. 一种中老年专用杂粮米粉及其制备方法: 中国, 201810839651.8 [P]. 2018-12-04.
- [16] 赵婷, 邹淑萍, 田聪华, 等. 新疆马铃薯主产区农村居民主食消费现状分析[J]. 中国食物与营养, 2017, 23(12): 58-62, 67.
- [17] 刘誉繁, 郑波, 曾茜茜, 等. 高压均质对大米淀粉分子结构及体外消化性能的影响[J]. 现代食品科技, 2019, 35(9): 227-231.
- [18] 杨冬彦, 赵庆生, 赵兵, 等. 黑果枸杞速溶粉的制备工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(23): 68-75.
- [19] 王兰, 邓波, 邓放明. 预处理对变温压差膨化干燥紫色马铃薯脆片品质的影响[J]. 食品与机械, 2019, 35(10): 135-139.
- [20] DUC T, JASPREET S, INDRAWXTI O, et al. Modulating effect of cotyledon cell microstructure on in vitro digestion of starch in legumes [J]. Food Hydrocolloids, 2019, 96 (11): 112-122.
- [21] CHEN Si-qian, ZHANG Bin, FANG Fang, et al. Effects of tea polyphenols and gluten addition on in vitro wheat starch digestion properties [J]. International Journal of Biological Macromolecules: Structure, Function and Interactions, 2019, 126(5): 525-530.
- [22] 王睿. 马铃薯淀粉-脂质复合物的构建及其耐酶解机理研究[D]. 济南: 齐鲁工业大学, 2019: 41-42.
- [23] 李博, 王雪飞, 徐飞, 等. 菠萝蜜种子淀粉体外消化酶解动力学及血糖值分析[J]. 热带作物学报, 2018, 39(4): 157-162.
- [24] 詹锦玲, 孙冰华, 谢雅芸, 等. 马铃薯淀粉颗粒的粒度与酶解特性相关性研究[J]. 食品与机械, 2017, 33(10): 39-42.
- [25] 王晓培, 陈正行, 李娟, 等. 湿热处理对大米淀粉理化性质及其米线品质的影响[J]. 食品与机械, 2017, 33(5): 182-187, 210.
- [26] 谢三都, 陈惠卿, 周春兰, 等. 橄榄渣膳食纤维理化和体外吸附特性及结构表征[J]. 食品与机械, 2019, 35(10): 29-34.
- (上接第 199 页)
- [18] QIN Xiao-bo, XU Xin-yi, NIU Bei, et al. Study on polyphenol oxidase activity and total phenol content of *docynia indica* [J]. Medicinal Plant, 2019, 10(4): 73-75, 83.
- [19] 刘明珠, 李清, 暨迪军, 等. 红花绿绒蒿中总黄酮的含量测定及提取工艺优化[J]. 种业导刊, 2019(9): 8-11.
- [20] LEE Jungmin, DURSET Robertw, WOLSTAD Ronalde. Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method; collaborative study [J]. Journal of AOAC International, 2005, 88(5): 1 269-1 278.
- [21] DUTTA Raj Kumar, MAHARIA Ram Swaroop. Antioxidant responses of some common medicinal plants grown in copper mining areas [J]. Food Chemistry, 2012, 131(1): 259-265.
- [22] KANATT Sweetie, CHANDER Ramesh, SHARMA Arun, et al. Antioxidant potential of mint (*Mentha spicata* L.) in radiation-processed lamb meat [J]. Food Chemistry, 2007, 100(2): 451-458.
- [23] LIU Xin, SHAO Chang-lun, KONG Wen-wen, et al. Evaluation of antitumor, immunomodulatory and free radical scavenging effects of a new herbal prescription seaweed complex preparation [J]. Journal of Ocean University of China, 2013, 12 (3): 515-520.
- [24] YUAN Jiang-feng, ZHANG Zhi-qi, FAN Zhi-chao, et al. Antioxidant effects and cytotoxicity of three purified polysaccharides from *Ligusticum chuanxiong* Hort [J]. Carbohydrate Polymers, 2008, 74(4): 822-827.
- [25] ERIK Thostenson. Microwave processing: Fundamentals and applications [J]. Composites: Part A, 1999, 30(9): 1 055-1 071.
- [26] AINSWORTH Elizabeth, GILLESPIE Kelly. Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin-Ciocalteu reagent [J]. Nature Protocols, 2007, 2(4): 875-877.