

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20241227001

引用格式: 金敬红, 张子昂, 姚正颖, 等. 食叶草降糖大米的研制及其对 α -葡萄糖苷酶的抑制活性[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(6): 183–189.

JIN JH, ZHANG ZANG, YAO ZY, *et al.* Development of artificial hypoglycemic rice from edible leaf grass and its inhibitory activity on α -glucosidase [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(6): 183–189. (in Chinese with English abstract).

食叶草降糖大米的研制及其对 α -葡萄糖苷酶的抑制活性

金敬红*, 张子昂, 姚正颖, 李楠楠

(中华全国供销合作总社南京野生植物综合利用研究所, 南京 211100)

摘要: **目的** 开发一种以食叶草为营养补充剂的人造降糖大米, 优化其配方并分析其对 α -葡萄糖苷酶的抑制活性及感官品质。**方法** 采用正交实验设计优化人造降糖大米的配方参数, 以玉米直链淀粉和大米淀粉为主要原料, 食叶草为功能性添加剂。通过酶标仪检测 α -葡萄糖苷酶抑制活性, 评估样品的降糖效果, 并依据感官评价方法对其进行食品感官分析。**结果** 食叶草水提物对 α -葡萄糖苷酶的抑制率较高, 半数抑制浓度 (inhibitory concentration, IC_{50}) 值为 1.189 mg/mL, 接近阳性对照阿卡波糖的抑制效果。优化配方生产的食叶草人造降糖大米在感官评价中表现出色, 具有良好的风味、口感及外观。**结论** 食叶草具有优异的营养价值和潜在的降糖活性。基于其开发的人造降糖大米既满足糖尿病患者的特殊需求, 也为健康食品市场提供了新选择, 具有广阔的应用前景。

关键词: 食叶草; 降糖大米; 糖尿病; α -葡萄糖苷酶

Development of artificial hypoglycemic rice from edible leaf grass and its inhibitory activity on α -glucosidase

JIN Jing-Hong*, ZHANG Zi-Ang, YAO Zheng-Ying, LI Nan-Nan

(Nanjing Institute for Comprehensive Utilization of Wild Plants, Nanjing 211100, China)

ABSTRACT: Objective To develop artificial hypoglycemic rice with leafy grass as a nutritional supplement, optimize its formula, and analyze its inhibitory activity on α -glucosidase and sensory quality. **Methods** The orthogonal experimental design was used to optimize the formula parameters of artificial rice, with corn amylose and rice starch as the main raw materials and edible leaf grass powder as the functional additive. The inhibitory activity of α -glucosidase was detected by enzyme labeling instrument to evaluate the hypoglycemic effect the samples, and the food sensory analysis was carried out according to the sensory evaluation method. **Results** The water extract of edible leaf grass showed a high inhibitory rate on α -glucosidase with an inhibitory concentration (IC_{50}) value 1.189 mg/mL, which was close to the inhibitory effect of the positive control acarbose. The optimized formula for producing artificial rice from edible leaf grass performed excellently in sensory evaluation, with good

收稿日期: 2024-12-27

第一作者/*通信作者: 金敬红(1969—), 男, 硕士, 研究员, 主要研究方向为植物源大健康。E-mail: jxhong@163.com

flavor, texture and appearance. **Conclusion** Edible leaf grass has excellent nutritional value and potential hypoglycemic activity. The artificial hypoglycemic rice develops based on it not only meets the special needs of diabetes patients, but also provides a new choice for the health food market, and has broad application prospects.

KEY WORDS: edible leaf grass; artificial hypoglycemic rice; diabetes; α -glucosidase

0 引言

糖尿病是一种由于胰岛素分泌不足或细胞缺少胰岛素受体引起的综合性代谢疾病, 临床表现为人体内血糖水平长期高于正常值, 导致糖代谢紊乱而引起一系列的并发症^[1-5]。据国际糖尿病联盟数据显示, 我国糖尿病患者已超过 1.4 亿, 其中 II 型糖尿病占糖尿病人群的 90% 以上^[6-7]。在这个不断增长的流行病背景下, 寻找有效的预防和治疗方法变得至关重要。其中改变饮食结构是预防糖尿病的主要方式, 在各种饮食中, 碳水化合物的摄入对血糖水平的控制至关重要。而作为我国最主要的主食之一, 大米扮演着重要的角色。因此, 研究能否通过改变大米的组成来预防糖尿病或降低糖尿病患者的血糖水平, 具有重要的理论和实践意义。

人造大米又称重组米, 是以淀粉类原料为主, 适当添加辅料, 与营养强化剂或添加剂等混合, 通过糊化、造粒及干燥等过程制成与天然大米相似的颗粒^[8-10]。其制备工艺主要有粉碎调质、挤压膨化及干燥冷却等。此类大米通过添加不同的营养强化剂变为不同的功能食品, 如刘畅等^[11]通过添加含硒化合物与含锌化合物 2 种营养强化剂, 制备功能性重组米以预防硒缺乏症和锌缺乏症; 吴俊灵等^[12]运用蛋白质强化技术手段, 制作高蛋白重组米以满足蛋白摄入不足人群; HUSSAIN 等^[13]向重组米中添加维生素 A 与含铁化合物作为营养补充剂, 有效改善与预防缺铁性贫血等症状。对于糖尿病的预防, 已有多篇研究着重于制作低升糖指数(glycemic index, GI)重组米^[14], 其制作低 GI 重组米是依靠原料中添加抗性淀粉以及不同难以消化吸收的其他直链淀粉, 在此基础上可以通过添加对 α -葡萄糖苷酶有抑制作用的营养强化剂来制作预防糖尿病或者糖尿病患者可以食用的低 GI 降糖重组米。

食叶草又名蛋白草、食叶菜, 蓼科酸模属多年生草本植物, 是中国科研人员自主研发的新品种植物, 其母本鲁梅克斯 K-1 具有粗蛋白含量高、耐干旱、耐盐碱的优点, 父本巴天酸模具有分布广、耐严寒、环境适应性强的特点^[15]。食叶草成功继承了亲本耐盐碱、耐寒抗旱的抗逆性强的优点, 可以在东北、西北、川藏等极端恶劣环境下生存。食叶草含有多种活性成分, 如李宪秀等^[16]通过对 α -葡萄糖苷酶活性抑制能力实验评价了食叶草的降血糖活性, 为课题的实施提供了理论支持与依据; 孟楠等^[17]对食叶草黄酮的降糖活性进行了研究。本研究以食叶草为营养补充剂, 大

米淀粉和玉米直链淀粉为原料, 开发一种针对糖尿病患者及其他特殊人群需求的营养降糖重组米产品, 并对其进行食品感官评价与 α -葡萄糖苷酶活性抑制能力的测定, 以期能为糖尿病患者尤其是习惯食用大米的南方糖尿病患者提供新的选择, 对于糖尿病的食疗的发展和普及具有积极的意义。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

食叶草: 内蒙古当地市售食叶草, 经真空冷冻干燥而成; 大米: 市售东北大米。

玉米直链淀粉(宜瑞安食品配料有限公司); α -葡萄糖苷酶(0.2 U/mL)、阿卡波糖片(国药准字 H19990205)(拜耳医药保健有限公司); 对硝基苯基- α -D-吡喃葡萄糖苷(4-nitrophenyl- α -D-glucopyranoside, PNPG)(分析纯, 上海源叶有限公司); 碳酸钠、磷酸二氢钾、磷酸氢二钾(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司)。

磷酸盐缓冲溶液(phosphate buffered saline, PBS) (pH 6.8): 将 6.845 g 磷酸二氢钾溶解于 49.7 mL 去离子水中, 另将 11.34 g 磷酸氢二钠溶解于 50.3 mL 去离子水中, 充分混合后, 合并两者溶液, 调节 pH 至 6.8, 最终配制成 PBS 缓冲液。

1.2 仪器与设备

FA2004HM 电子天平(精度为 0.0001 g, 常州万泰天平仪器有限公司); EL204 电子天平[精度为 0.001 g, 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司]; LXJ-II 离心机(上海药用分析仪器厂); KKQ-600DE K 数控超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司); LGJ-25F 真空冷冻干燥机[四环福瑞科仪科技发展(北京)有限公司]; FT36 双螺杆挤压机(山东力天机械有限公司); LTD-5PD 五层干燥机(山东真诺机械有限公司); Multiskan 全波长多功能酶标仪[赛默飞世尔(上海)仪器有限公司]。

1.3 实验方法

1.3.1 食叶草水提取

参照李宪秀等^[16]的方法, 将食叶草粉碎, 称取 11.1 g 的食叶草粉末, 按 1:26 (g/mL) 的固液比与去离子水混合均匀后, 放入超声波仪中 50 °C 浸提 2 h, 8000 r/min 离心 10 min, 收集上清液, 使用真空冷冻干燥机对食叶草水提物进行真空冷冻干燥处理, 将冻干的食叶草水提取物

装瓶备用。

1.3.2 食叶草水提取物 α -葡萄糖苷酶活性抑制能力实验

参照SU等^[18]的实验方法,对食叶草水提取物进行 α -葡萄糖苷酶抑制活性检测,并作适当调整。配制一系列浓度的食叶草水提取物溶液和阿卡波糖溶液,取30 μ L待测样品溶液和30 μ L 0.2 U/mL α -葡萄糖苷酶液于96孔板中,然后混合均匀,置于37 $^{\circ}$ C下恒温反应10 min。然后加入60 μ L 5 mmol/L PNPG溶液和50 μ L 0.2 mol/L PBS缓冲液,置于37 $^{\circ}$ C恒温反应15 min。然后加入120 μ L 1 mol/L的碳酸钠溶液,使反应终止,用酶标仪在405 nm处检测溶液的吸光值。 α -葡萄糖苷酶活性的抑制率的计算如公式(1):

$$\alpha\text{-葡萄糖苷酶活性抑制率}/\%=(1-\frac{A_1-A_2}{A_0-A_3})\times 100\% \quad (1)$$

式中: A_0 为阴性对照组吸光值,即用PBS代替样品溶液; A_1 为样品测定组吸光值; A_2 为样品本底组吸光值,即用PBS代替 α -葡萄糖苷酶液; A_3 为空白对照组吸光度,即使用PBS代替样品溶液与 α -葡萄糖苷酶液。

1.3.3 制备食叶草人造大米配方参数优化及正交实验设计

确定食叶草添加量为8%,单甘酯添加量为0.4%。其余因素按照正交实验设计方案进行配方参数设计,工艺优化正交实验设计因素及水平见表1。

表1 食叶草降糖大米配方正交表
Table 1 Orthogonal table for the formula of edible leaf grass hypoglycemic rice

水平	因素			
	A(玉米直链淀粉 HM260 添加量)/%	B(温度)/ $^{\circ}$ C	C(双螺杆转速)/(r/min)	D(水添加量)/%
1	15	95	140	18
2	20	100	160	22
3	25	105	180	26
4	30	110	200	30

1.3.4 食叶草人造大米食品感官评价

根据GB/T 15682—2008《粮油检验稻谷、大米蒸煮食用品质感官评价方法》,并参照多种食品感官表,制定食叶草重组米米饭的评价标准。由10位专业人员组成感官评价组,对16组食叶草人造大米进行感官评价。将100 g食叶草重组米米粒倒入蒸饭锅内,倒入120 mL蒸馏水,蒸30 min后随机选取10 g进行感官评价^[19]。感官评价表见表2。

1.3.5 食叶草人造大米水提取物的制备

根据食品感官得分从16个样品中筛选出4个玉米直链淀粉添加量不同的最高分样品作为后续实验的样品。参照蔡光泽等^[20]的实验方法略作修改,称取每个样品各10 g并加入100 mL超纯水,摇匀后室温静置;每2 h摇匀后静置一次,8 h后冰水浴超声10 min。-40 $^{\circ}$ C静置1 h后置于常温化冻,然后将样品4 $^{\circ}$ C、12000 r/min离心15 min,取上清液冷藏备用。

表2 感官评价表

Table 2 Sensory evaluation form

指标	具体的特征描述	分值
气味 (纯正性,浓郁性) 20分	具有特有的香气、香气浓郁	18~20
	具有淡淡的香气,香气不明显	13~17
	没有香气,但无异味	9~12
	有异味	0~8
外观结构 (颜色,米饭完整性) 20分	颜色均匀,深绿色	6~10
	颜色稍有不均	4~5
	颜色明显不均匀,发白	0~3
	重组米结构紧密,饭粒完整性好	6~10
	重组米大部分结构紧密完整	4~5
适口性 (黏性,弹性,软硬度) 30分	重组米粒出现爆花	0~3
	清爽,有黏性,不黏牙	8~10
	有黏性,基本不黏牙	6~7
	有黏性,黏牙或无黏性	0~5
	有嚼劲	8~10
	稍有嚼劲	6~7
	疏松、发硬,感觉有渣	0~5
	软硬适中	8~10
滋味 (纯正性,持久性) 20分	感觉略硬或略软	6~7
	感觉很硬或很软	0~5
	咀嚼时,有浓郁的清香和甜味	16~20
	咀嚼时,有淡淡的清香和甜味	11~15
	咀嚼时,无清香和甜味,无异味	6~10
冷饭质地 (成团性,黏弹性,硬度)10分	咀嚼时,有异味	0~5
	较松散、黏弹性较好、硬度适中	8~10
	结团、黏弹性稍差、稍变硬	4~7
	板结、黏弹性差、偏硬	0~3

1.3.6 食叶草人造大米水提取物 α -葡萄糖苷酶活性抑制能力实验

参照CHEN等^[21]的实验方法,对4种食叶草人造大米水提取物样品进行 α -葡萄糖苷酶抑制活性检测,并作适当调整。取30 μ L待测样品溶液于96孔板中,然后加入30 μ L 0.2 U/mL α -葡萄糖苷酶液,混合均匀,置37 $^{\circ}$ C恒温箱内反应10 min。然后加入60 μ L 5 mmol/L PNPG溶液和60 μ L PBS,将96孔板置于37 $^{\circ}$ C恒温箱内反应15 min。然后加入120 μ L 1 mol/L的碳酸钠溶液,使反应终止,以阿卡波糖为阳性对照,用酶标仪在405 nm处检测溶液的吸光值。通过公式(1)计算 α -葡萄糖苷酶活性的抑制率。

1.4 数据处理

所有实验均重复3次,采用IBM SPSS Statistics 26进行统计分析,使用GraphPad Prism 9软件绘制结果图,以平均值 \pm 标准偏差表示。

2 结果与分析

2.1 食叶草成分结果分析

食叶草营养成分分析如表3。

表 3 食叶草营养成分含量表
Table 3 Table of nutritional components of edible leaf grass

检测项目	以干基计	检测方法
蛋白质	48.7 g/100 g	GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》
脂肪	7.8 g/100 g	GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》
碳水化合物	3.9 g/100 g	计算法
能量	1398 kJ/100 g	计算法
总膳食纤维	26.4 g/100 g	GB 5009.88—2014《食品安全国家标准 膳食纤维的测定方法》
超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)活性	149 U/g	GB/T 5009.171—2003《保健食品中超氧化物歧化酶(SOD)活性的测定》
维生素 E	40.0 mg/100 g	GB 5009.82—2016《食品安全国家标准 食品中维生素 A、D、E 的测定》
β -胡萝卜素	11.1 mg/100 g	GB 5009.83—2016《食品安全国家标准 食品中胡萝卜素的测定》
抗坏血酸	47.3 mg/100 g	GB 5009.86—2016《食品安全国家标准 食品中抗坏血酸的测定》
维生素 B ₂	2.69 mg/100 g	GB 5009.85—2016《食品安全国家标准 食品中维生素 B ₂ 的测定》
维生素 B ₆	2.49 mg/100 g	GB 5009.154—2016《食品安全国家标准 食品中维生素 B ₆ 的测定》
烟酸	6.99 mg/100 g	GB 5009.89—2016《食品安全国家标准 食品中烟酸和烟酰胺的测定》
泛酸	0.439 mg/100 g	GB 5009.210—2016《食品安全国家标准 食品中泛酸的测定》
叶酸	1.08 mg/100 g	GB 5009.211—2014《食品安全国家标准 食品中叶酸的测定》
色氨酸	0.56 g/100 g	高效液相色谱法
天冬氨酸	3.60 g/100 g	氨基酸分析仪
苏氨酸	1.81 g/100 g	氨基酸分析仪
丝氨酸	1.55 g/100 g	氨基酸分析仪
谷氨酸	4.95 g/100 g	氨基酸分析仪
甘氨酸	2.18 g/100 g	氨基酸分析仪
丙氨酸	2.25 g/100 g	氨基酸分析仪
缬氨酸	2.17 g/100 g	氨基酸分析仪
甲硫氨酸	0.61 g/100 g	氨基酸分析仪
异亮氨酸	1.57 g/100 g	氨基酸分析仪
亮氨酸	3.69 g/100 g	氨基酸分析仪
酪氨酸	1.54 g/100 g	氨基酸分析仪
苯丙氨酸	2.07 g/100 g	氨基酸分析仪
赖氨酸	2.38 g/100 g	氨基酸分析仪
组氨酸	0.90 g/100 g	氨基酸分析仪
精氨酸	2.22 g/100 g	氨基酸分析仪
脯氨酸	1.91 g/100 g	氨基酸分析仪
胱氨酸	0.35 g/100 g	氨基酸分析仪

由表 3 可以得到, 食叶草是一种富含蛋白质和氨基酸的重要植物资源, 人体必需氨基酸种类完备且含量较高, 营养和药用价值兼备。氨基酸作为人体组织的基本组成部分, 其含量是评价食物营养价值和风味的关键指标之一, 还可以发现食叶草的总蛋白含量高达 48.7 g/100 g(干重), 接近作为优秀蛋白来源的大豆^[22], 但相对于大豆来说, 食叶草中还含有丰富的活性成分。结果显示, 食叶草中的抗

坏血酸含量为 47.3 mg/100 g(干重), 富含 SOD 酶, 其比活力为 149 U/g(干重), 从这些结果可以推测出食叶草具有良好的抗氧化和降血糖活性潜质。

2.2 食叶草水提物对 α -葡萄糖苷酶活性的抑制能力

从 11.1 g 的食叶草粉末中得到 2.91 g 水提取物, 水提取率为 26.2%。食叶草不同浓度梯度 α -葡萄糖苷酶活性抑制能力见图 1a。

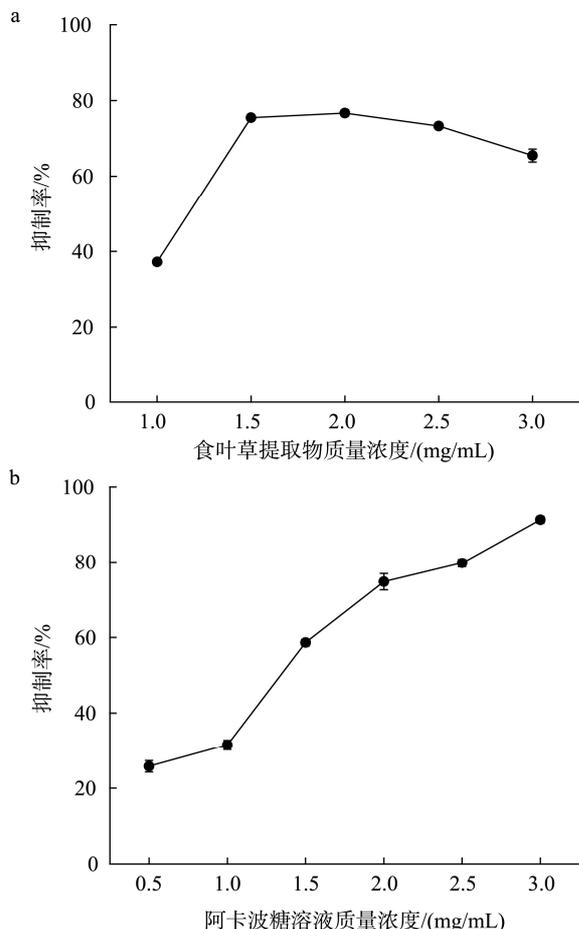


图 1 食叶草水提取物(a)和阿卡波糖溶液(b)对 α -葡萄糖苷酶活性的抑制能力

Fig.1 Inhibition abilities of aqueous extract of edible leaf grass (a) and acarbose solution (b) on α -glucosidase activity

由图 1a、b 可以得出, 食叶草水提取物质量浓度在 2.0 mg/mL 时抑制效果最好为 76.7%, 接近 2.0 mg/mL 阿卡波糖溶液的抑制效果, 通过 SPSS 数据分析得到食叶草水提取物的半数抑制浓度(inhibitory concentration, IC_{50}) 值为 1.189 mg/mL, 接近阿卡波糖溶液 IC_{50} 值 1.226 mg/mL。桑叶以及各种茶叶是当今被广泛认可的具备调节血糖水平的天然植物, 其中桑叶水提取物在质量浓度达到 125 mg/mL 时, 其对 α -葡萄糖苷酶活性的抑制效果^[23]与 2 mg/mL 的食叶草提取物相当, 普洱茶水提取物在其质量浓度为 2.5 mg/mL 时对 α -葡萄糖苷酶活性的抑制率为 52%^[24], 明显低于食叶草提取物的抑制率。

2.3 食叶草大米工艺配方正交实验分析

按照表 1 中的因素和水平用 IBM SPSS Statistics 26 生成表 4 (4 因素 4 水平正交表)和表 5 (正交实验方差分析表)。

由表 4 可以看出, 影响食叶草人造米品质的主次因素为: $D > C > B > A$, 即水添加量 > 双螺杆转速 > 温度 > 玉米直链淀粉 HM260 添加量。食叶草人造大米食品感官最优组合为: 玉米直链淀粉 HM260 添加量 15%, 温度 105 $^{\circ}C$, 双螺

表 4 4 因素 4 水平正交表
Table 4 Orthogonal table of 4 factors and 4 levels

实验组	A/%	B/ $^{\circ}C$	C/(r/min)	D/%	感官得分/分
1	1	1	1	1	72.2
2	1	2	2	2	69.0
3	1	3	3	3	74.8
4	1	4	4	4	69.0
5	2	1	3	3	68.0
6	2	2	4	1	72.6
7	2	3	1	4	65.2
8	2	4	2	2	73.0
9	3	1	2	4	65.8
10	3	2	1	2	68.6
11	3	3	4	3	74.4
12	3	4	3	1	65.2
13	4	1	4	2	71.4
14	4	2	3	4	58.8
15	4	3	2	1	71.6
16	4	4	1	3	70.0
K_1	285.0	277.4	276.0	281.6	
K_2	278.8	269.0	279.4	282.0	
K_3	274.0	286.0	266.8	287.2	
K_4	271.8	277.2	287.4	258.8	
k_1	71.3	69.4	69.0	70.4	
k_2	69.7	67.3	69.9	70.5	
k_3	68.5	71.5	66.7	71.8	
k_4	68.0	69.3	71.9	64.7	
R(极差)	3.3	4.3	5.2	7.1	
最优组合	$A_1B_3C_4D_3$				81.0

表 5 正交实验方差分析表
Table 5 Analysis of variance table for orthogonal experiment

源	III 类平方和	自由度	均方	F	显著性
修正模型	235.450	12	19.621	2.624	0.232
截距	76950.760	1	76950.760	10292.121	0.000
A/%	25.660	3	8.553	1.144	0.457
B/ $^{\circ}C$	16.348	3	5.449	0.729	0.599
C/(r/min)	55.015	3	18.338	2.453	0.240
D/%	119.070	3	39.690	5.309	0.102
误差	22.430	3	7.477		
总计	77208.640	16			
修正后总计	257.880	15			
$R^2=0.913$ (调整后 $R^2=0.565$)					

杆转速 200 r/min, 水添加量 26%。由表 5 可以看出, 正交实验各因素的影响均大于 0.05, 表现的较为均衡, 未表现出显著差异性, 原因可能是参与感官评价的人员南北方都有, 每个地区的人的口味偏好存在差异, 可能导致感官评价的得分较为主观, 从而使得得分的方差较大。

2.4 食叶草大米水提取物对 α -葡萄糖苷酶活性的抑制能力

由于考虑到大米的降糖效果是本课题重点研究方向, 从玉米直链淀粉 HM260 添加量中选择不同添加量的最高感官评价的人造大米来进行 α -葡萄糖苷酶活性抑制能力实验, 本研究选择 3 号样品、8 号样品、11 号样品、15 号样品进行实验, 结果见图 2。

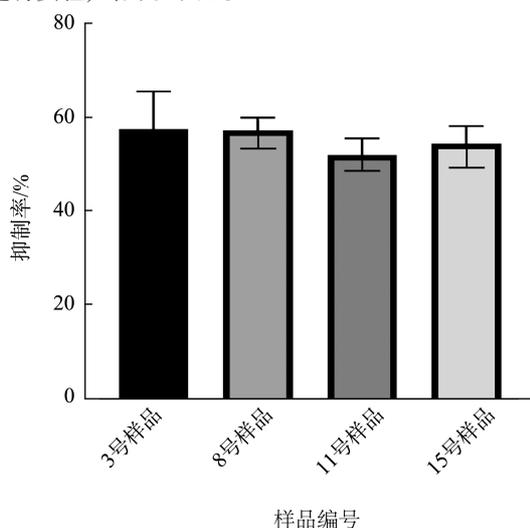


图 2 食叶草大米水提取物对 α -葡萄糖苷酶活性的抑制能力
Fig.2 Inhibition of α -glucosidase activity by water extract of edible leaf grass rice

通过图 2 可以看出, 4 种样品的抑制率均在 55%~65% 之间, 玉米直链淀粉的含量对于体外降糖的效果影响不大。在确定食叶草添加量时, 比较食叶草提取物对 α -葡萄糖苷酶活性抑制能力的不同浓度。按照成年人一日摄入米饭量^[25]与阿卡波糖日食用量^[26]进行比对, 确定食叶草添加量为 7.5%~8.5% 之间。由于没有考虑在挤压膨化过程中温度、压力等因素对食叶草活性成分的破坏, 导致食叶草降糖大米的抑制率比理论值低, 在之后的食叶草产品中应该适当增加食叶草添加量以保证其抑制率。

3 结论与讨论

本研究设计并制作了一款具有降糖功效的食叶草人造大米, 并对食叶草以及产品进行了降糖能力的测试, 通过酶标仪检测 OD 值差值的方式对 α -葡萄糖苷酶活性的抑制率进行了检测^[27]。结果表明食叶草及其产品均有着一定的降糖能力, 展现出了巨大的药用价值与食品保健潜力。

食叶草中还含有丰富的活性成分, 如抗坏血酸、SOD

酶和丰富的维生素, 这些成分与抗氧化活性和降血糖活性密切相关^[28-30]。在食叶草含有的丰富微量元素中, 钾元素明显高于其他果蔬, 其可以作用于血糖调节, 长期补充可以起到降糖与降血压作用^[31]。作为一款可以被糖尿病患者长期作为主食食用且具有一定食疗效果的人造降糖大米, 本产品弥补了大白米的营养缺失部分; 作为一款降糖大米, 其风味、口感、外表均表现出色, 口感软糯, 适合长期食用。这一创新性产品同时也适用于追求减肥、从事健身活动的人群, 因为丰富全面的营养和一定的辅助调节血糖的效果有助于控制血糖水平, 为减肥和健身提供理想的膳食选择, 同时可以预防由膳食不均引起的相关疾病^[32]。

参考文献

- [1] 张宗颖. 低血糖生成指数杂粮复合馒头的研制及临床效果观察[D]. 张家口: 河北北方学院, 2019.
ZHANG ZY. Development and clinical effect observation of low glycemic index whole grain composite steamed bun [D]. Zhangjiakou: Hebei North University, 2019.
- [2] 周慧. 老年 2 型糖尿病自我管理现状及其影响因素分析[J]. 罕见疾病杂志, 2024, 31(12): 140-142.
ZHOU H. Current status and influencing factors of self-management level of elderly type 2 diabetes mellitus [J]. Journal of Rare Diseases, 2024, 31(12): 140-142.
- [3] 姚文强, 王旭, 张擎. 论糖尿病中医三防观[J]. 河北中医, 2024, 46(11): 1890-1894.
YAO WQ, WANG X, ZHANG Q. On the three-prevention view of traditional Chinese medicine for diabetes [J]. Hebei Traditional Chinese Medicine, 2024, 46(11): 1890-1894.
- [4] 任旅萍, 孙晓, 陈婷婷, 等. 老年 2 型糖尿病慢性并发症相关影响因素及健康行为为评估的研究进展[J]. 国际老年医学杂志, 2024, 45(6): 743-747.
REN LP, SUN X, CHEN TT, *et al.* Research progress on the evaluation of influencing factors and health behaviors related to chronic complications of 2 diabetes in the elderly [J]. International Journal of Geriatric Medicine, 2024, 45(6): 743-747.
- [5] 杨彦, 徐芳, 李子玲. 早发 2 型糖尿病发病机制及并发症的研究[J]. 中国医药科学, 2024, 14(21): 44-47.
YANG Y, XU F, LI ZL. Research on the pathogenesis and complications of early-onset type 2 diabetes mellitus [J]. China Medical Science, 2024, 14(21): 44-47.
- [6] 徐慧, 闻杰, 段盛林, 等. “建康 1 号”低 GI 大米对 2 型糖尿病患者血糖水平的影响[J]. 上海医药, 2023, 44(7): 41-45.
XU H, WEN J, DUAN SL, *et al.* The effect of low-GI rice “Jianang No.1” on blood glucose levels in patients with type 2 diabetes [J]. Shanghai Medicine, 2023, 44(7): 41-45.
- [7] 马梅芳, 赵钰, 安永东, 等. 肥胖与 2 型糖尿病慢性并发症关系的研究进展[J]. 中国医刊, 2024, 59(10): 1067-1070.
MA MF, ZHAO Y, AN YD, *et al.* Research progress on the relationship between obesity and chronic complications of type 2 diabetes [J]. Chinese Medical Journal, 2024, 59(10): 1067-1070.
- [8] 许缜微, 谢蒙蒙, 赵思明, 等. 特种营养米研究进展[J]. 粮食与饲料工业, 2016(2): 1-4.
XU CW, XIE MM, ZHAO SM, *et al.* Research progress of special nutrition rice [J]. Grain and Feed Industry, 2016(2): 1-4.
- [9] 于伟洋, 乔丽萍, 田晓静, 等. 揭开复合营养米的神秘面纱[J]. 食品与健康, 2022, 34(9): 22-24.
YU WY, QIAO LP, TIAN XJ, *et al.* Unveiling the mystery of composite

- nutrition rice [J]. *Food and Health*, 2022, 34(9): 22–24.
- [10] 傅亚平. 我国米制食品发展现状及思路[J]. *农业与技术*, 2023, 43(20): 33–36.
- FU YP. Current situation and ideas of the development of rice-based food in China [J]. *Agriculture and Technology*, 2023, 43(20): 33–36.
- [11] 刘畅, 赵香香, 刘晓飞, 等. 富硒锌重组米挤压工艺优化及糊化特性研究[J]. *粮食与油脂*, 2023, 36(1): 52–57.
- LIU C, ZHAO XX, LIU XF, *et al.* Optimization of extrusion process and study on gelization characteristics of selenium and zinc enriched rice [J]. *Cereal and Oil*, 2023, 36(1): 52–57.
- [12] 吴俊灵, 廖卢艳, 邓慧清, 等. 高蛋白重组米理化特性、结构特征与营养品质研究[J]. *中国粮油学报*, 2024, 39(5): 37–45.
- WU JL, LIAO LY, DENG HQ, *et al.* Research on the physicochemical properties, characteristics and nutritional quality of high-protein recombinant rice [J]. *Chinese Journal of Cereal and Oil*, 2024, 39(5): 37–45.
- [13] HUSSAIN SZSGB, NAIK HR. Viscous and thermal behaviour of vitamin A and iron-fortified reconstituted rice [J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2014, 49(5): 1324–1329.
- [14] 李卢, 刘震远, 李喜宏, 等. 南瓜粉对挤压米膳食血糖指数及品质的影响[J]. *食品与生物技术学报*, 2021, 40(11): 39–45.
- LI L, LIU ZY, LI XH, *et al.* Effect of pumpkin powder on the dietary glycemic and quality of extruded rice [J]. *Journal of Food and Biotechnology*, 2021, 40(11): 39–45.
- [15] 王晓杰, 刘抗, 张丽, 等. 食叶草的营养价值及开发前景[J]. *食品与机械*, 2023, 39(2): 164–169.
- WANG XJ, LIU K, ZHANG L, *et al.* Nutritional value and development prospects of the leaf-eating grass [J]. *Food and Machinery*, 2023, 39(2): 164–169.
- [16] 李宪秀, 何涛, 杨帆, 等. 食叶草的营养活性成分含量及生物活性分析[J]. *食品工业科技*, 2023, 44(3): 307–315.
- LI XX, HE T, YANG F, *et al.* Content and bioactivity analysis of nutritional active components in foail millet [J]. *Food Industry Science and Technology*, 2023, 44(3): 307–315.
- [17] 孟楠, 秦令祥, 曹源, 等. 超微冷冻前处理协同渗漉法提取食叶草黄酮工艺优化及其抗氧化、降血糖活性研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2023, 14(13): 249–257.
- MENG N, QIN LX, CAO Y, *et al.* Optimization of the process for extracting flavonoids from mora leaves by ultra-micro freezing pretreatment and percolation method and its antioxidant and hypoglycemic activity research [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2023, 14(13): 249–257.
- [18] SU KY, AI LP. *In vitro* assessment of anti-diabetic potential of four kinds of dark tea (*Camellia sinensis* L.) protein hydrolysates [J]. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 2019, 92: 57–63.
- [19] 李慧, 谢天, 刘静雪, 等. 玉米重组米的加工工艺研究[J]. *粮食加工*, 2023, 48(6): 22–26.
- LI H, XIE T, LIU JX, *et al.* Research on the processing technology of corn restructured rice [J]. *Grain Processing*, 2023, 48(6): 22–26.
- [20] 蔡光泽, 罗樊, 蔡兴勇, 等. 黑米水提物功能活性成分分析[J]. *西昌学院学报(自然科学版)*, 2021, 35(2): 8–14, 38.
- CAI GZ, LUO F, CAI XY, *et al.* Analysis of functional active components of black rice water extract [J]. *Journal of Xichang College (Natural Science Edition)*, 2021, 35(2): 8–14, 38.
- [21] CHEN XL, ZHANG K, ZHAO X, *et al.* Triterpenoids from *Kochia fructus*: Glucose uptake in 3T3-L1 adipocytes and α -glucosidase inhibition, *in silico* molecular docking [J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2023, 24(3): 2454.
- [22] 董阳, 李晓敏, 史玉东, 等. 常见植物蛋白的分类组成和性质研究概述[J]. *农产品加工*, 2024(2): 84–92.
- DONG Y, LI XM, SHI YD, *et al.* Overview of the classification composition and properties of common plant proteins [J]. *Agricultural Products Processing*, 2024(2): 84–92.
- [23] 代君君, 吴传华, 肖林珍, 等. 桑树不同组织的水提物对 α -葡萄糖苷酶的抑制作用研究[J]. *中国农学通报*, 2011, 27(5): 466–469.
- DAI JJ, WU CH, XIAO LZ, *et al.* Study on the inhibitory effect of water extracts different tissues of mulberry on α -glucosidase [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27(5): 466–469.
- [24] 杨新河, 黄建安, 刘仲华, 等. 普洱茶对 α -葡萄糖苷酶活性影响的研究[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(12): 122–124.
- YANG XH, HUANG JAN, LIU ZH, *et al.* Research on the effect of Pu'er tea on activity of α -glucosidase [J]. *Food Industry Science and Technology*, 2012, 33(12): 122–124.
- [25] 《中国居民膳食指南科学研究报告(2021)》简本[Z]. 2021.
- China dietary guidelines scientific research report (2021) Summary [Z]. 2021.
- [26] 刘春港, 黎霞. 阿卡波糖抑制III型 α -葡萄糖苷酶动力学研究[J]. *四川师范大学学报(自然科学版)*, 2015, 38(2): 286–291.
- LIU CY, LI X. Kinetic study of acarbose inhibiting type III α -glucosidase [J]. *Journal of Sichuan Normal University (Natural Science Edition)*, 2015, 38(2): 286–291.
- [27] VALENCIA-MEJÍA E, BATISTA KA, FERNÁNDEZ JJA, *et al.* Antihyperglycemic and hypoglycemic activity of naturally occurring peptides and protein hydrolysates from easy-to-cook and hard-to-cook beans (*Phaseolus vulgaris* L.) [J]. *Food Research International*, 2019, 121: 238–246.
- [28] 赵晨玥, 高景波, 郭荣, 等. 孟德尔随机化探索维生素B₁₂缺乏性贫血和1型糖尿病风险的因果关系[J]. *山西医科大学学报*, 2024, 55(5): 644–649.
- ZHAO CY, GAO JB, GUO R, *et al.* Mendelian randomization explores the causal relationship vitamin B₁₂ deficiency anemia and the risk of type 1 diabetes [J]. *Journal of Shanxi Medical University*, 2024, 55(5): 644–649.
- [29] 梁浩辉, 蔡佳, 陈晓瑛, 等. 维生素C对鱼类应激与抗氧化能力影响的研究进展[J]. *饲料工业*, 2024, 45(18): 71–76.
- LIANG HH, CAI J, CHEN XY, *et al.* Research progress on the effects of vitamin on the anti-stress and antioxidant capacity of fish [J]. *Feed Industry*, 2024, 45(18): 71–76.
- [30] 黄佳敏, 佟海滨, 吴郁, 等. 基于NIRS快速检测高糖高脂饮食的果蝇体内抗氧化酶活性[J]. *温州大学学报(自然科学版)*, 2024, 45(2): 27–36.
- HUANG JM, TONG HB, WU Y, *et al.* Rapid detection of antioxidant enzyme activity in *Drosophila melanogaster* fed a high-sugar, high-fat diet based on NIRS [J]. *Journal of Wenzhou University (Natural Science Edition)*, 2024, 45(2): 27–36.
- [31] 汪长钢, 于佳弘, 潘妍. 绿茶、白茶水提物对肥胖小鼠血糖、血脂的干预作用及肠道微生物的影响[J]. *中国食品添加剂*, 2022, 33(1): 113–122.
- WANG CG, YU JH, PAN Y. The intervention effect of green tea and white tea water extracts on blood glucose blood lipid in obese mice and the influence on intestinal microbiota [J]. *Chinese Journal of Food Additives*, 2022, 33(1): 113–122.
- [32] 郝金奇, 高鹏飞, 余艳琴, 等. 基于不同人群膳食营养状况分析结核患者营养不良的影响因素[J]. *安徽医科大学学报*, 2024, 59(5): 903–908, 913.
- HAO JQ, GAO PF, YU YQ, *et al.* Analysis of the influencing factors of mal in tuberculosis patients based on the dietary nutrition status of different groups of people [J]. *Journal of Anhui Medical University*, 2024, 59(5): 903–908, 913.

(责任编辑: 于梦娇 安香玉)