

黑柄炭角菌的药理作用研究进展

鲜雪欢¹, 吴杏英², 江丽洁¹, 叶梓¹, 邓雅慧¹, 吕一¹, 付玉杰³, 刘巨钊^{1*}, 崔琦^{1*}

1. 浙江中医药大学药学院, 浙江 杭州 311402

2. 浙江大学医学院第二附属医院神经内科, 浙江 杭州 310058

3. 北京林业大学林学院, 北京 100083

摘要: 黑柄炭角菌是一种生长在地下白蚁废弃巢穴中的珍稀药用真菌, 含有多糖、氨基酸、甾醇等多种活性成分。黑柄炭角菌具有神经保护作用、抗炎和免疫调节作用、抗氧化作用等药理活性。总结了黑柄炭角菌的药理作用的研究进展, 以期在黑柄炭角菌的深入研究和综合利用提供参考。

关键词: 黑柄炭角菌; 神经保护; 抗炎; 免疫调节; 抗氧化

中图分类号: R285.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-5515(2026)01-0220-05

DOI: 10.7501/j.issn.1674-5515.2026.01.036

Research progress on pharmacological effects of *Xylaria nigripes*

XIAN Xuechuan¹, WU Xingying², JIANG Lijie¹, YE Zi¹, DENG Yahui¹, LÜ Yi¹, FU Yujie³, LIU Juzhao¹, CUI Qi¹

1. School of Pharmaceutical Sciences, Zhejiang Chinese Medical University, Hangzhou 311402, China

2. Department of Neurology, the Second Affiliated Hospital Zhejiang University School of Medicine, Hangzhou 310058, China

3. The College of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

Abstract: *Xylaria nigripes* is a rare medicinal fungus that grows in abandoned underground termite nests, which contains various active ingredients such as polysaccharides, amino acids, sterols, etc. *Xylaria nigripes* has pharmacological effects such as neuroprotection, anti-inflammatory effect, immune regulation, and antioxidant effect. This article summarizes the research progress on the pharmacological effects of *Xylaria nigripes*, to provide reference for its in-depth study and comprehensive utilization.

Key words: *Xylaria nigripes*; neuroprotection; anti-inflammatory effect; immune regulation; antioxidant effect

黑柄炭角菌 *Xylaria nigripes* (Kl.) Sacc. 是一种生长在地下白蚁废弃巢穴中的珍稀药用真菌, 属于子囊菌亚门炭角菌目炭角菌科炭角菌属, 其菌核称为乌灵参, 主要分布于浙江、江西、福建、湖南、台湾等地^[1-2]。《四川中药志》记载: 黑柄炭角菌具有利尿、补心神、治失眠、补气、固肾、健脾除湿等功效, 《灌县志》、《中国药用真菌图志》亦有相似记载。现代研究证实, 黑柄炭角菌含有多糖、氨基酸、甾醇等多种活性成分, 具有镇静安神、缓解抑郁、抗氧化作用^[3]。采用深层发酵技术培养其菌丝体所得的乌灵菌粉与黑柄炭角菌、乌灵参具有相似的物质基础, 是乌灵胶囊、灵莲花颗粒、灵泽片的

主要原料^[4-5]。尽管黑柄炭角菌的生长环境特殊导致自然资源匮乏, 化学成分复杂使得研究难度较大, 但随着发酵技术的应用, 相关药理研究已逐步深入。黑柄炭角菌具有神经保护作用、抗炎和免疫调节作用、抗氧化作用等药理活性。本文总结了黑柄炭角菌的药理作用的研究进展, 以期在黑柄炭角菌的深入研究和综合利用提供参考。

1 神经保护作用

黑柄炭角菌提取物表现出多途径的神经保护效应。Divate 等^[6]发现黑柄炭角菌提取物可减少乳酸脱氢酶释放和 DNA 损伤, 恢复线粒体膜电位, 通过提高抑凋亡蛋白 B 淋巴细胞瘤-2 (Bcl-2) /Bcl-

收稿日期: 2025-10-21

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (82204552); 浙江省自然科学基金项目 (LQ24H280009)

作者简介: 鲜雪欢, 女, 中药学专业本科生。E-mail: 3142502598@qq.com

*通信作者: 刘巨钊, 男, 博士, 副研究员, 研究方向为中药学。E-mail: zcmujzliu@163.com

崔琦, 女, 博士, 助理研究员, 研究方向为中药学。E-mail: zcmucq@163.com

2 相关 X 蛋白(Bax)比值下调半胱天冬酶-3(Caspase-3)水平, 对抗 H_2O_2 诱导的 PC12 细胞损伤; 其中乙醇提取物因酚类含量高、抗氧化能力强而表现出更强的保护效果。研究还发现, 以麦麸-豆粕混合物或全谷物为底物进行固态发酵, 能进一步增强黑柄炭角菌发酵产物的神经保护活性, 提示其在功能食品和医疗食品领域具有应用潜力^[7-8]。这些研究不仅为神经保护机制研究提供了新切入点, 还为相关疾病的药物研发提供了新潜在靶点和候选化合物。

在动物实验中, Sun 等^[9]采用大脑中动脉闭塞建立缺血性卒中小鼠模型, 分别 ip 300、600 mg/kg 黑柄炭角菌提取物, 1 次/d, 持续 7 d, 结果发现黑柄炭角菌提取物能缓解小鼠神经功能缺损, 增强血红素加氧酶-1 (HO-1)、核转录因子红系 2 相关因子 2 (Nrf2) 和神经元/星形胶质细胞标志物表达, 并且 HO-1 抑制剂 SnPP 可完全阻断黑柄炭角菌的神经保护作用, 证实黑柄炭角菌通过 Nrf2/HO-1 通路发挥作用。此外, 舒忙巧等^[10]将小鼠 ip 黑柄炭角菌粉水提物 300、600 mg/kg, 作用 24 h, 结果发现黑柄炭角菌水提取物能减少大脑中动脉闭塞小鼠脑组织空洞样改变, 增加高分子神经丝蛋白(NF-H)表达, 其作用机制可能与调节脑源性神经营养因子(BDNF)、 γ -氨基丁酸(GABA)水平保护海马结构有关。

综上所述, 黑柄炭角菌的神经保护作用与其所含氨基酸、间苯二酚衍生物等生物活性成分有关, 涉及调节 Caspase-3、NF-H 等分子和 Nrf2/HO-1、Bcl-2/Bax 等通路。然而, Bcl-2/Bax 的分子调节层级、Nrf2 的具体激活方式仍有待阐明。

1.1 治疗抑郁和焦虑

Li 等^[11-12]采用习得性无助模型小鼠, 每日 ig 给予 500、1 000、2 000 mg/kg 黑柄炭角菌粉, 连续 2 周, 发现黑柄炭角菌能改善小鼠抑郁和焦虑行为, 提高 1.8×10^4 转位蛋白(TSPO)、电压依赖性阴离子选择性通道蛋白 1 (VDAC1)、PTEN 诱导激酶(PINK1)、苜氯素 1(Beclin1)和 kinesin-13 家族成员 2C(KIFC2)含量, 降低 Parkin 水平。TSPO 与 VDAC1 可形成 TSPO-VDAC1 复合体, 作用于 PINK1/Parkin 介导的受损线粒体自噬, 从而改善线粒体自噬失调, 揭示其通过 TSPO 介导的线粒体自噬信号通路发挥抗抑郁和抗焦虑作用。

Tan 等^[13]建立慢性不可预测轻度应激大鼠模型, ig 黑柄炭角菌粉 500、1 000、2 000 mg/kg, 1

次/d, 连续 4 周, 发现黑柄炭角菌可抑制大鼠行为异常, 此效应可被 L-精氨酸和西地那非减弱, 而被 7-硝基吲唑和亚甲基蓝增强, 表明黑柄炭角菌可能通过调控 L-精氨酸-NO-环磷酸鸟苷(cGMP)信号通路发挥抗抑郁效应。Feng 等^[14]建立社交挫败应激小鼠模型, ig 给药黑柄炭角菌粉 500、1 000、2 000 mg/kg, 1 次/d, 持续 2 周, 证实黑柄炭角菌能改善抑郁样行为, 并下调内质网应激相关蛋白表达, 包括 7.8×10^4 葡萄糖调节蛋白(GRP78)、蛋白二硫异构酶(PDI)、磷酸化真核起始因子 2 α (P-eIF2 α)和激活转录因子 4(ATF4), 其机制一方面通过激活内质网跨膜蛋白(IRE1 α)-X-box 结合蛋白 1(sXBP1)通路增强蛋白折叠与降解, 另一方面通过下调 C/EBP 同源蛋白(CHOP)并提高 Bcl-2/Bax 比值, 抑制蛋白翻译和过度合成, 从而恢复内质网稳态, 抑制海马神经元凋亡, 发挥抗抑郁效应。

李凤蕾等^[15]采用增强型单次延长应激建立创伤后应激障碍大鼠模型, 立即 ig 黑柄炭角菌粉 400、800 mg/kg, 1 次/d, 持续 7 d, 发现黑柄炭角菌可改善大鼠行为学指标, 降低海马组织中炎症因子白细胞介素(IL)-1 β 和 IL-6 的含量, 揭示其抗焦虑作用与抗炎机制有关。陈浩等^[16]建立大鼠创伤后应激障碍, 每天 1 次 ig 黑柄炭角菌粉 800 mg/kg, 连续给药 14 d, 检测干预效果, 表明黑柄炭角菌能改善创伤后应激障碍样行为, 抑制海马神经元过度自噬和凋亡, 表现为 Beclin1、LC3 蛋白(LC3II)和 Caspase-3 水平下降, 同时磷酸化哺乳动物雷帕霉素靶蛋白(p-mTOR)/mTOR 比值升高, 说明其可能通过促进 mTOR 磷酸化调控自噬和凋亡过程, 从而缓解创伤后应激障碍症状。

黑柄炭角菌抗抑郁、抗焦虑作用涉及多条通路, 最终汇聚于神经保护。其通过改善线粒体自噬、缓解内质网应激以维持细胞器稳态, 并通过降低促炎因子水平减轻神经炎症和氧化应激损伤, 体现了天然药物多靶点、整体调节的优势^[17]。然而, TSPO-VDAC1 复合体的精确功能靶点、干预 L-精氨酸-NO-cGMP 通路的关键靶点以及激活 IRE1 α 的上游信号仍需深入研究。

1.2 抗癫痫作用

任光丽等^[18]基于戊四唑点燃大鼠模型, ig 给药 300、600 mg/kg 黑柄炭角菌粉, 30 min 后注射戊四唑(35 mg/kg, 4 h 注射 1 次, 共注射 12 次), 发现黑柄炭角菌可改善大鼠在八臂迷宫测试中的记忆

再现障碍,其机制可能与上调海马磷酸化环磷酸腺苷反应元件结合蛋白(p-CREB)表达、保护海马 CA1、CA3 区神经元结构完整性有关。Wei 等^[19]将大鼠 ig 594 mg/kg 黑柄炭角菌菌丝,给药 1 h 后 ip 35 mg/kg 戊四唑,持续 28 d,发现黑柄炭角菌与戊酸联用可减轻认知功能障碍和海马神经元损伤,其机制可能涉及抑制海马区内高迁移率族蛋白 B1(HMGB1)/Toll 样受体 4(TLR4)/核转录因子- κ B(NF- κ B)信号通路,表现为 NF- κ B/p65、TLR4、IL-1 β 等关键炎症因子表达下降。这些研究为临床治疗癫痫合并认知障碍提供了新的天然药物选择。黑柄炭角菌显示出治疗癫痫的潜力,其作用与调节 NF- κ B 信号通路和直接保护神经元有关,但 p-CREB 的上游激活通路和 HMGB1/TLR4/NF- κ B 通路的具体干预靶点等尚不明确。

1.3 改善睡眠作用

范恩宇等^[20]将小鼠 ig 250、500、1 000 mg/kg 黑柄炭角菌粉干预 30 d,结果表明黑柄炭角菌虽无直接催眠作用,但可显著改善睡眠质量,且不影响小鼠正常生长发育,其机制可能与调节中枢神经递质有关:黑柄炭角菌可提高脑内 5-羟色胺(5-HT)和 GABA 含量,并促进 GABA_A 型受体(GABA_AR)表达,从而增强抑制性神经传递功能。此外,鉴于 GABA 已被证实可通过抑制 NF- κ B 信号通路减轻神经炎症以改善失眠^[21],推测黑柄炭角菌改善睡眠的作用可能部分源于其提升 GABA 水平后产生的间接抗炎效应。黑柄炭角菌改善睡眠的作用与调节 GABA、5-HT 等表达有关,且可能与抗炎作用相关联,但 GABA 与炎症反应的具体联系、5-HT 的睡眠调节路径仍需进一步探讨。

1.4 改善学习记忆障碍

王海等^[22]利用 APP_{swe}/PS1_{de9} 双转基因阿尔兹海默病小鼠进行研究,每日 ig 给药黑柄炭角菌粉 100 mg/kg,持续 30 d,发现黑柄炭角菌能缩短逃避潜伏期,增加目标象限游泳时间和经过平台次数,改善小鼠学习记忆能力,其机制可能与降低海马 A β ₁₋₄₂ 含量、抑制 A β 聚集体形成和减少老年斑生成有关。Zhao 等^[23]将水槽控、睡眠剥夺大鼠分别 ig 300 mg/kg 黑柄炭角菌粉,1 次/d,持续 6 周,发现黑柄炭角菌可缓解快速眼动睡眠剥夺导致的空间记忆损伤,此效应可能与提高海马体中的 CREB 磷酸化水平有关。上述研究表明,黑柄炭角菌具有缓解记忆损伤、改善记忆能力的潜力,为阿尔兹海默

症的治疗提供了新思路。然而,CREB 磷酸化的上游激活通路、A β 的上游调控机制仍有待阐明。

2 抗炎和免疫调节作用

Jen 等^[24]发现黑柄炭角菌多糖能抑制巨噬细胞产生炎症相关因子。Ko 等^[25]研究发现,黑柄炭角菌提取物对脂多糖诱导的巨噬细胞无细胞毒性,且能抑制 NO、 γ -干扰素(IFN- γ)产生和 I κ B 抑制蛋白 α (I κ B α)磷酸化,表明其可能通过抑制 NF- κ B 活化和下游诱导型一氧化氮合酶(iNOS)、环氧化酶-2(COX-2)的表达发挥抗炎作用。Divate 等^[26]证实,黑柄炭角菌提取物可通过降低巨噬细胞炎症因子水平和 COX-2 活性发挥抗炎作用。以上研究为黑柄炭角菌提取物作为抗炎候选物质提供了依据。黑柄炭角菌具有良好的抗炎活性,主要与其所含多糖等成分有关,作用机制可能与抑制 NF- κ B 信号通路有关。然而 NF- κ B 的上游抑制靶点等具体环节尚未明确。

3 抗氧化作用

黑柄炭角菌的胞外、胞内多糖均具有显著的抗氧化活性^[27-28]。Chang 等^[29]从发酵液中获得的黑柄炭角菌多糖在人角质形成细胞中显示出抗氧化活性且无细胞毒性,提示其具有作为抗氧化剂和开发护肤产品的应用潜力。在整体动物层面,Song 等^[30]将肝损伤小鼠 ig 给药黑柄炭角菌 500、1 000 mg/kg 连续 9 d,发现黑柄炭角菌水提取物能减轻小鼠肝损伤和脂质过氧化,提高肝脏超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)和谷胱甘肽过氧化物酶(GPx)活性以及血清总抗氧化能力,表明黑柄炭角菌可能是通过降低氧化应激实现对肝组织的保护作用。李传华等^[31]研究表明,黑柄炭角菌子实体粗多糖具有促免疫活性,其石油醚萃取物具有超氧阴离子清除能力,氯仿萃取物具有 H₂O₂ 清除能力,醋酸乙酯萃取物可抑制 SPCA-1 增殖,促进其释放体外活性氧(ROS),提示黑柄炭角菌子实体中存在多种抗氧化物质。白云霞等^[32]建立兔动脉粥样硬化模型,给予 100 mg/kg 黑柄炭角菌粉,连续给药 12 周,发现黑柄炭角菌能减小动脉粥样硬化斑块厚度,降低血浆三酰甘油和丙二醛(MDA)水平,提高 SOD 和 GPx 活力,表明其可通过增强抗氧化酶活力、影响炎症因子保护心血管系统。这些研究进一步拓宽了黑柄炭角菌多糖在抗氧化领域的应用方向。黑柄炭角菌的抗氧化能力归因于其所含多糖、生物碱等多种成分,涉及调节 SOD、GPx 等因

子表达和抗氧化酶活力。然而抗氧化酶活性升高的调控层级、特定活性成分(如水溶性肽)的结构和作用位点有待进一步阐明。

4 其他作用

罗威等^[33]将小鼠 ig 给药黑柄炭角菌浓缩发酵液 2.5 mL/kg, 1 次/d, 持续 30 d, 发现黑柄炭角菌发酵液可增强迟发型超敏反应, 促进脾淋巴细胞增殖和血清溶血素生成, 提高碳粒廓清指数和胸腺系数, 降低血清和心脏 MDA 含量, 增加白细胞数量, 提示黑柄炭角菌可能通过增强机体免疫调节和造血功能发挥抗辐射作用。Chen 等^[34]通过胰岛素抵抗模型大鼠实验前 30 min 分别 ig 100、200、500 mg/kg 黑柄炭角菌水提物, 发现黑柄炭角菌水提物具有降血糖作用, 此效应可能与调节 5-HT 系统和胰岛素信号通路有关。Zhou 等^[35]通过分子对接筛选提示黑柄炭角菌的预测活性成分可能与表皮生长因子(EGF)、ERBB2、mTOR、缺氧诱导因子-1(HIF-1)等骨质疏松症潜在靶点相互作用, 提示其治疗骨质疏松症方面具有潜在价值。

5 结语

黑柄炭角菌作为一种珍稀药用真菌, 其价值在药理研究、临床应用中逐步显现。研究表明, 多糖、氨基酸、甾醇、酮类等生物活性成分是其发挥神经保护、抗抑郁、抗氧化、抗炎等多种药理作用的物质基础。当前研究面临许多局限性和挑战: 尽管药理活性多样, 但大多数活性的具体作用靶点和分子机制尚不明确, 是未来基础研究的重点; 虽已分离鉴定大量化合物, 但明确阐明特定化合物与特定药理活性之间因果关系的研究仍较薄弱。未来可聚焦于以下方向: (1) 成分基础研究: 系统分离、鉴定、合成其活性成分(尤其是微量新型成分), 并明确其构效关系; (2) 作用机制深度解析: 综合利用多组学、分子对接、基因编辑等技术, 阐明其核心药理作用(如神经保护、抗抑郁)的具体分子靶点、信号网络; (3) 活性单体深入评价: 对明确的活性单体化合物进行系统的药效学、药动学和毒理学研究; (4) 疾病模型与临床转化: 建立更贴近人类复杂疾病的动物模型进行药效评价, 并推动高质量临床研究, 验证其疗效和安全性; (5) 综合利用和产品开发: 基于其多种药理活性, 探索其在功能性食品、保健品、中西医结合治疗药物领域的应用潜力。总之, 黑柄炭角菌具有重要药理价值和广阔的开发前景。深入开展其药理活性的作用机制、活性成分

与药理效应的关联等研究, 结合多学科融合, 将有力推动这个药用真菌的深入研究和产业化应用。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Ju Y M, Hsieh H M. *Xylaria* species associated with nests of *Odontotermes formosanus* in Taiwan [J]. *Mycologia*, 2007, 99(6): 936-957.
- [2] 马橙, 翁榕安, 张平. 黑柄炭角菌的研究进展 [J]. 菌物研究, 2009, 7(1): 59-62.
- [3] Liang L A, Tan F Y, Lu Y W, et al. A comprehensive review of the metabolites, biological activities, and clinical application of a medicinal fungus *Xylaria nigripes* [J]. *J Ethnopharmacol*, 2025, 350: 120041.
- [4] 涂泽琳, 钟伟, 朱春红, 等. 白蚁及其共生生物药用研究进展 [J]. 生物灾害科学, 2024, 47(2): 180-186.
- [5] 中国药典 [S]. 一部. 2020: 345-346.
- [6] Divate R D, Wang P M, Wang C C, et al. Protective effect of medicinal fungus *Xylaria nigripes* mycelia extracts against hydrogen peroxide-induced apoptosis in PC12 cells [J]. *Int J Immunopathol Pharmacol*, 2017, 30(1): 105-112.
- [7] Divate R D, Wang C C, Chou S T, et al. Using wheat bran and soybean meal as solid state fermentation substances for the production of *Xylaria nigripes* with bioactivities [J]. *J Taiwan Inst Chem Eng*, 2017, 70: 127-133.
- [8] Divate R D, Wang C C, Chou S T, et al. Production of *Xylaria nigripes*-fermented grains by solid-state fermentation and an assessment of their resulting bioactivity [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2017, 81: 18-25.
- [9] Sun R Z, Zhang Y H, He S S, et al. *Xylaria nigripes* protects mice against cerebral ischemic injury by activating Nrf2/HO-1 pathway [J]. *Int J Clin Exp Med*, 2017, 10(8): 11636-11645.
- [10] 舒忙巧, 何珊珊, 彭正午, 等. 乌灵菌粉水提物对 MCAO 小鼠海马结构及 BDNF, GABA 水平的影响 [J]. 现代生物医学进展, 2017, 17(13): 2407-2410.
- [11] Li D M, Zheng J, Wang M Y, et al. Wuling powder prevents the depression-like behavior in learned helplessness mice model through improving the TSPO mediated-mitophagy [J]. *J Ethnopharmacol*, 2016, 186: 181-188.
- [12] Li D M, Zheng J, Wang M Y, et al. Changes of TSPO-mediated mitophagy signaling pathway in learned helplessness mice [J]. *Psychiatry Res*, 2016, 245: 141-147.
- [13] Tan Y F, Liao Z L, Qiu Y J, et al. Possible involvement of L-arginine-nitric oxide (NO)-cyclic guanosine monophosphate (cGMP) signaling pathway in the antidepressant-like effect of Wuling mycelia powder in rat [J]. *Biomed Pharmacother*,

- 2016, 78: 60-65.
- [14] Feng L, Huang W, Zheng J, *et al.* Wuling powder alleviates depressive-like behavior by attenuating endoplasmic reticulum stress in the mouse hippocampus [J]. *J Chin Pharm Sci*, 2024, 33(9): 783-794.
 - [15] 李凤蕾, 杜菲, 吴迪, 等. 乌灵菌粉早期应用对创伤后应激障碍模型大鼠行为及海马组织中 IL-1 β 、IL-6 水平的影响 [J]. 中国药房, 2016, 27(25): 3478-3480.
 - [16] 陈浩, 朱孙炜, 王重钰, 等. 乌灵菌粉对创伤后应激障碍大鼠行为学及海马神经元自噬与凋亡的调节作用 [J]. 医学研究杂志, 2022, 51(11): 99-105.
 - [17] 郎依斐, 马银双, 梁亦浓, 等. 天然药物通过调控神经炎症在抑郁动物模型中的治疗作用与机制研究 [J]. 神经药理学报, 2025, 15(3): 60.
 - [18] 任光丽, 陈冠锋, 张力三, 等. 乌灵菌粉对慢性癫痫大鼠诱发记忆再现障碍的作用机制 [J]. 中国中药杂志, 2012, 37(14): 2156-2159.
 - [19] Wei L M, Cao B Q, Jia C, *et al.* Protective effect of Wuling mycelia, alone and in combination with valproic acid, on pentylenetetrazol induced epilepsy in rats [J]. *Trop J Pharm Res*, 2021, 20(1): 135-143.
 - [20] 范恩宇, 魏振华, 范秋领, 等. 黑柄炭角菌(乌灵菌)粉改善睡眠作用以及对小鼠大脑神经递质及其受体的影响 [J]. 菌物学报, 2022, 41(9): 1498-1505.
 - [21] Zhu W W, Huang L S, Cheng H X, *et al.* GABA and its receptors' mechanisms in the treatment of insomnia [J]. *Heliyon*, 2024, 10(23): e40665.
 - [22] 王海, 邹小冬, 杨钦钦, 等. 乌灵菌粉对 APP_{swE}/PS1_{DE9} 阿尔兹海默病模型小鼠认知功能、A β ₁₋₄₂ 和 p-Tau 蛋白的影响 [J]. 中华全科医学, 2019, 17(8): 1279-1281.
 - [23] Zhao Z Q, Li Y P, Chen H Y, *et al.* *Xylaria nigripes* mitigates spatial memory impairment induced by rapid eye movement sleep deprivation [J]. *Int J Clin Exp Med*, 2014, 7(2): 356-362.
 - [24] Jen C I, Su C H, Lai M N, *et al.* Comparative anti-inflammatory characterization of selected fungal and plant water soluble polysaccharides [J]. *Food Sci Technol Res*, 2021, 27(3): 453-462.
 - [25] Ko H J, Song A, Lai M N, *et al.* Immunomodulatory properties of *Xylaria nigripes* in peritoneal macrophage cells of Balb/c mice [J]. *J Ethnopharmacol*, 2011, 138(3): 762-768.
 - [26] Divate R D, Chung Y C. *In vitro* and *in vivo* assessment of anti-inflammatory and immunomodulatory activities of *Xylaria nigripes* mycelium [J]. *J Funct Foods*, 2017, 35: 81-89.
 - [27] Ma Y, Mao D, Geng L, *et al.* Production optimization, molecular characterization and biological activities of exopolysaccharides from *Xylaria nigripes* [J]. *Chem Biochem Eng Q*, 2013, 27(2): 177-184.
 - [28] Hung M C, Tsai C C, Hsu T H, *et al.* Biological activities of the polysaccharides produced from different sources of *Xylaria nigripes* (Ascomycetes), a Chinese medicinal fungus [J]. *Int J Med Mushrooms*, 2015, 17(2): 141-150.
 - [29] Chang C K, Ho W J, Chang S L, *et al.* Fractionation, characterization and antioxidant activity of exopolysaccharide from fermentation broth of a *Xylaria nigripes* [J]. *Bioact Carbohydr Diet Fibre*, 2018, 16: 37-42.
 - [30] Song A, Ko H J, Lai M N, *et al.* Protective effects of Wu-Ling-Shen (*Xylaria nigripes*) on carbon tetrachloride-induced hepatotoxicity in mice [J]. *Immunopharmacol Immunotoxicol*, 2011, 33(3): 454-460.
 - [31] 李传华, 贾薇, 杨海芮, 等. 人工栽培黑柄炭角菌子实体的生物活性 [J]. 食用菌学报, 2016, 23(2): 59-64.
 - [32] 白云霞, 王刚, 王海红. 乌灵菌粉对实验性动脉粥样硬化兔的抗氧化系统及炎症因子的影响 [J]. 中国现代应用药学, 2014, 31(6): 671-674.
 - [33] 罗威, 彭晓国, 叶小弟, 等. 乌灵菌发酵液抗辐射功能研究 [J]. 中国现代应用药学, 2019, 36(6): 675-681.
 - [34] Chen Y I, Tzeng C Y, Cheng Y W, *et al.* The involvement of serotonin in the hypoglycemic effects produced by administration of the aqueous extract of *Xylaria nigripes* with steroid-induced insulin-resistant rats [J]. *Phytother Res*, 2015, 29(5): 770-776.
 - [35] Zhou H N, Li H Y, Xu W H, *et al.* Study on the action mechanism of Wuling Powder on treating osteoporosis based on network pharmacology [J]. *Chin J Nat Med*, 2021, 19(1): 28-35.

【责任编辑 解学星】