

## · 综述 ·

# 源于中药的 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂研究进展

柴轶涛<sup>1,2</sup>, 胡情<sup>2</sup>, 柳冬梅<sup>1</sup>, 张轶雯<sup>2,3,4\*</sup>, 顾金苹<sup>1\*</sup>, 张渊<sup>5</sup>(1.浙江工业大学药学院, 杭州 310014; 2.浙江省人民医院药学部, 杭州医学院附属人民医院, 杭州 310014; 3.浙江省内分泌腺体疾病诊治研究重点实验室, 杭州 310014; 4.浙江省恶性肿瘤临床医学研究中心, 杭州 310014; 5.浙江省人民医院毕节医院, 贵州 毕节 551799)

**摘要:** 糖尿病可引起心血管疾病、糖尿病肾病、神经系统疾病等多种并发症, 给患者生活和社会经济带来沉重负担。 $\alpha$ -葡萄糖苷酶(又称葡萄糖基转移酶)负责将食物中的碳水化合物分解为葡萄糖, 是防治糖尿病的一个关键靶点。临床上已有 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂, 如阿卡波糖, 但其长期使用常伴有胃肠道不良反应和肝功能损伤。因此, 迫切需要研发高效、低毒的新型 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂。中草药在长期的临床实践中具有良好的安全性。近年来国内外研究发现部分中草药提取物及其成分可显著抑制 $\alpha$ -葡萄糖苷酶的活性, 从而达到调节血糖和防治糖尿病的效果。基于上述背景, 本研究聚焦于 $\alpha$ -葡萄糖苷酶这一关键靶点, 从 $\alpha$ -葡萄糖苷酶的结构功能出发, 系统归纳总结了中药及其化学成分对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶的抑制效应和机制, 还对该领域面临的挑战和未来降糖药物研发进行了展望。本文为源于中药的 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂及降糖药物的研发提供新思路。

**关键词:** 糖尿病;  $\alpha$ -葡萄糖苷酶; 中药; 天然产物; 抑制剂

中图分类号: R284 文献标志码: A 文章编号: 1007-7693(2025)11-1967-18

DOI: 10.13748/j.cnki.issn1007-7693.20233337

引用本文: 柴轶涛, 胡情, 柳冬梅, 等. 源于中药的 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂研究进展[J]. 中国现代应用药学, 2025, 42(11): 1967-1984.

## Research Progress of $\alpha$ -Glucosidase Inhibitors from Chinese Herbs

CHAI Yitao<sup>1,2</sup>, HU Qing<sup>2</sup>, LIU Dongmei<sup>1</sup>, ZHANG Yiwen<sup>2,3,4\*</sup>, GU Jinping<sup>1\*</sup>, ZHANG Yuan<sup>5</sup>(1.College of Pharmacy, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China; 2.Department of Pharmacy, Zhejiang Provincial People's Hospital, People's Hospital of Hangzhou Medical College, Hangzhou 310014, China; 3.Key Laboratory of Endocrine Gland Diseases of Zhejiang Province, Hangzhou 310014, China; 4.Clinical Research Center for Cancer of Zhejiang Province, Hangzhou 310014, China; 5.Zhejiang Provincial People's Hospital Bijie Hospital, Bijie 551799, China)

**ABSTRACT:** Diabetes mellitus can lead to various complications, such as cardiovascular disease, diabetic nephropathy, and nervous system disorders. These complications significantly burden patients' quality of life and socioeconomic.  $\alpha$ -Glucosidase, also known as glucosyltransferase, is responsible for breaking down carbohydrates into glucose, rendering it a critical target for diabetes prevention and treatment. Although clinical  $\alpha$ -glucosidase inhibitors like acarbose exist, their long-term use often causes gastrointestinal side effects and liver damage. Therefore, there is an urgent need for new  $\alpha$ -glucosidase inhibitors that are highly effective and less toxic. Chinese herbs have a good safety record in long-term clinical practice. Recent studies have shown that certain extracts and components of Chinese herbs can effectively inhibit  $\alpha$ -glucosidase activity, offering potential avenues for blood sugar regulation and diabetes prevention and treatment. This review places particular emphasis on the inhibition of  $\alpha$ -glucosidase and provide a systematic overview of the inhibitory effects and underlying mechanisms of Chinese herbs and their chemical components. It also discusses the challenges faced in this field and prospects for future research and development of hypoglycemic drugs. This article contributes to the provision of new insights for the development of  $\alpha$ -glucosidase inhibitors and hypoglycemic drugs from Chinese herbs.

**KEYWORDS:** diabetes;  $\alpha$ -glucosidase; Chinese herbs; natural products; inhibitors

糖尿病是一种慢性代谢紊乱疾病, 其特征是由于体内胰岛素缺乏或无效使用所导致的血糖水平升高<sup>[1]</sup>。近年来, 随着人们生活水平的提高和现代不健康的生活方式, 全球糖尿病的发病率呈持

基金项目: 浙江省基础公益项目 (LGF22H280012); 浙江省中医药科技计划 (2021ZZ001, 2022ZB017); 浙江省卫生高层次人才医坛新秀培养项目; 学科合重大专项 ([2023] 2-1)

作者简介: 柴轶涛, 男, 硕士生 E-mail: chait09@qq.com \*通信作者: 张轶雯, 女, 博士, 副主任药师 E-mail: zjzyw2003@163.com 顾金苹, 男, 博士, 副研究员 E-mail: jinpinggu@zjut.edu.cn

续增长的趋势<sup>[2]</sup>。根据国际糖尿病联合会的数据, 2021 年全球 20~79 岁糖尿病患者数量已 >5 亿, 预计在 2045 年上升至 7.8 亿<sup>[3]</sup>。其中, 2 型糖尿病 (type two diabetes mellitus, T2DM) 是糖尿病流行的主要形式, 占据了 >90% 的病例<sup>[4]</sup>。此外, 糖尿病可能引发多种并发症, 包括肾脏疾病、神经系统疾病、心血管疾病、截肢和失明等<sup>[5-10]</sup>。因此, 维持正常血糖水平对于控制糖尿病相关并发症的发生和发展至关重要<sup>[11]</sup>。对于 T2DM, 可通过使用药物或饮食刺激胰岛素的分泌、中断或减缓饮食中淀粉的消化吸收, 来达到控制血糖水平的目的<sup>[12]</sup>。人体消化与吸收膳食淀粉的过程由多种酶参与, 包括  $\alpha$ -淀粉酶和  $\alpha$ -葡萄糖苷酶。其中,  $\alpha$ -葡萄糖苷酶 (又称葡萄糖基转移酶) 是水解消化道内寡糖的关键酶<sup>[13]</sup>。国内外大量研究表明, 通过抑制  $\alpha$ -葡萄糖苷酶的活性可以延缓碳水化合物的消化与吸收, 这已成为改善餐后血糖异常升高的主要治疗策略。

目前, 已上市的  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂包括阿卡波糖、伏格列波糖和米格列醇。然而, 这些药物的长期使用常常伴随着一系列的不良反应, 如腹胀、腹泻、恶心等<sup>[14-15]</sup>。因此, 研发高效且不良反应小的新型  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂对于糖尿病的治疗具有重要意义。中医药在糖尿病治疗方面有着悠久的历史, 中草药的有效性和安全性通过千年的应用实践得到了反复验证, 早在两千多年前, 《黄帝内经》等中医典籍就记载了关于消渴症的内容<sup>[16]</sup>。近年来, 国内外研究发现银杏、人参、桑叶等多种中药提取物及其化学成分, 如黄酮类、生物碱、多糖、木脂素、多酚等, 具有抑制

$\alpha$ -葡萄糖苷酶活性的潜力, 从而调节血糖和防治糖尿病<sup>[17]</sup>。本研究着重总结了近年来从中药天然成分中发现的  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂, 并对其抑制效应和抑制机制等进行系统归纳和总结。以期药物化学家从中药化学成分中寻找强效、安全的新型  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂提供参考, 同时也为中药及其制品防治糖尿病等相关代谢性疾病提供新思路。

## 1 $\alpha$ -葡萄糖苷酶的功能与抑制剂

$\alpha$ -葡萄糖苷酶是生物体内一种重要的酶, 主要分布于小肠细胞的刷状边缘。从空间结构上看 (PDB ID: 5NN8),  $\alpha$ -葡萄糖苷酶由三叶草型 P 结构域 (残基 81~136), N-末端  $\beta$ -Sheet 结构域 (残基 137~358), GH31( $\beta/\alpha$ ) 催化结构域 (残基 359~720), 以及近端 (残基 721~820) 和远端 (残基 821~952) 2 个  $\beta$ -Sheet 结构域组成, 见图 1A<sup>[18]</sup>, 在 GH31( $\beta/\alpha$ ) 催化结构域的 C 末端附近有一个狭窄的底物结合口袋, 可通过 Koshland 双置换反应机制催化其底物, 然后通过 2 次亲核攻击水解糖的主链<sup>[19]</sup>。进食后, 食物中的碳水化合物首先在唾液中的淀粉酶的催化下水解成较短的多糖, 随后部分水解的淀粉会被由胰腺分泌的淀粉酶进一步转化, 当食物到达小肠时,  $\alpha$ -葡萄糖苷酶负责将食物中的低聚糖和二糖的  $\alpha$ -1,4 糖苷键水解, 使其转化为葡萄糖从而被人体吸收<sup>[20]</sup>。因此, 采用  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂来限制  $\alpha$ -葡萄糖苷酶的催化活性, 可以有效地延缓饮食中碳水化合物的消化过程, 进而调节 T2DM 患者的餐后高血糖症状<sup>[21]</sup>。

当前临床应用最广泛的  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂是阿卡波糖, 从放线菌中分离得到, 同样分离自

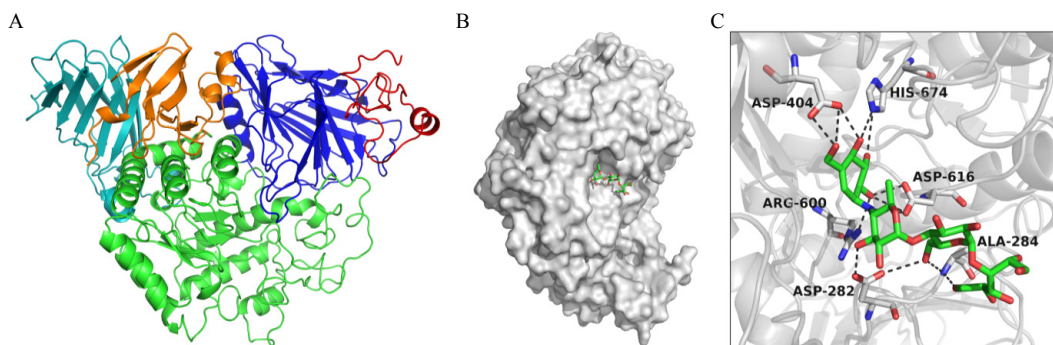


图 1  $\alpha$ -葡萄糖苷酶的三维构象和配体阿卡波糖结合模式及催化位点

A- $\alpha$ -葡萄糖苷酶 (PDB ID: 5NN8) 的三维构象: 由三叶草型 P 结构域 (红色), N-末端  $\beta$ -Sheet 结构域 (蓝色), GH31( $\beta/\alpha$ ) 催化结构域 (绿色), 以及近端 (橙色) 和远端 (淡蓝色)  $\beta$ -Sheet 结构域组成; B- $\alpha$ -葡萄糖苷酶与配体阿卡波糖的结合构象; C- $\alpha$ -葡萄糖苷酶催化位点内配体阿卡波糖的结合模式。

**Fig. 1** Three-dimensional structure, ligand binding mode and catalytic site analysis of  $\alpha$ -glucosidase with the ligand acarbose

A-three-dimensional structural model of  $\alpha$ -glucosidase (PDBID: 5NN8) comprises distinct domains: the clover-type P domain (red), the N-terminal  $\beta$ -Sheet domain (blue), the GH31( $\beta/\alpha$ ) catalytic domain (green), and the proximal (orange) and distal (light blue)  $\beta$ -Sheet domains; B-binding conformation of  $\alpha$ -glucosidase to ligand acarbose; C-binding mode of ligand acarbose in  $\alpha$ -glucosidase catalytic site.

微生物的还有伏格列波糖，而米格列醇是1-脱氧野尻霉素的衍生物<sup>[22]</sup>。从分子结构上看，这些 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂具有与碳水化合物相似的结构，可以竞争性抑制 $\alpha$ -葡萄糖苷酶，阿卡波糖对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶的亲和力比天然的低聚糖高104~105倍<sup>[23]</sup>。另外，阳性抑制剂阿卡波糖占据 $\alpha$ -葡萄糖苷酶的催化口袋，见图1B，与口袋内的Asp404、Arg600、Asp616和His674残基的侧链主动相互作用，见图1C<sup>[19]</sup>。随餐口服阿卡波糖，可呈剂量依赖性地降低餐后血糖值，减少由高血糖诱导的胰岛素分泌，同时减少脂肪组织对甘油三酯的摄取，从总体上改善糖尿病患者的代谢状态<sup>[24]</sup>。

## 2 中药化学成分对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶的抑制作用

近年来，许多中药及其化学成分对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶具有较强的抑制作用。人参、桑叶、葛根、黄芪等多种糖尿病处方中常见中药的活性成分对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶具有抑制效果，为源于中药的降糖药物开发提供科学依据。

### 2.1 人参

人参是五加科植物人参(*Panax ginseng* C. A. Mey.)的干燥根和根茎。人参在东亚地区有悠久的历史，根据中医典籍记载，具有补气安神、

补脾益肺，生津养血等功效，而现代研究表明，人参对心血管疾病、神经疾病、癌症、糖尿病等有较好的治疗作用<sup>[25]</sup>。人参的主要活性成分包括人参皂苷(包括Rb1、Rb2、Rg1、Rh等)、多糖、多肽、黄酮类、生物碱和聚乙烯醇，其中人参皂苷是最主要的活性成分<sup>[26]</sup>。Wang等<sup>[27]</sup>使用UPLC-ESI-Orbitrap-MS技术对人参中的 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂进行了系统的筛选和表征，见图2，结果显示人参中的皂苷类化合物(化合物1~3)显示出对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶的抑制作用( $IC_{50}$ 值为3.61~22.13 mmol·L<sup>-1</sup>)，其中姜状三七皂苷R1(1)抑制效果最强， $IC_{50}$ 达到3.61 mmol·L<sup>-1</sup>。Teng等<sup>[28]</sup>发现人参皂苷Rb2(4)和人参皂苷Rd(5)对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶有较强的抑制作用， $IC_{50}$ 分别为32.20、38.80  $\mu$ mol·L<sup>-1</sup>(阿卡波糖22.80  $\mu$ mol·L<sup>-1</sup>)，在后续的酶动力学研究中，人参皂苷Rb2和Rd对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶表现为非竞争性抑制。作者还发现，与二甲双胍阳性对照组相比，人参皂苷Rb2可显著增加HepG2细胞对葡萄糖的摄取能力。Chan等<sup>[29]</sup>从竹节参根提取物中分离得到数个对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶具有抑制活性烯炔醇类化合物(6~8)，其 $IC_{50}$ 为22.21~71.82  $\mu$ mol·L<sup>-1</sup>。Li等<sup>[30]</sup>从人参花的乙醇水提物中分离得到一个新

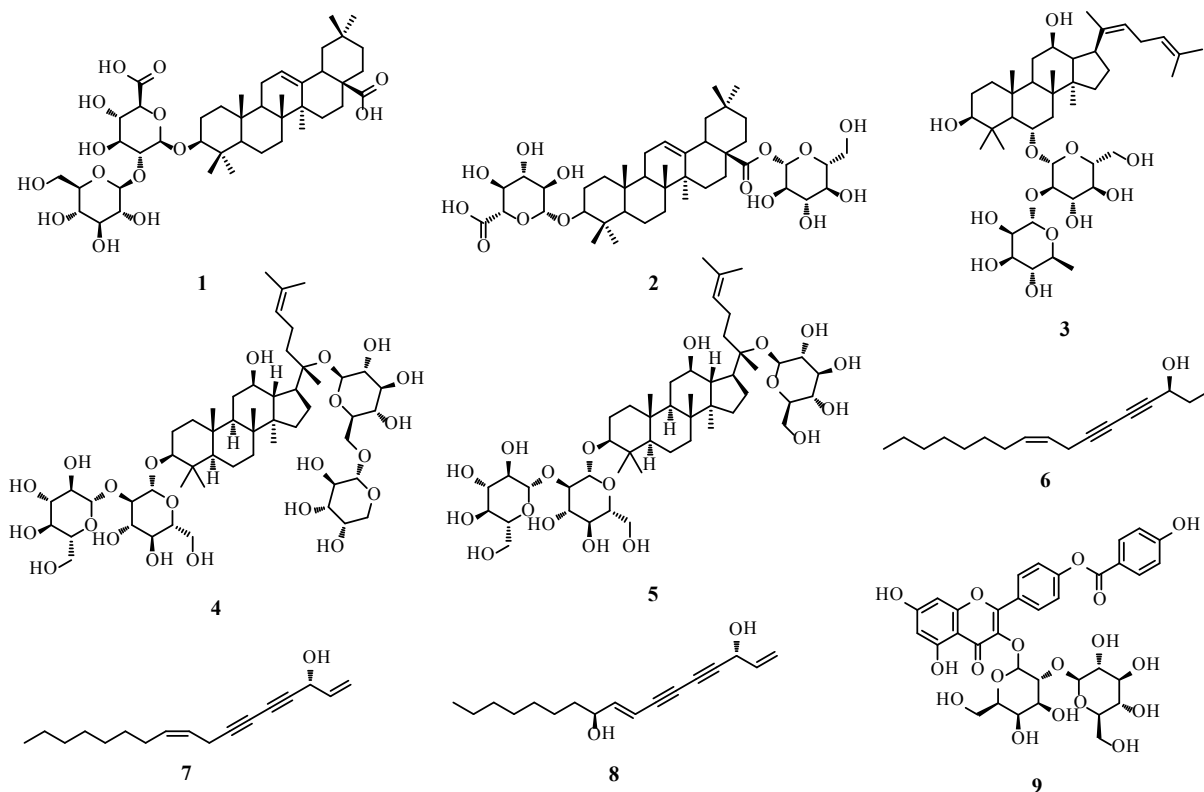


图2 人参和竹节参中天然 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂的化学结构

Fig. 2 Chemical structures of natural  $\alpha$ -glucosidase inhibitors from *Ginseng Radix et Rhizoma* and *Panacis Japonici Rhizoma*

的黄酮类化合物和 5 个已知的黄酮苷，并对其进行了  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性的研究。结果显示人参黄酮苷 (**9**) ( $IC_{50}=62.40 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ) 具有强于阿卡波糖 ( $IC_{50}=385.20 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ) 的抑制活性。分子对接结果显示，人参黄酮苷可与  $\alpha$ -葡萄糖苷酶的活性口袋的氨基酸 Asp357、Asp232、Phe476 和 Lys506 形成强烈的氢键，进一步揭示了该黄酮类化合物对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶的抑制机制。上述研究结果为从人参中研究和开发  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂提供了一定的思路和见解。

## 2.2 桑

桑 (*Morus alba* L.) 在中国有悠久的栽培历史，其叶、枝、根皮、果实均可入药，已经被广泛应用于糖尿病、肥胖、高血脂等疾病的治疗<sup>[31-33]</sup>。桑的主要成分包括黄酮类(包括槲皮素、桑色素、桑根皮素)、生物碱类(1-脱氧野尻霉素)、香豆素类和多糖类等<sup>[34]</sup>。大量研究表明，桑叶和桑枝中的生物碱类成分 1-脱氧野尻霉素是一种经典的  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂，可以改善 T2DM 患者的餐后血糖反应<sup>[35-38]</sup>。Chen 等<sup>[39]</sup>对桑源药材(桑白皮、桑枝、桑叶、桑葚)中的多种活性成分(黄酮类、黄酮醇类、总生物碱)进行了综合研究，见图 3，几种天然化合物 (**10**~**15**) 显示出较强效的抑制作用 ( $IC_{50}$  为  $0.82\sim 102.61 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ )，其中 1-脱氧野尻霉素 (**10**)

显示出最强的抑制效果， $IC_{50}$  为  $0.82 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 。Feng 等<sup>[40]</sup>通过将  $\alpha$ -葡萄糖苷酶固定化在磁性纳米颗粒上，开发出一种快速筛选桑枝中的  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂的方法，研究发现，桑枝中的黄酮类成分桑黄酮 G(**16**) 和桑黄酮 H(**17**) 对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶具有抑制作用， $IC_{50}$  分别为 2.82、2.83  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。Li 等<sup>[41]</sup>对桑白皮中分离得到 9 个化合物进行了  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制效应评价，其中 5 个化合物 (**14**、**18**~**21**) 具有较强的  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性 ( $IC_{50}$  为  $2.89\sim 7.55 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ )，并且化合物 **14** 和 **21** 没有细胞毒性，提示桑白皮提取物在开发降糖药物方面的应用前景。Hsu 等<sup>[42]</sup>对从桑白皮提取物中分离 2 个新的活性化合物，氧化白藜芦醇 (**22**)、7-羟基香豆素 (**23**)，还有 4 个已知的化合物(桑色素、桑根皮素、桑黄酮 G 和桑黄酮 H)，这些化合物对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶的抑制作用均强于阳性对照阿卡波糖，其中桑黄酮 H(**17**) 表现出最强的抑制活性  $IC_{50}$  为  $4.06 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。分子对接结果显示，桑黄酮 H 在  $\alpha$ -葡萄糖苷酶的活性口袋内的氨基酸残基 (Arg315、Asp307、Ser241、Lys156、Try158、Asp42、Pro312 和 His280) 形成传统的氢键，其分子结构中的苯环还与活性口袋的氨基酸残基间存在  $\pi$ - $\pi$  堆积和  $\pi$ -烷基相互作用。提示桑中的黄酮类成分作为天然来源的  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑

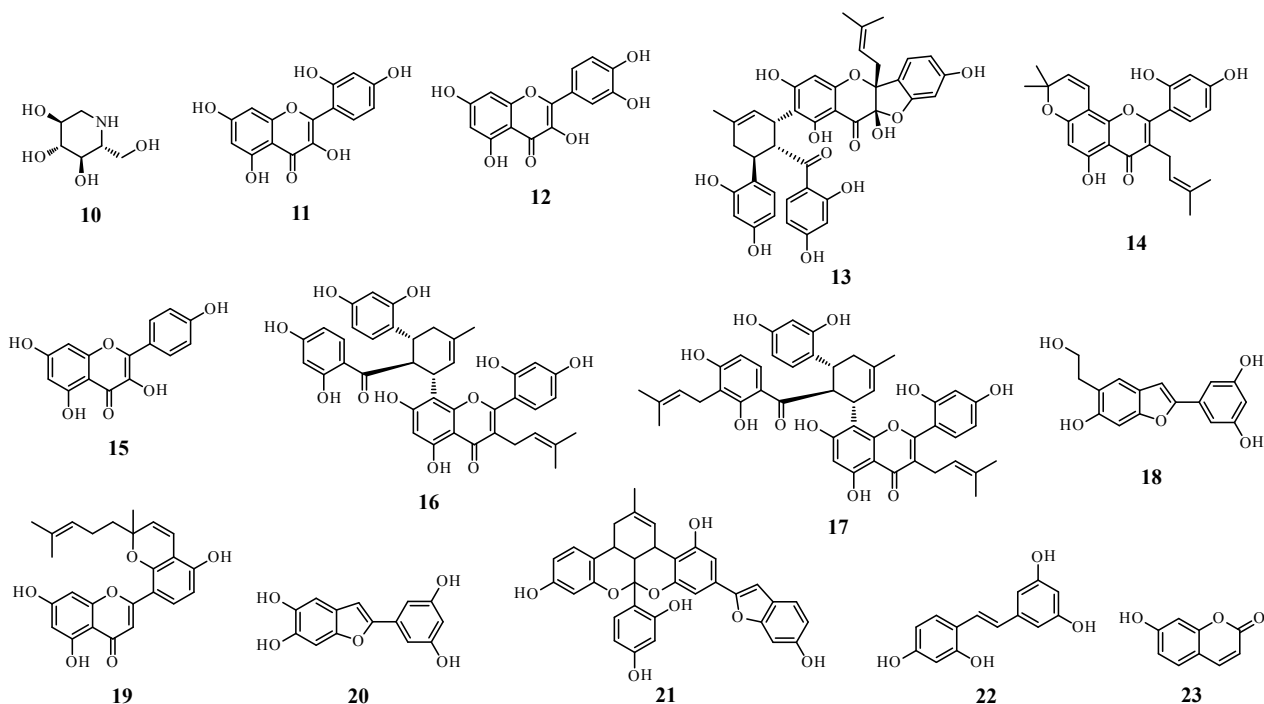


图 3 桑叶、桑枝、桑白皮中天然  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂的化学结构

Fig. 3 Chemical structures of natural  $\alpha$ -glucosidase inhibitors from Mori Folium, Mori Ramulus, and Mori Cortex

制剂, 具有进一步研究的价值。

### 2.3 银杏

银杏科植物银杏 (*Ginkgo biloba* L.) 是一种“活化石”植物, 其叶和果实有悠久的药用历史, 具有降血脂、抗氧化、抗高血压、抗肿瘤、抗炎等活性<sup>[43-45]</sup>。黄酮类、萜类、银杏酸和多糖是银杏叶、银杏种子的主要活性成分<sup>[46]</sup>。Liu 等<sup>[47]</sup>从银杏中分离得到 4 种  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂, 经结构鉴定分别为槲皮素、芹菜素、山柰酚和异鼠李素。Wu 等<sup>[48]</sup>从银杏叶提取物中筛选出多种微量黄酮类化合物 (24~32), 见图 4,  $IC_{50}$  为 1.79~44.34  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ , 其中双黄酮类化合物, 银杏双黄酮 (30) 显示出最强的抑制效果  $IC_{50}$  值为 1.79  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。此外, 银杏叶中的单黄酮类 (24~27) 化合物对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶的抑制活性随着羟基数目的增加而增加。Sukito 等<sup>[49]</sup>发现银杏叶提取物中分离得到的银

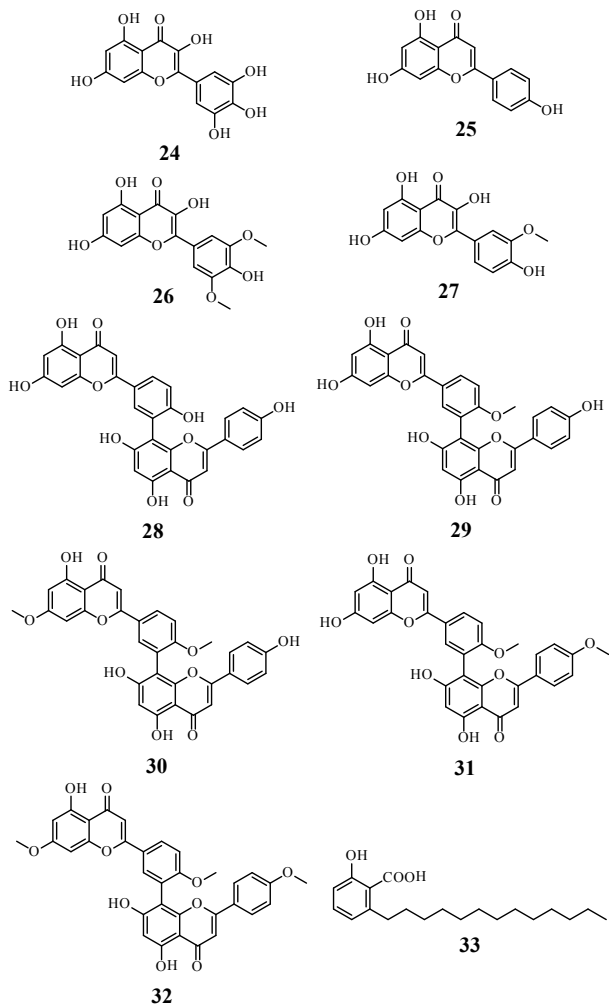


图 4 银杏叶中天然  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂的化学结构  
Fig. 4 Chemical structures of natural  $\alpha$ -glucosidase inhibitors from *Ginkgo Folium*

杏酸混合物 (C13 : 0、C15 : 0、C15 : 1、C17 : 1 和 C17 : 2) 有较好的  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性, 其中银杏酸 C13 : 0(别名: 白果新酸)(33) 对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶的抑制能力最强,  $IC_{50}$  为 3.90  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 。上述研究为银杏提取物开发新的  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂提供了参考依据。

### 2.4 葛根

葛根是豆科植物野葛 (*Pueraria lobate* (Willd.) Ohwi) 的干燥根, 具有解肌退热、生津止渴、通经活络、解酒等功效。葛根含有丰富的多酚类、黄酮类、三萜类化合物, 其中主要成分葛根素具有降血糖血脂、提高胰岛素敏感性的作用<sup>[50]</sup>。Seong 等<sup>[51]</sup>对葛根的抗糖尿病活性进行了研究, 从葛根的乙醇提取物中分离鉴定了多个化合物, 其中大豆甙元 (34)、染料木素 (35) 和毛蕊异黄酮 (36) 对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶具有较强抑制作用, 化学结构式见图 5,  $IC_{50}$  值分别为 8.58、2.37 和 6.84  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。Xiang 等<sup>[52]</sup>报道了葛根中 10 个具有  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性的痕量化合物, 其中 5 种化合物 (37~41) 显示出较强的抑制活性,  $IC_{50}$  值为 1.96~6.14  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ (阿卡波糖的  $IC_{50}$  为 4.10  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ), 其中查尔酮类化合物, 黄色当归醇 (41) 抑制效果最强,  $IC_{50}$  为 1.96  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。分子对接结果进一步揭示了化合物对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶的抑制作用机制, 所有筛选出的化合物显示出与阿卡波糖类似的酶蛋白结合位点, 在活性口袋内形成稳定的络合物。上述研究成果为葛根作为一种药食同源的糖尿病治疗中药提供了依据, 也将有助于中药资源

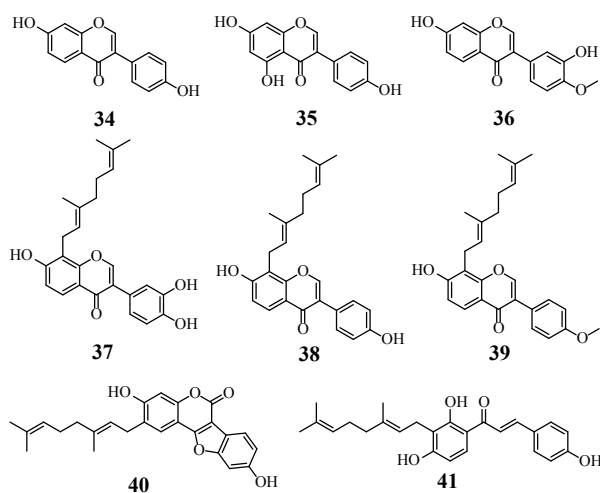


图 5 葛根中天然  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂的化学结构  
Fig. 5 Chemical structures of natural  $\alpha$ -glucosidase inhibitors from *Puerariae Lobatae Radix*

的开发利用。

## 2.5 枸杞

茄科植物枸杞 (*Lycium chinense* Mill.) 作为一种药食同源植物, 其果实 (枸杞子 *Fructus Lycii*) 和根皮 (地骨皮 *Cortex Lycii radices*) 在中国有悠久的历史。枸杞子在中医中被用作一种温和的滋补药, 具有滋补肝肾, 益精明目的功效; 地骨皮则有清肺降火的功效<sup>[53]</sup>。现代研究表明, 枸杞子和地骨皮提取物均具有降低血糖水平, 改善胰岛素抵抗的功效<sup>[54-55]</sup>。枸杞的主要成分包含多糖类、生物碱类、木脂素类、黄酮类和酚酸<sup>[56-59]</sup>。Yang 等<sup>[60]</sup>从地骨皮中分离并鉴定了 9 种化合物, 并对这些化合物进行了  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性评价, 结果显示枸杞黄烷苷 A (图 6, 42) 对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶有较强的抑制活性,  $IC_{50}$  值为  $20.89 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  (阳性对照阿卡波糖  $IC_{50}$  为  $385.00 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ )。Liu 等<sup>[61]</sup>基于 UPLC-HRMS 技术, 进行了  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性与指纹图谱之间的相关性研究, 并报道了从地骨皮中新发现的  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂, *N*-反式-对香豆酰酪胺 (43) 和 *N*-反式-咖啡因 (44),  $IC_{50}$  值分别为 0.42、 $1.86 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。Duan 等<sup>[62]</sup>从地骨皮中分离得到 2 个对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶有中等抑制活性的木脂素类化合物 (45, 46),  $IC_{50}$  值分别为 26.82、 $43.14 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 。以上研究从枸杞中分离出具有潜在活性的  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性成分, 为

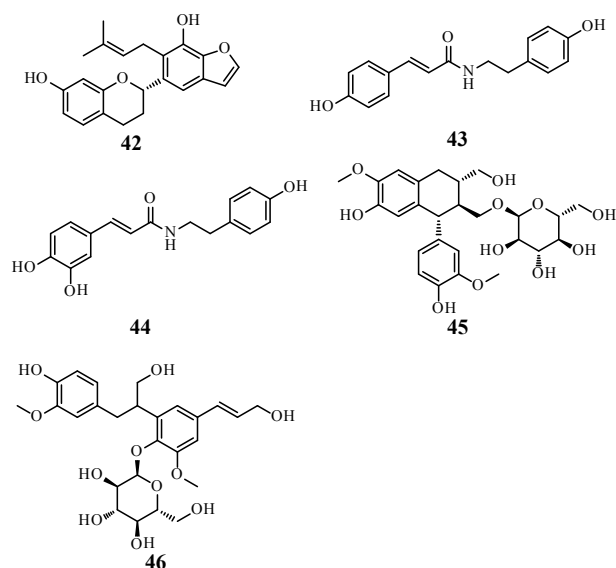


图 6 枸杞子和地骨皮中天然  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂的化学结构

Fig. 6 Chemical structures of natural  $\alpha$ -glucosidase inhibitors from *Lycium Fructus* and *Lycium Cortex*

设计新型、高效的糖尿病治疗药物奠定了基础。

## 2.6 沉香

沉香是瑞香科植物白木香 (*Aquilaria sinensis* (Lour.) Gilg.) 含有树脂的木材, 现代研究表明沉香提取物具有止痛、抗炎、抗氧化、抗肿瘤、抗糖尿病、降脂等功效<sup>[63-66]</sup>。沉香的主要成分包括 2-(2-苯乙基) 色酮、酚酸、类固醇、脂肪酸、二苯甲酮、类黄酮、类萜类和烷烃<sup>[67-68]</sup>。Feng 等<sup>[69]</sup>从沉香的乙醇提取物中分离得到 7 个  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂 (47~53), 见图 7,  $IC_{50}$  值为  $298.90\sim 678.10 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$  (阿卡波糖  $IC_{50}$  为  $576.20 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ), 其中沉香的主要成分之一芒果苷 (50) 具有较好的  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性,  $IC_{50}$  为  $299.70 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ , 有可能成为开发新型的  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂的先

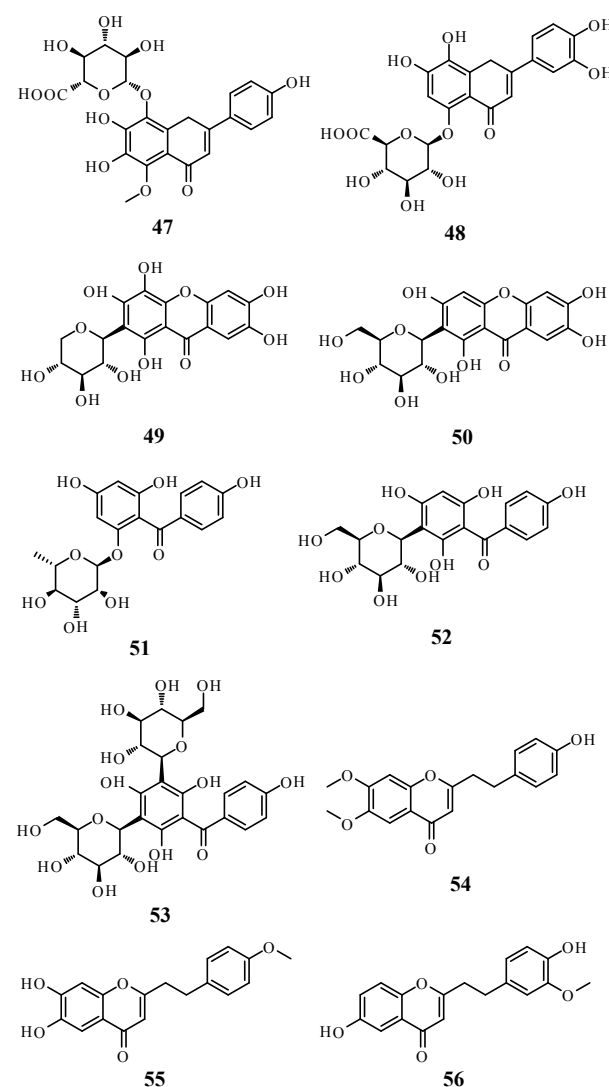


图 7 沉香中天然  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂的化学结构

Fig. 7 Chemical structures of natural  $\alpha$ -glucosidase inhibitors from *Aquilaria sinensis*

导化合物。Liao 等<sup>[70]</sup>从沉香提取物中分离并鉴定了3个对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶有明显的抑制作用的2-(2-苯乙基)色酮类化合物(54~56)，其 $IC_{50}$ 值分别为150.00、50.00、90.00  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ (以阿卡波糖为阳性对照， $IC_{50}$ 为980.00  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ )，其中化合物(55)对3种类型的人胃癌细胞(BEL-7402、K562和SGC-7901)具有较弱的细胞毒作用。上述研究可为沉香的治疗糖尿病用途的提供依据。

## 2.7 甘草

甘草是豆科植物甘草(*Glycyrrhiza uralensis* Fisch.)、胀果甘草(*Glycyrrhiza inflata* Batal.)或光果甘草(*Glycyrrhiza glabra* L.)的干燥根和根茎，类黄酮、三萜皂苷、香豆素、酚类和多糖是甘草的主要活性成分<sup>[71]</sup>。作为一种重要的药食同源的草药，甘草具有补脾益气、清热解毒、祛痰止咳、调和药性等功效<sup>[72-73]</sup>。药理学研究表明，甘草的主要活性成分具有抗炎、抗病毒、抗菌、抗氧化、免疫调节等功效<sup>[74-76]</sup>。此外，有研究证明甘草的活性成分之一光甘草定可增加3T3-L1脂肪细胞对的葡萄糖摄取，并同时提高胰岛素受体(IR- $\beta$ )和葡萄糖转运蛋白(GLUT4)的水平<sup>[77-78]</sup>。Guo等<sup>[79]</sup>从甘草提取物中分离鉴定了18个黄酮类化合物，并对这些化合物进行了 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性的测定，其中有11个化合物(图8，57~67)的 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性高于阳性对照(阿卡波糖 $IC_{50}$ 为5.42  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ )， $IC_{50}$ 均 $<0.30$   $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ，作

者推测其结构与活性的关系可能与羟基和戊烯基有关。Fan等<sup>[80]</sup>从甘草的地上部分的乙醇提取物中分离得到86个酚类化合物，并测定了它们对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶的抑制活性，9个天然化合物(68~76)显示出强效的抑制能力， $IC_{50}$ 值为0.13~20.10  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ，其中甘草香豆素(73)和甘草酸A(74)的抑制效果最强， $IC_{50}$ 值分别为0.13和0.28  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

## 2.8 黄芪

中药黄芪为豆科植物黄芪(*Astragalus membranaceus* (Fisch.) Bunge.)的干燥根，是一种具有悠久临床应用历史的中药材。主要成分包括黄芪多糖、黄酮类化合物、皂苷类化合物、生物碱等<sup>[81-82]</sup>，具有抗衰老、抗肿瘤、抗炎、调节血糖、降脂、护肝、利尿等药理活性<sup>[83-87]</sup>。Zhu等<sup>[88]</sup>研究了黄芪的主要活性成分黄芪多糖(77)对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶的抑制作用，结果显示，在多糖浓度为0.40  $\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 时，黄芪多糖对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶的抑制率均 $>40\%$ ， $IC_{50}$ 值为0.28  $\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ ，Han等<sup>[89]</sup>研究了黄芪的2种黄酮活性成分毛蕊异黄酮(78)和毛蕊异黄酮苷(79)对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶的抑制活性及其机制。77~79结构式见图9，2种化合物对 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性( $IC_{50}$ 值分别为39.45、174.04  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ )均优于阿卡波糖( $IC_{50}$ 值为471.73  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ )。分子对接模拟结果进一步表明，与毛蕊异黄酮苷相比，毛蕊异黄酮与 $\alpha$ -葡萄

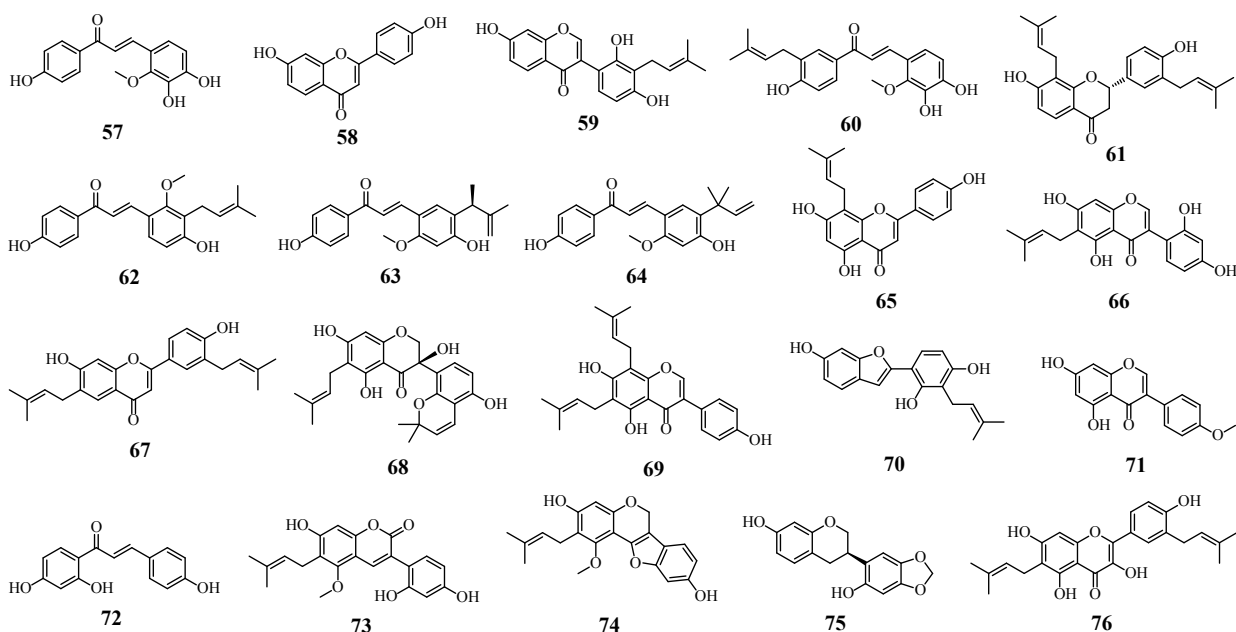


图8 甘草中天然 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂的化学结构

Fig. 8 Chemical structures of natural  $\alpha$ -glucosidase inhibitors from *Glycyrrhizae Radix et Rhizoma*

糖苷酶活性腔内的残基结合更加紧密, 具有更高的亲和力。以上研究为黄芪中的黄酮类化合物治疗糖尿病的结构修饰提供了依据, 为黄芪作为糖尿病的治疗药物提供了参考。

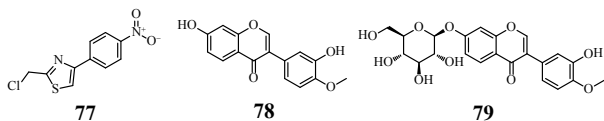


图9 黄芪中天然  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂的化学结构  
Fig. 9 Chemical structures of natural  $\alpha$ -glucosidase inhibitors from Astragalus Radix

## 2.9 石斛

兰科石斛属 (*Dendrobium* Sw.) 植物, 收录于中国药典的有金钗石斛 (*Dendrobium nobile* Lindl.)、霍山石斛 (*Dendrobium huoshanense* C.Z.Tang et S.J.Cheng)、鼓槌石斛 (*Dendrobium chrysotoxum* Lindl.)、流苏石斛 (*Dendrobium fimbriatum* Hook.)、铁皮石斛 (*Dendrobium officinale* Kimura et Migo) 几个品种。石斛含有多种化学成分, 根据母核结构可分为多糖、黄酮类、生物碱、二苯乙烯类、氨基酸、联苯和酚类等<sup>[90-92]</sup>。近年来的药理研究发现, 石斛属植物具有多种药理活性, 包括抗肿瘤、抗衰老、增强免疫、抗糖尿病及其并发症、抗炎等<sup>[93-95]</sup>。研究者从翅萼石斛提取物中分离得到 12 种酚类化合物, 并进行了  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性的测定<sup>[96]</sup>。其中化合物 (80) 和化合物 (81) 对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶较强的抑制作用, 化学结构式见图 10,  $IC_{50}$  值为 189.78、126.88  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ , 酶动力学研究表明, 化合物 81 是  $\alpha$ -葡萄糖苷酶的非竞争性抑制剂。San 等<sup>[97]</sup> 研究了石斛提取物中 13 个酚类化合物对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶的抑制作用, 7 个化合物 (82~88) 对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶具有抑制活性,  $IC_{50}$  值为 4.61~133.11  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ , 其中 4-羟基反式肉桂酸酯 (84) 显示出最强的抑制活性,  $IC_{50}$  值为 4.61  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。在后续的大鼠成肌细胞的葡萄糖摄取活性试验中发现, 该化合物可促进细胞对葡萄糖的摄取。Thant 等<sup>[98]</sup> 报道了泰国石斛的主要成分对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶的抑制作用。其中化合物 (89) 和化合物 (90) 对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶的抑制最强。其  $IC_{50}$  值分别为 8.90、12.60  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。酶动力学研究显示这 2 种化合物对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶的亲和力远大于阿卡波糖,  $K_i$  值分别为 5.89、5.97  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ , 并且对酶的抑制类型为非竞争性抑制。以上研究为石斛的降

血糖作用机制提供了参考。

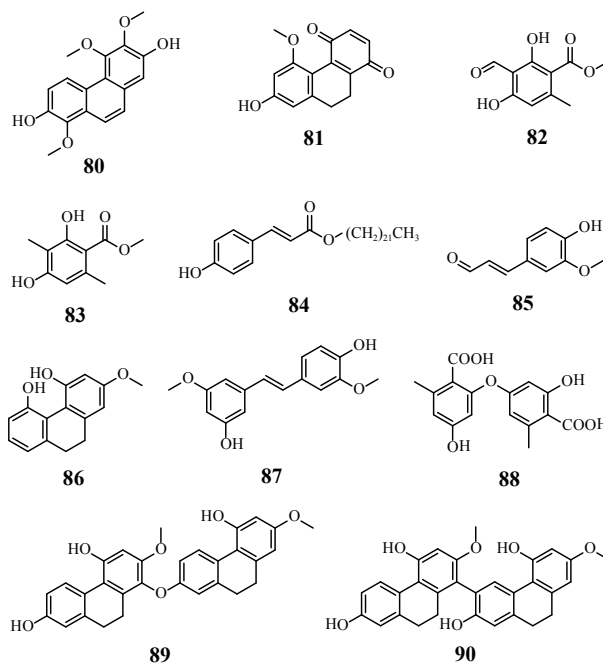


图10 石斛中天然  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂的化学结构  
Fig. 10 Chemical structures of natural  $\alpha$ -glucosidase inhibitors from Dendrobium Caulis

## 2.10 何首乌

何首乌是蓼科植物何首乌 (*Polygonum multiflorum* Thunb.) 的干燥块根。何首乌含有多种活性成分, 包括黄酮类、蒽醌类、二苯乙烯类、酚类和多糖<sup>[99-100]</sup>。何首乌提取物及其活性成分具有多样的药理活性, 包括抗肿瘤、抗炎、抗氧化、抗菌、抗病毒、抗糖尿病、免疫抑制等<sup>[101-104]</sup>。Yang 等<sup>[105]</sup> 建立了一种以麦芽糖为底物的体外  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制试验方法, 对何首乌中的  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂进行了筛选, 结果表明大黄素 (91)、芦荟大黄素 (92)、大黄素甲醚 (93) 和大黄酸 (94) 4 种蒽醌类化合物具有较强的  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性, 91~94 化学结构见图 11,  $IC_{50}$  值为 4.12~5.68  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。该研究对何首乌制剂的糖尿病应用和  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂的候选药物设计, 具有一定的参考价值。

## 2.11 草果

草果是姜科植物草果 (*Amomum tsaoko* Crevost et Lemaire) 的干燥成熟果实, 是一种植物香料, 具有药用和食用价值。目前已经从草果中发现了多种化学成分, 包括萜类、脂肪酸类、黄酮类、二芳基庚烷类、黄烷醇类和多酚<sup>[106-107]</sup>。药理学研究表明, 草果相关成分具有调节胃肠功能、抗

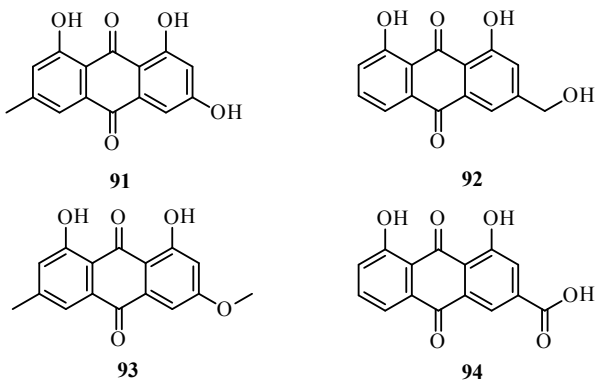


图 11 何首乌中天然  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂的化学结构  
**Fig. 11** Chemical structures of natural  $\alpha$ -glucosidase inhibitors from *Polygoni Multiflori Radix*

菌、抗炎、抗肿瘤、抗糖尿病和神经保护等功能<sup>[108-110]</sup>。

He 等<sup>[111]</sup>从草果的乙醇提取物中分离并鉴定了 17 个化合物，包括 13 个新的二芳基庚烷类化合物和 4 个已知的化合物，并测定了  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性，结果显示，11 个化合物具有明显的  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性，其  $IC_{50}$  值为 59.40~179.50  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ，高于阿卡波糖 ( $IC_{50}=219.00 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ )，95~105 化合物结构见图 12。此外，四氢吡喃环上羟基化的化合物抑制活性较好，但间羟基化合物反而会导致抑制活性降低，苯环上的甲氧基不利于抑制活性。在该作者后续

的研究中<sup>[112]</sup>，对草果中的黄烷醇类化合物的  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性进行了研究，结果显示化合物 (106~114) 具有明显酶抑制活性， $IC_{50}$  值为 3.73~76.23  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。酶动力学结果显示，草果素 A(106) 和草果素 F(108) 为  $\alpha$ -葡萄糖苷酶的混合型抑制剂，其  $K_i$  值分别为 36.20、24.40  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。以上研究揭示了草果开发抗糖尿病药物的潜力。

## 2.12 木豆叶

木豆叶为豆科木豆属植物木豆 (*Cajanus cajan* (Linn.) Millsp.) 的茎和叶，其主要活性成分包括黄酮类、苯乙烯类、多酚和多糖等。药理研究表明，木豆叶具有抗氧化、抗疟原虫、抗菌、抗肿瘤、神经保护、抗高血糖等多种活性<sup>[113-115]</sup>。Zhao 等<sup>[116]</sup>从木豆叶提取物中分离得到数个二苯乙烯类和黄酮类化合物，并对所有化合物进行了  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制能力的测定，结果显示化合物对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶均有抑制活性， $IC_{50}$  值为 0.87~30.30  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ，其中 8-异戊烯基槲皮素 (118) 的抑制活性最强， $IC_{50}$  为 0.87  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ，115~125 化合物结构见图 13，酶动力学研究表明，化合物 (118) 对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶的抑制类型为非竞争性抑制。对于二苯乙烯类化合物 (115~117)，在 C-3 和 C-5 上具有羟基和甲氧基取代基的抑制活性相对较高，并且在 C-5 上具有甲氧基的抑制活性比在该

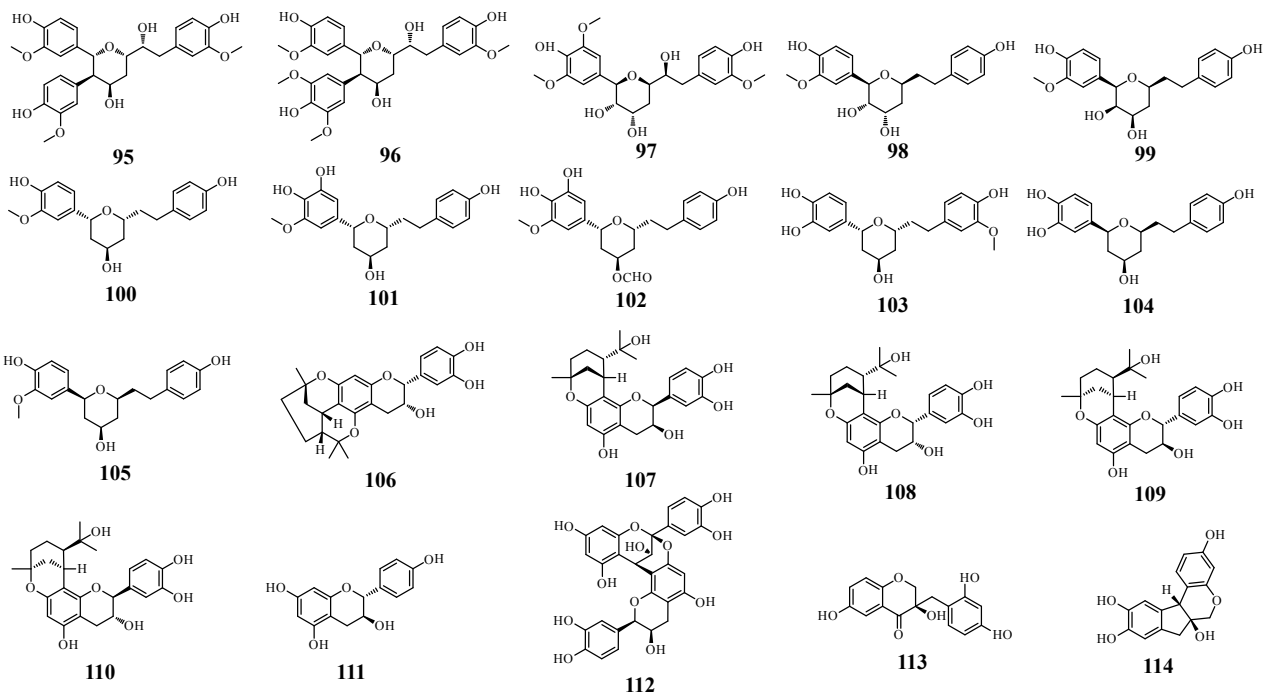


图 12 草果中天然  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂的化学结构  
**Fig. 12** Chemical structures of natural  $\alpha$ -glucosidase inhibitors from *Tsaoko Fructus*

位置具有羟基的抑制活性强。

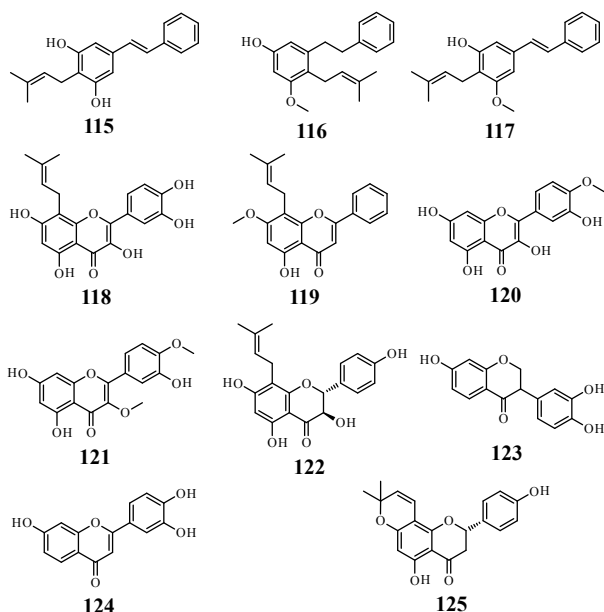


图 13 木豆叶中天然  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂的化学结构  
Fig. 13 Chemical structures of natural  $\alpha$ -glucosidase inhibitors from *Cajani Foliu*

### 2.13 山茱萸

本品为山茱萸科植物山茱萸 (*Cornus officinalis* Sieb. et Zucc.) 的干燥成熟果肉, 主要活性成分包括生物碱、环烯醚萜、黄酮类、多糖、有机酸、萜类、挥发油等<sup>[117-118]</sup>。药理学研究表明, 山茱萸具有心血管保护、肝肾保护、神经保护、抗氧化、抗炎、免疫调节和抗糖尿病等多种作用<sup>[119-123]</sup>。Ye 等<sup>[124]</sup> 从山茱萸中分离并鉴定了 10 新的环烯醚萜糖苷类化合物, 并对所有分离成分进行了  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性的评估。结果表明, 其中 8 个化合物具有较强的  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性, 其

IC<sub>50</sub> 值为 78.90~117.50  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ , 而阳性对照阿卡波糖的 IC<sub>50</sub> 值为 118.90  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。此外, 母核与葡萄糖基的  $\alpha$  构型 (化合物 127) 对其生物活性起重要作用, 126~133 化合物结构见图 14。以上研究提示, 部分从山茱萸中分离得到的  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂, 可能成为未来抗糖尿病药物开发的先导化合物。中药化学成分对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶的抑制作用见表 1。

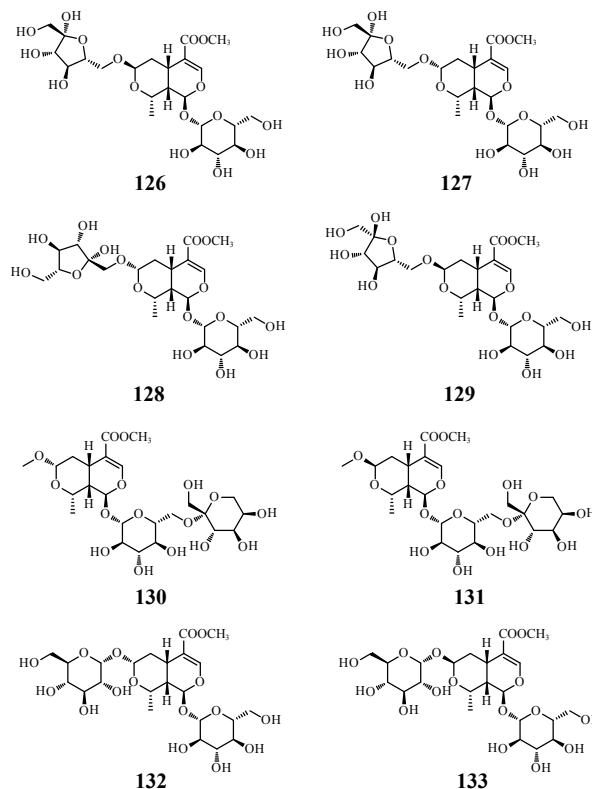


图 14 山茱萸中天然  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂的化学结构  
Fig. 14 Chemical structures of natural  $\alpha$ -glucosidase inhibitors from *Corni Fructus*

表 1 中药化学成分对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶的抑制作用

Tab. 1 Inhibitory effects of chemical constituents from traditional Chinese medicines on  $\alpha$ -glucosidase

中草药	编号	活性成分	IC <sub>50</sub>	K/ $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	抑制类型	参考文献
人参	1	姜状三七皂苷 R1	3.61 mmol·L <sup>-1</sup>	—	—	[27]
	2	竹节人参皂苷 Iva	17.33 mmol·L <sup>-1</sup>	—	—	[27]
	3	人参皂苷 F4	22.13 mmol·L <sup>-1</sup>	—	—	[27]
	4	人参皂苷 Rb2	32.40 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	19.40	非竞争性抑制	[28]
	5	人参皂苷 Rd	38.80 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	24.50	非竞争性抑制	[28]
竹节参	6	Panaxjapyne A	71.82 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	—	—	[29]
	7	人参炔醇	67.78 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	—	—	[29]
	8	人参炔二醇	22.21 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	—	—	[29]
人参花	9	人参黄酮苷	62.40 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	—	—	[30]
桑叶	10	1-脱氧野尻霉素	0.82 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$	—	—	[39]
	11	桑色素	5.57 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$	—	—	[39]

续表 1

中草药	编号	活性成分	IC <sub>50</sub>	K/ $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	抑制类型	参考文献
	12	槲皮素	12.43 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$	—	—	[39]
	13	桑根酮 C	12.81 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$	—	—	[39]
	14	桑辛素	9.43 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$	—	—	[39]
	15	山柰酚	102.61 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$	—	—	[39]
桑枝	16	桑黄酮 G	2.83 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	—	—	[40]
	17	桑黄酮 H	2.82 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	—	—	[40]
			4.06 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	—	—	[42]
桑白皮	18	5-羟乙基桑辛素 M	7.55 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	—	—	[41]
	19	桑根酮 V	2.89 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	—	—	[41]
	20	2-(3,5-二羟基苯基)-5,6-苯并呋喃二醇	5.73 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	—	—	[41]
	21	桑呋喃 G	2.48 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	—	—	[41]
	22	氧化白藜芦醇	8.35 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	—	—	[42]
	23	7-羟基香豆素	492.46 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	—	—	[42]
银杏叶	24	杨梅素	4.86 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	—	—	[48]
	25	芹菜素	16.53 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	—	—	[48]
	26	丁香亭	36.80 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	—	—	[48]
	27	异鼠李素	44.34 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	—	—	[48]
	28	穗花杉双黄酮	3.28 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	—	—	[48]
	29	白果素	2.16 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	—	—	[48]
	30	银杏双黄酮	1.79 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	—	—	[48]
	31	异银杏素	4.69 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	—	—	[48]
	32	金松双黄酮	8.29 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	—	—	[48]
	33	白果新酸	3.90 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$	—	—	[49]
葛根	34	大豆苷元	8.58 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	17.64	非竞争性抑制	[51]
	35	染料木素	2.37 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	5.03	非竞争性抑制	[51]
	36	毛蕊异黄酮	6.84 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	13.83	非竞争性抑制	[51]
	37	8-香叶基-7,3',4'-三羟基异黄酮	3.61 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	—	—	[52]
	38	8-香叶基-7,4'-二羟基异黄酮	5.44 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	—	—	[52]
	39	8-香叶基-7-羟基-4'-甲氧基异黄酮	2.35 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	—	—	[52]
	40	Puerarol	6.14 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	—	—	[52]
	41	黄色当归醇	1.96 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	—	—	[52]
地骨皮	42	枸杞黄烷苷 A	20.89 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	—	—	[60]
	43	N-反式-对香豆酰酪胺	0.42 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	—	—	[61]
	44	N-反式-咖啡因	1.86 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	—	—	[61]
	45	(-)-异落叶松脂醇-3 $\alpha$ -O- $\beta$ -D-吡喃葡萄糖苷	26.82 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$	—	—	[62]
	46	淫羊藿次苷 E5	43.14 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$	—	—	[62]
沉香	47	沉香苷	634.70 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	—	—	[69]
	48	Hypolaetin 5-O- $\beta$ -D-glucopyranoside	298.90 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	—	—	[69]
	49	沉香酮	678.10 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	—	—	[69]
	50	芒果苷	299.70 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	—	—	[69]
	51	2-O- $\alpha$ -L-鼠李吡喃糖甙鸢尾酚酮	366.70 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	—	—	[69]
	52	鸢尾酚酮 3-C-葡萄糖苷	404.70 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	—	—	[69]
	53	鸢尾酚酮 3,5-C- $\beta$ -D-二吡喃葡萄糖苷	562.10 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	—	—	[69]
	54	6,7-二甲氧基-2-[2-(4-羟基苯基)乙基]色原酮	150.00 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	—	—	[70]
	55	6,7-二羟基-2-[2-(4-甲氧基苯基)乙基]色原酮	50.00 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	—	—	[70]

续表 1

中草药	编号	活性成分	IC <sub>50</sub>	K <sub>i</sub> /μmol·L <sup>-1</sup>	抑制类型	参考文献	
甘草	56	6-羟基-2-[2-(3-甲氧基-4-羟基苯基)乙基]色原酮	90.00 μmol·L <sup>-1</sup>	—	—	[70]	
	57	甘草查尔酮 B	<0.10 μmol·L <sup>-1</sup>	—	—	[79]	
	58	7,4'-二羟基黄酮	<0.10 μmol·L <sup>-1</sup>	—	—	[79]	
	59	黄甘草异黄酮 A	<0.10 μmol·L <sup>-1</sup>	—	—	[79]	
	60	甘草查尔酮 D	<0.10 μmol·L <sup>-1</sup>	—	—	[79]	
	61	光甘草醇	<0.10 μmol·L <sup>-1</sup>	—	—	[79]	
	62	甘草查尔酮 C	<0.10 μmol·L <sup>-1</sup>	—	—	[79]	
	63	甘草查尔酮 E	<0.10 μmol·L <sup>-1</sup>	—	—	[79]	
	64	甘草查尔酮 A	<0.10 μmol·L <sup>-1</sup>	—	—	[79]	
	65	甘草黄酮 C	0.30 μmol·L <sup>-1</sup>	—	—	[79]	
	66	羽扇豆异黄酮	<0.10 μmol·L <sup>-1</sup>	—	—	[79]	
	67	甘草黄酮 B	<0.10 μmol·L <sup>-1</sup>	—	—	[79]	
	68	甘草素 H	20.10 μmol·L <sup>-1</sup>	—	—	[80]	
	69	6,8-二异戊烯基染料木素	16.30 μmol·L <sup>-1</sup>	—	—	[80]	
	70	2'-O-demethylbidwillol B	8.60 μmol·L <sup>-1</sup>	—	—	[80]	
	71	鹰嘴豆牙素 A	3.80 μmol·L <sup>-1</sup>	—	—	[80]	
	72	异甘草素	5.60 μmol·L <sup>-1</sup>	—	—	[80]	
	73	甘草香豆素	0.13 μmol·L <sup>-1</sup>	—	—	[80]	
	74	甘草酸 A	0.28 μmol·L <sup>-1</sup>	—	—	[80]	
	75	二氢高丽槐素	3.80 μmol·L <sup>-1</sup>	—	—	[80]	
	76	粗毛甘草素 A	3.20 μmol·L <sup>-1</sup>	—	—	[80]	
	黄芪	77	黄芪多糖	0.28 mg·mL <sup>-1</sup>	—	—	[88]
		78	毛蕊异黄酮	39.45 μmol·L <sup>-1</sup>	—	—	[89]
		79	毛蕊异黄酮苷	174.04 μmol·L <sup>-1</sup>	—	—	[89]
	石斛	80	毛兰菲	189.78 μmol·L <sup>-1</sup>	—	—	[96]
81		5-甲氧基-7-羟基-9,10-二氢-1,4-菲醌	126.88 μmol·L <sup>-1</sup>	—	—	[96]	
82		2,4-二羟基-3-甲酰基-6-甲基苯甲酸甲酯	18.67 μmol·L <sup>-1</sup>	—	—	[97]	
83		2,4-二羟基-3,6-二甲基苯甲酸甲酯	47.76 μmol·L <sup>-1</sup>	—	—	[97]	
84		4-羟基反式肉桂酸酯	4.61 μmol·L <sup>-1</sup>	—	—	[97]	
85		松柏醛	66.39 μmol·L <sup>-1</sup>	—	—	[97]	
86		4,5-二羟基-2-甲氧基-9,10-二氢菲	133.11 μmol·L <sup>-1</sup>	—	—	[97]	
87		石斛酚	79.87 μmol·L <sup>-1</sup>	—	—	[97]	
88		Diorcinolic acid	31.79 μmol·L <sup>-1</sup>	—	—	[97]	
89		Phoyunnanin E	8.90 μmol·L <sup>-1</sup>	5.89	非竞争性抑制	[98]	
90	Phoyunnanin C	12.60 μmol·L <sup>-1</sup>	5.97	非竞争性抑制	[98]		
何首乌	91	大黄素	4.12 μmol·L <sup>-1</sup>	—	—	[105]	
	92	芦荟大黄素	4.56 μmol·L <sup>-1</sup>	—	—	[105]	
	93	大黄素甲醚	5.32 μmol·L <sup>-1</sup>	—	—	[105]	
	94	大黄酸	5.68 μmol·L <sup>-1</sup>	—	—	[105]	
草果	95	草果吡喃醇 A	169.50 μmol·L <sup>-1</sup>	—	—	[111]	
	96	草果吡喃醇 B	154.50 μmol·L <sup>-1</sup>	—	—	[111]	
	97	草果吡喃醇 D	100.10 μmol·L <sup>-1</sup>	—	—	[111]	
	98	草果吡喃醇 E	89.60 μmol·L <sup>-1</sup>	—	—	[111]	
	99	草果吡喃醇 F	116.50 μmol·L <sup>-1</sup>	—	—	[111]	
	100	草果吡喃醇 H	59.40 μmol·L <sup>-1</sup>	—	—	[111]	

续表 1

中草药	编号	活性成分	IC <sub>50</sub>	K/ $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	抑制类型	参考文献
	101	草果吡喃醇 I	67.30 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	-	-	[111]
	102	草果吡喃醇 J	65.60 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	-	-	[111]
	103	草果吡喃醇 K	97.00 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	-	-	[111]
	104	Phaeoheptanoxide	68.60 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	-	-	[111]
	105	Engelheptanoxides C	179.50 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	-	-	[111]
	106	草果素 A	61.45 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	36.20	混合型抑制	[112]
	107	草果素 E	48.45 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	-	-	[112]
	108	草果素 F	29.50 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	24.40	混合型抑制	[112]
	109	草果素 G	34.94 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	-	-	[112]
	110	草果素 H	30.70 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	-	-	[112]
	111	阿夫儿茶精	44.10 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	-	-	[112]
	112	原花青素 A2	3.73 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	-	-	[112]
	113	苏木酮 B	64.95 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	-	-	[112]
	114	巴西苏木素	34.40 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	-	-	[112]
木豆叶	115	Chiricanine A	30.30 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	-	-	[116]
	116	3-甲氧基-5-羟基-2-异戊烯基二苯乙烷	7.00 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	-	-	[116]
	117	木豆芪 A	12.90 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	-	-	[116]
	118	8-异戊烯基槲皮素	0.87 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	-	-	[116]
	119	5-羟基-7-甲氧基-8-异戊烯基黄酮	2.30 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	-	-	[116]
	120	桉柳黄素	8.70 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	-	-	[116]
	121	Neophellamuretin	4.50 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	-	-	[116]
	122	3,4'-O-二甲基槲皮素	19.40 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	-	-	[116]
	123	7,3',4'-三羟基异黄酮	6.50 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	-	-	[116]
	124	7,3',4'-三羟基黄酮	3.17 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	-	-	[116]
	125	8-异戊烯基槲皮素 C	2.35 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	-	-	[116]
山茱萸	126	山茱萸二糖苷 A	101.20 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	-	-	[124]
	127	山茱萸二糖苷 B	78.90 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	-	-	[124]
	128	山茱萸二糖苷 C	99.10 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	-	-	[124]
	129	山茱萸二糖苷 D	116.70 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	-	-	[124]
	130	山茱萸二糖苷 E	89.50 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	-	-	[124]
	131	山茱萸二糖苷 F	106.30 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	-	-	[124]
	132	山茱萸二糖苷 G	102.70 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	-	-	[124]
	133	山茱萸二糖苷 H	117.50 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	-	-	[124]

### 3 总结与展望

近十年来, 世界各地的糖尿病发病率均有大幅上升, 目前全球有>5 亿糖尿病患者<sup>[3]</sup>。由糖尿病引发的一系列急性和慢性疾病如冠心病、中风、终末期肾病、视网膜病变、神经病变、截肢等, 给患者的生活质量, 公共卫生需求, 经济成本产生了深远的影响<sup>[125]</sup>。为了控制糖尿病患者的血糖水平, 目前已经开发了多种控制血糖的治疗药物。其中,  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂通过抑制小肠中二糖和低聚糖的分解以及减缓葡萄糖的吸收, 有效控制糖尿病患者的餐后高血糖症状<sup>[126]</sup>。然而,

现有的  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂可能存在的胃肠道不良反应限制了其临床应用。相比之下, 中草药在长期的临床实践中具有较少的不良反应, 同时, 部分中草药在调节血糖方面具有独特的潜力。国内外研究表明, 许多中草药的活性成分对  $\alpha$ -葡萄糖苷酶具有不同程度的抑制作用, 如人参皂苷、桑黄酮、芹菜素、毛蕊异黄酮等。其中作为次生代谢产物的多酚类物质, 是中草药植物中  $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂的主要来源<sup>[127]</sup>。某些黄酮类多酚能抑制  $\alpha$ -葡萄糖苷酶的活性, 如桑色素、槲皮素、杨梅素<sup>[128-131]</sup>。研究表明, 黄酮类结构的 A、B 或

C环上的羟基与 $\alpha$ -葡萄糖苷酶活性部位通过氢键结合导致酶结构的细微改变,并通过黄酮类化合物A环和C环上的羟基化来增强抑制作用<sup>[132]</sup>。为新型 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂的结构设计和优化策略提供了重要依据。进一步研究和开发中草药作为 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂的新途径,可能在糖尿病治疗中发挥重要的优势。

中草药成分复杂,相关活性成分含量低,如何简单、快速地从中草药中筛选活性成分是 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制剂开发的关键。近年来随着分离和分析技术的发展,一些新的筛选方法,如谱效结合法、磁珠固定化酶法、亲和超滤质谱法、电化学检测法等,为中草药中发现 $\alpha$ -葡萄糖苷酶提供了准确高效的技术支持<sup>[133]</sup>。同时,通过计算机辅助方法,为中草药的相关成分的高通量筛选和活性成分酶抑制机制提供了参考。未来还可针对候选化合物进行更多的临床前研究,包括药效学、药动学和毒理学<sup>[134-136]</sup>。另外,针对具备强效抑制能力的某些中草药,例如黄芪和人参,已经开发出用于糖尿病预防和治疗的复方中成药,如金芪降糖片和参芪降糖片<sup>[137]</sup>,这些中药制剂为糖尿病患者提供了更加多样化的治疗选择。此外,还可以进行中西联合用药研究,将具有较强 $\alpha$ -葡萄糖苷酶抑制活性的中草药与已上市的糖尿病治疗药物(如格列本脲、二甲双胍、贝那鲁肽等)联合使用,以寻找更加安全和有效的糖尿病治疗新策略。

## REFERENCES

[1] DHAMEJA M, GUPTA P. Synthetic heterocyclic candidates as promising  $\alpha$ -glucosidase inhibitors: An overview[J]. *Eur J Med Chem*, 2019(176): 343-377.

[2] HE Z Y, YU C. Research progress of traditional Chinese and western medicine on metabolic syndrome[J]. *Chin Med Mod Distance Educ China* (中国中医药现代远程教育), 2022, 20(15): 196-198.

[3] SUN H, SAEEDI P, KARURANGA S, et al. IDF Diabetes Atlas: Global, regional and country-level diabetes prevalence estimates for 2021 and projections for 2045[J]. *Diabetes Res Clin Pract*, 2022(183): 109119.

[4] LAAKSO M, KUUSISTO J. Insulin resistance and hyperglycaemia in cardiovascular disease development[J]. *Nat Rev Endocrinol*, 2014, 10(5): 293-302.

[5] BOREL A L. Sleep apnea and sleep habits: Relationships with metabolic syndrome[J]. *Nutrients*, 2019, 11(11): 2628.

[6] DONG S W, WANG Z, SHEN K W, et al. Metabolic syndrome and breast cancer: Prevalence, treatment response, and prognosis[J]. *Front Oncol*, 2021(11): 629666.

[7] LIFSHITZ K, BER Y, MARGEL D. Role of metabolic

syndrome in prostate cancer development[J]. *Eur Urol Focus*, 2021, 7(3): 508-512.

[8] MONTEMAYOR S, BOUZAS C, MASCARÓ C M, et al. Effect of dietary and lifestyle interventions on the amelioration of NAFLD in patients with metabolic syndrome: The FLIPAN study[J]. *Nutrients*, 2022, 14(11): 2223.

[9] MOORE K J, SHAH R. Introduction to the obesity, metabolic syndrome, and CVD compendium[J]. *Circ Res*, 2020, 126(11): 1475-1476.

[10] TUDORAN C, TUDORAN M, CUT T G, et al. The impact of metabolic syndrome and obesity on the evolution of diastolic dysfunction in apparently healthy patients suffering from post-COVID-19 syndrome[J]. *Biomedicines*, 2022, 10(7): 1519.

[11] ZHENG Y, LEY S H, HU F B. Global aetiology and epidemiology of type 2 diabetes mellitus and its complications[J]. *Nat Rev Endocrinol*, 2018, 14(2): 88-98.

[12] PAPOUTSIS K, ZHANG J Y, BOWYER M C, et al. Fruit, vegetables, and mushrooms for the preparation of extracts with  $\alpha$ -amylase and  $\alpha$ -glucosidase inhibition properties: A review[J]. *Food Chem*, 2021(338): 128119.

[13] KIM J S, KWON C S, SON K H. Inhibition of alpha-glucosidase and amylase by luteolin, a flavonoid[J]. *Biosci Biotechnol Biochem*, 2000, 64(11): 2458-2461.

[14] RAO G W, YU H F, ZHANG M L, et al.  $\alpha$ -glucosidase and bacterial  $\beta$ -glucuronidase inhibitors from the stems of *Schisandra sphaerandra* staph[J]. *Pharmaceuticals (Basel)*, 2022, 15(3): 329.

[15] GUPTA P, BALA M J, GUPTA S, et al. Efficacy and risk profile of anti-diabetic therapies: Conventional vs traditional drugs-a mechanistic revisit to understand their mode of action[J]. *Pharmacol Res*, 2016, 113(Pt A): 636-674.

[16] TIAN J X, LI M, TONG X L. Historical development of the relationship between polyphagia and diabetes[J]. *J Tradit Chin Med(中医杂志)*, 2018, 59(12): 1002-1005, 1010.

[17] CHEN H, XIONG L, WANG W J. Reviews on  $\alpha$ -glucosidase inhibitor from plant secondary metabolites[J]. *China J Chin Mater Med(中国中药杂志)*, 2017, 42(15): 2915-2924.

[18] ROIG-ZAMBONI V, COBUCCI-PONZANO B, IACONO R, et al. Structure of human lysosomal acid  $\alpha$ -glucosidase-a guide for the treatment of Pompe disease[J]. *Nat Commun*, 2017, 8(1): 1111.

[19] RASOULI H, YARANI R, POCIOT F, et al. Anti-diabetic potential of plant alkaloids: Revisiting current findings and future perspectives[J]. *Pharmacol Res*, 2020(155): 104723.

[20] HE F Q, WAN G Z, CHEN J. Pancreatic lipase and alpha-glucosidase inhibitors screening from *Schisandra chinensis* based on spectrum-effect relationship and ultra-high-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry[J]. *J Sep Sci*, 2022, 45(23): 4198-4208.

[21] PENG X, ZHANG G W, LIAO Y J, et al. Inhibitory kinetics and mechanism of kaempferol on  $\alpha$ -glucosidase[J]. *Food Chem*, 2016(190): 207-215.

[22] ZHANG B W, LI X, SUN W L, et al. Dietary flavonoids and acarbose synergistically inhibit  $\alpha$ -glucosidase and lower postprandial blood glucose[J]. *J Agric Food Chem*, 2017, 65(38): 8319-8330.

[23] DIRIR A M, DAOU M, YOUSEF A F, et al. A review of

- alpha-glucosidase inhibitors from plants as potential candidates for the treatment of type-2 diabetes[J]. *Phytochem Rev*, 2022, 21(4): 1049-1079.
- [24] CLISSOLD S P, EDWARDS C. Acarbose. A preliminary review of its pharmacodynamic and pharmacokinetic properties, and therapeutic potential[J]. *Drugs*, 1988, 35(3): 214-243.
- [25] ZHOU P, XIE W J, HE S B, et al. Ginsenoside Rb1 as an anti-diabetic agent and its underlying mechanism analysis[J]. *Cells*, 2019, 8(3): 204.
- [26] LIU H B, LU X Y, HU Y, et al. Chemical constituents of *Panax ginseng* and *Panax notoginseng* explain why they differ in therapeutic efficacy[J]. *Pharmacol Res*, 2020(161): 105263.
- [27] WANG H P, FAN C L, LIN Z Z, et al. Screening of potential  $\alpha$ -glucosidase inhibitors from the roots and rhizomes of *Panax ginseng* by affinity ultrafiltration screening coupled with UPLC-ESI-orbitrap-MS method[J]. *Molecules*, 2023, 28(5): 2069.
- [28] TENG H, CHEN L, FANG T, et al. Rb2 inhibits  $\alpha$ -glucosidase and regulates glucose metabolism by activating AMPK pathways in HepG2 cells[J]. *J Funct Foods*, 2017(28): 306-313.
- [29] CHAN H H, SUN H D, REDDY M V B, et al. Potent alpha-glucosidase inhibitors from the roots of *Panax japonicus* C. A. Meyer var. major[J]. *Phytochemistry*, 2010, 71(11/12): 1360-1364.
- [30] LI K K, LI S S, XU F, et al. A novel acylated quercetin glycoside and compounds of inhibitory effects on  $\alpha$ -glucosidase from *Panax ginseng* flower buds[J]. *Nat Prod Res*, 2020, 34(18): 2559-2565.
- [31] BHATTACHARJYA D, SADAT A, DAM P, et al. Current concepts and prospects of mulberry fruits for nutraceutical and medicinal benefits[J]. *Curr Opin Food Sci*, 2021(40): 121-135.
- [32] MENG Q H, QI X, FU Y, et al. Flavonoids extracted from mulberry (*Morus alba* L.) leaf improve skeletal muscle mitochondrial function by activating AMPK in type 2 diabetes[J]. *J Ethnopharmacol*, 2020(248): 112326.
- [33] RODRIGUES E L, MARCELINO G, SILVA G T, et al. Nutraceutical and medicinal potential of the *Morus* species in metabolic dysfunctions[J]. *Int J Mol Sci*, 2019, 20(2): 301.
- [34] SU S L, DUAN J a, OUYANG Z, et al. Progress on resource chemistry of the medicinal plants in genus *Morus* L. in China[J]. *Mod Chin Med(中国现代中药)*, 2012, 14(7): 1-6.
- [35] ASANO N, YAMASHITA T, YASUDA K, et al. Polyhydroxylated alkaloids isolated from mulberry trees (*Morus alba* L.) and silkworms (*Bombyx mori* L.)[J]. *J Agric Food Chem*, 2001, 49(9): 4208-4213.
- [36] GAO K, ZHENG C L, WANG T, et al. 1-deoxynojirimycin: Occurrence, extraction, chemistry, oral pharmacokinetics, biological activities and in silico target fishing[J]. *Molecules*, 2016, 21(11): 1600.
- [37] KAN J T, VELLIQUETTE R A, GRANN K, et al. A novel botanical formula prevents diabetes by improving insulin resistance[J]. *BMC Complement Altern Med*, 2017, 17(1): 352.
- [38] VICHASILP C, NAKAGAWA K, SOOKWONG P, et al. Development of high 1-deoxynojirimycin(DNJ) content mulberry tea and use of response surface methodology to optimize tea-making conditions for highest DNJ extraction[J]. *LWT Food Sci Technol*, 2012, 45(2): 226-232.
- [39] CHEN Z Y, DU X, YANG Y Y, et al. Comparative study of chemical composition and active components against  $\alpha$ -glucosidase of various medicinal parts of *Morus alba* L[J]. *Biomed Chromatogr*, 2018, 32(11): e4328.
- [40] FENG F, XIANG W, GAO H, et al. Rapid screening of nonalkaloid  $\alpha$ -glucosidase inhibitors from a mulberry twig extract using enzyme-functionalized magnetic nanoparticles coupled with UPLC-MS/MS[J]. *J Agric Food Chem*, 2022, 70(38): 11958-11966.
- [41] LI M, WU X W, WANG X N, et al. Two novel compounds from the root bark of *Morus alba* L[J]. *Nat Prod Res*, 2018, 32(1): 36-42.
- [42] HSU J H, YANG C S, CHEN J J. Antioxidant, anti- $\alpha$ -glucosidase, antityrosinase, and anti-inflammatory activities of bioactive components from *Morus alba*[J]. *Antioxidants (Basel)*, 2022, 11(11): 2222.
- [43] TANAKA S, HAN L K, ZHENG Y N, et al. Effects of the flavonoid fraction from *Ginkgo biloba* extract on the postprandial blood glucose elevation in rats[J]. *Yakugaku Zasshi*, 2004, 124(9): 605-611.
- [44] EISVAND F, RAZAVI B M, HOSSEINZADEH H. The effects of *Ginkgo biloba* on metabolic syndrome: A review[J]. *Phytother Res*, 2020, 34(8): 1798-1811.
- [45] XU S, TANG L D, QIAN X D, et al. Molecular mechanism of *Ginkgo biloba* in treating type 2 diabetes mellitus combined with non-alcoholic fatty liver disease based on network pharmacology, molecular docking, and experimental evaluations[J]. *J Food Biochem*, 2022, 46(12): e14419.
- [46] LIU Y X, XIN H W, ZHANG Y C, et al. Leaves, seeds and exocarp of *Ginkgo biloba* L. (Ginkgoaceae): A Comprehensive Review of Traditional Uses, phytochemistry, pharmacology, resource utilization and toxicity[J]. *J Ethnopharmacol*, 2022(298): 115645.
- [47] LIU Y, ZHOU H, LIU S, et al. Screening of  $\alpha$ -glucosidase inhibitors in *Ginkgo biloba* extract using ultrafiltration LC-ESI-MS<sup>n</sup>[J]. *Chem J Chin Univ (高等学校化学学报)*, 2013, 34(4): 813-818.
- [48] WU B, SONG H P, ZHOU X, et al. Screening of minor bioactive compounds from herbal medicines by in silico docking and the trace peak exposure methods[J]. *J Chromatogr A*, 2016(1436): 91-99.
- [49] SUKITO A, TACHIBANA S. Potent  $\alpha$ -glucosidase inhibitors isolated from *Ginkgo biloba* leaves[J]. *Pak J Biol Sci*, 2014, 17(11): 1170-1178.
- [50] LI X, PAN J X, CHEN S G, et al. Research progress of chemical components and pharmacological action of *Pueraria lobata*[J]. *J Chin Inst Food Sci Technol(中国食品学报)*, 2017, 17(9): 189-195.
- [51] SEONG S H, ROY A, JUNG H A, et al. Protein tyrosine phosphatase 1B and  $\alpha$ -glucosidase inhibitory activities of *Pueraria lobata* root and its constituents[J]. *J Ethnopharmacol*, 2016(194): 706-716.
- [52] XIANG H P, XU P, WEN W Y, et al. Screening, characterization of trace  $\alpha$ -glucosidase inhibitors from the root

- of *Pueraria lobata* and evaluation of their hypoglycemic activity[J]. *Food Biosci*, 2023(53): 102641.
- [53] POTTERAT O. Goji (*Lycium barbarum* and *L. chinense*): Phytochemistry, pharmacology and safety in the perspective of traditional uses and recent popularity[J]. *Planta Med*, 2010, 76(1): 7-19.
- [54] GAO D W, LI Q W, LIU Z W, et al. Hypoglycemic effects and mechanisms of action of Cortex Lycii Radicis on alloxan-induced diabetic mice[J]. *Yakugaku Zasshi*, 2007, 127(10): 1715-1721.
- [55] YE Z, HUANG Q, NI H X, et al. Cortex Lycii Radicis extracts improve insulin resistance and lipid metabolism in obese-diabetic rats[J]. *Phytother Res*, 2008, 22(12): 1665-1670.
- [56] INBARAJ B S, LU H, HUNG C F, et al. Determination of carotenoids and their esters in fruits of *Lycium barbarum* Linnaeus by HPLC-DAD-APCI-MS[J]. *J Pharm Biomed Anal*, 2008, 47(4/5): 812-818.
- [57] WANG C C, CHANG S C, CHEN B H. Chromatographic determination of polysaccharides in *Lycium barbarum* Linnaeus[J]. *Food Chem*, 2009, 116(2): 595-603.
- [58] INBARAJ B S, LU H, KAO T H, et al. Simultaneous determination of phenolic acids and flavonoids in *Lycium barbarum* Linnaeus by HPLC-DAD-ESI-MS[J]. *J Pharm Biomed Anal*, 2010, 51(3): 549-556.
- [59] FORINO M, TARTAGLIONE L, DELL'AVERSANO C, et al. NMR-based identification of the phenolic profile of fruits of *Lycium barbarum* (goji berries). Isolation and structural determination of a novel *N*-feruloyl tyramine dimer as the most abundant antioxidant polyphenol of goji berries[J]. *Food Chem*, 2016, 194: 1254-1259.
- [60] YANG Y N, AN Y W, ZHAN Z L, et al. Nine new compounds from the root bark of *Lycium chinense* and their  $\alpha$ -glucosidase inhibitory activity[J]. *RSC Adv*, 2017, 7(2): 805-812.
- [61] LIU Y Q, ZHENG W, ZHONG Y, et al. Identification of  $\alpha$ -glucosidase inhibitors from Cortex Lycii based on a bioactivity-labeling high-resolution mass spectrometry-metabolomics investigation[J]. *J Chromatogr A*, 2021(1642): 462041.
- [62] DUAN Y D, SU C Y, LIANG Y, et al. Four new diastereoisomeric neolignan glycosides from the root bark of *Lycium chinense* Miller. and their  $\alpha$ -glucosidase inhibitory activity[J]. *Fitoterapia*, 2023(168): 105520.
- [63] ADAM A Z, LEE S Y, MOHAMED R. Pharmacological properties of agarwood tea derived from *Aquilaria* (Thymelaeaceae) leaves: An emerging contemporary herbal drink[J]. *J Herb Med*, 2017(10): 37-44.
- [64] KANG S J, LEE J E, LEE E K, et al. Fermentation with *Aquilariae Lignum* enhances the anti-diabetic activity of green tea in type II diabetic db/db mouse[J]. *Nutrients*, 2014, 6(9): 3536-3571.
- [65] LEE J E, KANG S J, CHOI S H, et al. Fermentation of green tea with 2% *aquilariae lignum* increases the anti-diabetic activity of green tea aqueous extracts in the high fat-fed mouse[J]. *Nutrients*, 2015, 7(11): 9046-9078.
- [66] PRANAKHON R, AROMDEE C, PANNANGPETCH P. Effects of iriflophenone 3-C- $\beta$ -glucoside on fasting blood glucose level and glucose uptake[J]. *Pharmacogn Mag*, 2015, 11(41): 82-89.
- [67] MEI W L, YANG D L, WANG H, et al. Characterization and determination of 2-(2-phenylethyl)chromones in agarwood by GC-MS[J]. *Molecules*, 2013, 18(10): 12324-12345.
- [68] HUO H X, LIU Y, LIU W J, et al. A full solution for multi-component quantification-oriented quality assessment of herbal medicines, Chinese agarwood as a case[J]. *J Chromatogr A*, 2018(1558): 37-49.
- [69] FENG J, YANG X W, WANG R F. Bio-assay guided isolation and identification of  $\alpha$ -glucosidase inhibitors from the leaves of *Aquilaria sinensis*[J]. *Phytochemistry*, 2011, 72(2/3): 242-247.
- [70] LIAO G, MEI W L, DONG W H, et al. 2-(2-Phenylethyl)chromone derivatives in artificial agarwood from *Aquilaria sinensis*[J]. *Fitoterapia*, 2016(110): 38-43.
- [71] SHANG Z P, LIU C R, QIAO X, et al. Chemical analysis of the Chinese herbal medicine licorice (Gan-Cao): An update review[J]. *J Ethnopharmacol*, 2022(299): 115686.
- [72] ASL M N, HOSSEINZADEH H. Review of pharmacological effects of *Glycyrrhiza* sp. and its bioactive compounds[J]. *Phytother Res*, 2008, 22(6): 709-724.
- [73] JIANG M Y, ZHAO S J, YANG S S, et al. An “essential herbal medicine” -licorice: A review of phytochemicals and its effects in combination preparations[J]. *J Ethnopharmacol*, 2020(249): 112439.
- [74] LI X L, QIU Q, LI M Y, et al. Chemical composition and pharmacological mechanism of ephedra-glycyrrhiza drug pair against coronavirus disease 2019 (COVID-19)[J]. *Aging (Albany NY)*, 2021, 13(4): 4811-4830.
- [75] LU Q, WU X Q, HAN W, et al. Effect of *Glycyrrhiza uralensis* against ulcerative colitis through regulating the signaling pathway of FXR/P-gp[J]. *Am J Transl Res*, 2021, 13(8): 9296-9305.
- [76] SHARIFI-RAD J, QUISPE C, HERRERA-BRAVO J, et al. *Glycyrrhiza* genus: Enlightening phytochemical components for pharmacological and health-promoting abilities[J]. *Oxid Med Cell Longev*, 2021(2021): 7571132.
- [77] SAWADA K, YAMASHITA Y, ZHANG T S, et al. Glabridin induces glucose uptake via the AMP-activated protein kinase pathway in muscle cells[J]. *Mol Cell Endocrinol*, 2014, 393(1/2): 99-108.
- [78] AHN J, LEE H, JANG J, et al. Anti-obesity effects of glabridin-rich supercritical carbon dioxide extract of licorice in high-fat-fed obese mice[J]. *Food Chem Toxicol*, 2013(51): 439-445.
- [79] GUO Z H, NIU X L, XIAO T, et al. Chemical profile and inhibition of  $\alpha$ -glucosidase and protein tyrosine phosphatase 1B (PTP1B) activities by flavonoids from licorice (*Glycyrrhiza uralensis* Fisch)[J]. *J Funct Foods*, 2015(14): 324-336.
- [80] FAN J R, KUANG Y, DONG Z Y, et al. Prenylated phenolic compounds from the aerial parts of *Glycyrrhiza uralensis* as PTP1B and  $\alpha$ -glucosidase inhibitors[J]. *J Nat Prod*, 2020, 83(4): 814-824.
- [81] LIU Y, LIU J, WU K X, et al. A rapid method for sensitive profiling of bioactive triterpene and flavonoid from *Astragalus mongholicus* and *Astragalus membranaceus* by

- ultra-pressure liquid chromatography with tandem mass spectrometry[J]. *J Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci*, 2018(1085): 110-118.
- [82] WANG C J, HE F, HUANG Y F, et al. Discovery of chemical markers for identifying species, growth mode and production area of *Astragali Radix* by using ultra-high-performance liquid chromatography coupled to triple quadrupole mass spectrometry[J]. *Phytomedicine*, 2020(67): 153155.
- [83] CHEN Y J, WANG J Y, LI J T, et al. *Astragalus* polysaccharide prevents ferroptosis in a murine model of experimental colitis and human Caco-2 cells via inhibiting NRF2/HO-1 pathway[J]. *Eur J Pharmacol*, 2021(911): 174518.
- [84] ZHANG Y X, LIU H L, WANG R Q, et al. Chemical constituents and pharmacological effects of *Astragali Radix* and predictive analysis on quality markers[J]. *Chin J New Drugs(中国新药杂志)*, 2023, 32(4): 410-419.
- [85] TANG Z J, HUANG G L. Extraction, structure, and activity of polysaccharide from *Radix astragali*[J]. *Biomed Pharmacother*, 2022(150): 113015.
- [86] ZHENG Y J, REN W Y, ZHANG L N, et al. A review of the pharmacological action of *Astragalus* polysaccharide[J]. *Front Pharmacol*, 2020(11): 349.
- [87] ZHONG M Y, YAN Y, YUAN H S, et al. *Astragalus mongholicus* polysaccharides ameliorate hepatic lipid accumulation and inflammation as well as modulate gut microbiota in NAFLD rats[J]. *Food Funct*, 2022, 13(13): 7287-7301.
- [88] ZHU Z Y, ZHANG J Y, CHEN L J, et al. Comparative evaluation of polysaccharides isolated from *Astragalus*, oyster mushroom, and yacon as inhibitors of  $\alpha$ -glucosidase[J]. *Chin J Nat Med*, 2014, 12(4): 290-293.
- [89] HAN L L, SONG J Q, YAN C Q, et al. Inhibitory activity and mechanism of calycosin and calycosin-7-O- $\beta$ -D-glucoside on  $\alpha$ -glucosidase: Spectroscopic and molecular docking analyses[J]. *Process Biochem*, 2022(118): 227-235.
- [90] YANG L, WANG Z T, XU L S. Simultaneous determination of phenols (bibenzyl, phenanthrene, and fluorenone) in *Dendrobium* species by high-performance liquid chromatography with diode array detection[J]. *J Chromatogr A*, 2006, 1104(1/2): 230-237.
- [91] XU J, ZHAO W M, QIAN Z M, et al. Fast determination of five components of coumarin, alkaloids and bibenzyls in *Dendrobium* spp. using pressurized liquid extraction and ultra-performance liquid chromatography[J]. *J Sep Sci*, 2010, 33(11): 1580-1586.
- [92] CHOONONG R, SERMPRADIT W, KITISRIPANYA T, et al. The contents of bibenzyl derivatives, flavonoids and a phenanthrene in selected *Dendrobium* spp. and the correlation with their antioxidant activity[J]. *ScienceAsia*, 2019, 45(3): 245.
- [93] TANG H X, ZHAO T W, SHENG Y J, et al. *Dendrobium officinale* kimura et migo: A review on its ethnopharmacology, phytochemistry, pharmacology, and industrialization[J]. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2017(2017): 7436259.
- [94] XING S P, YU W X, ZHANG X F, et al. Isoviolanthin extracted from *Dendrobium officinale* reverses TGF- $\beta$ 1-mediated Epithelial-Mesenchymal transition in hepatocellular carcinoma cells via deactivating the TGF- $\beta$ /smad and PI3K/akt/mTOR signaling pathways[J]. *Int J Mol Sci*, 2018, 19(6): 1556.
- [95] HE L, SU Q, BAI L, et al. Recent research progress on natural small molecule bibenzyls and its derivatives in *Dendrobium* species[J]. *Eur J Med Chem*, 2020(204): 112530.
- [96] INTHONGKAEW P, CHATSUMPUN N, SUPASUTEEKUL C, et al.  $\alpha$ -Glucosidase and pancreatic lipase inhibitory activities and glucose uptake stimulatory effect of phenolic compounds from *Dendrobium formosum*[J]. *Rev Bras De Farmacogn*, 2017, 27(4): 480-487.
- [97] SAN H T, BOONSNONGCHEEP P, PUTALUN W, et al.  $\alpha$ -glucosidase inhibitory and glucose uptake stimulatory effects of phenolic compounds From *Dendrobium christyanum*[J]. *Nat Prod Commun*, 2020, 15(3): 1934578X2091345.
- [98] THANT M T, KHINE H E E, NEALIGA J Q L, et al.  $\alpha$ -glucosidase inhibitory activity and anti-adipogenic effect of compounds from *Dendrobium delacourii*[J]. *Molecules*, 2022, 27(4): 1156.
- [99] HE D X, CHEN B, TIAN Q Q, et al. Simultaneous determination of five anthraquinones in medicinal plants and pharmaceutical preparations by HPLC with fluorescence detection[J]. *J Pharm Biomed Anal*, 2009, 49(4): 1123-1127.
- [100] JIAO Y, ZUO Y G. Ultrasonic extraction and HPLC determination of anthraquinones, aloe-emodin, emodin, rheine, chrysophanol and physcione, in roots of *Polygoni multiflori*[J]. *Phytochem Anal*, 2009, 20(4): 272-278.
- [101] TANG W P, ZHAN J F, LI S M, et al. Hypoglycemic effects of naturally processed *Polygonum multiflorum* extract in KK CgAy/J mice and its mechanism of action[J]. *Food Sci Hum Wellness*, 2022, 11(5): 1177-1182.
- [102] LIN L F, NI B R, LIN H M, et al. Traditional usages, botany, phytochemistry, pharmacology and toxicology of *Polygonum multiflorum* Thunb.: A review[J]. *J Ethnopharmacol*, 2015(159): 158-183.
- [103] DONG X, ZENG Y W, LIU Y, et al. Aloe-emodin: A review of its pharmacology, toxicity, and pharmacokinetics[J]. *Phytother Res*, 2020, 34(2): 270-281.
- [104] CUI Y, CHEN L J, HUANG T, et al. The pharmacology, toxicology and therapeutic potential of anthraquinone derivative emodin[J]. *Chin J Nat Med*, 2020, 18(6): 425-435.
- [105] YANG D, ZHAO J D, LIU S, et al. The screening of potential  $\alpha$ -glucosidase inhibitors from the *Polygonum multiflorum* extract using ultrafiltration combined with liquid chromatography-tandem mass spectrometry[J]. *Anal Methods*, 2014, 6(10): 3353-3359.
- [106] ZHANG W, CHEN J W, SHEN Y, et al. Extraction and determination of essential oil in different cultivars of *Amomum tsao-ko*[J]. *Adv Mater Res*, 2012(549): 474-477.
- [107] LI G D, LU Q W, WANG J J, et al. Correlation analysis of compounds in essential oil of *Amomum tsaoko* seed and fruit morphological characteristics, geographical conditions, locality of growth[J]. *Agronomy*, 2021, 11(4): 744.
- [108] LI B, CHOI H J, LEE D S, et al. *Amomum tsao-ko* suppresses lipopolysaccharide-induced inflammatory responses in RAW<sub>264.7</sub> macrophages via Nrf2-dependent heme oxygenase-1

- expression[J]. *Am J Chin Med*, 2014, 42(5): 1229-1244.
- [109] ZHANG X F, TANG Y J, GUAN X X, et al. Flavonoid constituents of *Amomum tsao-ko* Crevest et Lemarie and their antioxidant and antidiabetic effects in diabetic rats—*in vitro* and *in vivo* studies[J]. *Food Funct*, 2022, 13(1): 437-450.
- [110] HE G, YANG S B, WANG Y Z. The potential of *Amomum tsao-ko* as a traditional Chinese medicine: Traditional clinical applications, phytochemistry and pharmacological properties[J]. *Arab J Chem*, 2023, 16(8): 104936.
- [111] HE X F, ZHANG X K, GENG C G, et al. Tsaokopyranols A-M, 2, 6-epoxydiarylheptanoids from *Amomum tsao-ko* and their  $\alpha$ -glucosidase inhibitory activity[J]. *Bioorg Chem*, 2020(96): 103638.
- [112] HE X F, CHEN J J, HUANG X Y, et al. The antidiabetic potency of *Amomum tsao-ko* and its active flavanols, as PTP1B selective and  $\alpha$ -glucosidase dual inhibitors[J]. *Ind Crops Prod*, 2021(160): 112908.
- [113] SCHUSTER R, HOLZER W, DOERFLER H, et al. *Cajanus cajan*-a source of PPAR $\gamma$  activators leading to anti-inflammatory and cytotoxic effects[J]. *Food Funct*, 2016, 7(9): 3798-3806.
- [114] HABIB M A, ANISUZZAMAN A S M, KHAN M R I, et al. Chemical and pharmacological characterization of hypolipidemic compound from *Cajanus cajan*[J]. *Bangladesh J Pharmacol*, 2010, 5(1). Doi: 10.3329/bjp.v5i1.5158.
- [115] GARGI B, SEMWAL P, JAMEEL PASHA S B, et al. Revisiting the nutritional, chemical and biological potential of *Cajanus cajan* (L.) millsp[J]. *Molecules*, 2022, 27(20): 6877.
- [116] ZHAO Y X, ZHAO X M, GUO M J, et al. Stilbenoids and flavonoids from *Cajanus cajan* (L.) millsp. and their  $\alpha$ -glucosidase inhibitory activities[J]. *Molecules*, 2023, 28(9): 3779.
- [117] DU W F, CAI H, WANG M Y, et al. Simultaneous determination of six active components in crude and processed *Fructus Corni* by high performance liquid chromatography[J]. *J Pharm Biomed Anal*, 2008, 48(1): 194-197.
- [118] CAI H, CAO G, CAI B C. Rapid simultaneous identification and determination of the multiple compounds in crude *Fructus Corni* and its processed products by HPLC-MS/MS with multiple reaction monitoring mode[J]. *Pharm Biol*, 2013, 51(3): 273-278.
- [119] KWON S H, PARK H Y, KIM J Y, et al. Apoptotic action of ursolic acid isolated from *Corni fructus* in RC-58T/h/SA#4 primary human prostate cancer cells[J]. *Bioorg Med Chem Lett*, 2010, 20(22): 6435-6438.
- [120] PARK C H, NOH J S, PARK J C, et al. Beneficial effect of 7-O-galloyl-D-sedoheptulose, a polyphenol isolated from *corni fructus*, against diabetes-induced alterations in kidney and adipose tissue of type 2 diabetic db/db mice[J]. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2013(2013): 736856.
- [121] WU Y F, WANG X S, SHEN B, et al. Extraction, structure and bioactivities of the polysaccharides from *Fructus corni*[J]. *Recent Pat Food Nutr Agric*, 2013, 5(1): 57-61.
- [122] HUANG J, ZHANG Y W, DONG L, et al. Ethnopharmacology, phytochemistry, and pharmacology of *Cornus officinalis* sieb. et zucc[J]. *J Ethnopharmacol*, 2018(213): 280-301.
- [123] ZHANG X W, SUI Y, LIU X X, et al. Structures and anti-atherosclerotic effects of 1, 6- $\alpha$ -glucans from *Fructus Corni*[J]. *Int J Biol Macromol*, 2020(161): 1346-1357.
- [124] YE X S, HE J, XU J K, et al. Undescribed morroniside-like secoiridoid diglycosides with  $\alpha$ -glucosidase inhibitory activity from *Corni Fructus*[J]. *Phytochemistry*, 2020(171): 112232.
- [125] HARDING J L, PAVKOV M E, MAGLIANO D J, et al. Global trends in diabetes complications: A review of current evidence[J]. *Diabetologia*, 2019, 62(1): 3-16.
- [126] HOSSAIN U, DAS A K, GHOSH S, et al. An overview on the role of bioactive  $\alpha$ -glucosidase inhibitors in ameliorating diabetic complications[J]. *Food Chem Toxicol*, 2020(145): 111738.
- [127] SHAHWAN M, ALHUMAYDHI F, ASHRAF G M, et al. Role of polyphenols in combating Type 2 Diabetes and insulin resistance[J]. *Int J Biol Macromol*, 2022(206): 567-579.
- [128] FANG H L, LIU M L, LI W Y, et al. Analysis of *Cyclocarya paliurus* leaves by UPLC-Q-TOF-MS and its effect on testicular restoration[J]. *Chin J Mod Appl Pharm(中国现代应用药理学)*, 2021, 38(2): 129-136.
- [129] KUMARI S, SAINI R, BHATNAGAR A, et al. Exploring plant-based alpha-glucosidase inhibitors: Promising contenders for combatting type-2 diabetes[J]. *Arch Physiol Biochem*, 2023: 1-16.
- [130] NIISATO N, MARUNAKA Y. Therapeutic potential of multifunctional myricetin for treatment of type 2 diabetes mellitus[J]. *Front Nutr*, 2023(10): 1175660.
- [131] WANG Y A, LIU C, GUO X, et al. Natural products and biological activities of plants from genus *Morus*: 2011-2023[J]. *Curr Top Med Chem*, 2023, 23(28): 2640-2698.
- [132] FARAZI M, HOUGHTON M J, MURRAY M, et al. A systematic review of the inhibitory effect of extracts from edible parts of nuts on  $\alpha$ -glucosidase activity[J]. *Food Funct*, 2023, 14(13): 5962-5976.
- [133] ZHANG X L, LI G L, WU D, et al. Emerging strategies for the activity assay and inhibitor screening of alpha-glucosidase[J]. *Food Funct*, 2020, 11(1): 66-82.
- [134] FALLAH Z, TAJBAKHS M, ALIKHANI M, et al. A review on synthesis, mechanism of action, and structure-activity relationships of 1, 2, 3-triazole-based  $\alpha$ -glucosidase inhibitors as promising anti-diabetic agents[J]. *J Mol Struct*, 2022(1255): 132469.
- [135] FAN L, WANG Y L, TANG L. Review on screening methods for alpha-glucosidase inhibitors from natural resources[J]. *Nat Prod Res Dev(天然产物研究与开发)*, 2016, 28(2): 313-321, 306.
- [136] KASHTOH H, BAEK K H. Recent updates on phytoconstituent alpha-glucosidase inhibitors: An approach towards the treatment of type two diabetes[J]. *Plants (Basel)*, 2022, 11(20): 2722.
- [137] WU Q H, LI B T, TU J. Compound traditional Chinese medicine in treatment of diabetes[J]. *China J Chin Mater Med (中国中药杂志)*, 2019, 44(6): 1104-1109.

收稿日期: 2024-01-17  
 (本文责编: 陈怡心)