

基于网络药理学和分子对接探讨山香圆叶治疗细菌性肺炎的潜在作用机制

张皓文^{1,2}, 陶秀花¹, 陈军², 夏诗琪^{1*}

1. 江西省林业科学院, 江西 南昌 330013

2. 南昌大学 食品科学与资源挖掘全国重点实验室, 江西 南昌 330047

摘要: 目的 运用网络药理学和分子对接技术探讨山香圆叶治疗细菌性肺炎的作用机制。方法 通过中药系统药理数据库与分析平台、Web of Science 和中国知网等数据库检索山香圆叶的有效成分, 利用 Swiss Target Prediction 数据库获取山香圆叶活性成分的靶点, 利用 GeneCards、OMIM 收集相关的细菌性肺炎靶点。取化合物靶点和疾病靶点的交集靶点即为山香圆叶治疗细菌性肺炎的潜在靶点, 利用 STRING 数据库构建靶点的蛋白质相互作用网络, 并将结果导入 Cytoscape 软件进行拓扑分析, 提取核心靶点。运用 DAVID 数据库对核心靶点进行基因本体 (GO) 和京都基因与基因组百科全书 (KEGG) 通路富集分析, 构建“活性成分 - 核心靶点 - 通路”网络, 最后通过 Discovery Studio 进行分子对接, 验证核心成分和核心靶点的相互作用。结果 共获得活性成分 17 个、疾病靶点 1 687 个, 核心靶点 10 个, 涉及 339 个 GO 条目和 127 条 KEGG 通路。槲皮素、木犀草素、山楂酸和十八碳-9,12,15-三烯酸等可能是山香圆叶抗细菌性肺炎的活性成分, 表皮生长因子受体 (EGFR)、端粒酶逆转录酶 (TERT)、精氨酸酶 (ARG1) 等为关键靶点, 涉及碳水化合物消化吸收、卵巢类固醇生成、精氨酸和脯氨酸代谢、酰胺代谢、黑色素生成和细胞质 DNA 感应通路等。进一步分子对接结果表明山香圆叶的槲皮素和木犀草素与 EGFR、TERT、ARG1 均具有良好的结合活性。结论 山香圆叶可能通过槲皮素和木犀草素等活性成分, 作用于 EGFR、TERT、ARG1 等蛋白的表达实现治疗细菌性肺炎的作用。

关键词: 山香圆叶; 细菌性肺炎; 网络药理学; 分子对接; 槲皮素; 木犀草素; 表皮生长因子受体; 端粒酶逆转录酶; 精氨酸酶

中图分类号: R965; R974 文献标志码: A 文章编号: 1674-5515(2026)01-0070-07

DOI: 10.7501/j.issn.1674-5515.2026.01.009

Mechanism of *Turpiniae Folium* in treatment of bacterial pneumonia based on network pharmacology and molecular docking

ZHANG Haowen^{1,2}, TAO Xiuhua¹, CHEN Jun², XIA Shiqi¹

1. Jiangxi Academy of Forestry, Nanchang 330013, China

2. China State Key Laboratory of Food Science and Resources, Nanchang University, Nanchang 330047, China

Abstract: Objective To explore the mechanism of *Turpiniae Folium* in treatment of bacterial pneumonia based on network pharmacology and molecular docking. **Methods** The effective components of *Turpiniae Folium* were searched through the Traditional Chinese Medicine Systems Pharmacology Database and Analysis Platform, Web of Science and China Knowledge Network. Swiss Target Prediction database was used to obtain the target of the active components of *Turpiniae Folium*. GeneCards and OMIM were used to collect relevant bacterial pneumonia targets. The intersection target of compound target and disease target was taken as the potential target for *Turpiniae Folium* in treatment of bacterial pneumonia. The protein interaction network of the target was constructed by using STRING database, and the results were imported into Cytoscape software for topology analysis to extract the core target. DAVID database was used to perform GO function enrichment analysis and KEGG pathway enrichment analysis on the core targets, and the “active ingredient-core target-pathway” network was constructed. Finally, molecular docking was performed through Discovery Studio to verify the interaction between core components and core targets. **Results** A total of 17 active ingredients, 1 687 disease targets and 10 core targets were obtained, involving 339 GO entries and 127 KEGG pathways. Quercetin, luteolin, maslinic acid, and

收稿日期: 2025-06-06

基金项目: 江西省林业科学院基础研究与人才科研专项 (2023522804); 江西省重大科技研发专项“揭榜挂帅”企业需求类项目 (2023AAE02017)

作者简介: 张皓文, 研究方向为中药化学成分与活性。E-mail: 535373374@qq.com

*通信作者: 夏诗琪, 副研究员, 博士, 主要从事药用植物活性成分研究。E-mail: 496508689@qq.com

octadec-9,12,15-trienoic acid may be the active components of *Turpiniae Folium* against bacterial pneumonia, among which EGFR, TERT, ARG1 were key targets, involving carbohydrate digestion and absorption, ovarian steroidogenesis, arginine and proline metabolism, ether lipid metabolism, melanin production and cytoplasmic DNA sensing pathways. Further molecular docking results showed that quercetin and luteolin had good binding activity with EGFR, TERT, ARG1. **Conclusion** *Turpiniae Folium* may treat bacterial pneumonia by acting on the expression of EGFR, TERT, ARG1 and other proteins through active ingredients such as quercetin and luteolin.

Key words: *Turpiniae Folium*; bacterial pneumonia; network pharmacology; molecular docking; quercetin; luteolin; EGFR; TERT; ARG1

细菌性肺炎是由多种细菌（如肺炎链球菌、金黄色葡萄球菌、流感嗜血杆菌等）感染引起的肺部炎症性疾病，是最常见的肺炎类型^[1-2]。除此之外，还有病毒性肺炎、真菌性肺炎、支原体肺炎等。感染细菌性肺炎可导致免疫功能下降和肺部组织受损^[1]。近20年来，由于空气污染程度上升、环境有害因素增加以及抗生素大量使用^[3-4]，其死亡率有所上升。

山香圆叶是省沽油科植物山香圆 *Turpinia arguta* Seem.的干燥叶，具有清热解毒、利咽消肿、活血止痛的功效^[5]。在传统中医中，山香圆叶主要用于治疗咽喉肿痛、乳蛾喉痹、疮疡肿毒、跌扑伤痛等。研究显示，山香圆叶的活性物质，如三萜类、黄酮类和环烯醚萜苷类等成分，具有良好的抗炎抑菌活性，能够显著抑制细菌的生长^[6]，限制炎症因子的释放，减轻炎症反应^[7]，这为其在治疗细菌性肺炎等炎症性疾病中的潜在应用提供了科学依据。鉴于中药成分与靶点的复杂性，传统药理学方法难以阐明其治疗机制。为此，本研究整合网络药理学与分子对接技术，系统分析山香圆叶活性成分、作用靶点及信号通路，揭示其治疗细菌性肺炎的分子机制，为该药材的开发提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 收集山香圆叶活性成分及其潜在作用靶点

通过中药系统药理数据库与分析平台（TCMSP）、Web of Science 和中国知网等数据库收集山香圆叶的活性成分，以口服生物利用度 $\geq 30\%$ 、类药性 ≥ 0.18 进行活性成分筛选。同时在 PubChem 数据库中搜索筛选活性成分，找到相应的 SMILES 编号，在 Swiss ADME 平台^[8]，以胃肠道吸收的得分为“high”，类药性（Lipinski、Ghose、Veber、Egan、Muegge）至少通过 2 个“YES”为条件进行再次筛选。将所得成分的结构式输入 Swiss Target Prediction 数据库，物种选择人类，获取山香圆叶活性成分的潜在作用靶点。

1.2 获取山香圆叶治疗细菌性肺炎的作用靶点

在 GeneCards、OMIM 和数据库中搜索关键词“bacterial pneumonia”检索细菌性肺炎相关靶点，将得到的靶点合并去重后获得细菌性疾病靶点集。用 Venny 2.1.0 将山香圆叶靶点与疾病靶点取交集绘制韦恩图，获取山香圆叶活性成分与细菌性肺炎的共同靶点，即为山香圆叶治疗细菌性肺炎的作用靶点。

1.3 蛋白质相互作用（PPI）网络构建

将上述交集靶点导入 STRING 数据库，构建 PPI 网络（物种：人类；置信度：高；其他参数默认）。创建网络图后，下载网络数据（TSV 格式），使用 Cytoscape 3.7.1 进行可视化。借助 CytoNCA 插件计算节点拓扑参数 BC（介数中心性）、EC（特征向量中心性）、CC（紧密中心性）、DC（度中心性）值，2 次筛选各参数值大于中位数的节点作为核心靶点，并建立核心靶点的 PPI 网络。

1.4 基因本体（GO）和京都基因与基因组百科全书（KEGG）通路富集分析

将山香圆叶治疗细菌性肺炎的靶点提交至 DAVID 数据库，进行 GO（包括生物过程、细胞组分、分子功能）和 KEGG 通路富集分析。利用微生物平台提取、分析并可视化富集结果。

1.5 “活性成分 - 核心靶点 - 通路”网络构建

整合山香圆叶活性成分、核心靶点及关键 KEGG 通路信息（如前 20 条），于 Cytoscape 3.7.1 中构建“活性成分 - 核心靶点 - 通路”网络。利用 CytoNCA 进行拓扑分析，从而筛选山香圆叶治疗细菌性肺炎的关键活性成分及靶点。

1.6 分子对接

针对筛选出的关键活性成分及其核心靶点进行分子对接验证。从 PDB 数据库下载靶点蛋白 PDB 格式的 3D 结构，PubChem 获取活性成分 SDF 格式的结构。使用 AutoDock Tools 1.5.6 对蛋白进行去

水、加氢预处理并转换为 PDBQT 格式, 活性成分同样转为 PDBQT 格式。在 Discovery Studio 中进行对接, 绘制 2D 结合细节和 3D 示意图。

2 结果

2.1 山香圆叶活性成分的潜在作用靶点

如表 1 所示, 通过 TCMSP、Web of Science 和中国知网等数据库收集得到山香圆叶活性成分 17

个, 输入 Swiss Target Prediction 数据库, 并将收集的山香圆叶活性成分的潜在作用靶点汇总、去重, 获得 360 个作用靶点。

2.2 山香圆叶治疗细菌性肺炎靶点

由图 1 可知, 山香圆叶的潜在作用靶点有 360 个, 细菌性肺炎的相关靶点 1 687 个, 取交集得到山香圆叶治疗细菌性肺炎的作用靶点有 95 个。

表 1 山香圆叶的活性成分信息

Table 1 Active ingredient information of *Turpiniae Folium*

序号	化合物	GI absorption	Lipinski	Ghose	Veber	Egan	Muegge
1	甲基丙二酸	High	Yes	No	Yes	Yes	No
2	科罗索酸	High	Yes	No	Yes	No	No
3	L-苯丙氨酸	High	Yes	Yes	Yes	Yes	No
4	绞股蓝皂昔元 F	High	Yes	No	Yes	No	No
5	山楂酸	High	Yes	No	Yes	No	No
6	羟基丙酮酸	High	Yes	No	Yes	Yes	No
7	羟基丙二酸半醛	High	Yes	No	Yes	Yes	No
8	3-吲哚丙烯酸	High	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
9	eucomic acid	High	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
10	β-谷甾醇	High	Yes	No	Yes	No	No
11	十八碳-9,12,15-三烯酸	High	Yes	Yes	No	Yes	No
12	大豆皂醇 E	High	Yes	No	Yes	No	Yes
13	鞣花酸	High	Yes	Yes	No	No	Yes
14	木犀草素	High	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
15	白桦脂酸	High	Yes	No	Yes	No	Yes
16	槲皮素	High	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
17	3-羟基-L-苯丙氨酸	High	Yes	Yes	Yes	Yes	No

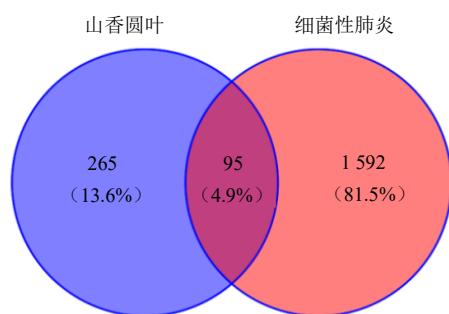


图 1 山香圆叶活性成分靶点与细菌性肺炎靶点的韦恩图

Fig. 1 Venn diagram of active component targets of *Turpiniae Folium* and bacterial pneumonia targets

2.3 PPI 网络构建与分析

将 95 个山香圆叶治疗细菌性肺炎的潜在靶点导入 STRING 数据库 (置信度阈值 >0.4), 构建含

95 节点、1 203 边的 PPI 网络。在 Cytoscape 3.7.1 中, 利用 CytoNCA 插件依据 BC、CC、DC、EC 均大于中位数进行双重筛选, 获得 10 个核心靶点: 白细胞介素-6 (IL-6)、蛋白激酶 B1 (Akt1)、白细胞介素-1β (IL-1B)、表皮生长因子受体 (EGFR)、信号转导和转录激活因子 3 (STAT3)、酪氨酸蛋白激酶转化蛋白 (SRC)、前列腺素 G/H 合酶 2 (PTGS2)、JUN、过氧化物酶体增殖物激活受体 γ (PPARG)、基质金属蛋白酶 9 (MMP9), 如图 2 所示, 节点颜色和大小直观反映度值, 颜色越深、节点越大, 度值越高, 表明这些靶点处于网络核心位置, 关联蛋白多。网络边数密集说明靶点间存在较强的关联, 表明这些核心靶点可能是山香圆叶治疗细菌性肺炎的关键作用位点。

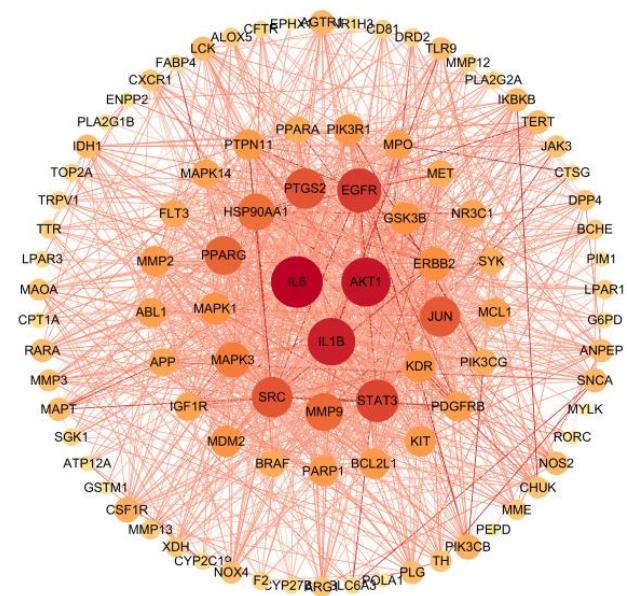


图2 山香圆叶治疗细菌性肺炎的关键靶点 PPI 网络
Fig. 2 PPI network of key targets of *Turpiniae Folium* in treatment of bacterial pneumonia

2.4 GO 和 KEGG 通路富集分析

将上述交集靶点上传至 DAVID 数据库和微生信分析工具进行富集分析。富集结果显示, GO 有 339 个, 包含生物过程有 233 个、细胞组分有 26 个、分子功能有 80 个, KEGG 有 127 条。GO 分析中, *P* 值最显著的前 5 条目每类别见表 2。山香圆叶在细菌性肺炎治疗中的作用靶点主要涉及基因表达的基因表达、RNA 转录及细胞活性氧反应等生物过程, 位于细胞核、细胞溶质和细胞质等细胞组分, 并发挥酶结合、细胞因子活性和双链 DNA 结合等分子功能。KEGG 分析中, 按 *P* 值排序前 20 通路, 见图 3, 表明核心靶点集中于癌症通路、酪氨酸激酶抑制剂耐药性、化学致癌 - 受体激活和缺氧诱导因子-1 (HIF-1) 信号通路, 这些通路可能是介导山香圆叶抗细菌性肺炎作用的关键途径。

2.5 “活性成分 - 核心靶点 - 通路” 网络图构建

将前 10 条 KEGG 通路及其相关靶点与核心靶点及其相关活性成分导入 Cytoscape 3.7.1 软件, 并生成“活性成分 - 核心靶点 - 通路” 网络图, 见图 4。图中橙色节点代表通路, 蓝色节点代表靶点, 绿色节点代表山香圆叶活性成分, 节点大小与连接度值呈正相关。从化合物角度分析, 其中排名靠前的分别是槲皮素、木犀草素、山楂酸和十八碳-9,12,15-三烯酸等, 其为山香圆叶治疗细菌性肺炎的主要活性成分。从靶点角度分析, 根据度值, 排名靠前的靶点

依次为 EGFR、端粒酶逆转录酶 (TERT)、精氨酸酶 (ARG1)、视黄酸相关孤儿受体 γ (RORC)、花生四烯酸 5-脂氧合酶 (ALOX5)、磷脂酶 A2 (LA2G1B) 等。在通路方面, 连接度较高的通路为碳水化合物消化吸收、卵巢类固醇生成、精氨酸和脯氨酸代谢、酰脂代谢、黑色素生成和细胞质 DNA 感应通路等。单一成分可通过多靶点调控不同通路, 而不同成分也可作用于相同靶点调控同一通路, 说明山香圆叶通过多成分、多靶点、多通路治疗细菌性肺炎。

表2 山香圆叶治疗细菌性肺炎的 GO 富集结果 (排名前 10)

Table 2 Results of GO enrichment analysis of targets of *Turpiniae Folium* in treatment of bacterial pneumonia (top 10)

类别	GO 富集结果	基因数	<i>P</i> 值
生物过程	细胞活性氧反应	8	6.47×10^{-14}
	细胞凋亡过程负调控	11	1.93×10^{-11}
	细胞镉离子反应	6	2.15×10^{-10}
	正向调控细胞凋亡过程	9	6.28×10^{-10}
	缺乏配体时外部凋亡信号通路	5	3.72×10^{-8}
	凋亡过程	9	9.27×10^{-8}
	胰岛素受体信号通路	6	1.01×10^{-7}
	正向调控血管相关平滑肌	5	2.32×10^{-7}
	细胞增殖		
	miRNA 转录的正向调控	5	4.39×10^{-7}
	基因表达正向调控	8	4.46×10^{-7}
细胞组分	线粒体	11	1.26×10^{-6}
	谷氨酸能突触	7	1.44×10^{-5}
	Bcl-2 蛋白复合物	3	3.19×10^{-5}
	细胞膜凹陷	4	5.01×10^{-5}
	细胞溶质	14	4.16×10^{-5}
	受体复合体	4	0.001 125 711
	细胞核	14	0.001 146 567
	细胞核质	11	0.001 994 593
	细胞质	13	0.003 191 562
	内质网腔	4	0.003 211 363
分子功能	相同结合蛋白	15	7.27×10^{-11}
	酶结合	8	6.25×10^{-8}
	BH 结构域结合	3	3.69×10^{-5}
	蛋白激酶结合	6	1.27×10^{-4}
	双链 DNA 结合	4	1.89×10^{-4}
	蛋白酪氨酸激酶活性	4	2.10×10^{-4}
	泛素蛋白连接酶结合	5	2.66×10^{-4}
	通道活动	3	3.30×10^{-4}
	R-SMAD 结合	3	3.30×10^{-4}
	蛋白丝氨酸激酶活性	5	4.88×10^{-4}

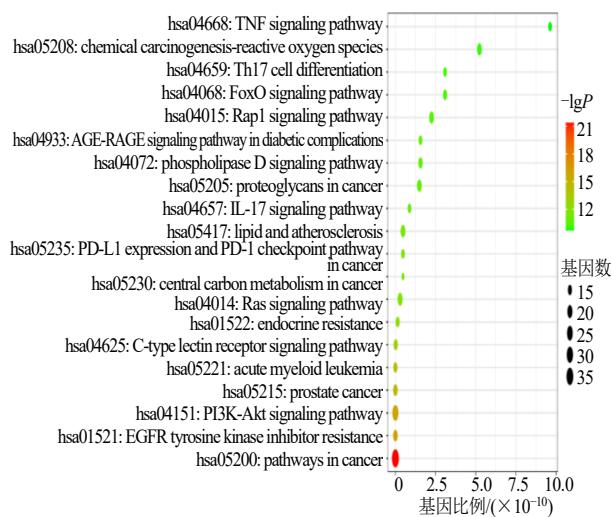


图 3 山香圆叶治疗细菌性肺炎的 KEGG 富集分析结果
(排名前 20)

Fig. 3 KEGG analysis results of *Turpiniae Folium* in treatment of bacterial pneumonia (top 20)

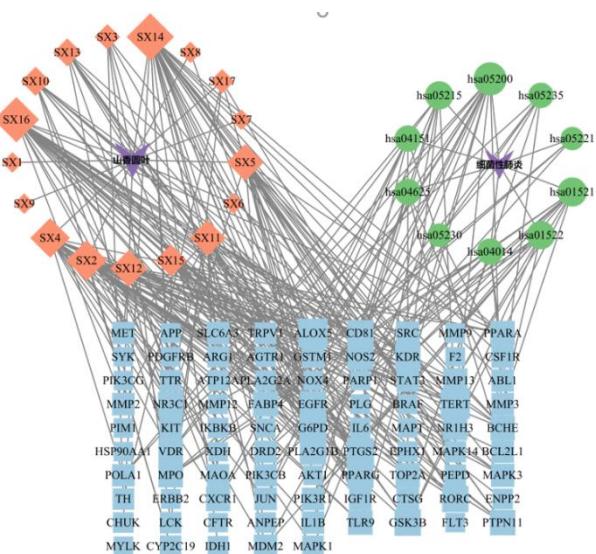


图4 山香圆叶治疗细菌性肺炎“活性成分-核心靶点-通路”网络

Fig. 4 “Active ingredient–core target–pathway” network of *Turpiniae Folium* in treatment of bacterial pneumonia

2.6 分子对接

根据度值将山香圆叶“活性成分-核心靶点-通路”网络图中排名居前几位的核心靶点与有效成分进行分子对接,对接结果见表3、图5。结合能越低,结合活性越好,结合能 $<0\text{ kcal/mol}$ 表示分子可在自然状态下结合。其中槲皮素与EGFR、ARG1的结合能分别为-9.58、-9.33 kcal/mol(1 kcal=4.2 kJ),木犀草素与EGFR、ARG1的结合能分别为-10.35、

表3 山香圆叶核心靶点与核心化合物结合能
Table 3 Binding energy of core targets and core
compounds of *Turpiniae Folium*

靶点	化合物	结合能/(kcal·mol ⁻¹)
TERT	大豆皂醇 E	-7.62
	槲皮素	-8.66
	木犀草素	-8.92
	十八碳-9,12,15-三烯酸	-5.18
MMP9	大豆皂醇 E	-8.20
	槲皮素	-7.81
	木犀草素	-7.67
	十八碳-9,12,15-三烯酸	-5.04
EGFR	大豆皂醇 E	-7.58
	槲皮素	-9.58
	木犀草素	-10.35
	十八碳-9,12,15-三烯酸	-8.40
ARG1	大豆皂醇 E	-6.69
	槲皮素	-9.33
	木犀草素	-9.52
	十八碳-9,12,15-三烯酸	-7.33
RORC	大豆皂醇 E	-8.32
	槲皮素	-8.07
	木犀草素	-8.35
	十八碳-9,12,15-三烯酸	-5.21

-9.52 kcal/mol, 结合能越低, 证明分子与蛋白结合能力越佳。

3 讨论

细菌性肺炎是一种常见的呼吸道炎症性疾病，主要由细菌感染引起。若治疗不及时，病情可能迅速恶化，进展为重症肺炎。中医上认为肺炎属于“风温”“肺热病”等范畴，多是由温热病邪袭肺所致，当以清热药医治^[9]。山香圆叶具有抗菌、抗炎、解热镇痛等药理活性。本文通过网络药理学与分子对接技术分析山香圆叶治疗细菌性肺炎的作用机制。

山香圆叶发挥抗炎作用主要是黄酮类成分。研究表明, 山香圆叶水提物和醇提物得到的总黄酮能通过抑制核因子- κ B (NK- κ B) 的表达和 NK- κ B 抑制蛋白 α 的解离下调炎症因子肿瘤坏死因子- α (TNF- α)、IL-1 β 、IL-6 的表达, 从而减轻炎症, 发挥抗炎作用^[10]。通过筛选得出山香圆叶主要活性成分为槲皮素、木犀草素等, 王哲义等^[11]发现槲皮素、木犀草素、儿茶酚等化学成分可能通过 IL-17、TNF

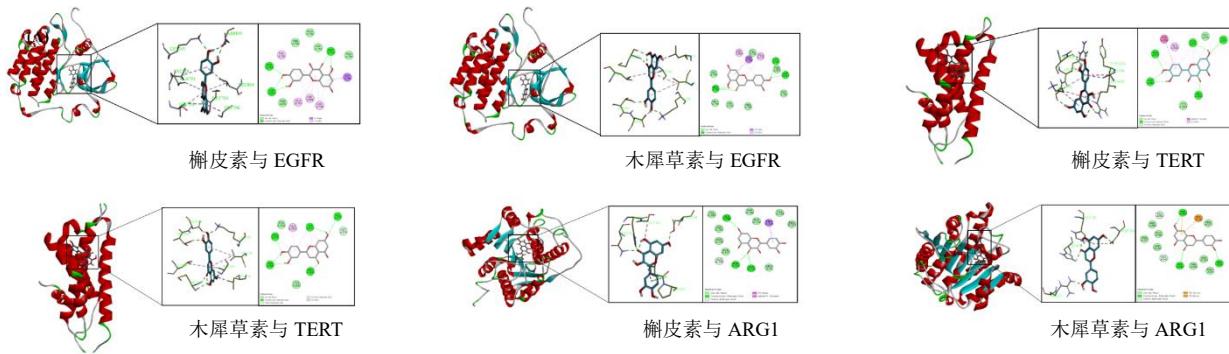


图5 山香圆叶有效成分与治疗细菌性肺炎关键靶点分子对接的可视化图

Fig. 5 Visualization diagram of molecular docking between effective components of *Turpiniae Folium* and key targets in treatment of bacterial pneumonia

等信号通路，作用于 TNF、丝裂原活化蛋白激酶 8 (MAPK8)、胱天蛋白酶 3、MAPK1 等靶点，从而发挥抗炎、抗病毒作用。

槲皮素通过抗癌、抗炎及抗菌活性发挥多效治疗作用^[12-13]，其抗炎机制包括靶向肺炎核心靶点 EGFR、TERT 等^[14]，介导癌症信号通路、化学致癌 - 受体激活及 HIF-1 通路^[15]。该成分还可经磷脂酰肌醇 3 激酶 (PI3K) -Akt 信号通路调控下游 NF-κB 活化，减少促炎趋化因子表达并抑制 EGFR 上调，从而缓解肺炎^[16]。木犀草素则通过双向调节炎性因子平衡发挥作用，降低 IL-6、IL-8 等促炎因子水平，同时提升 IL-10、IL-13 等抗炎因子表达^[17]。动物实验证实其可显著上调肺损伤模型血清与肺泡灌洗液中的 IL-10^[18]，并通过干预 MAPK 通路、花生四烯酸代谢及 NF-κB 信号减轻炎症反应^[19]。

PPI 网络分析可知山香圆叶主要通过 EGFR、TERT、PPARG、RORC、ALOX5、LA2G1B 等靶点发挥抗炎作用。据研究表明，EGFR 的活化可参与气道上皮细胞的修复与再生，从而促进促炎细胞因子的分泌^[14]。TERT 可诱导细胞凋亡，引起相关免疫反应^[20]。

本研究中，GO 分析结果显示，山香圆叶发挥治疗细菌性肺炎的作用是通过影响多个生物学过程实现的，包括基因表达的基因表达、RNA 转录及细胞活性氧反应等。细胞组分主要包括构成细胞核、细胞溶质和细胞质等相关的组分。

在 KEGG 富集分析中，山香圆叶干预细菌性肺炎通路主要与 TNF、PI3K-Akt、IL-17 信号通路等通路有关。PI3K-Akt 通过调控细胞自噬影响细胞凋亡过程。Xie 等^[16]研究表明，抑制 PI3K-Akt 信号通路

可减轻呼吸道合胞病毒炎症反应。IL-17 具有很强的生物学作用，与体内炎症细胞的表达密切相关，其在促进炎症的发生中发挥重要作用^[21]。IL-17 作为高度促炎因子，主要是由 Th17 细胞分泌，对多种病原体感染的肺炎有明显效果^[22-23]。

山香圆叶主要是利用槲皮素、木犀草素、十八碳-9,12,15-三烯酸等潜在的化学物质，作用于 EGFR、TERT、ARG1 等靶点，进而调控酶结合、细胞因子活性、蛋白结合等生物学功能和癌症信号通路、化学致癌 - 受体激活及 HIF-1 通路等信息通路来实现治疗细菌性肺炎的作用。然而，本项研究结果只是对分子机制的理论预测，还需要进一步实验来检验该药物的具体作用机制和临床实践，以探索更广泛的应用。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Speck P G, Warner M S, Bihari S, et al. Potential for bacteriophage therapy for *Staphylococcus aureus* pneumonia with influenza A coinfection [J]. *Future Microbiol*, 2021, 16(3): 135-142.
- [2] Torres A, Cilloniz C, Niederman M S, et al. Pneumonia [J]. *Nat Rev Dis Primers*, 2021, 7(1): 25.
- [3] Zhang F, Zhou Y X, Ding J Y. The current landscape of microRNAs (miRNAs) in bacterial pneumonia: Opportunities and challenges [J]. *Cell Mol Biol Lett*, 2022, 27(1): 70.
- [4] Schweitzer M D, Calzadilla A S, Salamo O, et al. Lung health in era of climate change and dust storms [J]. *Environ Res*, 2018, 163: 36-42.
- [5] Ho J, Ip M. Antibiotic-resistant community-acquired bacterial pneumonia [J]. *Infect Dis Clin North Am*, 2019, 33(4): 1087-1103.

- [6] 张皓文, 刘道峰, 陶秀花, 等. 山香圆叶抑菌物质的提取工艺优化及其组成成分研究 [J]. 南方林业科学, 2025, 53(2): 59-65.
- [7] 章光文, 周国平, 杨香菊, 等. HPLC 法同时测定山香圆片中女贞子和野漆树苷的含量 [J]. 药物分析杂志, 2009, 29(6): 912-914.
- [8] Daina A, Michielin O, Zoete V. SwissADME: A free web tool to evaluate pharmacokinetics, drug-likeness and medicinal chemistry friendliness of small molecules [J]. *Sci Rep*, 2017, 7: 42717.
- [9] 王豪. 肺炎的中医辨证论治 [J]. 家庭医学, 2022(1): 52-53.
- [10] 陈世华, 董德刚, 王思佳, 等. 山香圆总黄酮对慢性咽炎模型大鼠 NF-κB、IκBα 表达的影响 [J]. 江西师范大学学报: 自然科学版, 2020, 44(3): 259-262.
- [11] 王哲义, 孙怿泽, 曲稔栋, 等. 基于网络药理学的麻杏石甘汤治疗新型冠状病毒肺炎(COVID-19)作用机制探讨 [J]. 中草药, 2020, 51(8): 1996-2003.
- [12] Sharma A, Kashyap D, Sak K, et al. Therapeutic charm of quercetin and its derivatives: A review of research and patents [J]. *Pharm Pat Anal*, 2018, 7(1): 15-32.
- [13] 石百超, 王宇, 常惠, 等. 榆皮素改善多囊卵巢综合征的作用机制研究进展 [J]. 中草药, 2025, 56(13): 4852-4865.
- [14] 李明, 李天苏, 杨倩文. 基于 PI3K/Akt 信号通路观察白藜芦醇对呼吸道合胞病毒致肺炎小鼠的保护作用机制 [J]. 中药材, 2020, 43(4): 986-990.
- [15] Aziz N, Kim M Y, Cho J Y. Anti-inflammatory effects of luteolin: A review of *in vitro*, *in vivo*, and *in silico* studies [J]. *J Ethnopharmacol*, 2018, 225: 342-358.
- [16] Xie K, Chai Y S, Lin S H, et al. Luteolin regulates the differentiation of regulatory T cells and activates IL-10-dependent macrophage polarization against acute lung injury [J]. *J Immunol Res*, 2021, 2021: 8883962.
- [17] 于倩, 巫冠中. 木犀草素抗炎机制的研究进展 [J]. 药学研究, 2019, 38(2): 108-111.
- [18] Minutti C M, Drube S, Blair N, et al. Epidermal growth factor receptor expression licenses type-2 helper T cells to function in a T cell receptor-independent fashion [J]. *Immunity*, 2017, 47(4): 710-722.e6.
- [19] Wang Y P, Gao W Q, Shi X Y, et al. Chemotherapy drugs induce pyroptosis through caspase-3 cleavage of a gasdermin [J]. *Nature*, 2017, 547(7661): 99-103.
- [20] 宋磊, 赵小冬, 杨小红, 等. 肺炎支原体感染儿童血外周血辅助性 T 细胞 17 型和白细胞介素-17 变化及其临床意义 [J]. 中华妇幼临床医学杂志: 电子版, 2012, 8(2): 163-166.
- [21] Murdock B J, Falkowski N R, Shreiner A B, et al. Interleukin-17 drives pulmonary eosinophilia following repeated exposure to *Aspergillus fumigatus* conidia [J]. *Infect Immun*, 2012, 80(4): 1424-1436.
- [22] Conti H R, Shen F, Nayyar N, et al. Th17 cells and IL-17 receptor signaling are essential for mucosal host defense against oral candidiasis [J]. *J Exp Med*, 2009, 206(2): 299-311.
- [23] Wu W H, Huang J, Duan B Y, et al. Th17-stimulating protein vaccines confer protection against *Pseudomonas aeruginosa* pneumonia [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2012, 186(5): 420-427.

[责任编辑 金玉洁]