

# 生姜汁对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性的抑制作用

潘雪莉, 赵振军\*, 胡贤春

(长江大学园艺园林学院, 湖北荆州 434025)

**摘要:** 采用酶动力学方法研究了生姜汁对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性的抑制作用并对其抑制物质进行了光谱分析。结果表明: 山东大姜汁对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性的抑制效果最好(抑制率最高可达 73.38%), 酶动力学实验及 Lineweaver-Burk 双倒数作图结果显示姜汁对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性的抑制作用表现为可逆竞争性抑制; 5 °C 贮藏后姜汁对酶活性的抑制率降低至初期的 46.50%, 贮藏后的姜汁在热处理过程中对酶活性的抑制率表现为先升高后降低的趋势; 超滤分离组分抑制效果表明, 姜汁 MW $\geq$ 10 ku 组分相比于其他组分对酶活性的抑制率最高, 可达 67.16%, 说明姜汁中发挥抑制酶活性作用的物质主要集中在 MW $\geq$ 10 ku 的组分中; 在姜汁与  $\alpha$ -葡萄糖苷酶的混合体系中, 姜汁成分在紫外吸收光谱 240~280 nm 波段处, 吸光值显著降低, 说明姜汁中发挥抑酶活性的部分成分分布在 240~280 nm 波段处。该研究为深入开展姜汁降血糖活性研究及其深加工产品的开发奠定了理论基础。

**关键词:** 姜汁;  $\alpha$ -葡萄糖苷酶; PNP; 抑制作用

文章编号: 1673-9078(2022)07-120-125

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.7.0303

## Inhibitory Effects of Ginger Juice on $\alpha$ -Glucosidase Activity

PAN Xueli, ZHAO Zhenjun\*, HU Xianchun

(College of Horticulture and Landscape Architecture, Yangtze University, Jingzhou 434025, China)

**Abstract:** Enzyme kinetics and spectroscopic analyses were performed to determine the inhibitory effects of ginger juice on  $\alpha$ -glucosidase activity and possible inhibitory substances involved were explored. The results showed that the inhibitory effect of Shandong ginger juice on  $\alpha$ -glucosidase activity was the best, with an inhibition rate of 73.38%. The results of enzyme kinetics and Lineweaver-Burk double reciprocal analysis showed that the inhibitory effects of ginger juice on  $\alpha$ -glucosidase activity were reversible and competitive. The inhibition rate of ginger juice on enzyme activity decreased to 46.5% of the initial inhibition rate after 3 days of storage at 5 °C. Enzyme activity inhibition rates of stored ginger juice during heat treatment first increased before decreasing. Analysis of components separated by ultrafiltration showed that inhibition rate (67.16%) of the MW $\geq$ 10 ku component in ginger juice was the highest among components. This indicates that the substances with enzyme inhibiting activity were mainly concentrated in the MW $\geq$ 10 ku component of ginger juice. In the mixed system of ginger juice and  $\alpha$ -glucosidase, the absorbance value of ginger juice components decreased significantly in the ultraviolet absorption spectrum of 240~280 nm, indicating that the components with inhibitory activity in ginger juice were distributed in this band. The results of this study provide a theoretical basis for further research on the hypoglycemic activity of ginger juice as well as the development of further processed products.

**Key words:** ginger juice;  $\alpha$ -glucosidase; 4-nitrophenyl- $\alpha$ -D-glucopyranoside; inhibitory effects

引文格式:

潘雪莉,赵振军,胡贤春.生姜汁对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性的抑制作用[J].现代食品科技,2022,38(7):120-125,+89

PAN Xueli, ZHAO Zhenjun, HU Xianchun. Inhibitory effects of ginger juice on  $\alpha$ -glucosidase activity [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(7): 120-125, +89

生姜 (*Zingiber officinale* Roscoe) 起源于东南亚沿海<sup>[1]</sup>, 属姜科 (Zingiberaceae)、姜属 (*Zingiber*) 的一种多年生草本植物<sup>[2]</sup>。生姜因其地下根茎肉质、气

收稿日期: 2022-03-18

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31972464)

作者简介: 潘雪莉 (2001-), 女, 在读本科生, 研究方向: 茶学, E-mail: 3043784308@qq.com

通讯作者: 赵振军 (1974-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 植物生物化学,

E-mail: zzjswu@126.com

味芳香、滋味辛辣, 深受人们喜爱, 已经发展成为生活中必不可少的香辛料及保健蔬菜之一, 目前我国大量栽种于的西南与华南等地区<sup>[3]</sup>。生姜以鲜食为主, 但随着生姜产业的快速发展, 生姜汁也逐渐发展成为生姜深加工产品中的一种重要选择<sup>[4]</sup>。

生姜汁富含多种生物活性成分, 如生姜精油 (萜烯类物质)、生姜多酚、生姜多糖、脂类、有机酸和生姜粗纤维等。在药用功能与保健作用方面, 生姜精油具有清除自由基、抑制细菌、真菌生长等多种药理功

效；姜辣素、姜烯酚、姜黄素等具有镇痛、抗炎、抑菌、抗癌、抗氧化等功效<sup>[5-7]</sup>；近年来，关于生姜活性成分在降血糖方面的作用及其机制的研究备受关注，刘富月<sup>[8]</sup>利用生姜提取物开展了糖尿病小鼠麦芽糖负荷，发现生姜提取物可以提高小鼠对糖的耐受量，并显著降低喂饲后小鼠的血糖值；Venkateswaran 等<sup>[9]</sup>利用微波辅助提取生姜多酚用于降糖活性研究，结果表明较低浓度的生姜多酚（6.25 μg/mL）即具有抑制 α-淀粉酶和 α-葡萄糖苷酶的活性、并在研究中证实生姜多酚可以通过提高 GLUT<sub>4</sub> 基因表达量和细胞中胰岛素的活性，增强 C<sub>2</sub>C<sub>12</sub> 细胞对葡萄糖的摄取能力，达到最终降低血糖的效果。Chen 等<sup>[3]</sup>关于生姜多糖的研究也表明生姜提取物多糖类不仅能有效清除羟基自由基、超氧自由基还具有较强的抑制 α-葡萄糖苷酶的活性。

生姜汁中还含有丰富的生姜蛋白酶等具催化活性的蛋白类物质<sup>[10]</sup>，前期的研究发现这些具催化活性的蛋白类物质严重影响鲜榨生姜汁存放过程中的品质变化，极易导致姜汁的褐化，并产生浑浊、絮状、沉淀等现象，而这些具催化活性的蛋白类物质在姜汁中是否影响姜汁的降糖作用及其在存放过程中降糖活性是否存在的动态规律至今未见报道。

本文以 5 个不同地方产的生姜榨成姜汁，分别研究鲜姜汁、姜汁存放过程及其热处理过程对 α-葡萄糖苷酶的抑制活性与抑制类型，旨在探讨姜汁降血糖的生物学活性，为生姜降血糖功能的深入研究和深加工产品的开发奠定理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

供试生姜源自 5 个不同产地所产鲜姜，分别是山东临沂大姜、湖北恩施凤头姜、四川自贡小黄姜、云南文山小黄姜和贵州镇宁小黄姜；磷酸二氢钠、磷酸氢二钠，分析纯试剂，国药集团化学试剂上海有限公司；4-硝基苯-α-D-吡喃葡萄糖苷（4-nitrophenyl-α-D-glucopyranoside, PNPG），北京索莱宝科技有限公司；α-葡萄糖苷酶（α-Glucosidase），Sigma 公司。

### 1.2 仪器与设备

AB204-N 型电子天平，艾科仪器设备有限公司；HH-6 智能数显恒温水浴锅，上海越众仪器设备有限公司；DF-1 集热式磁力恒温搅拌器，金坛市江南仪器厂；TGL-16 台式高速冷冻离心机，浙江明德仪器有限公司；XD-2000B 型旋转蒸发器，上海贤德实验仪

器有限公司；UV-4800 紫外可见分光光度仪，尤尼柯（上海）仪器有限公司。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 姜汁的制备

选取 5 个不同产地所产鲜姜洗净后切成小块状，用榨汁机榨汁，先用纱布粗滤，再经离心机离心分离（6000 r/min, 15 min），取上清液经 0.45 μm 滤膜过滤后，按照单位体积所含鲜姜质量，依次配成 0.125、0.25、0.5、1.0、1.5 g/mL 5 个不同的浓度，冷藏备用。

#### 1.3.2 不同品种及浓度姜汁对 α-葡萄糖苷酶抑制活性测定

α-葡萄糖苷酶抑制活性测定参考沈佳奇等<sup>[11]</sup>的方法，略作修改，具体如下：准确移取 0.01 mol/L PBS 缓冲液 0.4 mL，样品组和背景组加入不同浓度的生姜汁 0.4 mL，样品组和阴性组加入 0.3 U/mL α-葡萄糖苷酶溶液 0.4 mL，振荡均匀后于 37 °C 恒温保存 5 min，样品组、背景组和阴性组加入 2.5 mmol/L PNPG 溶液 0.4 mL，于 37 °C 反应 30 min 后加 1.6 mL 0.2 mol/L Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 溶液终止反应，以 PBS 缓冲液为空白对照，于 405 nm 处测定吸光度，每组重复 3 次，按照公式

(1) 计算姜汁样品对 α-葡萄糖苷酶的抑制率：

$$\alpha\text{-葡萄糖苷酶抑制率}/\% = \frac{1 - (OD_{\text{样品}} - OD_{\text{背景}})}{(OD_{\text{阴性}} - OD_{\text{空白}})} \times 100\%$$

式中：

OD<sub>背景</sub>——未加 α-葡萄糖苷酶溶液吸光值；

OD<sub>阴性</sub>——未加姜汁的吸光值；

OD<sub>空白</sub>——不加姜汁和酶溶液的吸光值，体积不足部分加等体积缓冲液。

#### 1.3.3 自然存放与热处理后姜汁对 α-葡萄糖苷酶抑制活性测定

选择浓度为 1.5 g/mL 的山东临沂大姜姜汁为研究对象，在室温（25 °C）和 5 °C 的温度条件下存放 0、1、2、3、4、5 d 后，依次分别取样测定存放过程的姜汁对 α-葡萄糖苷酶活性抑制率；以存放 5 d 后的姜汁为试材，在 50、70、100 °C 分别加热 10、30、60、120、240、300 min，依次分别取样冷却后，参照试验方法 1.3.1 开展对 α-葡萄糖苷酶抑制活性的测定，每组重复 3 次，计算姜汁对 α-葡萄糖苷酶活性的抑制率。

#### 1.3.4 不同分子量大小姜汁组对 α-葡萄糖苷酶抑制活性测定

对浓度为 1.5 g/mL 的山东临沂大姜姜汁分别采用 3 ku 和 10 ku 的超滤膜进行超滤，将姜汁按照分子量（Mw）大小分为三类：Mw ≥ 10 ku、Mw 在 3~10 ku 之间、Mw ≤ 3 ku。按照试验方法 1.3.1 测定并计算不同

分子量大小的姜汁对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性的抑制率。

### 1.3.5 姜汁对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制作用的动力学分析

利用 PBS 缓冲液分别配制浓度为 0、0.5、1.5 g/mL 山东临沂大姜姜汁，设定底物 PNPG 的浓度为 2.5 mmol/mL，设置检测的时间间隔为 1 min，分析不同  $\alpha$ -葡萄糖苷酶浓度下（0.1、0.2、0.3、0.4、0.5 U/mL）的酶促反应速率（反应速率则为吸光度的差值  $\Delta OD$  值与时间  $t$  的比值）。绘制  $\alpha$ -葡萄糖苷酶浓度与酶促反应速率的关系曲线，判断抑制作用的可逆性。

设定  $\alpha$ -葡萄糖苷酶浓度为 0.3 U/mL，分别测定不同浓度姜汁（0、0.5、1.5 g/mL），在不同浓度底物 PNPG（0.075、0.15、0.3、0.625、1.25、2.50 mmol/mL）作用下的酶促反应速率，以  $1/PNPG$  与  $1/V$  为横纵坐标，按 Lineweaver-Burk 方程绘制曲线，确定抑制作用类型。

### 1.3.6 姜汁对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶紫外-可见光吸收光谱的影响

分别准确移取一定量 0.075 g/mL 姜汁、0.075 g/mL 姜汁经超滤后分子量 < 3 ku 的组分、0.075 g/mL 姜汁经超滤后分子量 > 10 ku 的组分、0.075 g/mL 姜汁经超滤后 3 ku < 分子量 < 10 ku 的组分、0.3 U/mL  $\alpha$ -葡萄糖苷酶、0.15 g/mL 姜汁、0.3 U/mL  $\alpha$ -葡萄糖苷酶与等体积浓度分别为 0.15、0.3、0.75、1.5 g/mL 的姜汁混合（放置 5 min 后），在 190~800 nm 波长处的扫描分析紫外-可见光吸收光谱（以 PBS 缓冲溶液作为参比调节基线，扫描分析均为山东临沂大姜姜汁）。

### 1.3.7 数据分析

应用 Origin 2018 软件进行数据统计、分析与作图。

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同品种及浓度姜汁对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制作用结果

由图 1 可知，5 个不同产地姜汁对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶都有不同程度的抑制作用，其对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性的抑制效率具有明显的地域或品种差异性，总体来看，山东临沂大姜姜汁对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性的抑制率最高，当姜汁浓度为 1.5 g/mL 时，其抑制率可达到 73.38%。同时姜汁的浓度显著影响对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性的抑制率，对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性的抑制率与姜汁的浓度呈正相关，随着姜汁浓度的增加，其对酶活性抑制率显著增加，如山东临沂大姜姜汁当浓度从 0.125 g/mL 增加至 1.5 g/mL，其对酶活性的抑制率从 3.91%

提高到 73.38%。而在不同浓度层面，不同产地或品种姜汁对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性的抑制作用表现出不同的效果，如姜汁浓度为 0.125 g/mL 时，姜汁对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性的抑制效果为：云南文山小黄姜 > 山东临沂大姜 > 四川自贡小黄姜 > 湖北恩施凤头姜 > 贵州镇宁小黄姜；而当姜汁浓度为 1.5 g/mL 时，姜汁对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性的抑制效果为：山东临沂大姜 > 云南文山小黄姜 > 湖北恩施凤头姜 > 四川自贡小黄姜 > 贵州镇宁小黄姜。这可能与不同产地或品种的生姜中具有抑制酶活性的化学成分的含量及其在不同浓度下的存在形态有关<sup>[9,12]</sup>。

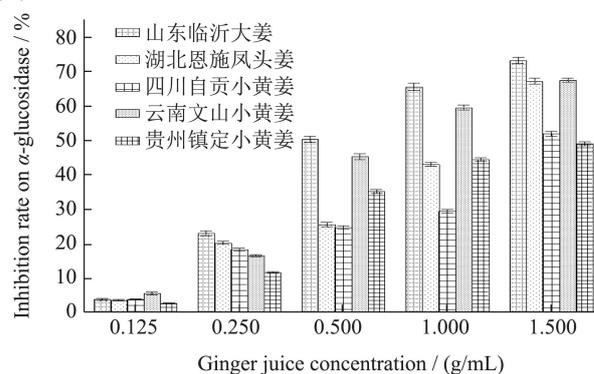


图 1 不同产地/品种、不同浓度生姜汁对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制率

Fig.1 Inhibition rate of ginger juice of different concentration and different varieties on  $\alpha$ -glucosidase

### 2.2 姜汁对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制作用的动力学分析

在不同浓度姜汁（山东临沂大姜）的抑制作用下，分别在改变酶浓度（底物 PNPG 浓度不变）和改变底物 PNPG 浓度（酶浓度不变）的条件下测定姜汁抑制酶活性反应体系中的酶促反应速率，以  $\alpha$ -葡萄糖苷酶的浓度为横轴，以酶促反应速率为纵轴作图 2a，图 2a 显示酶促反应速率随着酶浓度的变化呈现线性拟合关系，随着姜汁浓度的增加，酶促反应速率呈现降低趋势，符合可逆抑制反应的特征，因此可以判断姜汁对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶的抑制作用具有可逆性。以不同底物 PNPG 的浓度为横坐标，以酶促反应速率为纵坐标作图 2b，在酶浓度不变的条件下，酶促反应速率与姜汁浓度和底物 PNPG 的浓度呈正相关。利用底物浓度与酶促反应速率的双倒数作曲线，见图 3，发现不同浓度姜汁对应的拟合线性曲线均交于 Y 轴的同一点，表明随姜汁浓度的变化，其曲线斜率随浓度增加而减小，但抑制酶活性反应的最大速率保持不变，由此判断姜汁在抑制  $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性反应体系中的抑制作用为可逆的竞争性抑制。

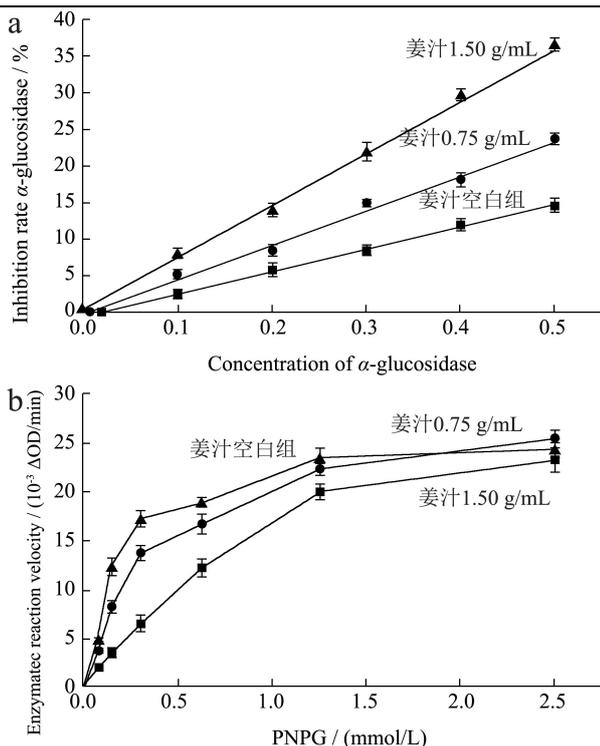


图2 a:  $\alpha$ -葡萄糖苷酶与酶促反应速率关系线性拟合曲线; b: 底物PNPG不同浓度条件下酶促反应速率

Fig.2 a: Linear fitting curve of  $\alpha$ -glucosidase and enzymatic reaction velocity; b: Enzymatic reaction velocity of substrate PNPG at different concentrations

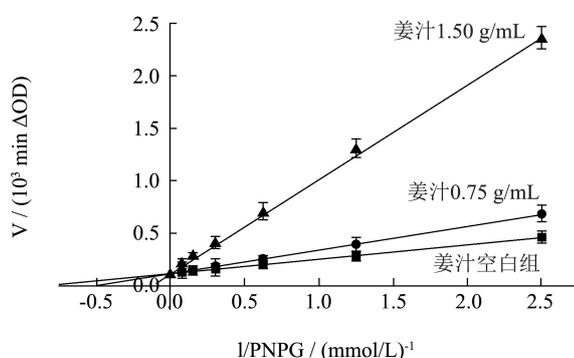


图3 姜汁抑制  $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性的 Lineweaver-Burk 曲线  
Fig.3 Lineweaver-burk curve of inhibition of ginger juice on  $\alpha$ -glucosidase activities

生姜对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性具有强烈的抑制作用, 刘富月等<sup>[8]</sup>研究 34 个不同产地的生姜提取物对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性的抑制效果, 发现云南罗平小黄姜乙醇提取物的抑制率最高, 动力学实验表明小黄姜乙醇提取物对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制作用是可逆非竞争性抑制<sup>[12]</sup>, 本文在研究姜汁  $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性抑制过程中也发现姜汁对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性抑制作用具有品种或产地及浓度差异性, 但姜汁对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性抑制作用表现为可逆竞争性抑制, 可能姜汁中对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性发挥抑制作用的主要活性成分不同于小黄姜的乙醇

提取物, 因而导致抑制酶活性的机制存在差别。

### 2.3 贮藏过程中姜汁对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制作用

以浓度为 1.5 g/mL 山东大姜鲜姜汁为研究对象, 分别测定在室温 25 °C 和低温 5 °C 条件下存放过程姜汁对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性抑制作用动态变化, 贮藏过程中姜汁对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性的抑制率见图 4a。结果表明姜汁对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性的抑制率呈显著下降趋势, 5 °C 存放姜汁的酶活性抑制率从 71.32% 降为 30.69%, 25 °C 存放姜汁的酶活性抑制率从 72.27% 降为 32.61%, 同时其对酶活性抑制率的下降也受存放温度的影响, 低温 5 °C 存放姜汁的酶活性抑制率下降速率 (存放 3 d 后抑制率为 33.17%, 仅为初期抑制率的 46.5%) 要高于室温 25 °C 存放的姜汁。可能与低温条件下姜汁中含有丰富的蛋白质和多酚等类等有关, 蛋白质在低温下空间结构会发生变化, 会促进其他物质与之相互作用, 更容易发生缔合作用<sup>[13]</sup>。

### 2.4 热处理条件下姜汁对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制作用

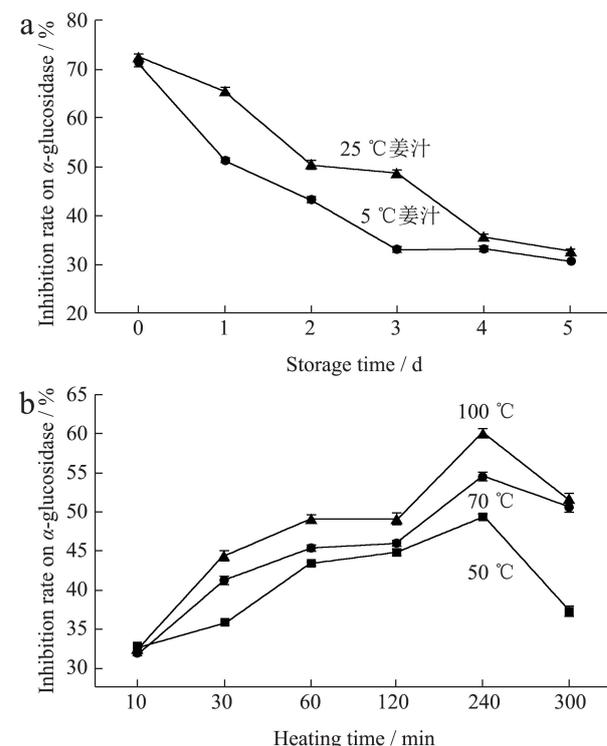


图4 a: 贮藏过程姜汁对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制率; b: 经过热处理后山东大姜姜汁对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制率

Fig.4 a: Inhibition rate of Shandong big ginger juice on  $\alpha$ -glucosidase during storage; b: Inhibition rate of ginger juice on  $\alpha$ -glucosidase after heat treatment

将浓度为 1.5 g/mL 的山东临沂大姜鲜姜汁在低温

下经过 5 d 的贮存后, 分别在 50、70、100 °C 条件下进行热处理, 测定热处理过程中姜汁对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性抑制率, 结果见图 4b。结果显示, 当贮存后的姜汁经过 50、70、100 °C 热处理后, 姜汁对酶活性的抑制率快速增加, 温度越高增速越快, 热处理 4 h 后对酶活性的抑制率达到最高, 100 °C 条件下加热 4 h 后姜汁对酶活性的抑制率接近恢复至鲜姜汁的水平, 达到 60.11%, 而热处理 4 h 后, 姜汁对酶活性的抑制率开始显著下降。

姜汁中活性物质含量丰富, 无论在室温还是低温条件下贮藏姜汁常表现为易褐化、产生絮状沉淀等现象, 而经过存放后的姜汁对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性的抑制作用显著下降, 可能与姜汁贮藏过程具有抑酶活性的物质与姜汁中的大分子如蛋白类等发生缔合作用有关, 缔合作用的发生会制约其对酶的抑制活性, 而存放后的姜汁经过热处理抑酶活性显著提高, 说明抑酶活性物质缔合作用的产物不稳定, 通过热处理有助于解络合作用的发生<sup>[13]</sup>。

## 2.5 不同分子量姜汁组分对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制作用

制作用

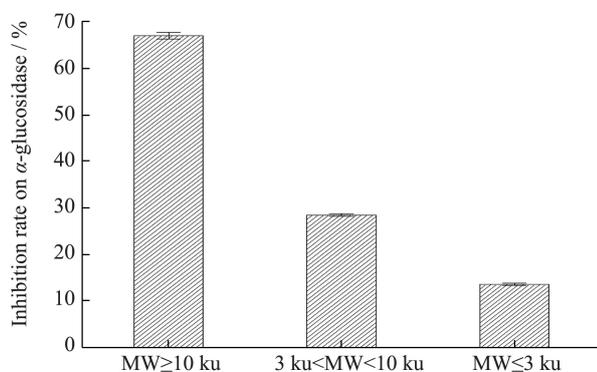


图 5 不同分子量姜汁组分对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶的抑制率

Fig.5 Inhibition rate of different molecular weight fractions of ginger juice on  $\alpha$ -glucosidase

注: Mw: 分子量。

采用超滤膜分离的方法对同一浓度的姜汁(山东临沂大姜姜汁, 浓度为 1.5 g/mL)按照分子量进行分级, 依次分为 Mw  $\geq$  10 ku、Mw 在 3 ku~10 ku 之间和 Mw  $\leq$  3 ku, 分别测定其对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性抑制率(图 5)。由图 5 可知, Mw  $\geq$  10 ku 的姜汁组分对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性抑制效果最好, 最高可以达到 67.16%, 而 Mw  $\leq$  3 ku 的姜汁组分对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性抑制效果较差, 抑制率仅为 13.65%。Mw 在 3~10 ku 之间的姜汁组分对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性抑制效果在上述二者之间, 抑制率为 28.62%。结果表明姜汁中发挥抑制酶活

性的物质主要集中在 Mw  $\geq$  10 ku 组分中。

## 2.6 不同分子量姜汁紫外-可见光谱分析

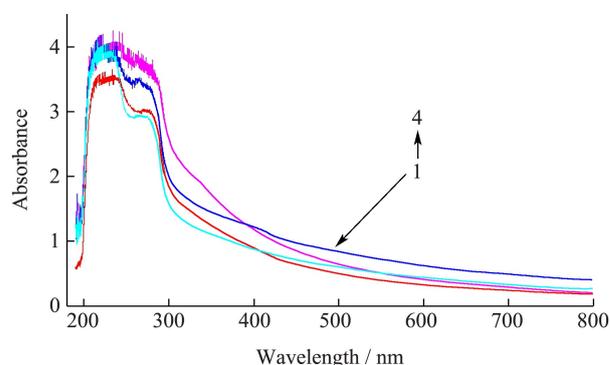


图 6 0.075 g/mL 姜汁及其超滤组分的紫外-可见吸收光谱

Fig.6 UV-visible spectra of ginger juice with a concentration of 0.075 g/mL and its ultrafiltration components

注: 1~4 从下向上分别为 0.075 g/mL 姜汁、0.075 g/mL 姜汁经超滤后 Mw  $\leq$  3 ku 的组分、0.075 g/mL 姜汁经超滤后 Mw  $\geq$  10 ku 的组分、0.075 g/mL 姜汁经超滤后 3 ku < Mw < 10 ku 的组分。

对浓度为 0.075 g/mL 的姜汁及其超滤组分 (Mw  $\leq$  3 ku、Mw  $\geq$  10 ku、3 ku < Mw < 10 ku) 分别进行紫外可见光谱扫描, 结果如图 6 所示。由图 6 的光谱图可知, 姜汁及其超滤组分在波长 200~240、240~260、260~280 及 390~420 nm 等处均有显著的吸收峰, 说明姜汁中含有核酸、蛋白质等有机物。在波长 220~240 nm 处, 姜汁超滤组分的吸收峰显著高于原姜汁, 说明经过超滤后姜汁中在此波段有吸收峰的物质浓度显著提高; 在波长 240~260、260~280 nm 处, 超滤组分吸收峰与分子量呈正相关, 与原姜汁相比, 超滤后姜汁 Mw  $\geq$  10 ku 组分和 3 ku < Mw < 10 ku 组分中在此波段有吸收峰的物质浓度显著提高, 姜汁 Mw  $\leq$  3 ku 组分中在此波段有吸收峰的物质浓度略有降低。

## 2.7 姜汁对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶紫外-可见吸收光谱

的影响分析

图 7 为不同浓度的姜汁与  $\alpha$ -葡萄糖苷酶相互作用后的紫外-可见吸收光谱。 $\alpha$ -葡萄糖苷酶在 220 nm 处有最大吸收峰, 不同浓度姜汁 (0.15、0.3 g/mL) 在 220~280 nm 处均有较大吸收峰, 0.15 g/mL 姜汁、0.3 g/mL 姜汁与 0.3 U/mL  $\alpha$ -葡萄糖苷酶混合后, 虽然  $\alpha$ -葡萄糖苷酶的吸收峰不显著, 但是与单纯的姜汁的吸收光谱相比, 姜汁与  $\alpha$ -葡萄糖苷酶的混合液在 240~260 nm 和 260~280 nm 处的吸光值明显降低, 在其他可见光波段处混合液的吸光值也表现为显著降低。

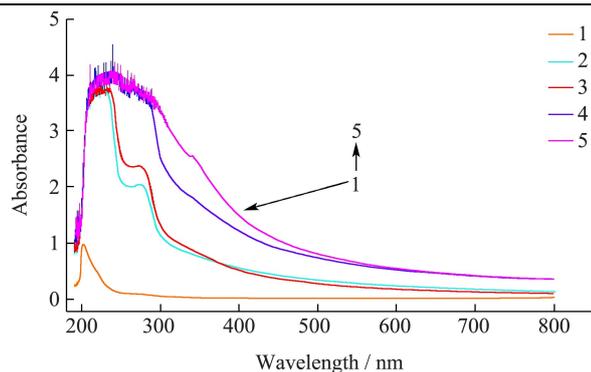


图7 不同浓度姜汁与  $\alpha$ -葡萄糖苷酶相互作用的紫外-可见吸收光谱

Fig.7 UV-visible spectra of  $\alpha$ -glucosidase in ginger juice with different concentrations

注: 1~5 从下向上, 分别为 0.3 U/mL  $\alpha$ -葡萄糖苷酶、0.3 U/mL  $\alpha$ -葡萄糖苷酶+0.15 g/mL 姜汁、0.3 U/mL  $\alpha$ -葡萄糖苷酶+0.3 g/mL 姜汁、0.15 g/mL 姜汁、0.3 g/mL 姜汁。

生姜对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性的抑制作用源于生姜的活性成分。生姜不同溶剂的粗提取物对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性的抑制率不同, 其中乙醇提取物的抑制率最高<sup>[12]</sup>。进一步的研究表明, 生姜中具有降糖活性的物质主要有黄酮<sup>[14]</sup>、姜辣素<sup>[15]</sup>和生姜多糖<sup>[3]</sup>等物质, 本研究姜汁在与  $\alpha$ -葡萄糖苷酶互作的体系中, 发现姜汁在紫外吸收光谱 240~280 nm 波段处, 吸光值显著降低, 说明姜汁中的核酸、蛋白酶、酚类氧化酶等物质可能参与了对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性的抑制作用。在多种有机物同时存在的分子体系中, 有机物间极易通过分子自组装或分子拼接等方式, 形成新物质<sup>[16]</sup>。姜汁活性成分是否通过分子拼接等方式发挥对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性的抑制作用尚待进一步研究。

### 3 结论

3.1 姜汁对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性具有显著的抑制作用, 浓度越高抑制效果越好, 5 个不同产地生姜汁的抑酶效果显示, 山东大姜姜汁对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性的抑制效果最好;

3.2 经过贮藏后姜汁的抑酶活性显著降低, 对贮藏后的姜汁进行热处理可以显著提高  $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性的抑制效果;

3.3 超滤膜分离结果表明, 姜汁中发挥抑制酶活性的物质主要集中在  $M_w \geq 10$  ku 组分中;

3.4 通过姜汁与  $\alpha$ -葡萄糖苷酶的紫外可见吸收光谱分析发现, 姜汁在紫外吸收光谱 240~280 nm 波段处, 吸光值显著降低, 说明姜汁中在 240~280 nm 处有吸收峰的物质参与了对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性的抑制作用。

### 参考文献

- [1] Ravindran P N, Babu K. Ginger: the genus zingiber [D]. Florida: CRC Press, 2016
- [2] Menon V, Elgharib M, El-awady R, et al. Ginger: from serving table to salient therapy [J]. Food Bioscience, 2021, 41: 100934
- [3] Chen X H, Wang Z R, Kan J Q. Polysaccharides from ginger stems and leaves: effects of dual and triple frequency ultrasound assisted extraction on structural characteristics and biological activities [J]. Food Bioscience, 2021, 42: 101166
- [4] 廖尚炬. 生姜浓缩汁加工技术的研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2019
- [5] LIAO Shangju. Study on processing technology of concentrated ginger juice [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2019
- [5] Mao Q Q, Xu X Y, Cao S Y, et al. Bioactive compounds and bioactivities of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) [J]. Foods, 2019, 8(6): 185
- [6] Jafarzadeh A, Nemati M. Therapeutic potentials of ginger for treatment of multiple sclerosis: a review with emphasis on its immunomodulatory, anti-inflammatory and anti-oxidative properties [J]. Journal of Neuroimmunology, 2018, 324: 54-75
- [7] Nikkha B, Bodagh M, Maleki I, Hekmatdoost A. Ginger in gastrointestinal disorders: a systematic review of clinical trials [J]. Food Science Nutrition, 2018, 7(1): 96-108
- [8] 刘富月. 生姜中降血糖物质的初步筛选[D]. 泰安: 山东农业大学, 2015
- [9] LIU Fuyue. Preliminary screening of hypoglycemic substances in ginger [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2015
- [9] Venkateswaran M, Jayabal S, Hemaiswarya S, et al. Polyphenol-rich Indian ginger cultivars ameliorate GLUT<sub>4</sub> activity in C<sub>2</sub>C<sub>12</sub> cells, inhibit diabetes-related enzymes and LPS-induced inflammation: an *in vitro* study [J]. Journal of Food Biochemistry, 2021, 45(2): e13600
- [10] 秦跃奇, 高海燕, 孟可心, 等. 生姜汁对牛肉持水力效果的研究[J]. 河南科技学院学报(自然科学版), 2020, 48(2): 37-43
- [10] QIN Yueqi, GAO Haiyan, MENG Kexin, et al. Study on water retention effect of ginger juice on beef [J]. Journal of Henan Institute of Science and Technology (Natural Science Edition), 2020, 48(2): 37-43

(下转第 89 页)