DOI:10.12441/spyswjs.20230515001 [文章编号] 1673-1689(2024)11-0023-11

土茯苓的活性成分及其作用机制研究进展

孙秀兰[1] 黄耀光[1] 叶永丽[1] 夏邦恩[2] 沈红芳[2] 夏若维[2] 石文钦[2] 张银志[1]

(1. 江南大学食品学院,江苏 无锡 214122; 2. 宁波夏邦食品科技有限公司,浙江 宁波 315000)

摘要:土茯苓是一种药食两用的传统中药材。土茯苓富含黄酮、有机酸、多糖、皂苷等多种组分,具有多种生理活性并广泛应用于临床中药配伍。目前土茯苓已应用于保健食品、功能性食品的研发中,但市场化率低。合理利用土茯苓功效作用开发符合消费者需求的产品是其产业发展的重点。作者总结了土茯苓的主要活性成分,综述了土茯苓的抑菌、抗氧化、免疫调节、降脂、降血糖、保肝护肾等活性作用机制的研究进展,并概括了基于网络药理学探究的土茯苓活性作用机制,以期为土茯苓资源的高值利用和相关功能性产品的开发提供参考。

关键词:土茯苓;活性成分;作用机制;研究进展

Research Progress on Active Components and Mechanisms of *Smilax glabra*

SUN Xiulan[1] *HUANG Yaoguang*[1] *YE Yongli*[1] *XIA Bang'en*[2] *SHEN Hongfang*[2]
XIA Ruowei[2] *SHI Wenqin*[2] *ZHANG Yinzhi*[1]

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. Ningbo Xiabang Food Technology Co., Ltd., Ningbo 315000, China)

Abstract: *Smilax glabra* is a Chinese medicinal material with both medicinal and edible values. Because of the rich flavonoids, organic acids, polysaccharides, saponins and other components, *Smilax glabra* possesses various physiological activities and has been widely used in combination with other Chinese medicinal materials in clinical practice. Currently, researchers have explored the application of *Smilax glabra* in the research and development of health-care food and functional food. However, the marketization rate is still low. It is important to rationally use the effects of *Smilax glabra* to develop products that meet the market demand as part of its industrial development. The author introduced the main components in *Smilax glabra* and reviews the research progress in the antibacterial, antioxidant, immunomodulatory, lipid-lowering, antidiabetics, and liver- and kidney-protecting activities of this medicinal material. Additionally, the author summarized the active mechanisms of *Smilax glabra* based on network pharmacology. This review aims to provide a reference for the value-added utilization of *Smilax glabra* resources and the development of related functional products.

Keywords: *Smilax glabra*; active component; mechanism; research progress

土茯苓为百合科植物光叶菝葜(*Smilax china* L.)的根茎部位,全世界约有350种,原产于中国、印度、越南和泰国等地,现广泛分布于世界各地的热带和温带地区,尤其是东亚和北美洲[1]。土茯苓在中国主要分布在西南地区,不仅是一种传统民间药物,也是一种食品原料,根茎部分常用于煮制茶和汤等。2018年,中华人民共和国国家卫生健康委员会公布土

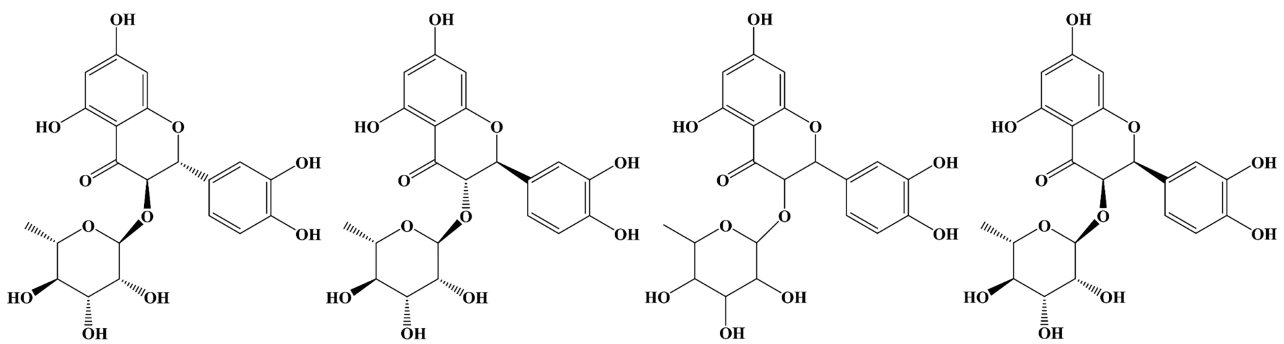
基金项目:浙江省中医药重大研究项目(2018ZY012)。

通信作者:孙秀兰(1976—),女,博士,教授,博士研究生导师,主要从事食品安全与质量控制研究。E-mail:sxlzzz@jiangnan.edu.cn

收稿日期:2023-05-15 **修回日期:**2023-09-17

茯苓是一种能够用于保健食品的中药。其主要黄酮类活性成分落新妇苷及其同分异构体的结构式见图 1。

土茯苓因其多种活性作用受到科研界的广泛关注。土茯苓富含黄酮、多糖、有机酸等多种有效组分，具有广泛的功能活性，常被用作免疫调节剂和癌细胞抑制剂，并具有抗菌、降血糖以及对肝损伤的保护作用[2]。作者在汇总土茯苓活性组分的基础上，重点综述了土茯苓的抑菌、抗氧化和抑制癌细胞增殖等多种功能活性及其作用机制，简述了基于网络药理学的土茯苓活性作用机制，最后对土茯苓产业的可持续发展进行了展望，以期为土茯苓资源的高值利用和大众化功能性食品开发提供参考。



(a) 落新妇苷 (b) 新落新妇苷 (c) 异落新妇苷 (d) 新异落新妇苷

图 1 落新妇苷及其同分异构体的结构式

Fig. 1 Structural formulas of astilbin and its isomers

1 土茯苓的活性成分

土茯苓中含量最多的物质是糖类，其次是黄酮类物质以及一些皂苷类、苯丙素、蛋白质类、有机酸类物质。已有研究从土茯苓中分离出具有不同结构式的中性多糖和酸性多糖，这些多糖的单糖组成包括葡萄糖、甘露糖、阿拉伯糖、半乳糖、鼠李糖、糖醛酸等[3]。此外，从土茯苓中分离得到一些蛋白质类物质，如甘露糖结合凝集素、异二聚体和非甘露糖结合凝集素等，土茯苓中部分活性成分和结构式见表 1 和图 2[4]。

2 土茯苓中活性成分的作用机制

2.1 抑菌活性

多酚、黄酮类化合物的抑菌作用已有广泛研究，其抑菌机制主要涉及参与调节三羧酸循环，进而抑制菌体内能量供应、介导细菌正常生理代谢活动、改变细胞膜的生化结构等[17]。研究表明，土茯苓中的酚类化合物对多种微生物具有抑制作用，并在临床抗菌研究中表现出显著效果。Xu 等[18]从土茯苓中分离得到了 smiglabrone A、smiglabrone B、smilachromanone、smiglastilbene、smiglactone 和 smiglabrol 共 6 种新的酚类化合物，其最小抑菌浓度为 0.079~3.090 mmol/L。Jeeno 等[19]以乙醇和甲醇作为提取溶剂获得了土茯苓提取物，该提取物对革兰氏阳性菌的最小抑菌质量浓度分别为 31.25 mg/mL 和 125.00 mg/mL。进一步采用液相色谱飞行时间质谱仪从土茯苓提取物中鉴别出多种化合物，见表 2。但这些研究并未充分阐明化合物的抑菌机理，因此有必要深入研究土茯苓中化合物的协同抑菌作用。

2.2 抗氧化活性

土茯苓中的落新妇苷及其同系物、酚酸类物质对多种自由基具有较好的清除效果。从土茯苓中分离得到的乙酸乙酯组分（含有较多的儿茶素和(−)-表儿茶素）具有抑制脂质过氧化的作用，可抑制铁离子和抗坏血酸诱导的小鼠脑匀浆脂质过氧化。动物体内模型研究表明[20]，土茯苓的乙醇提取物（主要成分为有机酸和小分子糖）与二巯基丁二酸联合使用时，对由于铅负载过多引起的大鼠体内氧化应激损伤有明显的改善效果，表现为体内与抗氧化作用相关的酶活力以及抗氧化剂谷胱甘肽（glutathione，GSH）水平的提高，同时氧化型谷胱甘肽（*L*-glutathione oxidized，GSSG）和硫代巴比妥酸反应物质的水平降低。此外，以落新妇苷为主要成分的土茯苓水煎液对庆大霉素（gentamycin，GM）诱导的大鼠肾脏损伤也具有较好的保护作用。分析

表1 土茯苓中的部分活性物质汇总

Table 1 Summary of some active components in *Smilax glabra*

活性成分	成分	质量分数/%	功效	参考文献
总黄酮类	落新妇苷	0.083~1.37	调节脂肪代谢、抗氧化、抗炎、保肝作用、抗病毒、抗癌	[5-8]
	新落新妇苷	0.66~2.54		
	异落新妇苷	0.66~2.54		
	新异落新妇苷	0.122~2.002		
	槲皮素	—		
	花旗松素	—		
	异黄杞苷	0.008 7~0.070		
	黄杞苷	1.7~2.65		
	(−)-表儿茶素	0.66~2.54		
	5-O-咖啡酰基莽草酸	0.66~2.54		
	土茯苓苷A	1.12~6.16		
	土茯苓酮A	—		
多糖类物质的单糖组成	甘露糖	—	抗氧化、抗癌、抗肿瘤、免疫调节	[9-10]
	葡萄糖	—		
	半乳糖	—		
	阿拉伯糖	—		
	鼠李糖	—		
	木糖	—		
酚酸和有机酸类	琥珀酸	—	抗氧化、抗炎、抑制脂质积累	[11-12]
	阿魏酸	0.003 2~0.008 2		
	莽草酸	—		
	油酸	—		
	亚油酸	—		
	棕榈酸	—		
	绿原酸	—		
	槲皮素-3-O-鼠李糖苷	—		
	原儿茶酸	—		
	咖啡酸	—		
	龙胆酸	—		
	反式邻香豆酸	—		
苯丙素	白藜芦醇	0.01~0.02	降血糖	[13]
	氧化白藜芦醇	—		
皂苷类	异鼠尾草苷	—	抑制癌细胞、抗真菌、抗炎	[14-15]
	金丝桃苷	—		
	薯蓣皂苷	0.011~0.013		
	胡萝卜苷	—		
	提果皂苷	—		
蛋白质类	异二聚体	—	抗病毒、抑制癌细胞增殖	[16]
	非甘露糖结合凝集素	—		
	甘露糖结合凝集素	—		
	胎球蛋白结合糖蛋白	—		

注：“—”表示未获得相关数据。

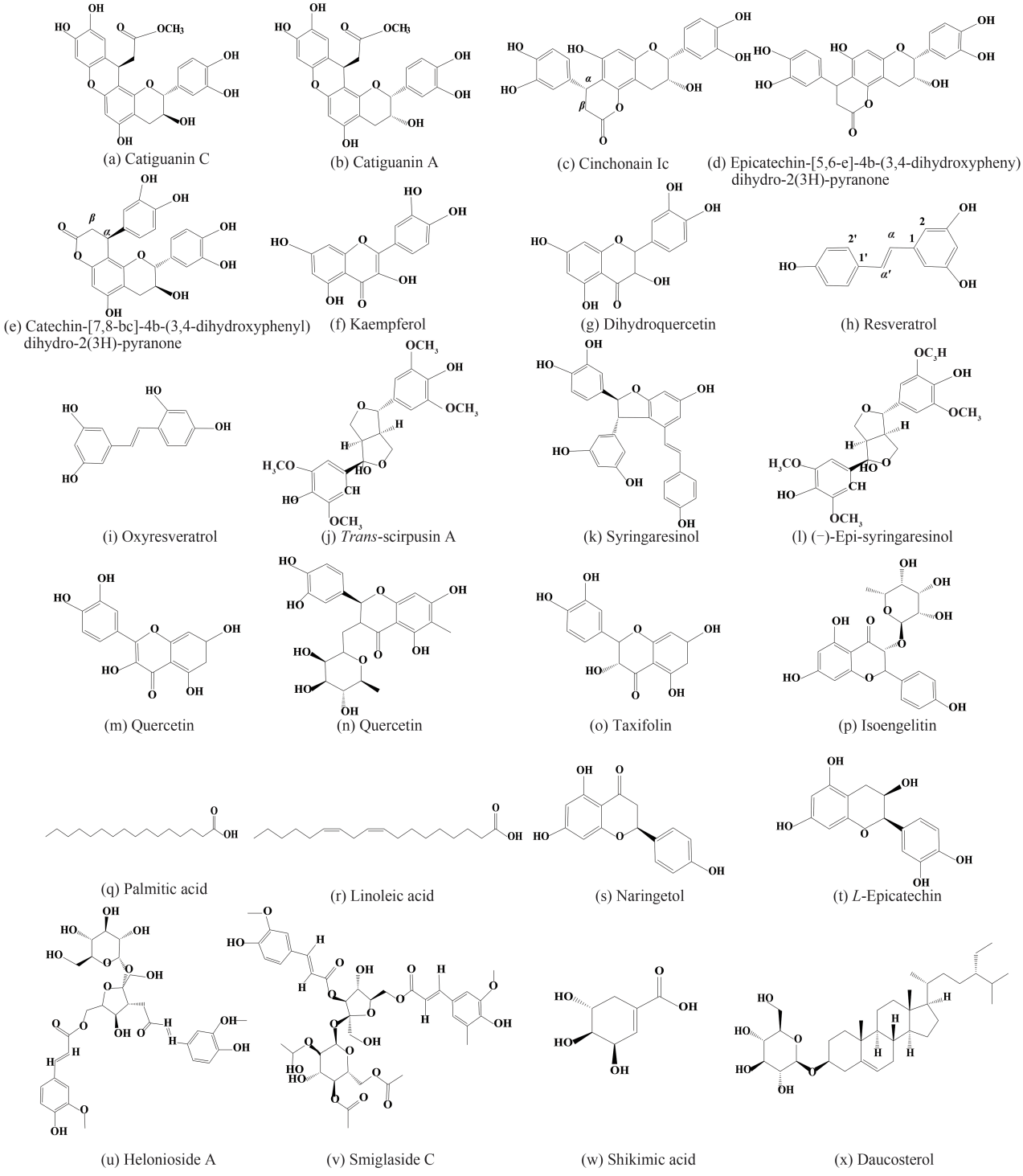


图 2　土茯苓中部分活性成分结构式

Fig. 2　Structural formulas of some active components in *Smilax glabra*

结果表明，水煎液中的活性组分可能通过上调肾组织中超氧化物歧化酶（superoxide dismutase，SOD）、过氧化氢酶（catalase，CAT）和 GSH 水平，下调氧化应激产物丙二醛（malondialdehyde，MDA）水平并抑制 *caspase-3* 基因的激活，发挥保护肾脏的作用[21]。

2.3　抑制癌细胞增殖

土茯苓根茎提取物可抑制多种癌细胞增殖，并可作用于线粒体导致癌细胞凋亡。在癌细胞凋亡过程中，胞内线粒体膜通透性、活性氧（reactive oxygen species，ROS）、细胞内 Ca^{2+} 水平、细胞色素 C

表2 土茯苓粗提物中鉴定的化合物

Table 2 Compounds identified from the crude extract of *Smilax glabra*

成分	化学式	相对分子质量
CAY10435	$C_{18}H_{26}N_2O_2$	302.199
香草酸甲酯	$C_{20}H_26O_3$	314.188
地耳木素酸	$C_{19}H_{24}O_4$	316.168
DDO	$C_{20}H_{24}O_4$	328.168
ETYA	$C_{20}H_{28}O_2$	300.209
copalchalcone	$C_{19}H_{22}O_4$	314.152
(3aS)-1-Methyl-3a-(3-methylbut-2-en-1-yl)1,2,3,3a,8,8a-hexahydropyrrolo[2,3-b]indole	$C_{16}H_{22}N_2$	242.179
stigmatellin Y	$C_{29}H_{40}O_6$	484.283
butoctamide hydrogen succinate	$C_{16}H_{29}NO_5$	315.205

的转移以及*caspase-3*基因的激活等生理生化指标均有较大变化。土茯苓水提物中的5-O-咖啡酰奎宁酸影响由胶原蛋白作为媒介引起的细胞迁移和黏附过程，并降低β1整合素的表达，导致焦点黏附激酶的磷酸化减弱，从而抑制前列腺癌细胞生长[22]。此外，土茯苓水溶性多糖和黄酮类成分可通过抑制TGF-β1信号传导来抑制人肝癌细胞、人乳腺癌细胞和人膀胱移行细胞的迁移和侵袭，并且能够以GSH/GSSG失衡依赖性方式诱导ATM/ATR依赖性信号通路的激活，尤其是在癌细胞处于S期时具有显著的抑制作用[23]。土茯苓在抑制癌细胞增殖方面的研究结果有助于开发以土茯苓中天然活性成分为基料的细胞保护佐剂及保健食品。

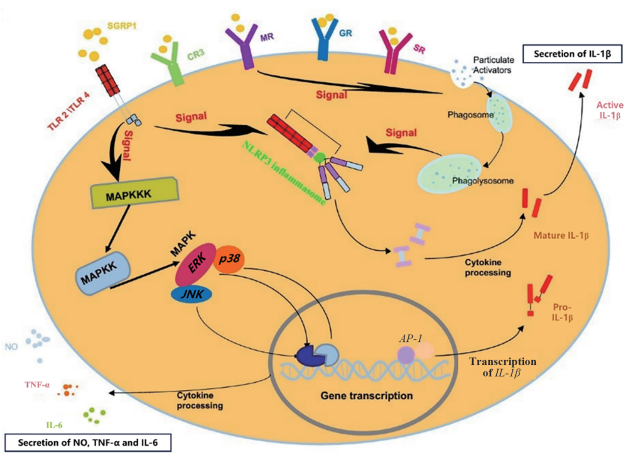
2.4 免疫调节作用

植物多糖具有良好的免疫调节作用，其结构对生物活性效应有重要影响[24]。已有研究表明，土茯苓中的黄酮类、多糖类等物质在免疫调节过程中发挥着重要作用。Wang等[25]从土茯苓中获得一种具有免疫调节活性的杂多糖，该多糖能够激活与巨噬细胞吞噬作用相关的信号通路，如JNK和ERK信号通路，继而促进巨噬细胞的吞噬作用，增加生物因子NO和系列炎症因子(IL-1β、TNF-α、IL-6)胞外分泌水平，从而实现其免疫调节活性，见图3(a)。此外，Lee等[26]鉴定了土茯苓中具有免疫调节功能的多糖，单糖组成分析显示葡萄糖占比最高。其中，在多糖结构中的主要糖苷键连接类型分别为以(1→4)-连接的葡萄糖和半乳糖，其次为(1→6)-半乳糖、(1→3)-甘露糖、(1→2)-鼠李糖和(1→5)-阿拉伯糖。

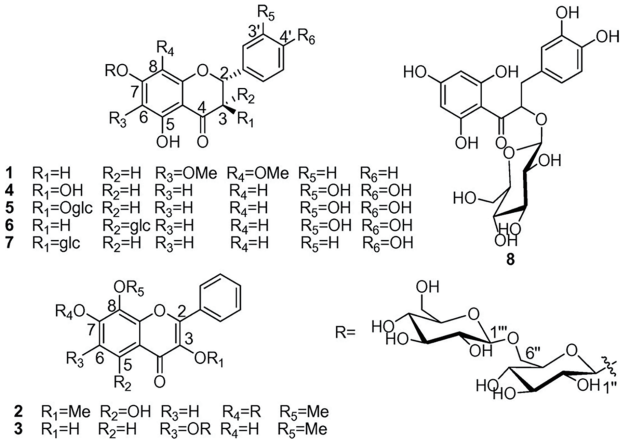
Zhao等[27]基于RAW264.7细胞模型，发现土茯苓多糖可通过降低细胞炎症因子TNF-α和IL-6的分泌水平、调节激酶ERK1/2和JNK的磷酸化水平来发挥其免疫抑制作用。用土茯苓果胶多糖对溃疡型结肠炎进行干预后发现，其可通过抑制半乳糖凝集素-3(*Gal-3*)基因的表达以及*Gal-3*基因与*NLRP3*基因的相互作用进而抑制Gal-3/NLRP3炎症小体IL-1β通路，从而改善溃疡性结肠炎[28]。动物模型研究表明，土茯苓总黄酮通过抑制ERK1/2和TGF-β-Smad 2/3信号通路可显著减少大鼠盆腔炎的发生，改善子宫纤维化和增强子宫内基质金属蛋白酶活力[29]。Zhou等[30]使用质谱技术及二维核磁共振方法从土茯苓中鉴定出7种新型呋喃甾醇皂苷，其中3种化合物可显著抑制白细胞介素IL-1β的产生并促进IL-10的表达，具有良好的抗炎活性。徐梦琪[31]利用二甲苯诱导构建小鼠耳廓肿胀炎症模型，发现土茯苓多糖可有效抑制炎症应激，该多糖主要结构为葡萄糖以β-(1→4)连接形成主链并在C_2位置形成鼠李糖侧链。

银屑病是一种已知的慢性炎症性皮肤病，T细胞在该炎症反应中扮演重要角色。研究发现，土茯苓中以落新妇苷为主要成分的黄酮类成分可抑制辅助性T细胞17(Th17细胞)的分化和T细胞中IL-17的分泌，并抑制细胞内Jak/Stat3信号通路的激活，进而抑制与Th17细胞相关的炎症反应从而缓解银屑病样皮肤病变[32-33]。核因子κB(nuclear factor-kappa B，

NF-κB）是炎症反应和免疫应答过程中的重要调节因子。当机体受到外界因素刺激后，NF-κB通路会被激活。Shu等[34]从土茯苓中分离得到3种新型类黄酮苷化合物和5种已知结构的类黄酮苷化合物，见图3（b）。其中，3种新型类黄酮苷化合物（2(*S*)-5-羟基-6,8-二甲氧基二氢黄酮-7-O-*β*-*D*-吡喃葡萄糖基-(1→6)-O-*β*-*D*-吡喃葡萄糖苷、5-羟基-3,8-二甲氧基黄酮-7-O-*β*-*D*-吡喃葡萄糖基-(1→6)-O-*β*-*D*-吡喃葡萄糖苷、3,7-二羟基-8-甲氧基黄酮-6-O-*β*-*D*-吡喃葡萄糖基-(1→6)-O-*β*-*D*-吡喃葡萄糖苷）对NF-κB信号通路的抑制率分别为32.2%、55.8%和61.7%。



(a) 土茯苓多糖诱导RAW 264.7细胞的免疫调节机制



1~3—新型类黄酮苷化合物；4~8—已知结构类黄酮苷化合物。

(b) 土茯苓中多种类黄酮苷化合物的结构式

图3 土茯苓多糖诱导RAW264.7细胞的免疫调节作用机制及多种类黄酮苷化合物的结构式

Fig. 3 Mechanism of the immunoregulatory effect of *Smilax glabra* polysaccharides in RAW264.7 cells and structural formulas of various flavonoid compounds

2.5 降脂

天然植物来源的黄酮类和多糖类化合物的药理活性已有较多报道，包括其降脂活性以及效应机制等[35]。高脂线虫模型研究表明，土茯苓黄酮和多糖具有降脂活性，可显著降低线虫体内脂滴聚集及甘油三酯积累量。核受体因子NHR-80在脂质代谢和积累方面具有关键的调节作用。经土茯苓多糖的干预后，*NHR-80*和*FAT-2*等基因的表达在干预过程中受到抑制，降低了线虫体内的脂质堆积程度，从而发挥减脂作用[36]。Tu等[7]结合转录组学研究了土茯苓总黄酮的药理作用，发现土茯苓总黄酮的干预显著降低了小鼠脂肪细胞中脂滴大小和细胞内的游离脂肪酸水平，增强了线粒体功能，提高了脂肪细胞中*AMPK*基因的磷酸化水平，降低了*AKT*基因的磷酸化水平，进而促进了脂肪细胞的有益代谢。这些研究可为土茯苓总黄酮在防控肥胖及相应慢性疾病的应用方面提供依据。

2.6 降血糖

糖尿病是一种由于体内代谢紊乱而引起的慢性疾病，在全球范围内已成为第三大流行性疾病[37]。研究表明，从天然植物中提取的多糖、黄酮以及多酚等功能性成分在干预高血糖症状时表现出较好的效果[38]。魏玉娇[39]探讨了含有土茯苓黄酮的醇提物对糖尿病小鼠模型体内血糖水平的影响，发现糖尿病小鼠经土茯苓提取物干预后，其葡萄糖耐受程度和肾脏肿大现象均得到了有效改善。土茯苓中的绿原酸和落新妇苷可抑制*α*-葡萄糖苷酶活性（AGI）和*α*-淀粉酶活性（AAI），并可有效抑制2型糖尿病小鼠模型体内的血糖浓度升高[40-41]。此外，土茯苓中的白藜芦醇对平衡2型糖尿病动物模型体内的葡萄糖水平和胰岛素敏感性具有积极作用[42]。Ansari等[43]将氯金酸溶液与土茯苓水提物溶液混合制备金纳米粒子，并探究其抗糖尿病和肥胖的效果。经纳米粒子给药后，肥胖和糖尿病大鼠模型的血糖、胰岛素耐受能力、血脂等生化指标均有明显改善，但该研究未深入探究土茯苓水提物组成以及具体抗肥胖和缓解糖尿病的分子作用机制。

2.7 降尿酸和保护肾脏

体内尿酸代谢紊乱是引起尿酸性肾病的主要原因之一，黄嘌呤氧化酶（xanthine oxidase，XOD）在这一过程中具有重要作用[44]。Wang等[45]发现土茯苓类黄酮可显著抑制大鼠体内的氧化应激反应，促进大鼠体内尿酸代谢，进而缓解炎症对大鼠肾脏造成的损伤。土茯苓总黄酮可通过抑制XOD的酶活力进而调节尿酸代谢，降低体内尿酸的生成，并促进肾尿酸转运蛋白（ABCG2、OAT1、OCT2、OCTN2）的表达，从而增强肾尿酸的代谢。血清代谢组学分析显示，土茯苓类黄酮参与调节尿酸代谢的相关通路，包括胆汁分泌、氨基酸代谢通路和三羧酸循环相关的能量代谢通路[46]。此外，土茯苓总黄酮具有肾脏保护活性。以人肾小管上皮HK-2细胞构建肾细胞损伤模型，发现土茯苓总黄酮干预显著降低了α-平滑肌肌动蛋白水平并上调钙黏蛋白E-cadherin的表达水平，减弱TGF-β1/Smad信号通路的响应，抑制miR-21/PTEN/PI3K/Akt信号传导，进而减缓肾间质纤维化期间上皮间质的转化进程[47]。

2.8 缓解重金属暴露毒性

当长期暴露于低浓度重金属环境时，机体可能会出现多种慢性、亚慢性疾病[48]。因此，研究对重金属污染诱导的体内暴露毒性的有效干预策略对保障生命健康具有积极意义。李洁等[49]基于急/慢性铅暴露的小鼠毒性模型发现，土茯苓中的黄酮类化合物（如落新妇苷、黄杞苷等）可增强慢性铅中毒小鼠体内的重金属铅排除能力和相关抗氧化酶活性，提高体内抗氧化能力，降低氧化损伤，实现对肝肾等靶器官的保护作用。此外，相关研究表明，土茯苓中的落新妇苷、白藜芦醇、黄杞苷和咖啡酸具有明显的解汞毒活性，其解汞毒的机制与利尿、抗氧化应激损伤及保护肝肾功能的综合作用相关[50]。

2.9 护肝作用

肝脏是重要的解毒器官，在发挥其解毒作用的过程中，肝脏容易受到多种有毒有害物质的侵袭，进而引起肝脏疾病的发生。与传统的药物治疗相比，植物源性组分的护肝作用受到更广泛的关注[51]。对乙酰氨基酚是治疗炎症过程中的常见药物，其抗炎作用效果显著，但当其过量摄入时，会造成肝功能损伤。在对乙酰氨基酚诱导的肝损伤模型中，土茯苓多糖通过上调核因子E2相关因子（Nrf2）的表达、促进Nrf2核易位以及激活Nrf2-ARE通路，上调与氧化应激密切相关的蛋白血红素加氧酶-1和谷氨酸半胱氨酸连接酶催化亚基等的表达，实现其保护肝脏的功能[52]。Zhao等[53]通过对肠道菌群的互作分析，探究了土茯苓中黄酮类化合物对肥胖型大鼠脂肪肝作用的机制。结果表明，黄酮类化合物可减轻肝细胞脂肪变性程度，逆转脂肪肝相关代谢紊乱，其护肝作用可能与肠道短链脂肪酸水平和肠道微生物生态的稳态调节相关。

3 基于网络药理学的土茯苓活性作用机制的预测

网络药理学是近年来用于预测活性成分对机体的调控作用机制的多学科理论[54]。网络药理学分析内容包括数据收集和预处理、构建药物-靶点-疾病三联网络、网络拓扑分析、靶点预测和筛选以及药物作用机制研究。引入网络药理学方法有助于探究药物的功能活性组分在分子水平上的作用机制，基于预测结果进行验证可显著降低体内外试验成本。近年来，相关研究主要集中在利用网络药理学探究土茯苓复方的活性作用机制，常见的疾病模型以高尿酸血症、痛风性关节炎、骨质疏松和银屑病为主。

高诗尧等[55]利用中药系统药理学数据库与分析平台预测了土茯苓活性成分及与骨质疏松疾病相关的潜在作用靶点，在筛选共同靶点基础上构建了相关蛋白质互作网络，并对预测得到的作用靶点及信号通路进行体外细胞试验验证。结果表明，土茯苓可促进MC3T3-E1成骨细胞碱性磷酸酶的表达，并增强成骨细胞分化，进而预防骨质疏松。此外，Ma等[56]基于网络药理学分析，预测了以土茯苓为主要成分的土茯苓七味汤散（TQTS）在治疗银屑病中的协同作用机制。发现TQTS的主要活性成分与13个潜在靶点有结合活性，且与丝氨酸/苏氨酸蛋白激酶互作的稳定性最优，相关研究过程见图4。

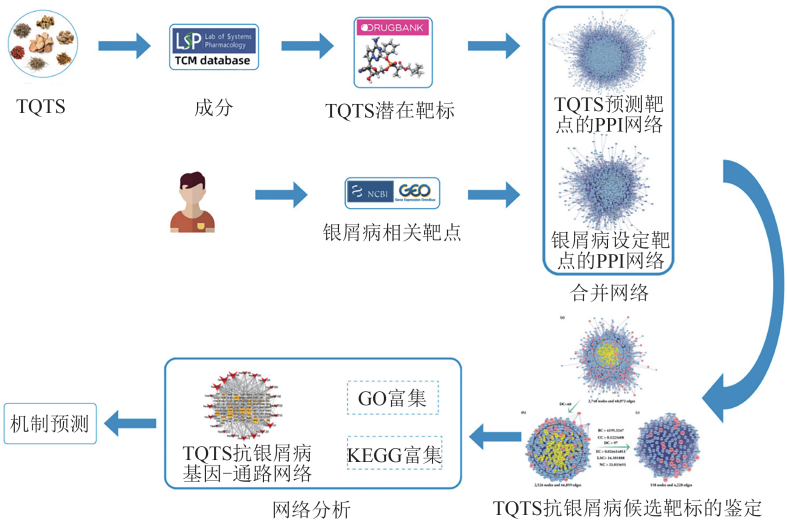


图 4　TQTS 散治疗银屑病的潜在机制的网络药理学方法

Fig. 4　Mechanism of TQTS in treating psoriasis that is predicted by a network pharmacology approach

4　展望

土茯苓的药理作用丰富，在探究土茯苓功能活性成分的基础上，研发多样化且适用于不同工作节奏和生活方式消费人群的土茯苓功能性食品，对保障人体健康和促进相关产业的发展具有重要意义，符合“健康中国”的战略需求。目前有关土茯苓的基础研究主要集中于对功能性组分的初步分离与验证，且提取物多为混合物，组分与活性间的构效关系不够明确，作用机制研究多以生化表型指标为主。在应用方面，土茯苓主要应用于临床中药配伍。基于此，土茯苓功能活性研究及产业发展可从以下几方面考虑：

1）土茯苓原料品质标准化、规范化。土茯苓品质关系到其应用安全性、产品有效组分含量与功能活性。由于品种、产地、气候环境等差异可能会造成土茯苓作用功效存在差异，且目前缺乏相关的土茯苓质量安全标准。因此，有必要从种植、采收、原料贮藏、加工等全产业链实现土茯苓质量评价标准化，构建土茯苓品质数据库及评级标准、搭建土茯苓产地溯源信息平台，促进土茯苓产业的规范化管理，保障市场流通土茯苓原料的品质。

2）构建可靠高效的活性评价模型。结合人工智能、数据库等提升功能预测模型的准确性，基于体内真实生理环境探究土茯苓更多样的功能活性，为开发土茯苓功能性产品提供可靠依据。

3）研发土茯苓功能活性组分与功效的保持技术。加工因子对土茯苓活性组分有显著影响，包括温度、pH、光照、组分互作等，关键组分的降解可能会严重降低相关产品的功能活性。因此，无论是作为中药配伍或功能性食品原料，土茯苓活性保持与增效均是研究的重点。可从定向改造关键活性化合物结构、改良加工工艺以及优化产品配方等角度保持土茯苓功能活性。

4）基于市场需求的产品开发。目前土茯苓产品单一，食用方便性较差，极大限制了土茯苓产业的发展。针对不同消费人群的需求创新土茯苓产品类型，协同风味轮廓补偿技术、产品风味稳定化技术、保健功能增效技术等，研发适用于不同人群、食用方便且多活性、多产品类型和多风味的土茯苓功能性产品。

参考文献

[1] HUA S Y，ZHANG Y W，LIU J Y，et al. Ethnomedicine，phytochemistry and pharmacology of *Smilax glabra*：an important traditional Chinese medicine[J]. The American Journal of Chinese Medicine，2018，46(2)：261-297.

[2] 张清峰，付莹娟，黄占旺，等. 土茯苓黄酮对高脂小鼠脂肪代谢及抗氧化水平的影响[J]. 现代食品科技，2016，32(11)：8-15.
ZHANG Q F，FU Y J，HUANG Z W，et al. Effects of flavonoids from rhizoma *Smilacis glabrae* on lipid metabolism and antioxidation status in mice[J]. Modern Food Science and Technology，2016，32(11)：8-15.(in Chinese)

[3] ZHANG Y，PAN X L，RAN S Q，et al. Purification，structural elucidation and anti-inflammatory activity *in*

vitro of polysaccharides from *Smilax china* L.[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 139: 233-243.

[4] GUO Y X, MAO W Y, JIN L, et al. Flavonoid group of *Smilax glabra* Roxb. regulates the anti-tumor immune response through the STAT3/HIF-1 signaling pathway[J]. Frontiers in Pharmacology, 2022, 13: 918975.

[5] 张永贵，赵力，杨小英. 土茯苓药材HPLC指纹图谱研究及主成分的含量测定[J]. 中国药房，2016，27(36)：5143-5146.
ZHANG Y G, ZHAO L, YANG X Y. Study on the quality of commercially available HPLC fingerprint and content determination of principal component of *Smilacis rhizoma*[J]. China Pharmacy, 2016, 27(36): 5143-5146.(in Chinese)

[6] 徐硕，尚明英，刘广学，等. 高效液相色谱法测定土茯苓药材中7种活性成分的含量[J]. 中国中药杂志，2015，40(3)：469-479.
XU S, SHANG M Y, LIU G X, et al. Simultaneous determination of seven bioactive constituents in *Smilacis glabrae* rhizoma by high-performance liquid chromatography[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2015, 40(3): 469-479.(in Chinese)

[7] TU J, DENG L Q, LING Y, et al. Transcriptome profiling reveals multiple pathways responsible for the beneficial metabolic effects of *Smilax glabra* flavonoids in mouse 3T3-L1 adipocytes[J]. Biomedicine & Pharmacotherapy, 2020, 125: 110011.

[8] XU Y, ZHANG N, XIONG L L, et al. A new phenylpropanoid-substituted epicatechin from the rhizome of *Smilax china*[J]. Natural Product Research, 2023, 37(20): 3409-3417.

[9] HUANG Y G, YE Y L, XU D P, et al. Structural characterization and anti-inflammatory activity of a novel neutral polysaccharide isolated from *Smilax glabra* Roxb.[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2023, 234: 123559.

[10] 郑朝阳，肖兰华，覃军. 响应面分析法优化酶提取土茯苓多糖工艺[J]. 中国中医药现代远程教育，2018，16(6)：99-102.
ZHENG C Y, XIAO L H, QIN J. Optimization of extracting polysaccharide from rhizoma *Smilacis glabrae* with papain by response surface methodology[J]. Chinese Medicine Modern Distance Education of China, 2018, 16(6): 99-102.(in Chinese)

[11] LI X, JIN W L, ZHANG W K, et al. The inhibitory kinetics and mechanism of quercetin-3-O-rhamnoside and chlorogenic acid derived from *Smilax china* L. EtOAc fraction on xanthine oxidase[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2022, 213: 447-455.

[12] KONG L, ZHANG W K, LIU S S, et al. Quercetin, engelitin and caffeic acid of *Smilax china* L. polyphenols, stimulate 3T3-L1 adipocytes to brown-like adipocytes *via* β3-AR/AMPK signaling pathway[J]. Plant Foods for Human Nutrition, 2022, 77(4): 529-537.

[13] 李磊，张宏桂，乔延江. HPLC法测定土茯苓药材中落新妇苷和白藜芦醇的含量[J]. 药物分析杂志，2007，27(5)：654-656.
LI L, ZHANG H G, QIAO Y J. HPLC determination of astilbin and resveratrol in *Smilax glabra* Roxb.[J]. Chinese Journal of Pharmaceutical Analysis, 2007, 27(5): 654-656.(in Chinese)

[14] 苏红艳，刘玉强. 高效液相色谱法测定土茯苓中薯蓣皂苷元的含量[J]. 辽宁中医药大学学报，2008，10(5)：159-160.
SU H Y, LIU Y Q. Determination of yam in rhizoma *Smilacis glabrae* by HPLC[J]. Journal of Liaoning University of Traditional Chinese Medicine, 2008, 10(5): 159-160.(in Chinese)

[15] SHU J C, ZHU G H, HUANG G Y, et al. New steroidal saponins with *L*-arabinose moiety from the rhizomes of *Smilax scobinicaulis*[J]. Phytochemistry Letters, 2017, 21: 194-199.

[16] OOI L S, WONG E Y, CHIU L C, et al. Antiviral and anti-proliferative glycoproteins from the rhizome of *Smilax glabra* Roxb.(Liliaceae)[J]. The American Journal of Chinese Medicine, 2008, 36(1): 185-195.

[17] 吴萌萌，刘怡，严馨，等. 苦荞麸皮黄酮提取物及有效成分的抑菌活性[J]. 食品与生物技术学报，2021，40(11)：77-83.
WU M M, LIU Y, YAN X, et al. Antibacterial activities of flavonoid extracts of tartary buckwheat bran and its effective components[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2021, 40(11): 77-83.(in Chinese)

[18] XU S, SHANG M Y, LIU G X, et al. Chemical constituents from the rhizomes of *Smilax glabra* and their antimicrobial activity[J]. Molecules, 2013, 18(5): 5265-5287.

[19] JEENO P, TONGBAN S, YANA P, et al. Tentative identification of phytochemicals from *Smilax glabra* and *Smilax corbularia* extracts by LC-QTOF/MS and their bioactive potential[J]. Plants, 2022, 11(16): 2089.

[20] XIA D Z, YU X F, LIAO S P, et al. Protective effect of *Smilax glabra* extract against lead-induced oxidative stress in rats[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2010, 130(2): 414-420.

[21] LIU C Y, KANG Y X, ZHOU X H, et al. Rhizoma *Smilacis glabrae* protects rats with gentamicin-induced

kidney injury from oxidative stress-induced apoptosis by inhibiting caspase-3 activation [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2017, 198: 122-130.

[22] KWON O Y, RYU S, CHOI J K, et al. *Smilax glabra* Roxb. inhibits collagen induced adhesion and migration of PC3 and LNCaP prostate cancer cells through the inhibition of beta 1 integrin expression[J]. Molecules, 2020, 25(13): 3006.

[23] SHE T T, FENG J N, LIAN S Y, et al. Sarsaparilla (*Smilax glabra* rhizome) extract activates redox-dependent ATM/ATR pathway to inhibit cancer cell growth by S phase arrest, apoptosis, and autophagy[J]. Nutrition and Cancer, 2017, 69(8): 1281-1289.

[24] 冯潮，温亚州，杨宇哲，等. 新鲜和干制龙眼果肉多糖免疫调节活性的分析[J]. 食品与生物技术学报，2021，40(6)：52-59.
FENG C, WEN Y Z, YANG Y Z, et al. Analysis of immunomodulatory activity of polysaccharides from fresh and dried longan pulp[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2021, 40(6): 52-59.(in Chinese)

[25] WANG M, YANG X B, ZHAO J W, et al. Structural characterization and macrophage immunomodulatory activity of a novel polysaccharide from *Smilax glabra* Roxb.[J]. Carbohydrate Polymers, 2017, 156: 390-402.

[26] LEE J, LI C S, SURAYOT U, et al. Molecular structures, chemical properties and biological activities of polysaccharide from *Smilax glabra* rhizome [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 120(Pt B): 1726-1733.

[27] ZHAO J W, ZHENG C Y, WEI H, et al. Proapoptic and immunotoxic effects of sulfur-fumigated polysaccharides from *Smilax glabra* Roxb. in RAW264.7 cells [J]. Chemico-Biological Interactions, 2018, 292: 84-93.

[28] PAN X L, WANG H Y, ZHENG Z M, et al. Pectic polysaccharide from *Smilax china* L. ameliorated ulcerative colitis by inhibiting the galectin-3/NLRP3 inflammasome pathway[J]. Carbohydrate Polymers, 2022, 277: 118864.

[29] SONG L Y, TIAN L W, MA Y, et al. Protection of flavonoids from *Smilax china* L. rhizome on phenol mucilage-induced pelvic inflammation in rats by attenuating inflammation and fibrosis [J]. Journal of Functional Foods, 2017, 28: 194-204.

[30] ZHOU M, HUANG L P, LI L Y, et al. New furostanol saponins with anti-inflammatory and cytotoxic activities from the rhizomes of *Smilax davidiana* [J]. Steroids, 2017, 127: 62-68.

[31] 徐梦琪. 土茯苓降尿酸、镇痛和抗炎活性成分研究[D]. 无锡：江南大学，2021.

[32] DI T T, RUAN Z T, ZHAO J X, et al. Astilbin inhibits Th17 cell differentiation and ameliorates imiquimod-induced psoriasis-like skin lesions in BALB/c mice *via* Jak3/Stat3 signaling pathway[J]. International Immunopharmacology, 2016, 32: 32-38.

[33] 王秀菊，周丽娟，王康民，等. 基于IL-17/Notch轴土茯苓总黄酮对银屑病小鼠皮肤瘙痒缓解及炎症反应抑制的作用机制研究[J]. 天津中医药，2022，39(6)：794-800.
WANG X J, ZHOU L J, WANG K M, et al. Study of total flavonoids from *Poria cocos* on relieving skin pruritus and inhibiting inflammation of psoriasis mice based on IL-17/Notch[J]. Tianjin Journal of Traditional Chinese Medicine, 2022, 39(6): 794-800.(in Chinese)

[34] SHU J C, LI L Y, ZHOU M, et al. Three new flavonoid glycosides from *Smilax glabra* and their anti-inflammatory activity [J]. Natural Product Research, 2018, 32(15): 1760-1768.

[35] 张宽朝，文汉，陶俊，等. 油茶籽多糖I的分离纯化、单糖组分及降脂作用[J]. 食品与生物技术学报，2018，37(3)：329-335.
ZHANG K C, WEN H, TAO J, et al. Purification, components analysis and hypolipidemic activity of a polysaccharide from *Camellia oleifera* Abel. seeds (CPS I) [J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2018, 37(3): 329-335.(in Chinese)

[36] 杨慧玲. 土茯苓多糖对秀丽隐杆线虫的降脂作用及机制研究[D]. 广州：广州中医药大学，2020.

[37] 高寒，赵毅，胡馨予，等. 蝙蝠蛾拟青霉治疗1型糖尿病活性研究[J]. 食品与生物技术学报，2019，38(12)：116-122.
GAO H, ZHAO Y, HU X Y, et al. Study on the anti-diabetic effects of *Paecilomyces hepialid*[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2019, 38(12): 116-122.(in Chinese)

[38] 陈建中，葛水莲，杨明建，等. 太行菊黄酮对α-葡萄糖苷酶活性的抑制作用[J]. 食品与生物技术学报，2023，42(8)：95-102.
CHEN J Z, GE S L, YANG M J, et al. Inhibition of the α-glucosidase activity by the flavonoids from *Opisthopappus taihangensis* (Ling) Shih[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2023, 42(8): 95-102.(in Chinese)

[39] 魏玉娇. 土茯苓醇提物生物活性及其功能性食品研究与开发[D]. 成都：成都大学，2021.

[40] NGUYEN P T M, NGO Q V, NGUYEN M T H, et al. Hypoglycemic activity of the ethyl acetate extract from *Smilax glabra* Roxb. in mice: biochemical and histopathological studies [J]. Iranian Journal of Basic

Medical Sciences，2020，23(12)：1558-1564.

[41] PÉREZ-NÁJERA V C，GUTIÉRREZ-URIBE J A，ANTUNES-RICARDO M，et al. *Smilax aristolochiifolia* root extract and its compounds chlorogenic acid and astilbin inhibit the activity of α-amylase and α-glucosidase enzymes [J]. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine，2018(1)：6247306.

[42] ROMO-PÉREZ A，ESCANDÓN-RIVERA S M，ANDRADE-CETTO A. Chronic hypoglycemic effect and phytochemical composition of *Smilax moranensis* roots[J]. Revista Brasileira de Farmacognosia-Brazilian Journal of Pharmacognosy，2019，29(2)：246-253.

[43] ANSARI S，BARI A，ULLAH R，et al. Gold nanoparticles synthesized with *Smilax glabra* rhizome modulates the anti-obesity parameters in high-fat diet and streptozotocin induced obese diabetes rat model [J]. Journal of Photochemistry and Photobiology B：Biology，2019，201：111643.

[44] 李晶，姜丽丽，李沐轩，等. 黄芪多糖对黄嘌呤氧化酶活性的抑制作用[J]. 食品与生物技术学报，2021，40(10)：16-20.
LI J，JIANG L L，LI M X，et al. Inhibitory effects of *Astragalus* polysaccharide on activity of xanthine oxidase [J]. Journal of Food Science and Biotechnology，2021，40(10)：16-20.(in Chinese)

[45] WANG S W，FANG Y J，YU X F，et al. The flavonoid-rich fraction from rhizomes of *Smilax glabra* Roxb. ameliorates renal oxidative stress and inflammation in uric acid nephropathy rats through promoting uric acid excretion[J]. Biomedecine & Pharmacotherapie，2019，111：162-168.

[46] WU P，LI J，ZHANG X X，et al. Study of the treatment effects of Compound Tufuling Granules in hyperuricemic rats using serum metabolomics [J]. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine，2018，2018(1)：3458185.

[47] LUO Q H，CAI Z W，TU J，et al. Total flavonoids from *Smilax glabra* Roxb. blocks epithelial-mesenchymal transition and inhibits renal interstitial fibrosis by targeting miR-21/PTEN signaling[J]. Journal of Cellular Biochemistry，2019，120(3)：3861-3873.

[48] 魏丽，张雨雁，白俊英，等. 植物乳植杆菌CCFM8661缓解重金属铅诱导小鼠肝肾损伤的剂量效应[J]. 食品与生物技术学报，2024，43(4)：81-89.
WEI L，ZHANG Y Y，BAI J Y，et al. Dose effect of *Lactiplantibacillus plantarum* CCFM8661 in alleviating heavy metal lead-induced liver and kidney injury in mice [J]. Journal of Food Science and Biotechnology，2024，43(4)：81-89.(in Chinese)

[49] 李洁，程双，董丹阳，等. 土茯苓解重金属铅毒性物质基础的初步研究[J]. 中草药，2022，53(1)：117-125.
LI J，CHENG S，DONG D Y，et al. Primary investigation for material basis of *Smilax glabra* for detoxification of heavy metal Pb [J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs，2022，53(1)：117-125.(in Chinese)

[50] 郑捷. 土茯苓解汞毒活性及其物质基础研究[D]. 广州：广州中医药大学，2014.

[51] 王晓，张忠，袁莉. 食物黄酮异荭草素及其银纳米颗粒的保肝活性[J]. 食品与生物技术学报，2023，42(5)：102-111.
WANG X，ZHANG Z，YUAN L. Hepatoprotective effect of isoorientin and its silver nanoparticle[J]. Journal of Food Science and Biotechnology，2023，42(5)：102-111.(in Chinese)

[52] WANG K P，YANG L L，ZHOU J，et al. *Smilax china* L. polysaccharide alleviates oxidative stress and protects from acetaminophen-induced hepatotoxicity *via* activating the Nrf2-ARE pathway[J]. Frontiers in Pharmacology，2022，13：888560.

[53] ZHAO L，QI Z Y，YI L，et al. The interaction between gut microbiota and flavonoid extract from *Smilax glabra* Roxb. and its potent alleviation of fatty liver[J]. Food & Function，2021，12(17)：7836-7850.

[54] 唐光甫，桂艳玲，满海乔，等. 红曲桔霉素致毒机理的网络药理学分析[J]. 食品与生物技术学报，2023，42(2)：90-96.
TANG G F，GUI Y L，MAN H Q，et al. Toxicity mechanism of citrinin in *Monascus* analyzed by network pharmacology [J]. Journal of Food Science and Biotechnology，2023，42(2)：90-96.(in Chinese)

[55] 高诗尧，宁超，章镇宇，李育泉，等. 基于网络药理学和体外细胞实验研究土茯苓抗骨质疏松的机制[J]. 巴楚医学，2022，5(3)：69-74.
GAO S Y，NING C，ZHANG Z Y，LI Y Q，et al. Anti-osteoporosis mechanism of *Poria cocos* based on network pharmacology and cell experiment[J]. Bachu Medical Journal，2022，5(3)：69-74.(in Chinese)

[56] MA X L，LU Y N，LU Y，et al. A network pharmacology approach to explore the underlying mechanism of Tufuling Qiwei Tangsan in treating psoriasis[J]. Current Bioinformatics，2021，16(6)：829-845.

（责任编辑：闫林红）