

艾草精油对大肠杆菌的抑菌作用及其机制研究

罗思蕾¹, 胡斌², 黎慧², 杨勇¹, 向海波^{1*}

¹湖北大学生命科学学院, 省部共建生物催化与酶工程国家重点实验室, 湖北 武汉

²湖北艾舒宝生活用品有限公司, 湖北 咸宁

收稿日期: 2026年1月23日; 录用日期: 2026年2月27日; 发布日期: 2026年3月10日

摘要

艾草(*Artemisia argyi*)是我国广泛分布的一种传统中草药, 有温经止血、祛湿止痒等功效。艾草精油是艾草的主要活性成分之一, 具有抗菌、抗炎、抗肿瘤等价值。为明确艾草精油对大肠杆菌的抑菌作用及机制, 本研究采用琼脂扩散法系统评价艾草精油的体外抑菌活性, 并通过趋化实验、生物膜形成能力和细胞膜完整性测定等实验手段解析其抑菌机制。结果表明, 艾草精油对大肠杆菌具备高效抑菌活性。趋化实验证实艾草精油可干扰大肠杆菌化学趋向性, 降低其环境适应与定植能力。生物膜形成能力及内外膜通透性测定表明艾草精油通过抑制大肠杆菌的生物膜形成以及影响大肠杆菌代谢的方式抑制其生长。

关键词

艾草精油, 大肠杆菌, 抑菌作用

Study on the Antibacterial Effect and Mechanism of *Artemisia argyi* Essential Oil against *Escherichia coli*

Silei Luo¹, Bin Hu², Hui Li², Yong Yang¹, Haibo Xiang^{1*}

¹State Key Laboratory of Biocatalysis and Enzyme Engineering, College of Life Sciences, Hubei University, Wuhan Hubei

²Hubei Aishubao Daily Necessities Co., Ltd., Xianning Hubei

Received: January 23, 2026; accepted: February 27, 2026; published: March 10, 2026

Abstract

Artemisia argyi is a traditional Chinese herbal medicine widely distributed in China, known for its

*通讯作者。

文章引用: 罗思蕾, 胡斌, 黎慧, 杨勇, 向海波. 艾草精油对大肠杆菌的抑菌作用及其机制研究[J]. 微生物前沿, 2026, 15(1): 1-7. DOI: 10.12677/amb.2026.151001

effects such as warming the meridians to stop bleeding and expelling dampness to relieve itching. Studies have demonstrated that the essential oil of *A. argyi* are the primary carriers of its pharmacological activities, and exert antibacterial, anti-inflammatory, and anti-tumor effects. To clarify the antibacterial activity and its underlying mechanism of *A. argyi* essential oil against *E. coli*, this study systematically evaluated the in vitro antibacterial activity of the essential oil using the agar diffusion method, and elucidated the antibacterial mechanism by means of experimental approaches such as chemotaxis assay and biofilm formation capacity determination. The results showed that *A. argyi* essential oil has high-efficiency antibacterial activity against *E. coli*. The chemotaxis assay confirmed that the essential oil could interfere with the chemotaxis of *E. coli*, thus impairing its ability to adapt to the environment and colonize. Determination of biofilm formation capacity and inner-outer membrane permeability indicated that *A. argyi* essential oil inhibits the growth of *E. coli* by suppressing its biofilm formation and interfering with its metabolic processes.

Keywords

Artemisia argyi Essential Oil, *Escherichia coli*, Antibacteria Activity

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

艾草为菊科蒿属多年生草本植物，是我国广泛分布的一种药食同源性资源[1]，《中华本草》明确记载其具有温经散寒、祛湿抑菌的效果[2]。艾草精油作为艾草的核心活性成分，在国际上被誉为“植物软黄金”，通过气相色谱-质谱法分析，可知其含有樟脑、松油醇、侧柏酮等多种活性物质[3]。艾草经济易得、富含抗氧化物质[4]，其精油也被视为兼具抗氧化与抗菌活性的天然活性物质[5][6]，在天然抗氧化剂、天然抗菌剂领域极具应用潜力。

大肠杆菌(*Escherichia coli*)是一种广泛分布于自然界的革兰氏阴性菌，既是人体肠道内的正常菌群，又是食品感染和临床感染的常见致病菌，其致病性菌株易引发食品腐败变质及人类肠道炎症、尿路感染等病症[7]，对食品工业发展及公共卫生安全构成严重威胁。目前防控大肠杆菌的主要手段仍旧是化学合成抑菌剂，但长期使用化学类抑菌剂易导致细菌耐药性增强、药物残留超标及污染环境等系列问题。因此，在食品工业及公共卫生安全领域，亟需开发高效、安全的天然抑菌剂。艾草精油的天然抑菌特性恰好契合这一需求。

基于此，本研究以艾草精油为研究对象，大肠杆菌为供试菌，利用琼脂扩散法通过体外抑菌实验明确艾草精油对大肠杆菌的抑制效果，又通过趋化实验和生物膜形成能力测定等实验手段进一步探究艾草精油对大肠杆菌的抑菌作用机制，以期艾草精油在天然抑菌剂领域的产业化开发提供理论支撑。

2. 材料与方法

2.1. 实验材料

供试细菌：大肠杆菌。

供试培养基：LB 培养基：蛋白胨 10 g、酵母粉 5 g、氯化钠 10 g、琼脂 12 g、1000 mL 水，灭菌。

试剂及材料：艾草精油、无水乙醇、无菌生理盐水、结晶紫染色液、PI 荧光探针、NPN 荧光探针、

PBS 缓冲液、HEPES 缓冲液。

2.2. 艾草精油抑菌活性的评估

参考文献[8]中的方法,将保藏的大肠杆菌菌株接种至 LB 液体培养基中,置于 37℃、180 r/min 的恒温摇床中振荡培养 12~16 h,活化至对数生长期。将艾草精油配制成 20、40、80 $\mu\text{g/mL}$ 。取上述各浓度样品溶液,分别取 100 μL 均匀涂布于 LB 固体培养基表面,以 LB 作为对照,每个处理设置 3 个重复实验。涂布完成后将平板置于超净工作台内通风干燥。待平板干燥后,取对数生长期的大肠杆菌菌液 100 μL ,均匀涂布于已干燥的样品平板表面。待培养基完全吸收菌液后,将平板倒置,置于 37℃ 的恒温培养箱中培养 24 h。培养结束后,观察并记录各个平板上大肠杆菌的生长情况,评估不同浓度艾草精油对大肠杆菌的抑菌活性。

2.3. 艾草精油抑菌机制的探究

2.3.1. 大肠杆菌趋化运动能力的测定

参考文献[9]的方法进行趋化实验:空白对照组(LB 组)、溶剂对照组(无水乙醇组)、艾草精油处理组(20, 40, 80 $\mu\text{g/mL}$),每组设置 3 个重复实验。大肠杆菌振荡培养至对数生长期后收集菌体,用无菌生理盐水重悬沉淀,调整菌液浓度至 1×10^8 CFU/mL,分装至 5 个无菌离心管中(各 10 mL)。取 5 支内径 0.5 mm 的无菌毛细管分别吸满不同浓度的艾草精油,以 LB 和无水乙醇作为对照,垂直插入对应组菌悬液中 37℃ 孵育 60 min。孵育结束后取出毛细管,将管内液体洗脱至 1 mL 无菌生理盐水中,涡旋混匀后按 10^{-1} ~ 10^{-3} 梯度稀释,取 100 μL 稀释液涂布于 LB 固体培养基,37℃ 培养 24 h 后选取各组最适稀释梯度对应平板进行菌落计数,计算每毫升菌悬液中的菌落数($\times 10^6$ CFU/mL)并记录。

2.3.2. 大肠杆菌生物膜形成能力的测定

参照文献[10][11]的方法设置实验:空白对照组(LB 组)和艾草精油处理组(20, 40, 80 $\mu\text{g/mL}$)。96 孔细胞培养板中每孔加入 100 μL 大肠杆菌悬液,然后对照组加入 100 μL LB 培养基,处理组加入 100 μL 对应浓度的艾草精油,确保每孔总体积为 200 μL ,封膜后置于 37℃ 恒温培养箱中静置培养 24 h。培养结束后弃去培养液,用 pH7.4 的 PBS 缓冲液轻轻洗涤每孔 3 次,每孔加入 100 μL 0.1%结晶紫染色液于室温静置染色 30 min。染色结束后弃去染色液,用无菌蒸馏水洗涤 3 次至无多余染色液,倒置晾干后每孔加入 100 μL 无水乙醇,室温静置脱色 15 min。待结晶紫完全溶解后,用酶标仪在 590 nm 波长下测定各孔吸光值。

2.3.3. 大肠杆菌内、外膜通透性的测定

内膜通透性通常利用 PI 荧光探针来测定。PI 属于核酸嵌入染料,能够插入 DNA 碱基对并激发出红色荧光。PI 荧光探针带正电且分子较大,无法直接穿越完整的磷脂双分子层,只有在膜屏障破损时才能进入胞内与 DNA 结合,故荧光强度能够直接反映内膜完整性[12]。外膜通透性通常采用 1-N 苯基萘胺(*n*-phenyl-1-naphthylamine, NPN)荧光探针来测定。NPN 荧光探针是疏水荧光探针,作为革兰氏阴性菌的大肠杆菌外膜被破坏的时候,NPN 能够嵌入多糖和磷脂的疏水区并发出荧光,荧光强度能够精准反应外膜通透性变化[13]。参考文献[10][11]的方法将过夜培养的大肠杆菌用 HEPES 缓冲液洗涤菌体 2 次,再用 PBS 调整菌液至 $\text{OD}_{600} = 1.0$ 。每组取 1 mL 菌悬液加入无菌离心管,加入不同浓度的艾草精油,涡旋混匀后 37℃、150 r/min 振荡孵育 1 h,每组设置 3 个重复实验。孵育结束后,向离心管内加入终浓度为 10 $\mu\text{mol/L}$ 的 PI 或 NPN 探针。将反应液转移到 96 孔酶标板中,每孔 200 μL ,使用多功能酶标仪测量样品在激发波长 535 nm 和发射波长 615 nm 处的荧光强度。

3. 结果与分析

3.1. 艾草精油对大肠杆菌的抑菌效果

实验结果(图 1)显示 CK (无水乙醇)组大肠杆菌生长旺盛, 无抑菌现象, 表明无水乙醇对大肠杆菌没有抑菌作用, 排除溶剂对实验结果的干扰。20 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 艾草精油处理后有少量大肠杆菌生长, 当艾草精油浓度提高到 40 和 80 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 时没有大肠杆菌生长, 表明艾草精油对大肠杆菌有显著的体外抑菌活性, 且呈现浓度依赖性差异。

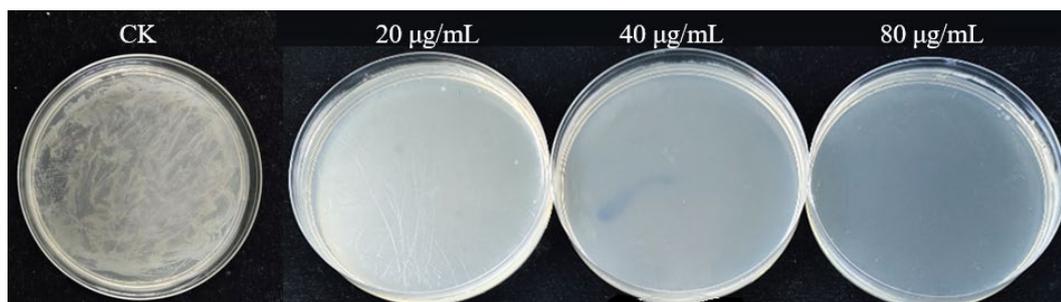


Figure 1. Experimental results of the agar diffusion method
图 1. 琼脂扩散法实验结果

3.2. 艾草精油对大肠杆菌的趋避作用

如图 2 所示, 空白对照组(LB 组)与溶剂对照组(无水乙醇组)菌落数无显著差异($P > 0.05$), 说明溶剂对大肠杆菌趋化能力没有影响, 排除溶剂对实验结果的干扰。与对照组相比, 各浓度艾草精油处理组菌落数均显著降低, 且随浓度升高, 菌落数减少, 即抑菌效果增强, 呈现明显的浓度依赖性抑制效应。综上所述表明艾草精油对大肠杆菌具有显著的趋避效应, 削弱其向营养物质迁移及宿主体内定植的能力。

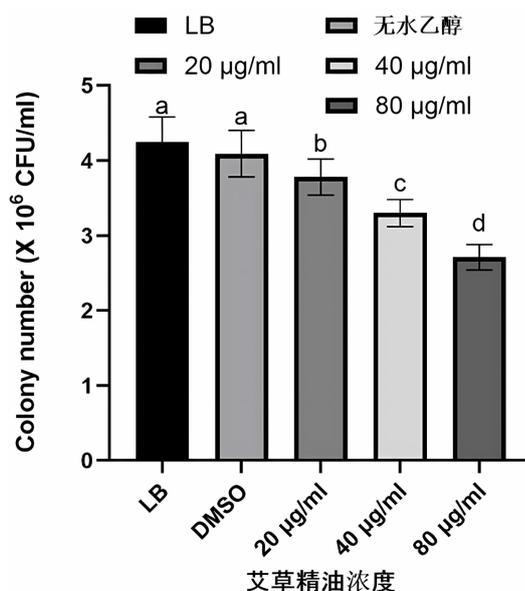


Figure 2. Chemotaxis effects of different concentrations of *A. argyi* essential oil on *E. coli*
图 2. 不同浓度艾草精油趋化实验结果

3.3. 艾草精油对大肠杆菌生物膜形成的影响

如图 3 所示, 空白对照组(LB 组)的生物膜 OD₅₉₀ 值最高, 表明大肠杆菌在体外培养条件下有较强的生物膜形成能力。经不同浓度艾草精油处理后的大肠杆菌生物膜 OD₅₉₀ 值呈显著的浓度依赖性下降, 表明艾草精油对大肠杆菌的生物膜形成有较强的抑制作用, 能够削弱大肠杆菌的生物膜屏障。

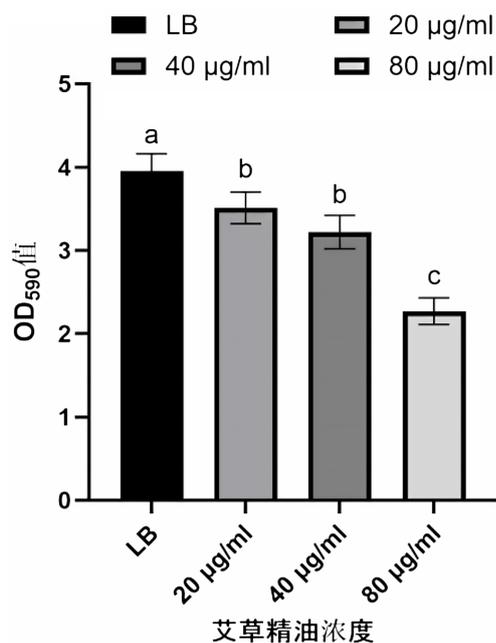


Figure 3. Effects of different concentrations of *A. argyi* essential oil on biofilm formation of *E. coli*

图 3. 不同浓度艾草精油对大肠杆菌生物膜形成的影响

3.4. 艾草精油对大肠杆菌内外膜通透性的影响

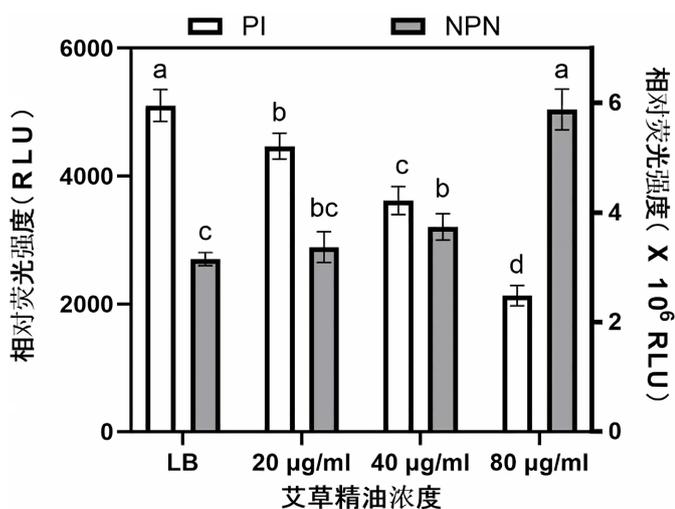


Figure 4. Effects of different concentrations of *A. argyi* essential oil on the permeability of inner and outer membranes of *E. coli*

图 4. 不同浓度艾草精油对大肠杆菌内外膜通透性的影响

大肠杆菌内膜通透性以 PI 荧光强度表征, 外膜通透性以 NPN 荧光强度表征。如图 4 所示, 与空白对照组(LB 组)相比, 随艾草精油浓度升高, PI 荧光强度逐步下降, NPN 荧光强度显著升高, 说明艾草精油能够破坏大肠杆菌外膜结构, 增加外膜通透性, 导致外源抑菌物质容易穿透外膜进入胞内, 继发内膜损伤; 降低内膜通透性, 引发胞内代谢失调、环境紊乱, 抑制大肠杆菌的生长。

4. 讨论

艾草为菊科蒿属多年生草本植物, 是一种传统中草药, 兼具抗菌、抗炎、抗肿瘤等价值。有研究表明, 从艾叶中提取出的精油含有多种活性成分, 如松油醇、樟脑、侧柏酮等, 且具有抗菌、抗炎等活性抑制作用。由于艾草经济易得且富含抗氧化性物质, 其精油也被视为兼具抗菌和抗氧化性的天然活性物质, 在天然抑菌剂、天然抗氧化剂领域极具应用潜力。大肠杆菌既是人体正常菌群, 又是食品感染和临床感染的常见致病菌, 其致病性菌株易引发食品腐败变质及人类肠道炎症、尿路感染等问题, 对食品工业及公共卫生安全领域构成严重威胁。近年来, 防控致病性大肠杆菌的主要手段是化学合成抑菌剂, 但长期使用化学药品容易导致环境污染、大肠杆菌耐药性增强等问题。因此, 在食品工业及公共卫生安全领域亟需开发新的高效安全的天然抑菌剂, 而艾草精油的天然抑菌特性恰好契合这一需求。目前已经有一部分有关艾草及其抑菌作用与机制的研究, 张赟、张涛等[14]研究发现艾草水提取物能够破坏大肠杆菌细胞膜导致细胞内容物流出, 谢娟平、侯国良等[15]研究表明秦岭艾草提取物对大肠杆菌有良好抑菌作用, 豆佳媛、赵亮等[16]提取的艾草精油对金黄色葡萄球菌和大肠杆菌均有较好的抑菌作用。

本研究基于这样的研究背景下专注于艾草精油与大肠杆菌这一特定菌种开展, 通过多种实验手段系统探究艾草精油对大肠杆菌的抑菌作用以及潜在的作用机制。琼脂扩散法的实验结果显示, 艾草精油对大肠杆菌有很强的体外抑菌活性, 且其抑菌能力有浓度依赖性, 随着艾草精油浓度的降低, 其抑菌能力也有所下降。趋化实验的结果表明, 高浓度的艾草精油会对大肠杆菌的趋化能力产生显著抑制, 降低大肠杆菌向营养物质迁移的能力及定植能力。根据对大肠杆菌的生物膜形成能力的测定可见, 艾草精油对大肠杆菌的生物膜形成也具有浓度依赖性抑制作用, 能够削弱大肠杆菌的生物膜屏障。生物膜对大肠杆菌而言意义重大, 它是细菌抵御外界不良环境的重要屏障, 生物膜被破坏意味着大肠杆菌的耐药性也会被削弱[17]。内外膜通透性测定的结果显示, 艾草精油会降低大肠杆菌内膜通透性, 提高其外膜通透性, 导致胞内代谢失调、环境紊乱, 触发菌体应激反应, 抑制大肠杆菌的生长, 严重时会导致菌体死亡。本研究表明, 破坏大肠杆菌的生物膜、改变其内外膜通透性导致其胞内环境失衡可能是艾草精油产生显著抑菌效果的主要机制。然而, 本研究只针对大肠杆菌进行了体外抑菌实验, 艾草精油在体内的抑菌效果以及长期接触高浓度艾草精油的安全性还有待进一步研究。

5. 结论

本研究探究了艾草精油对大肠杆菌的抑菌作用及其内在机制。研究发现, 艾草精油对大肠杆菌具有显著的体外抑菌活性, 且抑菌效果具有浓度依赖性, 随艾草精油浓度的上升, 抑菌效果增强。机制研究表明艾草精油能够有效抑制大肠杆菌的趋化运动能力, 削弱其向营养物质迁移的能力和定植能力。同时, 艾草精油还会提高大肠杆菌外膜通透性, 降低其内膜通透性, 导致胞内代谢废物无法正常排出、环境紊乱失衡, 外部抑菌物质更容易穿过外膜进入胞内, 继发内膜损伤, 进而抑制大肠杆菌的生长, 起到抑菌作用。本研究为食品工业及公共卫生安全领域对大肠杆菌的生物防治提供了一定的理论支撑, 为进一步推动该天然提取物向实际应用转化奠定了一定的理论基础。

参考文献

- [1] 左红娟, 曹辉, 张晓申. 艾草综合开发利用研究现状、存在问题及发展展望[J]. 特种经济动植物, 2023, 26(3):

- 145-147+173.
- [2] 王笑频, 尹璐, 庞博. 中华本草[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2023: 279.
- [3] 梁峰, 郭玉英, 王巧利, 等. 超临界二氧化碳联用分子蒸馏萃取的艾叶精油成分分析及其生物活性探究[J]. 暨南大学学报(自然科学与医学版), 2025, 46(1): 70-81.
- [4] 贺银菊, 张旋俊, 杨再波, 等. 响应面优化艾叶多酚提取工艺及抗氧化活性研究[J]. 食品科技, 2020, 45(6): 278-284.
- [5] 谢雨, 廖鹏, 吴漫晔, 等. 基于水蒸气蒸馏法的艾草精油提取工艺研究[J]. 科技经济市场, 2020(4): 13-14.
- [6] 葛德鹏, 李森, 黄凯, 等. 不同溶剂同时蒸馏萃取艾叶挥发油的抑菌活性[J]. 食品与生物技术学报, 2020, 39(3): 41-48.
- [7] Tenaillon, O., Skurnik, D., Picard, B. and Denamur, E. (2010) The Population Genetics of Commensal *Escherichia coli*. *Nature Reviews Microbiology*, **8**, 207-217. <https://doi.org/10.1038/nrmicro2298>
- [8] 张萍, 魏佳佳, 杨永建, 等. 索氏法提取艾叶精油的化学组成及其抑菌活性[J]. 连云港职业技术学院学报, 2022, 35(1): 1-5.
- [9] O'Toole, R., Lundberg, S., Fredriksson, S., Jansson, A., Nilsson, B. and Wolf-Watz, H. (1999) The Chemotactic Response of *Vibrio anguillarum* to Fish Intestinal Mucus Is Mediated by a Combination of Multiple Mucus Components. *Journal of Bacteriology*, **181**, 4308-4317. <https://doi.org/10.1128/jb.181.14.4308-4317.1999>
- [10] 郭梦洁, 孔天佑, 韩向新, 等. 小檗碱抑制禽致病性大肠杆菌生物被膜形成[J/OL]. 微生物学通报: 1-15. <https://doi.org/10.13344/j.microbiol.china.251149>, 2026-01-21.
- [11] 陈默, 高婷, 刘威, 等. 鹿蹄草素对产肠毒素大肠杆菌的抑菌效果及作用机制[J/OL]. 黑龙江畜牧兽医: 1-7. <https://doi.org/10.13881/j.cnki.hljxmsy.2025.03.0212>, 2026-01-21.
- [12] Crowley, L.C., Scott, A.P., Marfell, B.J., Boughaba, J.A., Chojnowski, G. and Waterhouse, N.J. (2016) Measuring Cell Death by Propidium Iodide Uptake and Flow Cytometry. *Cold Spring Harbor Protocols*, **2016**, pdb.prot087163. <https://doi.org/10.1101/pdb.prot087163>
- [13] Tang, H., Zhang, P., Kieft, T.L., Ryan, S.J., Baker, S.M., Wiesmann, W.P., et al. (2010) Antibacterial Action of a Novel Functionalized Chitosan-Arginine against Gram-Negative Bacteria. *Acta Biomaterialia*, **6**, 2562-2571. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2010.01.002>
- [14] 张赞, 张涛, 罗婷, 等. 艾草水提取物对大肠杆菌的抑制机理初步研究[J]. 湖北农业科学, 2019, 58(18): 45-48+54.
- [15] 谢娟平, 侯国良, 刘春阳, 等. 秦岭艾草主要成分提取分析及抑菌作用研究[J]. 当代化工研究, 2025(17): 58-60.
- [16] 豆佳媛, 赵亮, 梅鑫阳, 等. 艾草中精油提取工艺的优化及其抗氧化和抑菌活性研究[J]. 精细与专用化学品, 2025, 33(8): 8-12+63.
- [17] 付焯焯, 冯伟, 汪忠荣, 等. 大肠杆菌耐药机制研究进展[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2025(10): 15-20.