

专题研究专栏

编者按:杂粮及豆类含有丰富的蛋白质、膳食纤维、矿物质及维生素等营养物质,具有调节血糖、改善脂质代谢等生物功效,因此杂粮及豆类产品的开发得到了越来越广泛的关注。本期选择以杂粮杂豆及豆渣为研究对象的2篇研究论文,分别研究了以燕麦、鹰嘴豆和花芸豆为原料具有低GI值的冲调粉的加工工艺以及豆渣挤压膨化的工艺条件。希望此方面的研究能为杂粮杂豆食品的加工以及产品评价等方面的工作提供借鉴。

(主持人:王静教授)

doi:10.3969/j.issn.2095-6002.2017.06.004

文章编号:2095-6002(2017)06-0021-07

引用格式:崔亚楠,张晖,马毓,等.低血糖指数冲调粉配方和加工工艺研究[J].食品科学技术学报,2017,35(6):21-27.



CUI Yanan, ZHANG Hui, MA Yu, et al. Study on formula and processing technology of low-glycemic-index mixing powder [J]. Journal of Food Science and Technology, 2017, 35(6): 21-27.

低血糖指数冲调粉配方和加工工艺研究

崔亚楠¹, 张晖^{1,*}, 马毓², 吴港城², 齐希光², 王立², 钱海峰²

(1. 江南大学食品学院, 江苏无锡 214122;

2. 江南大学国家功能食品工程技术研究中心, 江苏无锡 214122)

摘要:在筛选出制备低血糖生成指数(glycemic index, GI)冲调粉原料的基础上,对低GI冲调粉配方进行设计,然后考察了不同加工工艺及参数对冲调粉估计血糖生成指数(expected glycemic index, eGI)和溶解度指数(drying-matter solubility index, DSI)的影响,确定了低GI冲调粉的优化加工工艺及参数,并对制得的冲调粉进行了人体餐后血糖响应研究。结果表明,燕麦、鹰嘴豆、花芸豆在经过蒸煮、挤压或滚筒干燥加工后eGI值均较低。以燕麦、鹰嘴豆、花芸豆为原料,配比为16.43:76.35:7.22,采用挤压工艺(机筒升温程序60℃-80℃-100℃-120℃,水分添加量25%,螺杆转速100 r/min)可制得高DSI、低eGI的冲调粉(DSI和eGI分别为16.45%和57.41)。该冲调粉经人体餐后血糖响应研究测得GI为52.13(以葡萄糖GI为100),属于低GI食品。

关键词:冲调粉;加工工艺;消化特性;估计血糖生成指数

中图分类号: TS201.4; TS210.1; TS210.4

文献标志码: A

随着生活节奏的加快、饮食习惯的改变及人口老龄化的进一步突出,糖尿病、心血管疾病、肥胖症等胰岛素抵抗相关的慢性疾病比例不断上升。据国际糖尿病联盟(international diabetes federation, IDF)统计资料显示,20世纪末全世界糖尿病患者约为1亿人,2007年全世界糖尿病患者人数已增至2.46

亿,2010年这一数字为2.8亿人次,2014年全世界糖尿病患者人数为3.87亿^[1]。糖尿病已成为目前全球性重大的公共卫生问题。

血糖生成指数(glycemic index, GI)是衡量人体摄入食物后血糖浓度变化的一项有效指标。1997年,FAO/WHO将GI定义为:含50g可利用碳水化

收稿日期:2017-11-02

基金项目:国家高技术发展计划资助项目(863计划)(2013AA102207)。

作者简介:崔亚楠,女,硕士研究生,研究方向为健康食品、谷物加工;

*张晖,女,教授,博士,主要从事谷物功能成分及健康食品的研究,通信作者。

合物的食物餐后血糖应答曲线下增值面积与含等量可利用碳水化合物的标准食物(葡萄糖或白面包,将其血糖生成指数定为100)餐后血糖应答曲线下增值面积之比。根据GI值大小可将含碳水化合物的食物划分为3个等级:GI \leq 55,为低血糖生成指数食物;55 < GI \leq 70,为中等血糖生成指数食物;GI > 70,为高血糖生成指数食物。低GI食物具有预防糖尿病、抑制肥胖、抗高血压等诸多益处,对保持身体健康具有重要作用^[2-5]。

食品经加工后,质构、营养特性、消化特性均会发生变化^[6-10]。淀粉是食品中的重要组成成分,且在食品加工及贮藏过程中较易发生变化,因此研究不同加工工艺对食品中淀粉消化速率的影响意义重大。本研究在探究了不同加工方式对5种常见谷物和豆类eGI影响的基础上,研究了不同加工工艺及参数对冲调粉eGI和DSI的影响,确定了低GI冲调粉的优化加工工艺及参数,研制出方便食用的低GI冲调粉。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

薏米、黑麦、燕麦、鹰嘴豆及花芸豆,枣庄七珍坊食品有限公司;猪胰 α -淀粉酶、淀粉转葡萄糖苷酶、胃蛋白酶、胰酶,Sigma(中国)有限公司。

1.2 仪器与设备

T6型新世纪紫外可见分光光度计,北京普析通用仪器有限责任公司;还原糖测定仪,山东省科学院生物研究所;SH220N型石墨消解仪、SOX406型脂肪测定仪,海能仪器股份有限公司;HP1100型氨基酸专用高效液相色谱,美国安捷伦公司。

1.3 实验方法

1.3.1 原料处理

原料均粉碎过60目筛,装入封口袋,于-20℃贮存。

1.3.2 基本成分分析

淀粉含量的测定:按GB/T 5514—2008操作。膳食纤维含量的测定:按GB/T 5009.88—2008操作。

1.3.3 原料eGI测定

参考Englyst^[11]的方法。准确称量含600mg淀粉的样品,加入10mL去离子水,沸水浴加热30min。加入5个玻璃珠,10mL醋酸钠缓冲液(0.2

mol/L,pH值5.2),摇匀后37℃振荡水浴30min。加入新鲜制备的混合酶溶液5mL,水浴振荡,于20,30,60,90,120,180min分别取1mL水解液沸水浴灭酶,用还原糖测定仪测定其葡萄糖含量。以白面包为标准参考物,参考Goni等^[12]的方法计算eGI, $eGI = 39.71 + 0.549HI$ 。

1.3.4 氨基酸组成分析

准确称量100mg待测样品,加入6mol/L HCl 8mL,轻微晃动,避免形成较大结块。吹氮3min,水解管密封,120℃恒温水解22h。在水解液中加入5mol/L NaOH中和,冷却后定容至25mL。取1mL水解液10000r/min离心10min,取400 μ L上清液用氨基酸全自动分析仪检测。

1.3.5 挤压工艺

双螺杆挤出系统,挤压机机筒升温程序:70℃-90℃-110℃-130℃,水分添加量25%,螺杆转速100r/min。将挤出物于40℃恒温干燥12h,粉碎后密封保存,备用。

1.3.6 滚筒干燥工艺

取500g样品与适量去离子水充分混匀,胶体磨胶磨1min,调节滚筒干燥器转速为100r/min,以适当流速将物料浇于滚筒干燥器表面,收集物料,干燥粉碎后密封保存,备用。

1.3.7 蒸煮工艺

取原料500g,加入3000mL去离子水,30℃水浴5h,沥干水分,用适量去离子水洗涤3次。常压蒸30min后40℃恒温干燥12h,粉碎后密封保存,备用。

1.3.8 溶解度指数测定

溶解度指数(drying-matter solubility index, DSI)的测定参照王素雅等^[13]提供的方法进行适当调整。称样5g加入去离子水30mL,室温下磁力搅拌30min。将溶液完全转移至50mL容量瓶,定容摇匀。取10mL该液体3000r/min离心10min,将上清液完全转入已知质量的称量瓶中,105℃烘干至恒重,冷却后准确记录质量。

1.3.9 冲调粉eGI的测定

参考Wallis等^[14]的方法。准确称量含500mg可利用碳水化合物的样品,加入1mL包含猪胰 α -淀粉酶的人体唾液,15~20s后加入5mL胃蛋白酶悬浮液;混合物37℃恒温震荡30min,用5mL 0.02mol/L的氢氧化钠中和,加入25mL 0.2mol/L的醋酸钠缓冲液,5mL胰酶,继续在37℃振荡水浴锅中

温育。其余实验步骤参照 1.3.3。以葡萄糖为标准参考物,参考 Goni 等^[12]的方法计算样品 eGI。

1.3.10 冲调粉感官评定标准

参照 GB/T 18738—2006,建议冲调粉感官评定标准如表 1。称取 10 g 样品,加入 60 mL 70 ℃ 的热水,搅拌 1 min,请 10 名评价员进行感官评价。其中 1 代表最差,10 代表最好。

1.3.11 低 eGI 冲调粉的人体餐后血糖响应

实验对象为 10 名健康志愿者,包括 7 名女生、3

名男生,年龄在 22 ~ 27 岁,BMI 19 ~ 23 kg/m²,饮食、作息习惯规律,无代谢性疾病及慢性病家族史,近期无服药史、胃肠道消化性疾病。实验对象于实验前 12 h 禁食禁水,实验当天缓步至实验室,通过指尖采血测定空腹血糖浓度。实验对象分别食用包含 50 g 可利用碳水化合物的葡萄糖粉、普通冲调粉、低血糖指数冲调粉,于餐后 15,30,45,60,90,120,180 min 测定血糖浓度。以时间为横坐标,血糖浓度变化值为纵坐标,绘制餐后血糖浓度变化曲线,

表 1 感官评定标准

Tab.1 Sensory evaluation criteria

评分标准	色泽和外观	香气	冲调性	口感	总体可接受性
7~10	均匀浅黄褐色,粉末或微粒状,无结块	豆香或谷物香味浓郁,无异味	黏稠、均一,易溶解,无团块或有极少量团块	豆香或谷物香味纯正,口感细腻	好
4~6	颜色偏白或偏黄,略有分层或结块	有豆香或谷物香味,无异味	较黏稠、均一,溶解性较好,有少量团块	有豆香或谷物香味,有颗粒感	一般
1~3	白色或深黄褐色,结块严重	无豆香或谷物香味,有焦糊味或其他异味	稀薄,溶解性一般,团块较多	豆香或谷物香味较淡,口感粗糙	差

实验结果以 GI 表示。

$$GI = \frac{\text{含 50 g 可利用碳水化合物的被测食物餐后血糖浓度变化曲线下面积}}{50 \text{ g 葡萄糖餐后血糖浓度变化曲线下面积}} \times 100。$$

1.3.12 数据统计与分析

所有样品均进行 3 次重复测定,并采用 SPSS 19.0 和 Origin 8.0 对数据进行处理和统计分析。

表 2 燕麦、花芸豆、鹰嘴豆和挤压冲调粉的必需氨基酸评分

Tab.2 Essential amino acid scores of oat, kidney, chickpea, and extruding mixing powder

氨基酸	燕麦	鹰嘴豆	花芸豆	挤压冲调粉	冲调粉(添加蛋氨酸)
异亮氨酸	107.21	112.04	104.97	113.91	117.88
亮氨酸	107.85	101.77	104.04	105.33	110.34
赖氨酸	70.31	109.12	107.13	103.49	102.87
苏氨酸	67.31	71.48	72.73	73.04	74.09
色氨酸	79.72	71.61	66.87	74.25	78.21
缬氨酸	116.92	103.85	101.15	116.49	98.01
蛋氨酸	86.61	57.52	69.49	62.94	70.95
苯丙氨酸	122.06	120.4	115.01	118.74	115.87

2 结果与分析

2.1 冲调粉配方设计

以薏米、黑麦、燕麦、鹰嘴豆、花芸豆为原料,研究了蒸煮、挤压、滚筒干燥 3 种加工工艺对原料 eGI 的影响。结果表明,燕麦、鹰嘴豆、花芸豆经 3 种方式加工后 eGI 均较低,故选择燕麦、鹰嘴豆和花芸豆为低 GI 冲调粉的原料^[15]。

燕麦、鹰嘴豆、花芸豆的必需氨基酸评分如表 2。以赖氨酸、苏氨酸、蛋氨酸为待平衡氨基酸,参考迟展忠^[16]的配方设计方法,确定原料配比为,燕麦:鹰嘴豆:花芸豆 = 16.43:76.35:7.22。以第一限制性氨基酸-蛋氨酸为待平衡氨基酸进行复配,当添加 0.66% 的蛋氨酸,挤压制得的冲调粉氨基酸评分为 70.95,达到营养平衡的目的。

2.2 不同加工工艺对冲调粉 DSI 和 eGI 的影响

经蒸煮、挤压、滚筒干燥加工后冲调粉的 DSI 和

eGI 如表 3,感官评定结果如表 4。蒸煮和挤压加工后,冲调粉具有较低的 eGI。滚筒干燥冲调粉呈黄褐色,香味浓郁,冲调后有少量团块,有轻微颗粒感,总体可接受性最好;挤压冲调粉呈均匀浅黄褐色,有豆香或谷物香味,冲调性最好,有轻微颗粒感,总

表3 不同加工工艺对冲调粉 DSI 和 eGI 的影响

Tab.3 Effects of different processing technologies on DSI and eGI

样品名称	溶解度指数/%	估计血糖生成指数
蒸煮冲调粉	14.51 ± 0.03 ^a	59.43
挤压冲调粉	18.72 ± 0.12 ^b	60.35
滚筒干燥冲调粉	20.11 ± 0.05 ^c	68.04

数值为平均值 ± 标准误差 ($n=3$), 同列中不同字母表示有显著性差异 ($p < 0.05$), a 为最小值。

体可接受性较好; 蒸煮冲调粉颜色偏黄, 豆香或谷物香味较淡, 冲调后有团块出现, 有颗粒感, 口感一般, 总体可接受性最差。为制备高 DSI、低 eGI、感官品质较好的冲调粉, 选择挤压作为加工方式。

表4 不同加工工艺冲调粉感官评定结果

Tab.4 Sensory evaluation of mixing powders by obtained from different processing technologies

名称	色泽和外观	香气	冲调性	口感	总体可接受性
蒸煮冲调粉	6.80 ± 1.29	5.32 ± 0.74	5.47 ± 1.27	5.80 ± 0.88	6.40 ± 0.78
挤压冲调粉	7.17 ± 1.18	6.75 ± 1.41	8.67 ± 1.54	6.90 ± 0.95	7.40 ± 0.84
滚筒干燥冲调粉	3.00 ± 0.00	8.67 ± 1.30	6.38 ± 1.25	6.70 ± 1.02	8.67 ± 1.17

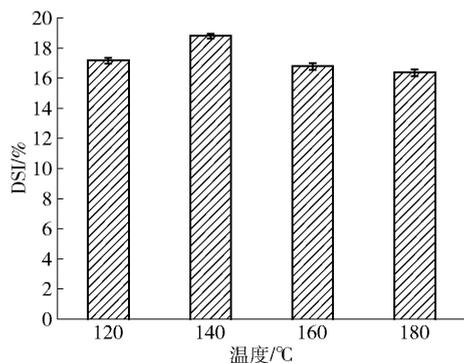


图1 温度对冲调粉 DSI 的影响

Fig.1 Effect of temperature on DSI of powder

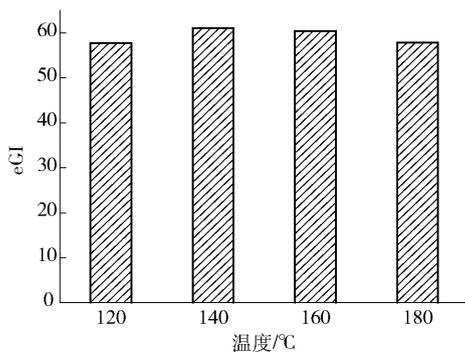


图2 温度对冲调粉 eGI 的影响

Fig.2 Effect of temperature on eGI of powder

2.3 挤压工艺优化

2.3.1 温度对冲调粉 DSI 和 eGI 的影响

不同温度下冲调粉的 DSI 和 eGI 分别如图 1、图 2。随着挤压温度的升高, 淀粉糊化度增大, 低分子量可溶性糖含量增加, DSI 和 eGI 上升。温度继续升高, eGI 下降可能是因为挤压作用下甘油三酯部分水解, 产生单甘油和游离脂肪酸同直链淀粉形成复合物, 影响其在挤压过程中的膨化, 导致最终产品淀粉溶解性和消化率下降^[17]。挤压产物 DSI 随温度的变化趋势与许亚翠^[18]的研究结果一致。

综合考虑 DSI 和 eGI, 选择 120 °C 作为冲调粉挤压温度, 机筒各段温度分别为 60 °C - 80 °C - 100 °C - 120 °C。

2.3.2 水分添加量对冲调粉 DSI 和 eGI 的影响

以 60 °C - 80 °C - 100 °C - 120 °C 为挤压机机筒升温程序, 研究水分添加量对冲调粉 DSI 和 eGI 的影响, 结果分别如图 3、图 4。水分添加量为 15% 时, 含水量低, 挤压不充分, 冲调粉 DSI、eGI 均较低。随着水分的添加, 淀粉经剪切生成低分子量可溶性糖, 冲调粉 DSI、eGI 升高。水分添加量进一步增大, 冲调粉 DSI 增大, 与 Govindasamy 等^[19]提出的当水分添加量为 22% ~ 38% 时, 挤压产物 DSI 随着水分添加量增加而增大的研究结果一致。水分添加量为 30% 制得的冲调粉 DSI 较高、eGI 较低, 但实际生产中为节约干燥成本, 水分

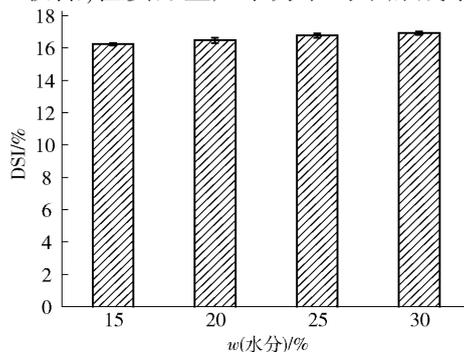


图3 水分添加量对冲调粉 DSI 的影响

Fig.3 Effect of water content on DSI of powder

添加量一般在30%以下,所以选择水分添加量为25%制备挤压冲调粉。

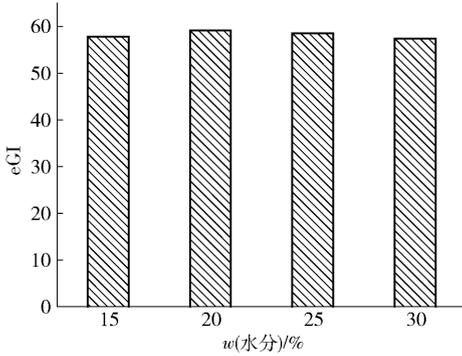


图4 水分添加量对冲调粉 eGI 的影响

Fig. 4 Effect of water content on eGI of powder

2.3.3 螺杆转速对冲调粉 DSI 和 eGI 的影响

以 $60\text{ }^{\circ}\text{C} - 80\text{ }^{\circ}\text{C} - 100\text{ }^{\circ}\text{C} - 120\text{ }^{\circ}\text{C}$ 为挤压机机筒升温程序,25%为水分添加量,研究螺杆转速对冲调粉 DSI 和 eGI 的影响,结果分别如图5、图6。螺杆转速为 $80\text{ r}/\text{min}$ 时,原料所受的剪切作用较小,淀粉降解程度较低,DSI 较低;原料在机筒内滞留时间长,糊化充分,eGI 较高。当螺杆转速增加至 $100\text{ r}/\text{min}$ 时,原料与螺杆、机筒间的摩擦和剪切作用逐渐增强,淀粉颗粒降解增强,DSI 达到最大值。同时,转速增加,原料在机筒内滞留时间缩短,糊化度减小,eGI 降低。转速增加至 $120, 140\text{ r}/\text{min}$ 时,物料滞留时间进一步减少,DSI 下降,同时剪切和摩擦作用增强可能导致淀粉脂肪络合物的减少,eGI 提高。综合考虑冲调粉 DSI 和 eGI,将螺杆转速确定为 $100\text{ r}/\text{min}$ 。

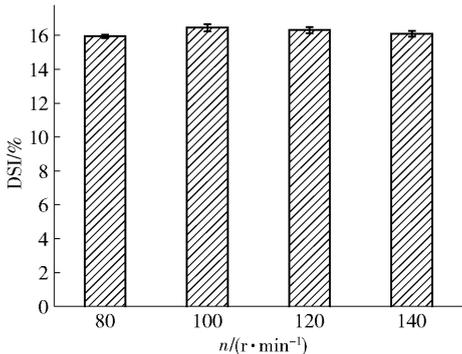


图5 螺杆转速对冲调粉 DSI 的影响

Fig. 5 Effect of screw speed on DSI of powder

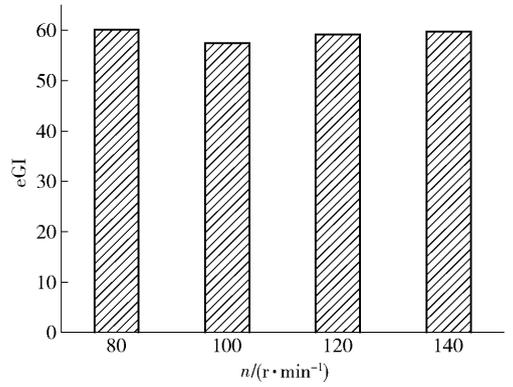


图6 螺杆转速对冲调粉 eGI 的影响

Fig. 6 Effect of screw speed on eGI of powder

$60\text{ }^{\circ}\text{C} - 80\text{ }^{\circ}\text{C} - 100\text{ }^{\circ}\text{C} - 120\text{ }^{\circ}\text{C}$,水分添加量25%,螺杆转速 $100\text{ r}/\text{min}$ 。在此条件下制备的冲调粉 DSI 为16.45%,eGI 为57.41。

2.4 低 GI 冲调粉的餐后血糖响应及感官评定

人体摄入经优化工艺制备的冲调粉后血糖浓度变化如图7。低 GI 冲调粉餐后血糖峰值在45 min 出现,与葡萄糖餐后血糖峰值在30 min 出现相比有统计学意义($p < 0.05$),这说明在人体内低 GI 冲调粉消化慢于葡萄糖。低 GI 冲调粉达到血糖峰值后餐后血糖浓度下降缓慢表明其餐后血糖波动小,餐后血糖动态平衡能力强。

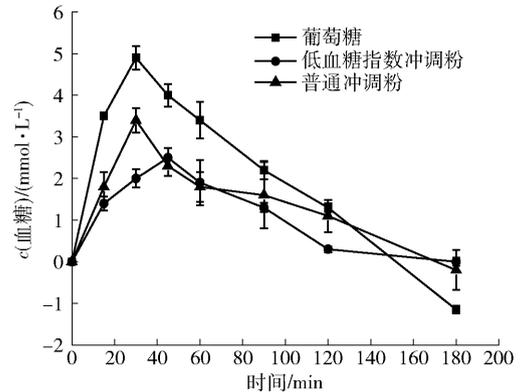


图7 低 GI 冲调粉的人体餐后血糖响应

Fig. 7 Blood glucose response curves for low GI mixing powder

以葡萄糖 GI 为100,经人体实验测得由优化条件制备的冲调粉 GI 为52.13,为低 GI 食品,与普通冲调粉(GI = 69.36)具有显著性差异。该冲调粉呈均匀黄褐色,有豆香或谷物香味,冲调性好,总体可接受性较好,感官评分详见表5。

确定冲调粉加工条件为挤压机机筒升温程序:

表5 低GI冲调粉感官评定结果

Tab.5 Sensory evaluation results of low-GI-index mixing powder

名称	色泽和外观	香气	冲调性	口感	总体可接受性
低血糖生成指数冲调粉	7.00 ± 1.25	6.67 ± 1.35	8.68 ± 1.17	6.87 ± 1.00	7.37 ± 0.72

3 结 论

以燕麦、鹰嘴豆、花芸豆为原料研发低血糖生成指数冲调粉,以赖氨酸、苏氨酸、蛋氨酸为待平衡氨基酸设计产品配方,确定原料配比:燕麦、鹰嘴豆、花芸豆配比为 16.43:76.35:7.22。第一限制性氨基酸为蛋氨酸,氨基酸评分为 62.94。添加 0.66% 蛋氨酸后,冲调粉氨基酸评分为 70.95,达到营养平衡目的。经蒸煮、挤压、滚筒干燥后冲调粉 eGI 分别为 59.43,60.35,68.04,DSI 分别为 14.51%,18.72%,20.11%。综合考虑产品 eGI、DSI 及感官品质,选择挤压加工(挤压时机筒升温程序为 60℃-80℃-100℃-120℃,水分添加量为 25%,螺杆转速为 100 r/min)作为优化工艺,在此条件下制备的冲调粉 DSI 为 16.45%,eGI 为 57.41。以葡萄糖 GI 为 100,经人体实验测得该冲调粉 GI 为 52.13,确定该产品为低血糖生成指数食品。

参考文献:

- [1] International Diabetes Federation. IDF diabetes atlas sixth edition poster update 2014 [EB/OL]. (2014-11-10)[2017-10-25]. <https://doi.org/2-930229-80-2>,2014-11-10.
- [2] SALWA W, LAIKA T, MURIEI L. Improved plasma glucose control whole body glucose utilization, and lipid profile on a low glycemic index diet in type 2 diabetic men [J]. *Diabetes Care*,2004,27(2): 1866-1870.
- [3] 张晴,周建超,赵妍娟,等. 低血糖指数糖尿病膳食对 2 型糖尿病患者代谢及营养状况的影响研究[J]. *中国全科医学*,2012(12): 1319-1321.
ZHANG Q, ZHOU J C, ZHAO Y J, et al. Application of low glycemic index diet in diabetes and its effect on biochemical indicators[J]. *Chinese General Practice*,2012(12): 1319-1321.
- [4] LI D, ZHANG P, GUO H. Taking a low glycemic index multi-nutrient supplement as breakfast improves glycemic control in patients with type 2 diabetes mellitus: a randomized controlled trial [J]. *Nutrients*,2014,6(12): 5740-5755.
- [5] LOVIS L J. Alternatives to wheat flour in baked goods [J]. *Cereal Foods World*,2003,48(2): 61-63.
- [6] PARCHURE A A, KULKARNI P R. Effect of food processing treatments on generation of resistant starch [J]. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*,1997,48(4): 257-260.
- [7] MANGALA S L, MALLESHI N G, THARANATHAN R N. Resistant starch from differently processed rice and ragi (finger millet) [J]. *European Food Research and Technology*,1999,209(1): 32-37.
- [8] RANHOTRA G S, GELROTH J A, ASTROTH J A, et al. Effect of resistant starch on intestinal responses in rats [J]. *Cereal Chemistry*,1991,68(2): 130-132.
- [9] SZCZODRAK J, POMERANZ Y. Starch and enzyme-resistant starch from high-amylose barley [J]. *Cereal Chemistry*,1991,68(6): 589-596.
- [10] RATTANAMECHAISKUL C, SOPONRONNARIT S, PRACHAYAWARAKORN S. Glycemic response to brown rice treated by different drying media [J]. *Journal of Food Engineering*,2014,122(2): 48-55.
- [11] ENGLYST H N, KINGMAN S M, CUMMINGS J H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions [J]. *European Journal of Clinical Nutrition*,1992,46(2): 33-50.
- [12] GONI I, GARCIA-A A, SAURA-C F. A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index [J]. *Nutrition Research*,1997,17(3): 427-437.
- [13] 王素雅,刘长鹏,杨玉玲,等. 酶法生产速溶慈姑粉的工艺研究 [J]. *食品与发酵工业*,2008,34(4): 80-83.
WANG S Y, LIU C P, YANG Y L, et al. The preparation of instant arrowhead powder using enzyme hydrolysis processing [J]. *Food and Fermentation Industries*,2008,34(4): 80-83.
- [14] WALLIS K. Resistant starch a natural functional food ingredient [J]. *Food Australia*,2004,56(6): 242.
- [15] 崔亚楠,张晖,王立,等. 加工方式对谷物和豆类估计血糖生成指数的影响 [J]. *食品与机械*,2017,33(9):1-4.
CUI Y N, ZHANG H, WANG L, et al. The effects of

- different processing methods on expected glycemic index of cereals and legumes[J]. *Food and Machinery*, 2017, 33(9):1-4.
- [16] 迟展忠. 关于蛋白质氨基酸的评分及设计食物配方的计算[J]. *食品科学*, 1986(9): 10-14.
- CHI Z Z. The score of protein amino acids and the calculation of the formula for the design of food[J]. *Food Science*, 1986(9): 10-14.
- [17] 徐学明. 挤压过程中的碳水化合物蛋白质和脂肪 [J]. *食品与机械*, 1995(5): 22-23.
- XU X M. Carbonhydrates, proteins and lipids in extrusion process[J]. *Food and Machinery*, 1995(5): 22-23.
- [18] 许亚翠. 谷物早餐粉挤压工艺及其冲调性的研究 [D]. 无锡: 江南大学, 2013.
- [19] GOVINDASAMY S, CAMPENELLA O H, OATES C G. The single screw extruder as a bioreactor for sago starch hydrolysis[J]. *Food Chemistry*, 1997, 60(1): 1-11.

Study on Formula and Processing Technology of Low-Glycemic-Index Mixing Powder

CUI Yanan¹, ZHANG Hui^{1,*}, MA Yu², WU Gangcheng²,
 QI Xiguang², WANG Li², QIAN Haifeng²

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China;

2. National Engineering Research Center for Functional Food, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: Materials of low-glycemic-index mixing powder were screened, on this basis, the formula of low-glycemic-index mixing powder was designed. Then, the effects of different processing methods (steaming, extruding and roller-drying) on expected glycemic index (eGI) and the solubility index (drying-matter solubility index, DSI) were investigated and the optimal processing method and parameters were obtained. Finally, the *in vivo* glycemic response to mixing powder was measured. The results showed that after cooking, extrusion, or roller-drying, oats, chickpeas, and bean had lower eGI. The optimal ratio of oat: chickpea: colored kidney bean was 16.43:76.35:7.22 in the mixing powder. The mixing powder with high DSI (16.45%) and low eGI (57.41) was achieved using extruding with terminal barrel temperature procedure of 60 °C - 80 °C - 100 °C - 120 °C, water content of 25%, and screw speed of 100 r/min. When glucose was regarded as 100, the glycemic index (GI) of mixing powder was 52.13, suggesting the mixing powder belonged to low-GI foods.

Keywords: mixing powder; processing technology; digestibility properties; expected glycemic index

(责任编辑:叶红波)