

# 辣椒不同极性 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂的抗氧化性能

李妍妍<sup>1</sup>, 叶春杰<sup>2</sup>, 李春英<sup>1</sup>, 申爱民<sup>3</sup>, 吴哲雄<sup>4</sup>

(1. 河南农业大学食品科技学院 郑州 450002; 2. 郑州科技学院 郑州 450064;  
3. 郑州市农业科技研究院 郑州 450015; 4. 江西绿领农业科技有限公司 江西乐平 333300)

**摘要:** 为了探索辣椒不同极性  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂的抗氧化性能, 以辣椒果粉和叶粉为原料, 分别制备  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂的提取液, 并进行多极性分级萃取, 检测其体外抗氧化性能以及总多酚含量(TPC)、总黄酮含量(TFC), 并进行相关性分析。结果表明, 辣椒果实水相萃取液的抗氧化活性和 TPC 均最高, 且随着极性的下降呈现显著递减趋势; 叶提取液的  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性较果实高近 3 倍, 而 TPC 和 TFC 分别低于果实约 27% 和 23%。相关性分析结果显示, 果实中  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制能力(IC<sub>50</sub> 值)与 TPC 呈显著负相关, 但与 TFC 和总抗氧化能力(FRAP)无显著相关性。研究结果为辣椒的功能产品开发及降糖辣椒的育种提供了重要的理论支持。

**关键词:** 辣椒; 不同器官; 不同极性;  $\alpha$ -葡萄糖苷酶; 抗氧化

中图分类号: S641.3 文献标志码: A 文章编号: 1673-2871(2026)05-155-06

## Antioxidant property of different polar $\alpha$ -glucosidase inhibitors in pepper

LI Yanyan<sup>1</sup>, YE Chunjie<sup>2</sup>, LI Chunying<sup>1</sup>, SHEN Aimin<sup>3</sup>, WU Zhexiong<sup>4</sup>

(1. College of Food Science and Technology, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, Henan, China; 2. Zhengzhou University of Science and Technology, Zhengzhou 450064, Henan, China; 3. Zhengzhou Agricultural Science and Technology Research Institute, Zhengzhou 450015, Henan, China; 4. Jiangxi Green Collar Agricultural Technology Co., Ltd., Leping 333300, Jiangxi, China)

**Abstract:** To investigate the antioxidant properties of polar  $\alpha$ -glucosidase inhibitors with different polarities in pepper, this study used pepper fruit and leaf powders as raw materials to prepare extracts containing  $\alpha$ -glucosidase inhibitors. These extracts were subjected to multi-polarity fractional extraction, and their *in vitro* antioxidant activity, total phenolic content (TPC), and total flavonoid content (TFC) were measured, followed by correlation analysis. The results showed that the water fraction exhibited the highest antioxidant activity and TPC, both of which showed a significant decreasing trend as polarity decreased. The  $\alpha$ -glucosidase inhibitory activity of the leaf extract was nearly 3 times higher than that of the fruit extract, whereas its TPC and TFC were approximately 27% and 23% lower than those of the fruit extract, respectively. Correlation analysis revealed that the  $\alpha$ -glucosidase activity (IC<sub>50</sub> value) in the fruit was negatively correlated with TPC, but showed no significant correlation with TFC or antioxidant activity. These findings provide an important theoretical basis for the development of functional pepper products and the breeding of hypoglycemic peppers varieties.

**Key words:** Pepper; Different organs; Different polar;  $\alpha$ -glucosidase; Antioxidation

辣椒(*Capsicum annuum* L.)作为全球重要的经济作物,在我国农业生产中占据重要地位。据统计,我国辣椒年产量占全球总产量的46%,常年种植面积超66.67 hm<sup>2</sup>,已成为种植面积最大的蔬菜作物<sup>[1]</sup>。近年来,随着功能性食品研究的深入,辣椒的药用价值日益受到关注。现代药理学研究证明,辣椒中富含多种生物活性物质,包括维生素C、多酚、类黄酮、辣椒素、多糖等<sup>[2-3]</sup>,这些物质赋予辣椒抗氧化、降血糖等多元生理功能<sup>[4-6]</sup>。

氧化应激是诱发癌症、糖尿病和心血管疾病的关键因素<sup>[7]</sup>。辣椒中的多糖、多酚、黄酮等活性成分已被证实具有显著的抗氧化作用<sup>[8-10]</sup>,而辣椒叶的抗氧化能力以多酚为主要载体,且多酚以酯化态为主<sup>[11-12]</sup>。在降血糖活性方面,自1980年首次报道<sup>[13]</sup>辣椒提取物的降血糖作用以来,相关研究不断深入。Magana-Barajas等<sup>[14]</sup>发现,辣椒果实乙醇提取物可通过抑制 $\alpha$ -淀粉酶和 $\alpha$ -葡萄糖苷酶发挥降血糖作用,其主要活性成分为辣椒素类物质。除了辣

收稿日期: 2025-02-28; 修回日期: 2025-11-05

基金项目: 鸡泽县绿色循环优质高效特色农业促进项目(30801735); 横向科研项目(30801249, 30801406)

作者简介: 李妍妍,女,在读硕士研究生,研究方向为天然产物生理活性。E-mail: 3113467656@qq.com

通信作者: 李春英,女,副教授,主要从事天然产物生理活性及农副产品综合利用研究。E-mail: 1789948048@qq.com

椒素,辣椒中的亲脂性黄酮类化合物(如槲皮素、木犀草素、山奈酚及其衍生物)也具有较好的 $\alpha$ -淀粉酶抑制活性<sup>[15]</sup>。通过分子试验证实,辣椒中的咖啡酸、阿魏酸、儿茶素、槲皮素能特异性结合 $\alpha$ -淀粉酶活性位点并起抑制作用<sup>[16-17]</sup>,而槲皮素已被证明具有较好的 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性<sup>[15]</sup>。目前,辣椒中除辣椒素外的降血糖成分研究较少,尤其辣椒叶方面的研究更少,且相关活性组分特性的系统解析尚未见报道。

笔者研究团队在前期研究中证实,辣椒作为常见蔬菜具有较好的降血糖功效,并发现辣椒叶的 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制能力极显著高于果实<sup>[18]</sup>。为了解析辣椒不同器官 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂的成分特性,笔者以辣椒果实和叶片为原料,提取 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂,通过正己烷、乙酸乙酯和正丁醇等溶剂分级萃取,获得不同极性的 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂,通过对不同极性萃取液的抗氧化活性、总多酚含量(TPC)、总黄酮含量(TFC)进行分析,为进一步研究与开发辣椒提供理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

试验于2024年8—12月在河南农业大学食品科学技术学院实验室进行。辣椒样品于2024年8月采自吉林省延边朝阳川辣椒种植基地。采收后置于通风阴凉处,除去田间热后带回实验室并置于 $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 备用。

### 1.2 方法

1.2.1 样品预处理 新鲜样品经 $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 速冻后,采用真空冷冻干燥机冻干72 h至恒质量。冻干样品经粉碎机研磨后过0.18 mm筛,制成样品干燥粉,并分装于密封袋中,于 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 保存备用。

1.2.2 粗提液制备 按照前期优化后的工艺准确称取辣椒果粉,按料液比1:20( $\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ )加入蒸馏水,在 $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下超声(240 W, 40 kHz)提取2次,每次20 min。 $4000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 离心15 min,收集上清液,即得辣椒果实粗提液。

准确称取辣椒叶粉,按料液比1:20( $\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ )加入40%的乙醇溶液,于 $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下浸提(每隔10 min摇晃10 s)2次,每次2 h。在 $4000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 离心15 min,收集上清液,即得辣椒叶粗提液。

1.2.3 分级萃取 将上述粗提取液分别于 $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 减压浓缩至原体积的1/5,经均质处理后转入分液漏斗,进行萃取。加入等体积正己烷,振荡5 min,静

置,待溶液完全分层后,收集下层水相,重复萃取1次。合并2次正己烷萃取相,减压浓缩干燥,用10%乙醇溶液(含1%二甲基亚砷)溶解, $12\,000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 离心10 min,收集上清液作为正己烷相。水相依次用等体积乙酸乙酯、水饱和正丁醇重复上述萃取步骤,分别获得乙酸乙酯相(中等极性组分)、正丁醇相(极性组分)、剩余水相(高极性组分)等不同极性的 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂萃取液。

各极性萃取液用 $0.1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 磷酸钾缓冲液(KPB, pH 7.0)配制成 $25\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的储备液, $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 保存备用。

1.2.4 生物活性测定  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性(AGI)测定采用酶标仪法<sup>[19]</sup>;DPPH自由基清除率和ABTS自由基清除率测定采用GB/T 39100—2020法<sup>[20]</sup>;—OH自由基清除率和总抗氧化能力(FRAP)测定参照王鹏等<sup>[21]</sup>的方法。

1.2.5 活性成分含量测定 采用Folin-Ciocalteu比色法测定总酚含量(TPC)<sup>[22]</sup>,于760 nm处测定吸光度,建立没食子酸(GAE)标准曲线,获得回归方程为 $y=1.6766x+0.0071(R^2=0.9990)$ ,TPC以1 g干样品粉中没食子酸当量表示( $\text{mg GAE}\cdot\text{g}^{-1}$ );采用亚硝酸钠-硝酸铝显色法测定总黄酮含量(TFC)<sup>[23]</sup>,于510 nm处测定吸光度,建立芦丁(RE)标准曲线,获得回归方程 $y=1.887x+0.0025(R^2=0.9996)$ ,TFC以1 g干样品粉中芦丁当量表示( $\text{mg RE}\cdot\text{g}^{-1}$ )。

### 1.3 数据分析

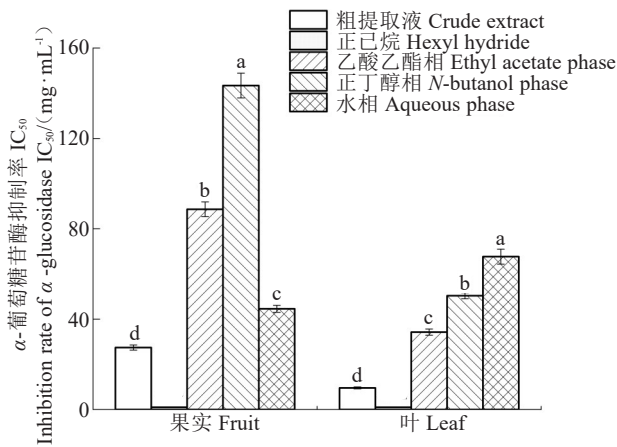
采用IBM SPSS Statistics 25.0进行单因素方差分析(ANOVA),采用Duncan多重比较检验组间差异。利用Origin 2022进行Pearson相关性分析和主成分分析(PCA),并绘制相关图表。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同极性萃取液的 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制能力

辣椒果和叶不同极性 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂萃取液的酶抑制能力如图1所示。

对于辣椒果,不同极性萃取液的 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制能力呈显著差异。具体活性高低排序为:粗提液( $\text{IC}_{50}=27.43\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ )>水相( $44.58\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ )>乙酸乙酯相( $88.66\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ )>正丁醇相( $143.38\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ ),而正己烷相则未检测到活性。在各处理中,水相呈现出最强的抑制效果,其 $\text{IC}_{50}$ 值较乙酸乙酯相低49.72%,表明辣椒果 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂主要倾向于高极性,如多糖、酚酸、黄酮苷等。此外,粗提液的抑制活性显著高于水相,这一



注:不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著,无数据表示未检出。下同。

Note: Different lowercase letters shows significant difference at 0.05 level. No data indicated not detected. The same below.

图1 辣椒果和叶不同极性萃取液的 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制能力  
Fig. 1  $\alpha$ -glucosidase inhibitions of different polarity fractions from pepper fruits and leaves

结果表明,粗提取液中可能存在多极性 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂相互协同、共同增效的作用机制。

辣椒叶则表现出不同的活性分布模式:粗提液( $9.56 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ )>乙酸乙酯相( $34.26 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ )>正丁醇相( $50.37 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ )>水相( $67.68 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ ),同样正己烷相未检测到活性。乙酸乙酯相呈现出最强的抑制能力,其 $\text{IC}_{50}$ 值较正丁醇相低 31.98%,说明辣椒叶的 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂主要为中等极性,如黄酮苷元等。与辣椒果类似,粗提液的抑制活性显著高于乙酸乙酯相,进一步证实了粗提液中可能存在多极性 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂的协同效应。

综上所述,辣椒不同器官(果实和叶片)的 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂特性不同,富集的量也不相同,因此,在实际应用中,建议直接使用粗提液,以保留完整的抑制剂,避免萃取过程中分离而降低总活性。

### 2.2 不同极性 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂的抗氧化能力

辣椒不同器官的多极性 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂的抗氧化能力如图2所示。

由图2可知,辣椒果实和叶各极性的 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂表现出显著的抗氧化性能差异。果实和叶 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂均在水相表现出最高的DPPH、ABTS、 $-\text{OH}$ 自由基清除率和最高的FRAP

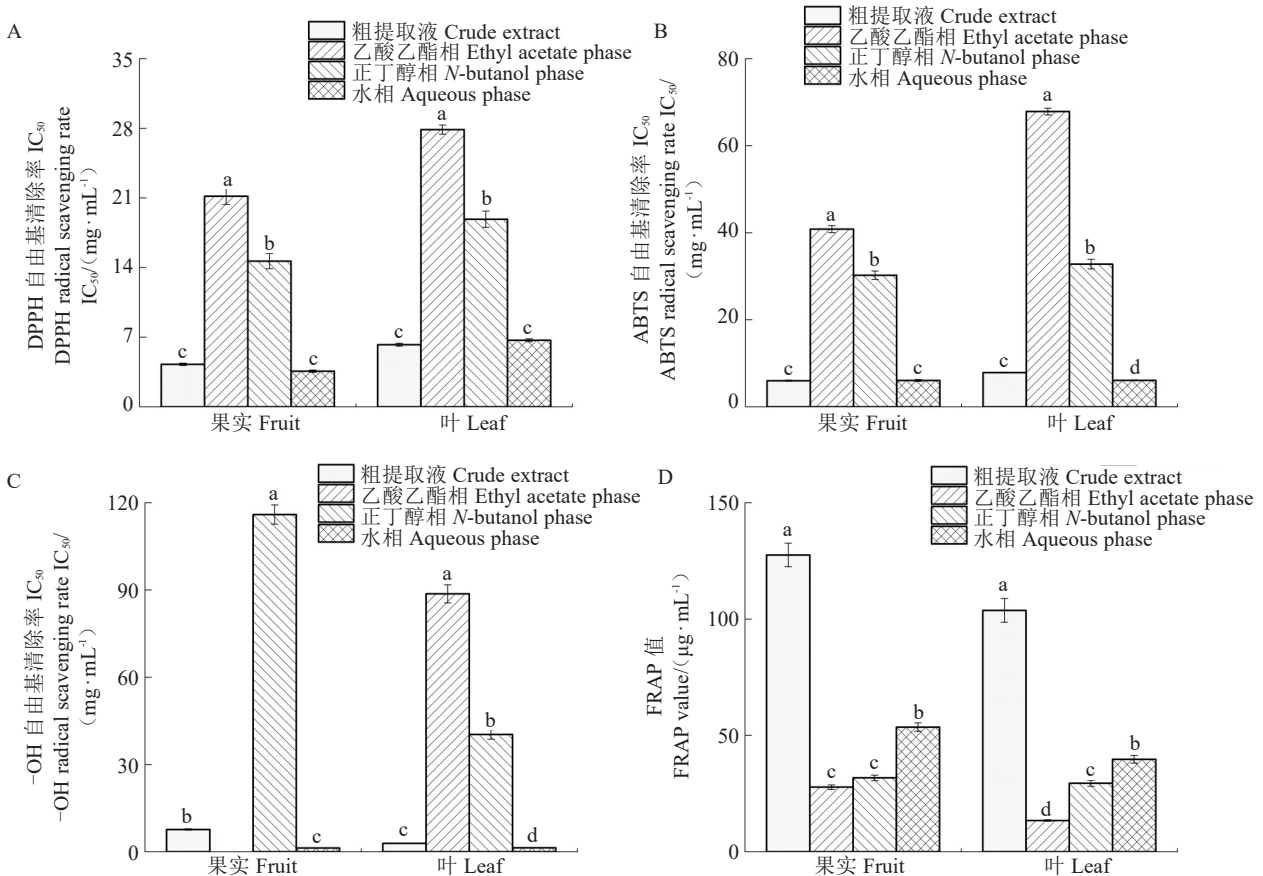


图2 辣椒果和叶不同极性萃取液的DPPH、ABTS、 $-\text{OH}$ 自由基清除率和FRAP值  
Fig. 2 DPPH, ABTS,  $-\text{OH}$  radical scavenging rate and FRAP value of different polarity fractions from pepper fruits and leaves

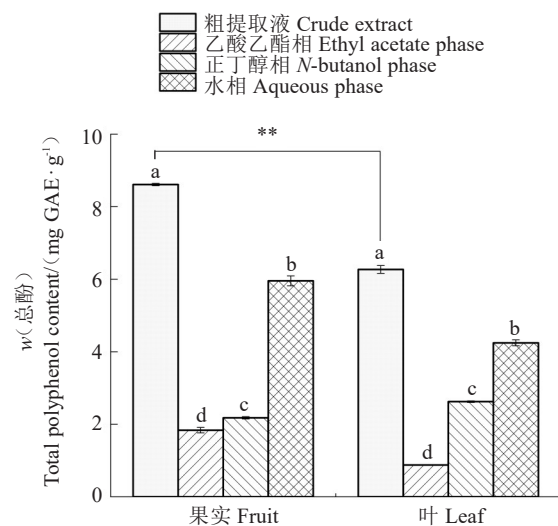
值(总抗氧化能力),随着极性的降低,抗氧化能力呈现显著递减趋势。在清除 DPPH 和 ABTS 自由基上,水相与粗提液的活性无显著差异,均为最高。由此可知,辣椒的  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂兼具清除 DPPH 和 ABTS 自由基的能力,而-OH 自由基清除能力和总抗氧化能力是由多极性  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂协同作用的结果。

### 2.3 不同极性萃取液的 TPC 和 TFC

2.3.1 不同极性萃取液的 TPC 植物抗氧化活性与其所含的多酚类及黄酮类物质的含量密切相关。而植物多酚和黄酮类化合物具有  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性。辣椒果和叶提取物的不同极性萃取液的 TPC 如图 3 所示。

由图 3 可知,辣椒果和叶  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂提取液的 TPC 均呈现粗提液>水相>正丁醇相>乙酸乙酯相的分布规律。萃取后剩余水相中保留了 68% 以上的 TPC,显著高于其他萃取相,并随着极性的降低 TPC 显著减少。比较而言,辣椒果  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂粗提液中 TPC( $8.61 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )极显著高于辣椒叶  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂粗提液( $6.27 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )。由此可以推测,辣椒的  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂可能是以高极性多酚类化合物为主,由不同极性多酚类化合物组合而成。

2.3.2 不同极性萃取液的 TFC 辣椒果和叶提取物的不同极性萃取液的 TFC 如图 4 所示。



注:\*\*表示在 0.01 水平差异极显著。下同。

Note: \*\* indicated extremely significant difference at 0.01 level.

The same below.

图 3 辣椒果和叶不同极性萃取液的 TPC

Fig. 3 TPC of different polarity fractions from pepper fruits and leaves

对于辣椒果,TFC 高低顺序依次为:粗提液>水相>乙酸乙酯相>正丁醇相,其中水相保留约

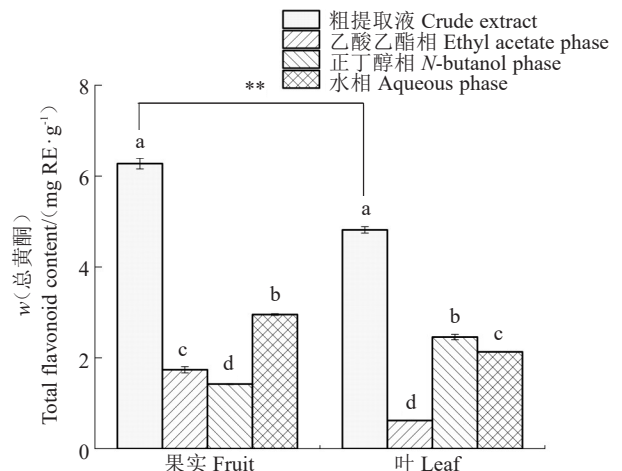


图 4 辣椒果和叶不同极性萃取液的 TFC

Fig. 4 TFC of different polarity fractions from pepper fruits and leaves.

47%,乙酸乙酯相和正丁醇相分别为 28%和 23%。对于辣椒叶,则呈现粗提液>正丁醇相>水相>乙酸乙酯相的分布模式,正丁醇相和水相分别富集了 51%和 44%的黄酮类物质,显著高于乙酸乙酯相(13%)。此外,辣椒果  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂粗提液中 TFC( $6.28 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )极显著高于辣椒叶  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂粗提液( $4.82 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )。由此可以推测,辣椒  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂是由不同极性黄酮类化合物组合而成的,其中,辣椒果  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂的 47%是由高极性黄酮类化合物构成的。

### 2.4 相关性分析

由表 1 可知,辣椒果  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制作用的  $\text{IC}_{50}$  值与 TPC 呈显著负相关,表明高极性 TPC 富集越多时, $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性越高。除此之外,DPPH 自由基清除能力与 ABTS 自由基清除能力呈完全正相关,这表明高极性组分中清除 DPPH 自由基和 ABTS 自由基的抗氧化物质极有可能是同一类或者具有高度相似性成分。FRAP 值与 TFC 呈极显著正相关,与 TPC 呈显著正相关,而 TPC 与 TFC 呈极显著正相关,表明辣椒果  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂提取液中的 TPC 中黄酮类化合物的含量占主导,这些黄酮类化合物具有显著的铁还原能力。综上所述,辣椒果  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性与抗氧化作用之间不存在直接的相关关系,但不排除  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂为多酚、黄酮类化合物,兼具清除自由基能力和铁还原能力。

由表 2 可知,辣椒叶  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制作用与

表1 辣椒果实相关性分析结果

Table 1 Correlation analysis results of pepper fruits

指标 Index	AGI(IC <sub>50</sub> )	DPPH(IC <sub>50</sub> )	ABTS(IC <sub>50</sub> )	-OH(IC <sub>50</sub> )	FRAP	TPC	TFC
AGI(IC <sub>50</sub> )	1						
DPPH(IC <sub>50</sub> )	0.819	1					
ABTS(IC <sub>50</sub> )	0.834	1.000**	1				
-OH(IC <sub>50</sub> )	0.657	0.675	0.691	1			
FRAP	-0.823	-0.613	-0.632	-0.720	1		
TPC	-0.900*	-0.665	-0.686	-0.824	0.954*	1	
TFC	-0.868	-0.639	-0.659	-0.703	0.996**	0.964**	1

注:\*表示在 0.05 水平显著相关;\*\*表示在 0.01 水平极显著相关。下同。

Note: \* indicate significant difference at 0.05 level; \*\* indicate extremely significant difference at 0.01 level. The same below.

抗氧化作用、TPC 以及 TFC 在统计学上均未呈现出显著的相关关系。DPPH 自由基清除能力与 ABTS 自由基清除能力呈极显著正相关,-OH 自由基清除能力的 IC<sub>50</sub> 值与 TPC 呈显著负相关,FRAP 值与 TFC 呈极显著正相关,与 TPC 呈显著正相关,TPC 与 TFC 呈显著正相关。这说明辣椒叶  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂提取物中清除 DPPH 自由基和 ABTS 自

由基的抗氧化物质可能具有相似性,并且多酚类化合物具有显著的清除-OH 自由基的能力,多酚类化合物以黄酮类化合物为主,这些黄酮类化合物具有显著的铁还原能力。综上所述,辣椒叶  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性与抗氧化作用、TPC 和 TFC 之间均不存在直接的相关关系,但不排除辣椒叶  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂为多酚、黄酮类化合物,兼具抗氧化作用。

表2 辣椒叶相关性分析

Table 2 Correlation analysis of pepper leaves

指标 Index	AGI(IC <sub>50</sub> )	DPPH(IC <sub>50</sub> )	ABTS(IC <sub>50</sub> )	-OH(IC <sub>50</sub> )	FRAP	TPC	TFC
AGI(IC <sub>50</sub> )	1						
DPPH(IC <sub>50</sub> )	0.761	1					
ABTS(IC <sub>50</sub> )	0.777	0.983**	1				
-OH(IC <sub>50</sub> )	0.420	0.744	0.612	1			
FRAP	-0.748	-0.638	-0.530	-0.795	1		
TPC	-0.644	-0.759	-0.637	-0.945*	0.947*	1	
TFC	-0.739	-0.714	-0.616	-0.844	0.967**	0.953*	1

### 3 讨论与结论

辣椒因多样化的营养特性和多种药理特性而备受消费者青睐。Tundis 等<sup>[15]</sup>在辣椒果实降血糖活性研究中发现,富含槲皮素、木犀草素、山奈酚的亲脂性黄酮类化合物具有  $\alpha$ -淀粉酶抑制活性,Sricha-roen 等<sup>[17]</sup>也指出,咖啡酸、儿茶酚、阿魏酸、槲皮素具有  $\alpha$ -淀粉酶抑制活性。但也有人指出,红辣椒中富含的槲皮素具有较好的  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性<sup>[24]</sup>。Assefa 等<sup>[25]</sup>通过代谢组学分析发现,辣椒叶中主要的  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂为咖啡酰丁二胺。刘新华等<sup>[26]</sup>在辣椒的降糖研究进展中也指出,辣椒中起主要降糖作用的有效成分不一定是辣椒素,而是酚类、黄酮、多糖、可溶性蛋白等活性物质。熊岑等<sup>[1]</sup>的研究结果表明,辣椒中总多酚含量和抗氧化活性不呈现正相关关系,但辣椒具有较强的抗氧化能力,说明

辣椒的生物活性与总多酚含量之间的关系有限。

笔者对辣椒果实和辣椒叶不同极性  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂进行了抗氧化能力评估。体外抗氧化分析结果表明,辣椒果和叶的  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂均具有抗氧化活性,随着萃取溶剂极性降低,果实和叶片的  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性分布不同,但高极性水相中含有丰富的 TPC 和 TFC,抗氧化能力均在高极性水相中表现最强,随着极性的降低,TPC 显著降低,抗氧化能力也呈显著降低趋势,这与  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性的变化不同。相关性分析结果表明,辣椒果  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂活性与 TPC 呈显著负相关,而辣椒叶  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性与抗氧化作用和 TPC、TFC 均无显著相关性。

研究结果表明,辣椒不同器官的  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂具有不同特性,对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶的抑制效果不同,并兼具清除各种自由基和促进铁还原的抗氧

化能力,对于辅助降血糖和辅助治疗糖尿病及肥胖症,辣椒果实和叶片均是良好的潜在材料。

### 参考文献

- [1] 熊岑,阮沛仪,郭小刚,等.辣椒中多酚的提取工艺和抗氧化活性研究[J].中国调味品,2024,49(2):89-94.
- [2] KARAMAN K, PINAR H, CIFTCI B, et al. Characterization of phenolics and tocopherol profile, capsaicinoid composition and bioactive properties of fruits in interspecies (*Capsicum annuum* × *Capsicum frutescens*) recombinant inbred pepper lines (RIL)[J]. Food Chemistry, 2023, 423: 136173.
- [3] 张海洲,谢一琪,王云飞,等.辣椒种质资源果实营养成分的分析与评价[J].中国蔬菜,2025(4):38-47.
- [4] 邓文溢,文江平.辣椒的化学成分与药理作用研究进展[J].湖北农业科学,2021,60(15):5-10.
- [5] ALI M M, KHALID N I, WONDI M H, et al. Exploring the nutritional values, volatile compounds, health benefits, and potential food products of chilli (*Capsicum annuum*): A comprehensive review[J]. Food Chemistry, 2025, 490: 145091.
- [6] 蒋能,汤春丽,吴慧娟,等.辣椒素药理活性及其药物代谢动力学的研究进展[J].天然产物研究与开发,2022,34(9):1597-1606.
- [7] VALKO M, LEIBFRITZ D, MONCOL J, et al. Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease[J]. The International Journal of Biochemistry & Cell Biology, 2007, 39(1):44-84.
- [8] 吕俊丽,李莅萍,王国泽.红辣椒乙醇提取物的抗氧化活性及其生物有效性研究[J].中国食品添加剂,2023,34(8):119-125.
- [9] 杨春梅,高燕红,杨丹妮,等.超声辅助法提取辣椒多糖的工艺优化及其抗氧化活性研究[J].现代食品,2022,28(17):116-122.
- [10] OBOH G, ROCHA J B T. Polyphenols in red pepper [*Capsicum annuum* var. *aviculare* (Tepin)] and their protective effect on some pro-oxidants induced lipid peroxidation in brain and liver[J]. European Food Research and Technology, 2007, 225(2):239-247.
- [11] 冯卫华,陈妍,黄诗琪,等.辣椒叶多酚抗氧化活性及特性研究[J].食品科技,2013,38(12):223-231.
- [12] 刘一静,张弛松,涂彩虹,等.辣椒叶中功能性成分提取工艺及功能活性研究进展[J].农业与技术,2019,39(17):45-47.
- [13] MONSEREENUSOR Y. Effect of *Capsicum annuum* on blood glucose level[J]. Quarterly Journal of Crude Drug Research, 1980, 18(1):1-7.
- [14] MAGANA-BARAJAS E, BUITIMEA-CANTUA G V, HERMANDEZ-MORALES A, et al. *In vitro*  $\alpha$ -amylase and  $\alpha$ -glucosidase enzyme inhibition and antioxidant activity by capsaicin and piperine from *Capsicum chinense* and *Piper nigrum* fruits[J]. Journal of Environmental Science and Health Part B, 2021, 56(3):282-291.
- [15] TUNDIS R, LOIZZO M R, MENICHINI F, et al. Comparative study on the chemical composition, antioxidant properties and hypoglycaemic activities of two *Capsicum annuum* L. cultivars (*Acuminatum* small and *Cerasiferum*) [J]. Plant Foods for Human Nutrition, 2011, 66(3):261-269.
- [16] 尹峥桢,候北伟,卢蓓蓓,等.辣椒降糖活性的研究进展及应用前景[J].中国野生植物资源,2023,42(5):89-92.
- [17] SRICHAROEN P, LAMAIPHAN N, PATTHAWARO P, et al. Phytochemicals in *Capsicum oleoresin* from different varieties of hot chilli peppers with their antidiabetic and antioxidant activities due to some phenolic compounds[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2017, 38:629-639.
- [18] 李春英,杨彦,李赫,等.辣椒叶提取物对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶的抑制活性[J].浙江大学学报(农业与生命科学版),2013,39(2):173-177.
- [19] 李春英,叶春杰,李妍妍,等.辣椒叶 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂的提取及稳定性研究[J].中国瓜菜,2024,37(5):71-80.
- [20] 国家市场监督管理总局,国家标准化管理委员会.多肽抗氧化性测定 DPPH 和 ABTS 法:GB/T 39100-2020[S].北京:中国标准出版社,2020.
- [21] 王鹏,郭丽,刘爽,等.绿原酸提取物的抗氧化活性协同增效作用[J].北方园艺,2021(15):106-111.
- [22] 孙义豪.甘薯叶面包的品质特性及抗氧化活性研究[D].郑州:河南农业大学,2023.
- [23] XIANG Y, LIU Z, LIU Y, et al. Ultrasound-assisted extraction, optimization, and purification of total flavonoids from [*formula omitted*] and analysis of their antioxidant, anti-inflammatory, and analgesic activities[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2024, 111:107079.
- [24] RANILLA L G, KWON Y I, APOSTOLIDIS E, et al. Phenolic compounds, antioxidant activity and *in vitro* inhibitory potential against key enzymes relevant for hyperglycemia and hypertension of commonly used medicinal plants, herbs and spices in Latin America[J]. Bioresource Technology, 2010, 101(12):4676-4689.
- [25] ASSEFA S T, YANG E Y, ASAMENEW G, et al. Identification of  $\alpha$ -glucosidase inhibitors from leaf extract of pepper (*Capsicum* spp.) through metabolomic analysis[J]. Metabolites, 2021, 11(10):649.
- [26] 刘新华,曹春信,王东飞,等.辣椒降糖机制研究进展[J].辣椒杂志,2021,19(4):1-4.