

本文引用:张楠,陶源,李春燕,等.白术的化学成分及药理作用研究进展[J].新乡医学院学报,2023,40(6):

579-586. DOI:10.7683/xxvxyxb.2023.06.015.

【综述】

白术的化学成分及药理作用研究进展

张楠¹, 陶源¹, 李春燕², 罗彪彪¹, 郭超¹

(1. 新乡医学院药学院, 河南 新乡 453003; 2. 新乡医学院三全学院生物与基础医学实验教学中心, 河南 新乡 453003)

摘要: 白术为菊科苍术属植物,以干燥的根茎入药,在我国有悠久的药用历史。白术含有多种化学成分,包括倍半萜及内酯类、黄酮类、苯丙素类、炔烃及其苷类、多糖等。现代药理学研究表明,白术具有抗炎、抗肿瘤、改善胃肠道功能、调节泌尿系统、改善神经功能、改善免疫、兴奋子宫平滑肌、降血脂血糖等药理作用,临床上主要用于胃肠道疾病、肝脏疾病等的治疗,具有良好的开发潜力。本文就白术中单体成分及其药理作用的国内外研究进展进行综述,以期为其进一步开发利用提供参考。

关键词: 白术;化学成分;倍半萜及其内酯;药理活性

中图分类号: R932 文献标志码: A 文章编号: 1004-7239(2023)06-0579-08

Research progress in chemical constituents and pharmacological effect of *Atractylodes macrocephala* Koidz.

ZHANG Nan¹,TAO Yuan¹,LI Chunyan²,LUO Biaobiao¹,GUO Chao¹

(1. College of Pharmacy, Xinxiang Medical University, Xinxiang 453003, Henan Province, China; 2. Biological and Basic Medical Experimental Teaching Center, Sanquan College of Xinxiang Medical University, Xinxiang 453003, Henan Province, China)

Abstract: *Attractylodes macrocephala* Koidz. is a plant of *Attractylodes* DS. in Asteraceae, which is used as medicine with dry rhizomes, and has a long history of medicinal use in China. Studies have found that *Attractylodes macrocephala* Koidz. contains a variety of chemical components, including sesquiterpene and their lactones, flavonoids, phenylpropanoids, alkynes and their glycosides, polysaccharides, etc. Modern pharmacological research shows that *Attractylodes macrocephala* Koidz. has anti-inflammatory, anti-tumor, improving gastrointestinal function, regulating urinary system, improving neurological function, improving immunity, stimulating uterine smooth muscle, lowering blood lipids and blood sugar and other pharmacological effects; it is mainly used clinically for gastrointestinal diseases, liver diseases and other aspects, and has good development potential. This article reviews the research progress of monomeric components and their pharmacological effects in *Attractylodes macrocephala* Koidz. at home and abroad, in order to provide reference for its further development and utilization.

Key words: *Atractylodes macrocephala* Koidz. ; chemical component; sesquiterpenes and their lactones; pharmacological activity

中药白术为菊科多年生草本植物白术(*Atractylodes macrocephala* Koidz.)的干燥根茎,始载于《神农本草经》,其味苦、甘,性温,归脾、胃经,具有健脾益气、燥湿利水、止汗、安胎的功效,可用于脾虚食少、腹胀泄泻、痰饮眩悸、水肿、自汗、胎动不安等症。白术化学成分复杂,其中挥发油含量较高,主要为倍

半萜及内酯类化合物,其他成分主要有黄酮类、苯丙素类、炔烃及其苷类、多糖类等。现代药理研究表明,白术具有抗炎、抗肿瘤、改善胃肠道功能、调节泌尿系统、增强免疫、兴奋子宫平滑肌、降血脂血糖等药理作用。本文检索白术的相关文献报道,分析其化学成分,并归纳总结其药理作用,以期为对其深入研究及开发应用提供参考。

1 白术的化学成分

白术化学成分复杂多样,主要含倍半萜及内酯类、黄酮类、苯丙素类、炔烃类、多糖类等成分,这些复杂的化学成分使得白术具有广泛的药理活性。

1.1 倍半萜及内酯类化合物

倍半萜类成分为白术特征性成分,也是其主要活性成分之一。白术中

DOI:10.7683/xxxyxzb.2023.06.015

收稿日期:2023-03-09

基金项目:河南省科技攻关项目(编号:222102310592);河南省高等学校重点科研项目(编号:23A360014)。

作者简介:张楠(1991-),女,河南新乡人,博士,讲师,主要从事中药药效物质基础研究。

通信作者:郭超(1986-),男,河北邯郸人,博士,讲师,主要从事中药药效物质基础研究;E-mail:chaoguo2017@xxmu.edu.cn。罗彪彪(1987-),男,河北张家口人,博士,讲师,主要从事天然产物生物合成的研究;E-mail:211056@xxmu.edu.cn。

倍半萜主要为桉烷型和愈创木烷型,多以内酯、醇的形式存在,目前从白术中分离得到的倍半萜类化合物有 60 余种,主要有白术内酯 I ~ VII^[1-2]、3 β -acetoxyl atractylenolide I^[3]、biatractylenolide II^[4]、苍术酮、9 α -hydroxyatractylenolide^[5]、atractylmacrene A、atractylmacrene B、atractylmacrene C、juniper camphor、biepiatractylenolide^[6]、13-hydroxyl-atractylenolide II^[7]和 atractyloside A、B^[8]等。

1.2 黄酮类化合物 目前从白术中分离得到 6 种黄酮类化合物^[9],其中 7-methoxy-pinocembrin-7-O- β -D-glucopyranoside 以氧苷形式存在,apigenin-8-C- β -D-glucopyranoside、4'-caffeoyl-luteolin-6-C- β -D-glucopyranoside、luteolin-6-C- β -D-glucopyranoside、apigenin-6-C- β -D-glucopyranoside 以碳苷形式存在,luteolin 以苷元存在。

1.3 苯丙素类化合物 白术中含有 24 种苯丙素类化合物,其中 7 种为奎宁酸类,分别为 3-O-caffeoyl-1-methyquinic acid、3-O-caffeoylquinic acid、4-O-caffeoylquinic acid、1,5-di-O-caffeoylquinic acid^[5]、3-feruloylquinic acid、4,5-di-O-caffeoylquinic acid、3,5-di-O-caffeoylquinic acid^[9];6 种为香豆素类,分别为 isoscapoletin^[5]、scopoletin β -D-xylopyranosyl-(1 \rightarrow 6)- β -D-glucopyranoside^[8]、7-hydroxycoumarin、scopoletin、7,8-dihydroxycoumarin、scoparone^[10];11 种为简单苯丙素类,分别为 caffeic acid^[5]、syringin、dihydroxyrindine^[8]、Z-methyl caffeate、ferulic acid、Z-5-hydroxy ferulic acid、2-hydroxy ferulic acid^[7]、feruloyl acid^[9]、4-methoxycinnamic acid、 α 、4'-Dihydroxy-3'-methoxypropiphenone、dictamnolide A^[10]。

1.4 炔烃及其苷类 炔烃是分子中含有碳碳三键的碳氢化合物的总称,从白术中分离得到的炔烃类化合物多为单烯-二炔型聚乙炔、二烯-二炔型聚乙炔和三烯-二炔型聚乙炔^[5,8,10-11],如 14-acetoxy-12- α -methylbutyl-2E,8E,10E-trien-4,6-diyn-1-ol、14-acetoxy-12- β -methylbutyl-2E,8E,10E-trien-4,6-diyn-1-ol 等^[11]。

1.5 多糖类 白术多糖作为白术中的重要组成成分,具有抗肿瘤、调节免疫系统、改善神经系统、调节胃肠道功能、降血糖等多种药理活性。杨颖等^[12]对白术中多糖成分的提取、分离纯化、化学组成及药理作用进行综述,共整理了 13 个多糖组分及 2 个结构明确的精制多糖。

1.6 其他 除上述化学成分外,白术中还含有有机酸、三萜、甾醇等其他化学成分,如 linoleic acid、myristic acid^[5]、icariside F2、icariside D1^[8]、taxerylacetate、3 β -acetoxy-12-oleanen-11-one、octacosanic acid、heptadecanoic acid^[10]等。

2 白术的药理作用

白术为传统中草药,具有较高的应用价值,中医古籍记载白术有健脾益气、燥湿利水、止汗、安胎的功效,可用于脾虚食少、腹胀泄泻、痰饮眩悸、水肿、自汗、胎动不安等。现代药理研究表明,白术提取物及其主要化学成分如白术内酯 I 具有诸多药理作用,如调节胃肠道、调节泌尿系统、抗肿瘤、抗炎、增强免疫、改善神经系统、降血糖血脂等,为白术的进一步研究开发提供了广阔空间。

2.1 抗炎作用 白术在体内、体外均有显著的抗炎活性,可用于多种炎症性疾病的治疗。黄玉燕等^[13]研究发现,白术水煎剂外用可显著降低二甲苯致炎小鼠的血清肿瘤坏死因子- α (tumor necrosis factor- α , TNF- α) 水平。白术中的倍半萜类成分特别是白术内酯 I 可能是其主要抗炎活性物质基础。有研究显示,白术中的倍半萜化合物能抑制脂多糖 (lipopolysaccharide, LPS) 诱导的 RAW264.7 细胞一氧化氮 (nitric oxide, NO) 生成^[7]。DONG 等^[11]研究发现,白术中的 5 种倍半萜类化合物对二甲苯致小鼠耳肿胀和乙酸致小鼠腹膜毛细血管通透性增加等急性炎症有一定的抑制作用。有研究利用 LPS 诱导的 RAW264.7 和 BV2 炎症细胞模型发现,从白术分离得到的 22 种化合物中,白术内酯 I 和 8-epiasterolid 可能是抗炎治疗的潜在候选药物;深入研究发现,8-epiasterolid 可能通过抑制核因子- κ B (nuclear factor- κ B, NF- κ B) 活化而抑制前列腺素 E₂ (prostaglandin E₂, PGE₂) 的生成以及诱导型一氧化氮合酶 (inducible nitric oxide synthase, iNOS) 和环氧合酶-2 的表达,并能抑制炎症因子 TNF- α 、白细胞介素 (interleukin, IL)-1 β 和 IL-6 的生成^[5]。LI 等^[14-15]通过白细胞膜层析筛选白术中的抗炎活性部位及活性成分发现,白术提取物石油醚萃取部位分离得到的白术内酯 I 和 14-acetoxy-12-senecioloxytetradeca-2E,8E,10E-trien-4,6-diyn-1-ol 在白细胞膜层析上的保留行为与地塞米松相似,对乙酸所导致的小鼠腹膜毛细血管通透性增加、角叉菜胶诱导的大鼠足肿胀和小鼠棉球肉芽肿炎症都具有显著的抗炎作用;进一步研究发现,白术内酯 I 可作用于白细胞膜拮抗 Toll 样受体 4 (Toll-like receptor-4, TLR4),对二甲苯所致小鼠耳廓肿和醋酸所致小鼠腹膜炎具有较强的抗炎作用。此外,在 LPS 诱导的腹膜巨噬细胞炎症模型中,白术内酯 I 和 III 可以下调 TNF- α mRNA 的表达,抑制 iNOS 的合成及活性,从而降低 TNF- α 水平,抑制 NO 生成,发挥抗炎作用,且白术内酯 I 的活性强于白术内酯 III。WANG 等^[16]研究发现,白术内酯 I 可显著降低 TNF- α 、

IL-1 β 和 IL-6、丙氨酸氨基转移酶、天门冬氨酸氨基转移酶、肌酐和尿素氮水平,改善盲肠结扎穿刺小鼠的脓毒症症状,改善肝肾功能,对其全身炎症起到一定的改善作用。AMIN 等^[17]研究发现,白术乙醇提取物能通过抑制蛋白激酶 B (protein kinase B, AKT)/NF- κ B 信号通路起到治疗胃炎作用,为白术在临床上用于防治胃炎和胃癌提供了很好的药理基础。GAO 等^[18]应用 IL-1 β 诱导的 MH7A 细胞模型研究发现,白术联合土的宁可促进滑膜细胞凋亡,抑制细胞中 TLR4、NF- κ B 和 NOD 样受体热蛋白结构域相关蛋白 3 (NOD-like receptor thermal protein domain associated protein 3, NLRP3) 的表达水平,减少 MH7A 阳性细胞,起到治疗关节炎的作用,土的宁结合白术内酯 II 也可有效治疗类风湿性关节炎。QIAN 等^[19]研究发现,白术可降低急性痛性关节炎模型大鼠的血清 IL-1 β 和 TNF- α 水平,激活 AMP 依赖的蛋白激酶 (adenosine 5'-monophosphate-activated protein kinase, AMPK)/沉默信息调节因子 1 (silent information regulator 1, SIRT1) 信号通路,抑制 NF- κ B 的活化,抑制巨噬细胞极化至促炎表型,表明其抗炎药理作用可能与激活 AMPK/SIRT1 信号通路从而抑制 M1 巨噬细胞极化和 NF- κ B 活化有关。

2.2 抗肿瘤作用 白术提取物及其挥发油、多糖成分对多种肿瘤细胞具有较好的抑制作用。朱庆均等^[20]研究发现,白术水提物能提高 S180 荷瘤小鼠的胸腺指数,降低血浆中 TNF- α 、IL-2 水平,通过调节免疫功能来抑制肿瘤生长。朱超等^[21]研究发现,含白术有效成分的血清可以增加胃癌细胞株 SGC-7901 侧群细胞 (side population, SP) G₀ 和 G₁ 期细胞比例,降低 S 期和 G₂/M 期细胞比例,抑制 SP 有丝分裂进而抑制其体外增殖能力。HUANG 等^[22]研究发现,白术甲醇提取物可以促进细胞内活性氧的产生而诱导人白血病细胞的凋亡。王翥等^[23]研究发现,白术挥发油对小鼠移植性肿瘤肝癌 H22 细胞及肉瘤 S180 细胞有显著抑制作用;沈国庆等^[24]进一步研究发现,其抗 S180 肿瘤的有效成分可能存在于白术挥发油中极性小的部位。张宗等^[25]研究发现,白术挥发油对艾氏腹水瘤有较强的抑制作用,且大剂量给药 1 次 (150 mg · kg⁻¹) 可延长患瘤小鼠的寿命 197%。赵洪敏等^[26]研究发现,白术挥发油和多糖可降低高转移肺癌细胞株 PG 细胞的侵袭能力。LI 等^[27]研究发现,白术多糖可显著抑制大鼠神经胶质瘤 C6 细胞增殖,推测是通过线粒体途径诱导其凋亡而实现的。

对白术中主要倍半萜类成分的抗肿瘤实验研究发现,苍术酮 (15 mg · L⁻¹) 和白术内酯 I (30 mg · L⁻¹) 显著诱导 HL-60 和 P-388 细胞凋

亡,而白术内酯 II、III 的作用较弱^[28]。研究发现,白术中的白术内酯 I、II 和白术内酰胺均能抑制 B16 细胞增殖,其作用机制可能与 Ras/ERK 和 PI3K/AKT 信号通路有关^[29]。有研究发现,白术内酯 I、II、III 均可抑制小鼠结肠癌细胞和 ECA9706 食管癌细胞增殖,其中以白术内酯 II 抑制效果最强,提示白术内酯 II 对消化系统肿瘤有较好的抑制作用^[30-31]。龙方懿等^[32]研究发现,白术内酯 I 可通过 PI3K/AKT 途径下调卵巢癌 SK-OV-3 与 OVCAR-3 细胞周期蛋白依赖性激酶 1 的表达,从而使细胞阻滞于 G₂/M 期,进而发挥对肿瘤细胞增殖的抑制作用。张彩霞等^[33]研究发现,白术内酯 II 能显著抑制大肠癌 Lovo 细胞的增殖并诱导其发生凋亡,其分子机制与促进聚腺苷二磷酸-核糖聚合酶 1 的剪切,激活含半胱氨酸的天冬氨酸蛋白水解酶 (cysteinyI aspartate specific proteinase, caspase) -3 的表达相关。

2.3 对胃肠道疾病的作用 白术归脾、胃经,在治疗胃肠道疾病的中药方剂中应用广泛,其健脾益气功效与其对胃肠道活动的影响密切相关。白术对胃肠运动有双向调节作用,如朱金照等^[34-35]研究发现,白术水煎剂能显著促进大鼠的胃排空和肠推进,可通过增加胃窦中乙酰胆碱酯酶含量及 SP 阳性神经分布,发挥其促动力效应;余平等^[36]研究表明,生白术醇提物及麸炒白术醇提物对离体肠肌和乙酰胆碱所导致的肠肌兴奋具有显著的抑制作用,且麸炒后抑制作用增强。张奕强等^[37]研究发现,白术内酯 I、白术内酯 III、4,15-环氧羟基白术内酯能显著抑制大鼠离体回肠的自发运动,其作用机制与胆碱受体及 Ca²⁺ 的抑制有关。在《伤寒论》《金匱要略》中关于大便秘结或泄利不止这 2 种相反症状的治疗,均可见对白术的运用,这也体现了白术的双向调节作用。马晓松等^[38]研究发现,小剂量白术对豚鼠离体回肠有轻度抑制效应,较大剂量则使回肠收缩加强,这种效应主要通过 M 受体介导,与 α 受体相关。

另外,大量研究显示,白术对胃肠道黏膜具有保护及修复作用。李多等^[39]研究发现,白术内酯 I 对慢性萎缩性胃炎大鼠的胃黏膜具有保护作用,其机制可能是通过抗炎作用实现。WANG 等^[40]研究发现,白术内酯 III 通过抑制基质金属蛋白酶 (matrix metalloproteinase, MMP)-2 和 MMP-9 的表达,减少细胞外基质损伤并阻止胃溃疡的形成。肠黏膜损伤后小肠隐窝 IEC-6 细胞不断增殖、移行至缺损部位,并分化为上皮细胞完成修复功能,此过程需要绒毛蛋白的参与来促进肠细胞的分化。王洲等^[41]研究报道,白术糖复合物可通过上调 IEC-6 细胞中绒毛蛋白的表达及分布而促进 IEC-6 细胞分化。SONG 等^[42]研究发现,白术醇提物可以通过多胺-Kv1.1 信

号通路显著促进 IEC-6 细胞迁移。伍婷婷等^[43]研究发现,白术多糖可通过提高 IEC-6 细胞钙离子水平促进细胞迁移和 E-钙黏蛋白表达,从而发挥胃肠黏膜损伤修复作用。另有研究表明,白术对肠道菌群具有一定的调节功能,可以显著改善肠道菌群紊乱,调节肠道菌群的组成和活性^[44-46]。

2.4 对泌尿系统的作用 白术作为传统中药,其燥湿利水功效确切,临床经验证实白术对水肿、腹水有一定的疗效。早在 1961 年,我国科学家陈敏珠等^[47]研究发现,白术水煎剂对大鼠、家兔、家犬均产生明显持久的利尿作用,促进 Na⁺ 离子排出。白术水煎液还可显著增加腹膜孔开放数目,增高分布密度,加强对腹膜腔内物质的吸收能力,从而实现消腹水作用^[48]。苍术酮作为苍术属的主要成分,可显著抑制 Na⁺ - K⁺ -ATP 酶活性,从而降低细胞内 Na⁺、K⁺ 的交流^[49]。随着研究的深入发现,白术对泌尿系统具有调节作用,其中白术水煎液低剂量或单次给药无利尿作用,中高剂量则表现出一定的抗利尿作用^[50-51]。因此,推测白术利水渗湿的作用机制并非通过直接利尿作用实现的,可能是通过调控腹膜吸收,加快腹腔内液体循环,升高血容量而间接实现的。

2.5 对神经系统的作用 白术可以通过减轻脑缺血损伤、缓解老年痴呆、抗抑郁等作用改善神经系统功能。高群等^[52-54]研究表明,白术水提取物能明显改善缺血/再灌注大鼠的神经行为,提高大鼠脑组织中超氧化物歧化酶、谷胱甘肽和过氧化氢酶活性,降低丙二醛含量,同时能有效改善 D-半乳糖致脑老化小鼠海马 CA3 区 Gray I 型突触结构的改变,逆转海马基因突触素、蛋白激酶 C、环一磷酸腺苷反应元件结合蛋白表达的降低,从而提高其学习记忆能力。白术中的多糖类成分能够改善缺氧导致的 SD 胎鼠大脑皮层神经细胞生长抑制,抑制其早期凋亡^[55],减轻 SD 大鼠创伤性脑损伤后脑水肿程度^[56],同时有效改善衰老模型小鼠的学习能力,延缓其机体衰老^[57]。除多糖成分外,白术内酯类成分对神经系统也具有一定的保护作用,研究发现,双白术内酯可改善三氯化铝和 Aβ1-40 痴呆模型小鼠的学习记忆能力,并显著降低其脑组织中胆碱酯酶水平^[58-59]。LIU 等^[60]研究表明,白术内酯 III 可以通过抑制 caspase 信号通路抑制谷氨酸诱导的神经细胞凋亡,发挥神经保护作用,提示白术内酯 III 在兴奋性毒性介导的神经系统疾病中可能具有治疗作用。给予抑郁模型小鼠白术内酯 I 3 周后发现,给药组小鼠的蔗糖消耗增加,静止时间缩短,抑郁样行为得到改善,且小鼠海马内血清素和去甲肾上腺素水平下降也得到改善,其分子机制与抑制 NLRP3 炎症因子的

激活和减少 IL-1β 的产生相关^[61]。ZHANG 等^[3]从白术中分离得到系列化合物,并通过生物测试发现这些成分对 1-甲基-4-苯基吡啶离子诱导的 SH-SY5Y 细胞损伤具有保护作用。

2.6 对免疫系统的作用 白术能够改善机体免疫,其主要药效物质为多糖类成分。研究表明,白术多糖能刺激小鼠产生特异性 IgG 类抗体及非特异性交叉抗体^[62-63]。在免疫抑制小鼠模型中,白术多糖不仅对白细胞数量及功能有正向促进作用,还能显著提高淋巴细胞功能^[64]。郭志欣等^[65]研究发现,白术多糖的纯化程度与脾淋巴细胞增殖具有一定关系,纯化程度高的多糖对小鼠脾淋巴细胞的增殖有促进作用。同时,白术还可以通过增强机体免疫而发挥抗肿瘤作用。关晓辉等^[66]研究发现,白术挥发油可通过提高巨噬细胞活性,增强机体非特异性免疫功能,抑制癌细胞的生长。冯子芳等^[67]研究发现,白术多糖可通过激活结肠癌模型小鼠原位移植瘤组织中的免疫细胞来抑制肿瘤生长。银瑞等^[68]研究也发现,白术多糖能够增强肺癌模型大鼠机体免疫功能,抑制癌细胞增殖并诱导凋亡。此外,QIN 等^[69]研究发现,白术水提物还能提高接种口蹄疫疫苗小鼠的 IgG 及其亚型水平,促进淋巴细胞增殖,提高其体内 IL-5 和干扰素-γ 水平,表明白术能特异性增强接种口蹄疫疫苗小鼠的免疫能力。

2.7 对子宫平滑肌的作用 章小莉等^[70-71]研究发现,白术对人晚孕子宫平滑肌细胞和 IL-6 作用后的子宫平滑肌细胞钙依赖钾通道电流有直接的增强作用,可以抑制子宫平滑肌的收缩,且对 IL-6 作用后的子宫平滑肌细胞的抑制作用强于对正常子宫平滑肌细胞的抑制作用,这一研究为中药白术治疗早产提供了一定的理论基础。

2.8 降血糖作用 白术具有降血糖作用,研究表明,白术多糖可以显著降低糖尿病大鼠的血糖水平,降低其饮水量、耗食量,提高胰岛素敏感指数,但其作用机制尚不明确^[72-73]。白术内酯 I、II 可以通过激活 AMPK 和 PI3K/AKT 信号通路,增加小鼠骨骼肌 C2C12 细胞的葡萄糖摄入,从而产生良好的降糖效果^[74]。

2.9 降血脂、抗动脉粥样硬化作用 白术对高脂血症模型小鼠具有降血脂作用,其提取物通过降低磷酸化 Akt 水平抑制脂肪形成,降低小鼠体质量和血清中三酰甘油 (triacylglycerol, TG) 水平,升高血清高密度脂蛋白胆固醇 (high-density lipoprotein cholesterol, HDL-C)/TG 水平^[75-76]。研究发现,白术内酯 I 可抑制氧化修饰低密度脂蛋白诱导的血管平滑肌细胞的增殖和迁移,并降低炎症因子的产生和单核细胞趋化蛋白-1 的表达,可用于治疗动脉粥样

硬化^[77]。

2.10 其他作用 白术还具有保肝、抑制芳香化酶、抑制胆碱酯酶、减缓心率、增强软骨分化等作用。研究表明,白术多糖^[78]及苍术酮^[79]均有一定的保肝作用,其作用机制与抗氧化及抑制 NF-κB 有关。白术中的内酯类成分均能够抑制芳香化酶和乙酰胆碱酯酶的活性,可能成为酶抑制剂的先导化合物^[80-81]。白术内酯 I、Ⅲ还可促进软骨分化,诱导间充质干细胞形成软骨细胞^[82]。此外,白术中的双白术内酯对心房肌有负性肌力和负性频率作用,可显著降低豚鼠离体右心房肌的收缩力,同时减慢心率^[83]。

3 结语

白术在我国资源丰富,药用历史悠久,对多种疾病皆有可靠疗效。随着科技进步,白术中的多种生物活性物质被鉴定,如倍半萜及内酯类成分、黄酮类成分、炔烃类成分、多糖类成分等,且含有多种微量元素和氨基酸。现代药理学研究证实了白术的多种药理活性,如调节胃肠道、调节泌尿系统、抗肿瘤、抗炎、增强免疫、改善神经系统、降血糖血脂等作用,对白术的开发利用具有指导意义。尽管近年来对白术的研究不断深入,取得不少进展,但仍存在一些不足。首先,白术常以生品入药发挥健脾化气的功效,其中挥发油具有较强的生物活性,疗效确切;但目前白术挥发油的药理活性报道多集中在抗肿瘤方面,缺乏对传统功效的研究。其次,现行《中国药典》中白术的质量标准只简单记载了定性鉴别,缺乏控制药材质量的指标性成分,应结合传统应用与现代研究为白术选取合适的质量标志物,建立并完善白术质量控制标准。另外,白术作为健脾益气、燥湿利水的要药,在临床实践中发挥巨大作用,但目前对白术的功效研究多基于提取物,化学物质基础不明确,缺乏深入的机制探讨,限制了白术应用的现代化发展。综上所述,未来对白术的研究应着眼于构建完善质量标准 and 深入探究作用机制,以期阐明其临床应用的科学内涵,从而指导中医临床用药,为白术的开发利用提供科学依据。

参考文献:

[1] CHEN Z L, CAO W Y, ZHOU G X, *et al.* A sesquiterpene lactam from *Atractylodes macrocephala* [J]. *Phytochemistry*, 1997, 45 (4): 765-767.

[2] DING H Y, LIU M Y, CHANG W L, *et al.* New Sesquiterpenoids from the rhizomes of *Atractylodes macrocephala* [J]. *Chin Pharm J*, 2005, 57: 37-42.

[3] ZHANG N, LIU C, SUN T M, *et al.* Two new compounds from *Atractylodes macrocephala* with neuroprotective activity [J]. *J Asian Nat Prod Res*, 2017, 19 (1): 35-41.

[4] LI Y, DAI M, PENG D. New bisesquiterpenoid lactone from the wild rhizome of *Atractylodes macrocephala* Koidz. grown in Qimen [J]. *Nat Prod Res*, 2017, 31 (20): 2381-2386.

[5] JIN H G, KIM K W, LI J, *et al.* Anti-inflammatory components isolated from *Atractylodes macrocephala* in LPS-induced RAW264.7 macrophages and BV2 microglial cells [J]. *Appl Biol Chem*, 2022, 65: 11-24.

[6] SI J G, ZHANG H X, YU M, *et al.* Sesquiterpenoids from the rhizomes of *Atractylodes macrocephala* and their protection against lipopolysaccharide-induced neuroinflammation in microglia BV-2 cells [J]. *J Funct Foods*, 2021, 83: 104541.

[7] HOANG LE S, TRAN M H, LEE J S, *et al.* Inflammatory inhibitory activity of sesquiterpenoids from *Atractylodes macrocephala* rhizomes [J]. *Chem Pharm Bull (Tokyo)*, 2016, 64 (5): 507-511.

[8] KITAJIMA J, KAMOSHITA A, ISHIKAWA T, *et al.* Glycosides of *Atractylodes ovata* [J]. *Chem Pharm Bull (Tokyo)*, 2003, 51 (9): 1106-1108.

[9] JUNG H H, JIN H K, SUNG G K, *et al.* Anti-oxidative compounds from the aerial parts of *Atractylodes macrocephala* Koidzumi [J]. *Yakhak Hoeji*, 2007, 51 (2): 88-95.

[10] 邹辉, 杨彬, 易美玲, 等. 白术化学成分分离鉴定 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2016, 22 (17): 43-48.

ZOU H, YANG B, YI M L, *et al.* Chemical constituents of *Atractylodes macrocephala* rhizoma [J]. *Chin J Exp Trad Med Form*, 2016, 22 (17): 43-48.

[11] DONG H, HE L, HUANG M, *et al.* Anti-inflammatory components isolated from *Atractylodes macrocephala* Koidz. [J]. *Nat Prod Res*, 2008, 22 (16): 1418-1427.

[12] 杨颖, 魏梦昕, 伍耀业, 等. 白术多糖提取分离、化学组成和药理作用的研究进展 [J]. 中草药, 2021, 52 (2): 578-584.

YANG Y, WEI M X, WU Y Y, *et al.* Research progress on extraction separation, chemical constitution and pharmacological activities of polysaccharide extracted from *Atractylodes macrocephala* [J]. *Chin Trad Herb Drugs*, 2021, 52 (2): 578-584.

[13] 黄玉燕, 丁昕宇, 孙伟, 等. 白术水煎剂外用对致炎小鼠血清 TNF-α 含量的影响 [J]. 北京中医药大学学报, 2005, 28 (6): 57-58.

HUANG Y Y, DING X Y, SUN W, *et al.* Effect of Baizhu Decoction used externally on serum content of TNF-α in mice with auricle infection [J]. *J Beijing Univ Trad Chin Med*, 2005, 28 (6): 57-58.

[14] LI C Q, HE L C, JIN J Q. Atractylenolide I and atractylenolide III inhibit lipopolysaccharide-induced TNF-α and NO production in macrophages [J]. *Phytother Res*, 2007, 21 (4): 347-353.

[15] LI C Q, HE L C, DONG H Y, *et al.* Screening for the anti-inflammatory activity of fractions and compounds from *Atractylodes macrocephala* Koidz. [J]. *J Ethnopharmacol*, 2007, 114 (2): 212-217.

[16] WANG A, XIAO Z, ZHOU L, *et al.* The protective effect of atractylenolide I on systemic inflammation in the mouse model of sepsis created by cecal ligation and puncture [J]. *Pharm Biol*, 2016, 54 (1): 146-150.

[17] AMIN A, HOSSEN M J, FU X Q, *et al.* Inhibition of the Akt/NF-κB pathway is involved in the anti-gastritis effects of an ethanolic extract of the rhizome of *Atractylodes macrocephala* [J]. *J Ethnopharmacol*, 2022, 293: 115251.

[18] GAO Y, XIN D, LIANG X D, *et al.* Effect of a combination of At-

- ractylodes macrocephala* extract with strychnine on the TLR4/NF- κ B/NLRP3 pathway in MH7A cells[J]. *Exp Ther Med*, 2023, 25(2): 91.
- [19] QIAN X, JIANG Y, LUO Y, *et al.* The anti-hyperuricemia and anti-inflammatory effects of *Atractylodes macrocephala* in hyperuricemia and gouty arthritis rat models[J]. *Comb Chem High Throughput Screen*, 2023, 26(5): 950-964.
 - [20] 朱庆均, 郑广娟, 张丹. 白术水提物抑瘤作用及其机制研究[J]. 山东中医药大学学报, 2006, 30(1): 69-71.
ZHU Q J, ZHENG G J, ZHANG D. Study on antitumor effect and mechanism of extract of largehead atractylodes rhizome [J]. *J Shandong Univ Trad Chin Med*, 2006, 30(1): 69-71.
 - [21] 朱超, 杨晨, 郭晨旭, 等. 白术对胃癌 SGC-7901 侧群细胞体外增殖影响[J]. 社区医学杂志, 2019, 17(10): 574-578.
ZHU C, YANG C, GUO C X, *et al.* Effect of *Atractylodes macrocephala* on the vitro proliferation of the side population of gastric cancer cell line SGC-7901[J]. *J Comm Med*, 2019, 17(10): 574-578.
 - [22] HUANG H L, CHEN C C, YE H C Y, *et al.* Reactive oxygen species mediation of baizhu-induced apoptosis in human leukemia cells[J]. *J Ethnopharmacol*, 2005, 97(1): 21-29.
 - [23] 王翕, 刘玉瑛, 史天良, 等. 白术挥发油抗实体瘤的作用研究[J]. 中国药物与临床, 2002, 2(4): 239-240.
WANG X, LIU Y Y, SHI T L, *et al.* Inhibitory activity of volatile oil from *Atractylodes macrocephala* Koidz. on parenchymatous tumor in mice[J]. *Chin Remed Clin*, 2002, 2(4): 239-240.
 - [24] 沈国庆, 何法霖, 李凤新, 等. 白术挥发油化学成分及抗肿瘤实验研究[J]. 北京中医药大学学报, 2009, 32(6): 413-415.
SHEN G Q, HE F L, LI F X, *et al.* Chemical compositions and anti-tumor test of volatile oil from Rhizome *Atractylodes macrocephala* [J]. *J Beijing Univ Trad Chin Med*, 2009, 32(6): 413-415.
 - [25] 张宗, 张鸿翔, 史天良, 等. 白术挥发油抗肿瘤作用的研究[J]. 肿瘤研究与临床, 2006, 18(12): 799-800.
ZHANG Z, ZHANG H X, SHI T L, *et al.* Research about the anti-tumor function of *Atractylodes macrocephala* Koidz. volatile oil [J]. *Cancer Res Clin*, 2006, 18(12): 799-800.
 - [26] 赵洪敏, 朱庆均, 郑广娟, 等. 白术提取物对人肺癌 PG 细胞体外侵袭作用的影响[J]. 山东中医药大学学报, 2005, 29(6): 465-466, 486.
ZHAO H M, ZHU Q J, ZHENG G J, *et al.* Extract of largehead atractylodes rhizome on external inhibitor invasion of PG cells of human lung cancer [J]. *J Shandong Univ TCM*, 2005, 29(6): 465-466, 486.
 - [27] LI X J, LIU F, LI Z, *et al.* *Atractylodes macrocephala* polysaccharides induces mitochondrial-mediated apoptosis in glioma C6 cells [J]. *Int J Biol Macromol*, 2014, 66: 108-112.
 - [28] WANG C C, CHEN L G, YANG L L. Cytotoxic activity of sesquiterpenoids from *Atractylodes ovata* on leukemia cell lines [J]. *Planta Med*, 2002, 68(3): 204-208.
 - [29] YAN Y, CHOU G X, HUI W, *et al.* Effects of sesquiterpenes isolated from largehead atractylodes rhizome on growth, migration, and differentiation of B16 melanoma cells [J]. *Integr Cancer Ther*, 2011, 10(1): 92-100.
 - [30] GAO X L, WANG B Y, CHEN Y L, *et al.* Atractylenolide II significantly reduces proliferation of mouse colon cancer cells [J]. *World Chin J Digest*, 2013, 21(26): 2690-2693.
 - [31] 高小玲, 汪保英, 尹素改, 等. 白术内酯对 IEC-6 细胞及食管癌细胞 ECA9706 增殖能力的影响[J]. 中华中医药杂志, 2015, 30(3): 921-923.
 - GAO X L, WANG B Y, YIN S G, *et al.* Research of atractylenolide on proliferation ability of IEC-6 cells and esophageal cancer ECA9706 cells [J]. *Chin J Trad Chin Med Pharm*, 2015, 30(3): 921-923.
 - [32] 龙方懿, 贾萍, 王华飞, 等. 白术内酯 I 抑制卵巢癌 SK-OV-3 与 OVCAR-3 细胞增殖作用机制的研究[J]. 局解手术学杂志, 2017, 26(2): 89-93.
LONG F Y, JIA P, WANG H F, *et al.* Mechanisms and proliferation inhibitory effects of atractylenolide I on SK-OV-3 and OVCAR-3 ovarian cancer cell [J]. *J Reg Anat Oper Surg*, 2017, 26(2): 89-93.
 - [33] 张彩霞, 张亚杰, 江滨, 等. 白术内酯 II 促进大肠癌 Lovo 细胞凋亡及对 PARP1 和 caspase-3 表达的影响[J]. 中国实验方剂学杂志, 2017, 23(5): 157-161.
ZHANG C X, ZHANG Y J, JIANG B, *et al.* Effect of atractylenolide II in promoting apoptosis of lovo cells and its impact on expression of PARP1 and caspase-3 [J]. *Chin J Exp Trad Med Formulae*, 2017, 23(5): 157-161.
 - [34] 朱金照, 冷恩仁, 桂先勇, 等. 白术、藿香等中药对胃排空、肠推进影响的实验研究[J]. 中国中医基础医学杂志, 2000, 6(1): 24-26.
ZHU J Z, LENG E R, GUI X Y, *et al.* Experimental study for effects of some Chinese herbals on gastrointestinal motility [J]. *Chin J Bas Med TCM*, 2000, 6(1): 24-26.
 - [35] 朱金照, 张捷, 许其增, 等. 白术促进大鼠胃肠道运动的机制探讨[J]. 中国临床药理学杂志, 2001, 10(6): 365-368.
ZHU J Z, ZHANG J, XU Q Z, *et al.* Mechanisms of *Atractylodes macrocephala* enhancing gastrointestinal motility [J]. *Chin J Clin Pharm*, 2001, 10(6): 365-368.
 - [36] 余平, 费莹, 李洪玉, 等. 以离体肠肌抑制作用评价麸炒炮制工艺对白术药效的影响[J]. 中华中医药学刊, 2017, 35(5): 1091-1093.
YU P, FEI Y, LI H Y, *et al.* Effects of *Atractylodes* with different processing on isolated intestinal muscle [J]. *Chin Arch TCM*, 2017, 35(5): 1091-1093.
 - [37] 张奕强, 许实波, 林永成. 白术内酯系列物的胃肠抑制作用[J]. 中药材, 1999, 22(12): 636-640.
ZHANG Y Q, XU S B, LIN Y C. Gastrointestinal inhibitory effects of sesquiterpene lactones from *Atractylodes macrocephala* [J]. *J Chin Med Mater*, 1999, 22(12): 636-640.
 - [38] 马晓松, 樊雪萍, 陈忠, 等. 白术对动物胃肠运动的作用及其机制的探讨[J]. 中华消化杂志, 1996, 16(5): 261-264.
MA X S, FAN X P, CHEN Z, *et al.* Effects and mechanism of rhizome *Atractylodes macrocephala* on gastrointestinal motility in animals [J]. *Chin J Digest*, 1996, 16(5): 261-264.
 - [39] 李多, 杜三军, 于永强. 白术内酯 I 对慢性萎缩性胃炎大鼠相关炎性因子的影响[J]. 解放军医药杂志, 2016, 28(8): 10-14.
LI D, DU S J, YU Y Q. Effect of atractylenolide I on related inflammatory factors of rats with chronic atrophic gastritis [J]. *Med Pharm J Chin PLA*, 2016, 28(8): 10-14.
 - [40] WANG K T, CHEN L G, WU C H, *et al.* Gastroprotective activity of atractylenolide III from *Atractylodes ovata* on ethanol-induced gastric ulcer *in vitro* and *in vivo* [J]. *J Pharm Pharmacol*, 2010, 62(3): 381-388.
 - [41] 王洲, 李茹柳, 徐颂芬, 等. 白术糖复合物对 IEC-6 细胞分化及

- 绒毛蛋白表达的影响[J]. 中药材, 2010, 33(6): 938-944.
- WANG Z, LI R L, XU S F, *et al.* Effects of *Atractylodes macrocephala* monosaccharide composition on cytodifferentiation and villin expression of IEC-6 cells *in vitro* [J]. *J Chin Med Mater*, 2010, 33(6): 938-944.
- [42] SONG H P, LI R L, CHEN X, *et al.* *Atractylodes macrocephala* Koidz. promotes intestinal epithelial restitution via the polyamine--voltage-gated K⁺ channel pathway [J]. *J Ethnopharmacol*, 2014, 152(1): 163-172.
- [43] 伍婷婷, 李茹柳, 曾丹, 等. 白术多糖调控钙离子以促进细胞迁移及 E-钙黏蛋白表达的研究 [J]. 中药新药与临床药理, 2017, 28(2): 145-150.
- WU T T, LI R L, ZENG D, *et al.* Research of *Atractylodes macrocephala* polysaccharides in promoting cell migration and E-cadherin expression through regulating calcium ions [J]. *Trad Chin Drug Res Clin Pharm*, 2017, 28(2): 145-150.
- [44] 鄢伟伦, 王帅帅, 任霞. 白术对小鼠肠道菌群调节作用的实验研究 [J]. 山东中医杂志, 2011, 30(6): 417-419.
- YAN W L, WANG S S, REN X. Experimental study of *atractylodes* on intestinal microflora in mice [J]. *Shandong J Trad Chin Med*, 2011, 30(6): 417-419.
- [45] WANG R, ZHOU G, WANG M, *et al.* The metabolism of polysaccharide from *Atractylodes macrocephala* Koidz. and its effect on intestinal microflora [J]. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2014, 2014: 926381.
- [46] 刘丽莎, 王锐, 旭日花, 等. 白术多糖对益生菌的促生长作用及结构分析 [J]. 食品科学, 2010, 31(19): 124-128.
- LIU L S, WANG R, XU R H, *et al.* Promoting effect of polysaccharides isolated from *Rhizoma Atractylodis macrocephalae* on the growth of probiotics and structure analysis [J]. *Food Sci*, 2010, 31(19): 124-128.
- [47] 陈敏珠, 张毅. 白术的利尿作用 [J]. 生理学报, 1961, 24(3): 227-237.
- CHEN M Z, ZHANG Y. The diuretic action of *Atractylodes macrocephala* [J]. *Acta Physiol Sin*, 1961, 24(3): 227-237.
- [48] 李继承, 吕志连, 石元和, 等. 腹膜孔的药物调节和计算机图像处理 [J]. 中国医学科学院学报, 1996, 18(3): 219-223.
- LI J C, LV Z L, SHI Y H, *et al.* Study on pharmacological regulation of the peritoneal stomata and its computer image processing [J]. *Acta Acad Med Sin*, 1996, 18(3): 219-223.
- [49] SATOH K, NAGAI F, USHIYAMA K, *et al.* Specific inhibition of Na⁺, K⁺-ATPase activity by atractylon, a major component of byaku-jutsu, by interaction with enzyme in the E2 state [J]. *Biochem Pharmacol*, 1996, 51(3): 339-343.
- [50] 陈静, 孙云超, 冉小库, 等. 白术利尿作用研究 [J]. 中国现代中药, 2016, 18(5): 563-567.
- CHEN J, SUN Y C, RAN X K, *et al.* Study on diuretic effect of *Atractylodis macrocephalae* rhizoma [J]. *Mod Chin Med*, 2016, 18(5): 563-567.
- [51] 施文荣, 刘艳, 陈玲, 等. 白术燥湿利水作用的研究 [J]. 福建中医学院学报, 2007, 17(3): 29-31.
- SHI W R, LIU Y, CHEN L, *et al.* Experimental study on the effect of drying dampness and diuresis of *Atractylodes macrocephala* [J]. *J Fujian Coll TCM*, 2007, 17(3): 29-31.
- [52] 高群. 白术对局灶性脑缺血/再灌注大鼠的神经保护作用的研究 [J]. 医学理论与实践, 2017, 30(15): 2185-2186, 2189.
- GAO Q. Effect of rhizome *Atractylodis macrocephalae* on neural functional recovery on cerebral ischemia/reperfusion rat [J]. *J Med Theor Prac*, 2017, 30(15): 2185-2186, 2189.
- [53] 高群, 于新宇. 白术对脑老化小鼠记忆能力和突触结构的影响 [J]. 菏泽医学专科学校学报, 2016, 28(2): 1-3, 14.
- GAO Q, YU X Y. Effect of rhizoma *Atractylodis macrocephalae* on learning-memory and synaptic structure in aging mice [J]. *J Heze Med Coll*, 2016, 28(2): 1-3, 14.
- [54] 高群, 于新宇. 白术对脑老化小鼠认知能力及相关信号蛋白表达的影响 [J]. 菏泽医学专科学校学报, 2016, 28(1): 1-3, 45.
- GAO Q, YU X Y. Effect of rhizoma *Atractylodis macrocephalae* on learning-memory and expression of related signal proteins in hippocampus of brain aging mice [J]. *J Heze Med Coll*, 2016, 28(1): 1-3, 45.
- [55] 胡微煦, 向勤, 付爱珍, 等. 白术多糖对神经细胞毒性及抗缺氧诱导的神经细胞凋亡的影响 [J]. 中药药理与临床, 2014, 30(3): 89-91.
- HU W X, XIANG Q, FU A Z, *et al.* Study of *Atractylodes macrocephala* on polysaccharides on the neuron toxicity and anti-apoptosis induced by hypoxia/reoxygenation [J]. *Pharmac Clin Chin Mater Medica*, 2014, 30(3): 89-91.
- [56] 王光伟, 丰昀, 邱细敏, 等. 白术多糖对大鼠创伤性脑损伤后脑水肿的影响及其机制探讨 [J]. 食品科学, 2008, 29(6): 675-677.
- WANG G W, FENG J, QIU X M, *et al.* Effects of polysaccharide of *Atractylodes macrocephala* Koidz. on brain edema after traumatic brain injury in rats [J]. *Food Sci*, 2008, 29(6): 675-677.
- [57] 石娜, 苏洁, 杨正标, 等. 白术多糖对 D-半乳糖致衰老模型小鼠的抗氧化作用 [J]. 中国新药杂志, 2014, 23(5): 577-581, 584.
- SHI N, SU J, YANG Z B, *et al.* Antioxidant effect of polysaccharides from *Atractylodes macrocephala* in D-galactose-induced aging mice [J]. *Chin J New Drugs*, 2014, 23(5): 577-581, 584.
- [58] 冯星, 王正谦, 林永成, 等. 双白术内酯对 A β_{1-40} 致痴呆模型大鼠的作用 [J]. 中国药理学通报, 2009, 25(7): 949-951.
- FENG X, WANG Z L, LIN Y C, *et al.* Effects of biatractylolide on the AD rats induced by A β_{1-40} [J]. *Chin Pharm Bull*, 2009, 25(7): 949-951.
- [59] 刘洋, 廖春梅. 双白术内酯对三氯化铝致痴呆模型小鼠的作用研究 [J]. 湖南师范大学学报(医学版), 2006, 3(3): 25-26, 30.
- LIU Y, LIAO C M. Effects of biatractylolide on the AD rats induced by AlCl₃ [J]. *J Hunan Norm Univ (Med Sci)*, 2006, 3(3): 25-26, 30.
- [60] LIU C, ZHAO H, JI Z H, *et al.* Neuroprotection of atractylenolide III from *Atractylodis macrocephalae* against glutamate-induced neuronal apoptosis via inhibiting caspase signaling pathway [J]. *Neurochem Res*, 2014, 39(9): 1753-1758.
- [61] GAO H, ZHU X, XI Y, *et al.* Anti-depressant-like effect of atractylenolide I in a mouse model of depression induced by chronic unpredictable mild stress [J]. *Exp Ther Med*, 2018, 15(2): 1574-1579.
- [62] 孙文平, 李发胜, 侯殿东, 等. 当归、白术、制白附子多糖对小鼠免疫调节作用的影响 [J]. 中国中医药信息杂志, 2008, 15(7): 37-38.
- SUN W P, LI F S, HOU D D, *et al.* Effect of three kinds of polysaccharides from herbal medicines on immunomodulation in mice

- [J]. *Chin J Inform Trad Chin Med*, 2008, 15(7): 37-38.
- [63] 孙文平, 李发胜, 陈晨, 等. 白术多糖对小鼠免疫功能调节的研究[J]. 中国微生态学杂志, 2011, 23(10): 881-882, 886.
SUN W P, LI F S, CHEN C, et al. Immunomodulation of *Atractylodes polysaccharides* in mice [J]. *Chin J Microecol*, 2011, 23(10): 881-883, 886.
- [64] 相雪莲, 许丹宁, 曹楠, 等. 白术多糖对环磷酰胺诱导的免疫抑制小鼠白细胞数量及功能的修复作用[J]. 中国兽医杂志, 2020, 56(7): 36-41, 32.
XIANG X L, XU D N, CAO N, et al. The repair effect of polysaccharide of *Atractylodes macrocephala* Koidz. induced by cyclophosphamide on the number and function of white blood cells of immunosuppressive mice [J]. *Chin J Veter Med*, 2020, 56(7): 36-41, 32.
- [65] 郭志欣, 梁中焕, 姜丽秋, 等. 白术多糖的提取、纯化和活性研究[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(24): 12011-12013.
GUO Z X, LIANG Z H, LOU L Q, et al. Isolation, purification and activity analysis of polysaccharides from rhizoma *Atractylodes macrocephalae* [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2012, 40(24): 12011-12013.
- [66] 关晓辉, 曲娴, 杨志萍, 等. 白术挥发油对小鼠免疫功能的影响[J]. 北华大学学报(自然科学版), 2001, 2(2): 122-124.
GUAN X H, QU X, YANG Z P, et al. Effect of *Atractylodes macrocephala* Koidz. on immune function of mice [J]. *J Beihua Univ (Nat Sci)*, 2001, 2(2): 122-124.
- [67] 冯子芳, 唐仕华, 郭莉佳, 等. 白术多糖通过激活免疫细胞抑制小鼠结肠癌 HT-29 细胞原位移植瘤的生长[J]. 中国肿瘤生物治疗杂志, 2019, 26(11): 1209-1213.
FENG Z F, TANG S H, GUO L J, et al. Polysaccharide of *Atractylodes macrocephala* inhibits the growth of mice in-situ colon cancer HT-29 cell xenograft via activating immune cells [J]. *Chin J Cancer Biother*, 2019, 26(11): 1209-1213.
- [68] 银瑞, 王俊钢. 白术多糖对肺癌模型大鼠免疫功能的调节作用及机制研究[J]. 中国医药生物技术, 2019, 14(6): 527-533.
YIN R, WANG J G. Regulation and mechanism of *Atractylodes macrocephala* L. polysaccharide on immune function in lung cancer model rats [J]. *Chin Med Biotechnol*, 2019, 14(6): 527-533.
- [69] QIN M, LIU J, SAKWIKATKUL K, et al. Effect of the extract made from rhizoma *Atractylodes macrocephalae* (RAM) on the immune responses of mice to a commercial foot-and-mouth disease vaccine [J]. *Vet Med Sci*, 2022, 8(5): 2067-2075.
- [70] 章小莉, 汪琳, 李家福, 等. 白术对人妊娠子宫平滑肌收缩活动的影响[J]. 武汉大学学报(医学版), 2008, 29(3): 383-386.
ZHANG X L, WANG L, LI J F, et al. Effects of *Atractylodes macrocephala* on the contraction of human pregnant myometrium [J]. *Med J Wuhan Univ*, 2008, 29(3): 383-386.
- [71] 章小莉, 汪琳, 徐龙, 等. 白术对人妊娠子宫平滑肌细胞膜钙依赖钾通道电流的影响[J]. 中国妇幼保健, 2009, 24(3): 366-368.
ZHANG X L, WANG L, XU L, et al. Effect of *Atractylodes macrocephala* on the cytomembrane Ca^{2+} activated K^{+} currents in human pregnant myometrium smooth muscle cells [J]. *Matern Child Health Care Chin*, 2009, 24(3): 366-368.
- [72] 单俊杰, 田庚元. 白术糖复合物 AMP-B 的理化性质及降血糖活性的研究[J]. 药学学报, 2003, 38(6): 438-441.
SHAN J J, TIAN G Y. Studies on physico-chemical properties and hypoglycemic activity of complex polysaccharide AMP-B from *Atractylodes macrocephala* Koidz. [J]. *Acta Pharm Sinic*, 2003, 38(6): 438-441.
- [73] 李燕, 陈素红, 吉星, 等. 白术多糖对自发性 2 型糖尿病小鼠血糖及相关指标的影响[J]. 中国实验方剂学杂志, 2015, 21(10): 162-165.
LI Y, CHEN S H, JI X, et al. Effects of polysaccharide from *Atractylodes macrocephala* on blood glucose and related indicators in spontaneous type 2 diabetes db/db mice [J]. *Chin J Exp Trad Med Formul*, 2015, 21(10): 162-165.
- [74] CHAO C L, HUANG H C, LIN H C, et al. Sesquiterpenes from Baizhu stimulate glucose uptake by activating AMPK and PI3K [J]. *Am J Chin Med*, 2016, 44(5): 963-979.
- [75] 彭敏, 顾施健, 姜淋洁, 等. 白术提取物降血脂作用的有效部位研究[J]. 时珍国医国药, 2011, 22(10): 2363-2365.
PENG M, GU S J, JIANG L J, et al. Antihyperlipidemia active fraction of *Atractylodes macrocephalae* rhizome extracts [J]. *Lishizhen Med Mater Med Res*, 2011, 22(10): 2363-2365.
- [76] KIM C K, KIM M, OH S D, et al. Effects of *Atractylodes macrocephala* Koidzumi rhizome on 3T3-L1 adipogenesis and an animal model of obesity [J]. *J Ethnopharmacol*, 2011, 137(1): 396-402.
- [77] LI W, ZHI W, LIU F, et al. Atractylenolide I restores HO-1 expression and inhibits Ox-LDL-induced VSMCs proliferation, migration and inflammatory responses in vitro [J]. *Exp Cell Res*, 2017, 353(1): 26-34.
- [78] JIN C, ZHANG P J, BAO C Q, et al. Protective effects of *Atractylodes macrocephala* polysaccharide on liver ischemia-reperfusion injury and its possible mechanism in rats [J]. *Am J Chin Med*, 2011, 39(3): 489-502.
- [79] HWANG J M, TSENG T H, HSIEH Y S, et al. Inhibitory effect of atractylon on tert-butyl hydroperoxide induced DNA damage and hepatic toxicity in rat hepatocytes [J]. *Arch Toxicol*, 1996, 70(10): 640-644.
- [80] JIANG H, SHI J, LI Y. Screening for compounds with aromatase inhibiting activities from *Atractylodes macrocephala* Koidz. [J]. *Molecules*, 2011, 16(4): 3146-3151.
- [81] ZHU Q, LIN M, ZHUO W, et al. Chemical constituents from the wild *Atractylodes macrocephala* Koidz. and acetylcholinesterase inhibitory activity evaluation as well as molecular docking study [J]. *Molecules*, 2021, 26(23): 7299-7305.
- [82] LI X, WEI G, WANG X, et al. Targeting of the Sonic Hedgehog pathway by atractylenolides promotes chondrogenic differentiation of mesenchymal stem cells [J]. *Biol Pharm Bull*, 2012, 35(8): 1328-1335.
- [83] 蒲含林, 王正濂, 黄巧娟, 等. 双白术内酯对豚鼠离体心房肌的作用[J]. 中国药理学通报, 2000, 16(1): 60-62.
PU H L, WANG Z L, HUANG Q J, et al. Effects of biatractylenolide on isolated guinea pig myocardium [J]. *Chin Pharmacol Bull*, 2000, 16(1): 60-62.

(本文编辑:李胜利)