

中医药调控相关信号通路治疗自身免疫性甲状腺疾病的研究进展

刘勇麟¹, 刘影哲^{2*}

¹黑龙江中医药大学第一临床医学院, 黑龙江 哈尔滨

²黑龙江中医药大学附属第一医院, 内分泌一科, 黑龙江 哈尔滨

收稿日期: 2025年10月14日; 录用日期: 2025年11月8日; 发布日期: 2025年11月19日

摘要

自身免疫性甲状腺疾病(Autoimmune Thyroid Diseases, AITD)是一类涉及多种因素的复杂免疫性疾病, 包括遗传易感性、环境因素、免疫系统障碍等。而中医药能够有效调节AITD发病相关的信号通路 JAK/STAT、NLRP3/Caspase-1、NF- κ B等, 起到了减轻AITD患者的炎症反应和自身免疫损伤的作用, 其治疗过程中显示出多成分、多靶点的特点, 为AITD的治疗提供了新的视角和方法。本文就中医药调控相关信号通路治疗AITD进行了综述, 以期今后的临床治疗和相关基础研究提供思路。

关键词

中医药, 自身免疫性甲状腺疾病, 信号通路

Research Progress on Traditional Chinese Medicine Regulating Related Signaling Pathways in the Treatment of Autoimmune Thyroid Diseases

Yonglin Liu¹, Yingzhe Liu^{2*}

¹First Clinical Medical College, Heilongjiang University of Chinese Medicine, Harbin Heilongjiang

²First Department of Endocrinology, First Affiliated Hospital of Heilongjiang University of Chinese Medicine, Harbin Heilongjiang

Received: October 14, 2025; accepted: November 8, 2025; published: November 19, 2025

*通讯作者。

文章引用: 刘勇麟, 刘影哲. 中医药调控相关信号通路治疗自身免疫性甲状腺疾病的研究进展[J]. 临床医学进展, 2025, 15(11): 1847-1853. DOI: 10.12677/acm.2025.15113291

Abstract

Autoimmune thyroid diseases (AITD) are complex immune disorders involving multiple factors, including genetic susceptibility, environmental triggers, and immune system dysfunction. Traditional Chinese Medicine (TCM) can effectively regulate key signaling pathways implicated in AITD pathogenesis, such as JAK/STAT, NLRP3/Caspase-1, and NF- κ B. By modulating these pathways, TCM alleviates inflammatory responses and autoimmune damage in AITD patients. TCM exhibits characteristics of being multicomponent and multitarget during its therapeutic action, offering novel perspectives and approaches for AITD treatment. This review summarizes the current research on TCM regulation of these relevant signaling pathways in the treatment of AITD, aiming to provide insights for future clinical management and related fundamental research.

Keywords

Traditional Chinese Medicine, Autoimmune Thyroid Diseases, Signaling Pathways

Copyright © 2025 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

自身免疫性甲状腺疾病(Autoimmune Thyroid Diseases, AITD)是一种免疫反应针对单器官抗原的器官特异性疾病[1]。其发病机制的中心环节在于自身免疫耐受的丧失,辅助性T细胞17(T Helper Cell 17, Th17)活化和调节性T细胞(Regulatory T Cells, Tregs)衰减是导致自身免疫性疾病丧失自我耐受的三个关键机制[2]。有研究表明 AITD 是 T 细胞介导的器官特异性自身免疫性疾病,主要包括 Graves 病(Graves' Disease, GD)和桥本甲状腺炎(Hashimoto's Thyroiditis, HT) [3] [4]。目前 AITD 的西医治疗手段虽然可以不同程度地起到治疗效果,但患者需要面临长期服药及高昂的检查费用,因此选用简、便、廉、验的中医药作为 AITD 的替代疗法具有切实意义[5]。中医学认为, AITD 属于“瘰癧”的范畴,其病性虚实夹杂,早期以肝郁气滞、血瘀痰凝等的实证为主,后期可见脾肾阳虚、心肝阴虚等虚损表现,其病机关键在于肝郁气滞、脾失健运、脾肾阳虚,病理因素在于气、痰、瘀三者合而为患。中医治疗根据病情阶段的不同分别采取疏肝解郁、活血化瘀、温补脾肾、养阴柔肝的不同治疗原则。近些年来,国内外许多研究者开展了大量中医药治疗 AITD 的临床及基础实验研究,取得了诸多成果[6]。基于此,本文旨在中医药调控相关信号通路治疗 AITD 的作用机制为重点,从中医药干预相关信号通路治疗 AITD 进行了综述,为中医药临床治疗 AITD 提供参考。

2. AITD 相关信号通路

2.1. Janus 激酶/信号转导及转录激活因子(Janus Kinase/Signal Transducers and Activators of Transcription, JAK/STAT)信号通路

E.S.P.等人[7]的一项研究表明促甲状腺激素受体(Thyroid-Stimulating Hormone Receptor, TSHR)信号通路参与了促甲状腺激素(Thyroid-Stimulating Hormone, TSH)对 JAK1、JAK2 和 STAT3 的激活,说明了 JAK1、JAK2 和 STAT3 与 TSHR 存在直接联系。GD 的发生由于机体免疫系统产生了能够特异性识别 TSHR 的激活型抗体,这些抗体与 TSHR 结合后,模拟 TSH 的作用,导致甲状腺细胞持续激活,从而引起甲状腺功能亢进和甲状腺肿大[8]。而 HT 的特征是免疫系统产生了靶向 TSHR 的抑制性抗体,这些抗体与 TSHR 结合

后,抑制甲状腺的功能,从而引起甲状腺功能减退[9]。TSHR 信号通路对维持甲状腺细胞的正常生长和功能具有重要意义。因此 TSHR 信号通路 JAK/STAT 信号通路相互作用,进而导致了 AITD 的发生。

中药干预 JAK/STAT 信号通路治疗 AITD

白芍总苷(Total Glucosides of Paony, TGP)是一种从白芍中提取的总苷类化合物,现代药理学研究发现,TGP 不仅具有免疫调节、抗炎和保肝作用,还具有抑制细胞增殖等多种作用[10]。余欣然[11]等人实验发现 TGP 下调了 JAK1、JAK2、STAT3、STAT5 mRNA 蛋白表达而上调 SOCS1 mRNA 和蛋白表达,从而减轻 AIT 大鼠的甲状腺滤泡形态及淋巴浸润,对改善大鼠 EAT 具有显著作用,说明了 TGP 可以调控 SOCS1 表达进而抑制 JAK/STAT 信号通路活化,进而治疗 AITD。

柴胡皂苷 D (Saikosaponin D, SSd),具有消炎、镇静、解热、抗氧化等功效[12]。Du 等人[13]实验发现 SSd 显著上调了 M2 型巨噬细胞比例,降低 M1/M2 比值,减轻 HT 小鼠甲状腺组织中淋巴细胞浸润和 INF- γ 表达并降低血清中甲状腺自身抗体滴度,表明了 SSd 可作用于 JAK-STAT 等巨噬细胞极化相关信号通路并可针对 IL-6、IL-10 等多个靶点缓解 AITD。

软坚消癭颗粒(Ruanjian Xiaoying Granules, RJXYG),RJXYG 由白芍、当归、柴胡、白术、茯苓、海藻、昆布等中药组成,具有疏肝健脾,软坚散结的功效,主要用于肝郁脾虚型 HT [14]。王琳等人[15]研究表明,RJXYG 上调了 SOCS1、SOCS3 的表达水平,证明 RJXYG 可以调控 JAK-STAT 信号通路起到治疗 AITD 作用。

2.2. NOD 样受体蛋白 3 (NLRP3)/Caspase-1 信号通路

NOD 样受体(NLR)家族成员是一类含有富亮氨酸重复序列(Leucine-Rich Repeat, LRR)结构域的胞质模式识别受体,NLRP3 是 NLR 家族中研究较为深入的成员之一,是天然免疫系统的重要组成部分[16]。NLRP3 参与了炎症小体的形成和活化,介导 Caspase-1 活化和促炎细胞因子 IL-18、IL-1 β 的分泌,以应对微生物感染和细胞损伤[17]。Guo [18]等人的一项临床研究发现 AITD 患者的甲状腺组织中几种炎症小体组分包括 NLRP3 和 Caspase-1 及其下游细胞因子 IL-18 和 IL-1 β 的表达增加,表明 AITD 患者甲状腺组织中炎症小体的过度激活与人类 AITD 的发病机制相关。Ding [19]等人通过动物实验表明在实验性自身免疫性甲状腺炎(Experimental Autoimmune Thyroiditis, EAT)小鼠的甲状腺中,NLRP3 炎症小体的激活显著增加,而通过抑制这种激活后可显著减轻甲状腺炎症过程及减少甲状腺内 CD4⁺和 CD8⁺ T 细胞的浸润,还发现抑制这种激活不但能增强 Treg 细胞应答,同时还削弱了 Th1 和 Th17 细胞应答。因此表明抑制 NLRP3 炎症小体是 AITD 预防和治疗的可行途径。

中药干预 NLRP3/Caspase-1 信号通路治疗 AITD

连翘提取物(Forsythia Suspensa Extract, FSE)在近些年的实验研究中表明 FSE 具备抗炎、抑菌以及中和活性氧自由基的特性[20]。连翘在中医学中具有清热解毒、消肿散结的功效。栗粟[21]等人发现 FSE 显著将 NLRP3、ASC、cleaved-Caspase-1/pro-Caspase-1 和 cleaved-IL-1 β /pro-IL-1 β 蛋白表达下调,另外发现 FSE 对 EAT 大鼠模型的甲状腺损伤具有改善作用,提示 FSE 可调控 NLRP3/Caspase-1 信号通路起到改善 AITD 的效果。

补中益气汤(Buzhongyiqi Decoction, BZYQD)出自李东垣,是一首经典的中药方剂,主要功效为补中益气、升阳举陷[22]。王智民[23]等人研究发现 BZYQD 下调了 NLRP3、Caspase-1、IL-1 β 、IL-18mRNA 和蛋白表达,并能够改善 EAT 小鼠的滤泡上皮细胞结构,减轻淋巴细胞浸润及 TPOAb、TGAb 水平。说明 BZYQD 可调控 NLRP3/Caspase-1/GSDMD 信号通路并抑制细胞焦亡,起到治疗 AITD 作用。

2.3. 核转录因子- κ B (NF- κ B)信号通路

NF- κ B 是由 Rel 蛋白家族成员组成的同源和异源二聚体,NF- κ B 蛋白有一个 N 端 DNA 结合和二聚

化区域,称为 Rel 同源结构域(Rel Homology Domain, RHD), 包含一个核定位序列(Nuclear Localization Signal, NLS), RHD 允许它们进入细胞核, 与特定的 DNA 位点结合, 激活或抑制靶基因的转录, 以实现特定的生物学结果[24]。TNF- α 与 NF- κ B 信号通路的双向调控, 形成了一个正反馈循环, 加剧了炎症反应[25]。祁岗[26]等人发现在 AITD 中 NF- κ B 信号通路的异常激活与 TNF- α 之间存在密切的相互作用, 这种双向调控关系形成了一个正反馈循环, 导致 NF- κ B 信号通路的持续激活。在这种状态下, 启动了相关基因表达, 促进炎症细胞的增殖和向甲状腺组织的浸润, 推动 AITD 的发生和发展。

中药干预 NF- κ B 信号通路治疗 AITD

双氢青蒿素(Dihydroartemisinin, DHA)是从中草药青蒿中提取的一种天然产物, 它是青蒿素的一种重要衍生物。DHA 具有抗疟疾、抗炎、抗肿瘤和免疫调节等多种药理作用[27]。Liu [28]等人研究发现 DHA 可降低 TGAbs 和 TPOAbs 的水平, 并能调节 Th1/Th2 的失衡状态, 表明 DHA 通过抑制 CXCL10 与 CXCR3 的结合, 从而抑制 NF- κ B 下游信号通路, 在 AITD 的治疗中发挥重要作用。

薯蓣皂苷的(Dioscin)是一种重要的天然类固醇皂苷, 具有广泛的药理活性和治疗价值。它主要来源于薯蓣科植物山药, 研究表明, 薯蓣皂苷具有抗肿瘤、抗炎、免疫调节等作用[29]。Zhang [30]等人研究发现, 薯蓣皂苷调控大鼠甲状腺激素的表达, 显著下调 TGAbs、TPOAbs、TRAbs 的水平, 减轻 AITD 的病理过程和炎症反应, 表明了薯蓣皂苷通过对 mTOR 和 TLR4/NF- κ B 信号通路的抑制起到改善 AITD 的作用。

益气化痰活血方(Yiqi Huatan Huoxue Recipe)为辽宁中医药大学附属第二医院的自拟方, 由红参、黄芪、当归、莪术、半夏、浙贝母、生牡蛎、鳖甲组成, 具有健脾益气、化痰活血的作用[31]。Zhao 等人[32]研究表明其可以改善小鼠甲状腺结构破坏及淋巴细胞浸润情况, 降低 TGAbs、TPOAbs 水平, 并显著上调 SIRT1、NF- κ B p65、NLRP3、ASC、Caspase-1、GSDMD、IL-1 β mRNA 及蛋白表达水平, 说明了益气化痰活血方能调控 SIRT1、NF- κ B 去乙酰化和抑制 NLRP3 介导的细胞焦亡, 以起到治疗 AITD 的作用。

3. 讨论

现有研究初步揭示了中医药通过调控 JAK/STAT、NLRP3/Caspase-1、NF- κ B 等信号通路治疗 AITD 的潜力, 但仍存在局限性。首先, 大多数研究基于动物模型(如 EAT 大鼠、NOD.H-2h4 小鼠), 缺乏临床实验, 其结论应用于临床仍需谨慎。其次, 中药复方(如软坚消癭颗粒、益气化痰活血方)多为医院自拟方, 制剂标准化程度低, 难以实现多中心重复验证。此外, 中药多成分、多靶点的特性导致其具体作用机制尚未完全明确。本文整理了中医药干预 AITD 相关信号通路的研究概况(见表 1):

Table 1. Research overview of TCM intervention in AITD-related signaling pathways
表 1. 中医药干预 AITD 相关信号通路的研究概况

中药/复方	研究模型	剂量	主要发现	作用通路	证据等级
白芍总苷	EAT 大鼠	50~100 mg/kg	下调 JAK/STAT, 上调 SOCS1, 改善甲状腺结构	JAK/STAT	动物实验
柴胡皂苷 D	HT 小鼠	10 mg/kg	调节巨噬细胞极化, 降低 INF- γ 、自身抗体	JAK/STAT, IL-6/10	动物实验
软坚消癭颗粒	HT 大鼠	6 g/kg	上调 SOCS1/3, 改善甲状腺结构	JAK/STAT	动物实验
连翘提取物	EAT 大鼠	200 mg/kg	下调 NLRP3/Caspase-1, 改善甲状腺损伤	NLRP3/Caspase-1	动物实验
补中益气汤	AIT 小鼠	10 g/kg	抑制细胞焦亡, 改善滤泡结构	NLRP3/Caspase-1/GSDMD	动物实验
双氢青蒿素	AIT 小鼠	50 mg/kg	抑制 CXCL10/CXCR3/NF- κ B, 调节 Th1/Th2 平衡	NF- κ B	动物实验
薯蓣皂苷	EAT 大鼠	40 mg/kg	抑制 mTOR/TLR4/NF- κ B, 减轻炎症反应	mTOR/TLR4/NF- κ B	动物实验
益气化痰活血方	AIT 小鼠	12 g/kg	调控 SIRT1/NF- κ B/NLRP3, 抑制细胞焦亡	SIRT1/NF- κ B/NLRP3	动物实验

值得注意的是, JAK/STAT、NF- κ B 与 NLRP3 信号通路并非孤立运作, 而是存在密切的串扰。中医药可能通过关键节点(如 SOCS1、SIRT1、GSDMD)实现多通路协同调控, 形成“网络式”治疗效应。以益气化痰活血方为例, 其同时作用于 SIRT1/NF- κ B/NLRP3 轴, 提示某些中药复方可能具备“多靶点、整体调节”的优势, 值得进一步从系统药理学角度深入解析。

4. 临床转化挑战

基础实验研究取得显著进展, 但是中医药治疗 AITD 的临床转化仍面临多重挑战。

4.1. 药代动力学与生物利用度

多数中药活性成分口服生物利用度低, 体内代谢途径复杂, 缺乏系统的药代动力学研究。例如, 柴胡皂苷 D 虽有明确免疫调节作用, 但其体内分布、代谢产物及靶组织暴露量尚未明确。未来需结合代谢组学、网络药理学等手段, 预测并验证其药代特征与有效形态。

4.2. 质量控制与标准化

中药复方批次间成分差异大, 严重影响疗效的可重复性。以软坚消癭颗粒为例, 其组成药材来源、提取工艺等若无统一标准, 将导致实验与临床结果难以互证。因此, 建立基于活性成分的质量控制体系, 是实现中医药现代化与国际化的重要前提。

4.3. 临床研究证据不足

目前相关临床研究多为小样本、单中心观察性研究, 缺乏随机双盲对照试验(RCT)支持。例如, 补中益气汤、益气化痰活血方虽在动物实验中效果显著, 却尚未开展大规模临床验证。建议后续开展多中心 RCT, 并结合影像学、免疫指标与中医证候积分, 全面评估中医药疗效。

5. 小结与展望

自身免疫性甲状腺疾病(AITD)是一类涉及多种免疫机制和信号通路的复杂疾病, 中医药在调控相关信号通路治疗 AITD 方面显示出独特的优势和潜力, 中药单体或复方中的活性成分可通过作用于多个靶点和信号通路, 能够有效地降低抗体、抗炎、抗甲状腺滤泡细胞凋亡, 本文就中医药调控相关信号通路治疗 AITD 进行综述, 为临床前新药的开发明确其药理机制, 并在 AIT 治疗中筛选了有效的通路靶点。中药治疗 AITD 的多靶点策略显示了其独特的治疗优势, 未来的研究需要进一步深入探讨中医药对 AITD 免疫调节作用的分子机制和信号通路, 以期 AITD 的综合治疗提供新的选择。

参考文献

- [1] Vargas-Uricoechea, H. (2023) Molecular Mechanisms in Autoimmune Thyroid Disease. *Cells*, **12**, Article 918. <https://doi.org/10.3390/cells12060918>
- [2] Bogusławska, J., Godlewska, M., Gajda, E. and Piekietko-Witkowska, A. (2021) Cellular and Molecular Basis of Thyroid Autoimmunity. *European Thyroid Journal*, **11**, e210024. <https://doi.org/10.1530/etj-21-0024>
- [3] Lee, H.J., Li, C.W., Hammerstad, S.S., Stefan, M. and Tomer, Y. (2015) Immunogenetics of Autoimmune Thyroid Diseases: A Comprehensive Review. *Journal of Autoimmunity*, **64**, 82-90. <https://doi.org/10.1016/j.jaut.2015.07.009>
- [4] Antonelli, A., Ferrari, S.M., Corrado, A., Di Domenicantonio, A. and Fallahi, P. (2015) Autoimmune Thyroid Disorders. *Autoimmunity Reviews*, **14**, 174-180. <https://doi.org/10.1016/j.autrev.2014.10.016>
- [5] 张艳, 谢敏, 左新河, 等. 中医药干预自身免疫性甲状腺疾病 Th17/Treg 平衡的研究进展[J]. 中国实验方剂学杂志, 2021, 27(10): 231-238.
- [6] Zhou, L., Luo, J., Sun, A., Yang, H., Lin, Y. and Han, L. (2024) Clinical Efficacy and Molecular Mechanism of Chinese Medicine in the Treatment of Autoimmune Thyroiditis. *Journal of Ethnopharmacology*, **323**, Article 117689.

- <https://doi.org/10.1016/j.jep.2023.117689>
- [7] Park, E.S., Kim, H., Suh, J.M., Park, S.J., You, S.H., Chung, H.K., *et al.* (2000) Involvement of JAK/STAT (Janus Kinase/Signal Transducer and Activator of Transcription) in the Thyrotropin Signaling Pathway. *Molecular Endocrinology*, **14**, 662-670. <https://doi.org/10.1210/mend.14.5.0458>
 - [8] Davies, T.F., Andersen, S., Latif, R., Nagayama, Y., Barbesino, G., Brito, M., *et al.* (2020) Graves' Disease. *Nature Reviews Disease Primers*, **6**, Article No. 52. <https://doi.org/10.1038/s41572-020-0184-y>
 - [9] Brand, O.J. and Gough, S.C.L. (2010) Genetics of Thyroid Autoimmunity and the Role of the TSHR. *Molecular and Cellular Endocrinology*, **322**, 135-143. <https://doi.org/10.1016/j.mce.2010.01.013>
 - [10] Huang, Y., Wang, H., Chen, Z., Wang, Y., Qin, K., Huang, Y., *et al.* (2019) Synergistic and Hepatoprotective Effect of Total Glucosides of Paeony on Ankylosing Spondylitis: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Pharmacology*, **10**, Article 231. <https://doi.org/10.3389/fphar.2019.00231>
 - [11] 余欣然, 陈云志, 牧亚峰. 白芍总苷对自身免疫性甲状腺炎大鼠的免疫调节作用[J]. 中成药, 2023, 45(5): 1666-1669.
 - [12] 劳梓滢, 蒋智锐, 张靖怡, 等. 小柴胡汤化学成分、药理作用研究进展及质量标志物(Q-marker)预测[J]. 中草药, 2023, 54(19): 6520-6530.
 - [13] Du, P., Xu, J., Jiang, Y., Zhao, J., Gao, C., Fang, Y., *et al.* (2022) Saikosaponin-d Attenuates Hashimoto's Thyroiditis by Regulating Macrophage Polarization. *Journal of Immunology Research*, **2022**, 1-12. <https://doi.org/10.1155/2022/7455494>
 - [14] 董天娇, 张兰, 刘佳, 等. 软坚消癭颗粒对肝郁脾虚型桥本甲状腺炎大鼠作用机制的代谢组学分析[J]. 时珍国医国药, 2021, 32(5): 1104-1108.
 - [15] 王琳, 张兰, 许可, 等. 基于 SOCS13JAK-STATs 信号通路探讨软坚消癭颗粒治疗肝郁脾虚型桥本甲状腺炎模型大鼠的实验研究[J]. 中华中医药学刊, 2023, 41(4): 251-254+301.
 - [16] Broz, P. and Dixit, V.M. (2016) Inflammasomes: Mechanism of Assembly, Regulation and Signalling. *Nature Reviews Immunology*, **16**, 407-420. <https://doi.org/10.1038/nri.2016.58>
 - [17] Kelley, N., Jeltema, D., Duan, Y. and He, Y. (2019) The NLRP3 Inflammasome: An Overview of Mechanisms of Activation and Regulation. *International Journal of Molecular Sciences*, **20**, Article 3328. <https://doi.org/10.3390/ijms20133328>
 - [18] Guo, Q., Wu, Y., Hou, Y., Liu, Y., Liu, T., Zhang, H., *et al.* (2018) Cytokine Secretion and Pyroptosis of Thyroid Follicular Cells Mediated by Enhanced NLRP3, NLRP1, NLRC4, and AIM2 Inflammasomes Are Associated with Autoimmune Thyroiditis. *Frontiers in Immunology*, **9**, Article 1197. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2018.01197>
 - [19] Ding, H., Sun, X. and Xu, H. (2023) Pharmacological Suppression of NLRP3 Inflammasome Attenuated the Development of Autoimmune Thyroiditis. *Cellular Immunology*, **384**, Article 104659. <https://doi.org/10.1016/j.cellimm.2022.104659>
 - [20] Long, S.F., He, T.F., Wu, D., Yang, M. and Piao, X.S. (2020) Forsythia Suspensa Extract Enhances Performance via the Improvement of Nutrient Digestibility, Antioxidant Status, Anti-Inflammatory Function, and Gut Morphology in Broilers. *Poultry Science*, **99**, 4217-4226. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.05.011>
 - [21] 栗粟, 陈红跃, 樊艳, 等. 连翘提取物对实验性自身免疫性甲状腺炎大鼠甲状腺损伤的影响[J]. 中国免疫学杂志, 2023, 39(5): 978-982.
 - [22] 赵卓, 宋因, 刘子玉, 等. 补中益气汤对 AIT 小鼠 Th17/Treg 免疫失衡及 Notch1 信号通路的影响[J]. 中国实验方剂学杂志, 2024, 30(5): 19-27.
 - [23] 王智民, 杨潇, 陈怡然, 等. 基于 NLRP3/Caspase-1/GSDMD 通路探讨补中益气汤干预 NOD.H-2^{b4} 小鼠 AIT 细胞焦亡的机制[J]. 中国实验方剂学杂志, 2024, 30(12): 8-15.
 - [24] Williams, L.M. and Gilmore, T.D. (2020) Looking down on NF- κ B. *Molecular and Cellular Biology*, **40**, e00104. <https://doi.org/10.1128/mcb.00104-20>
 - [25] Herrington, F.D., Carmody, R.J. and Goodyear, C.S. (2016) Modulation of NF- κ B Signaling as a Therapeutic Target in Autoimmunity. *SLAS Discovery*, **21**, 223-242. <https://doi.org/10.1177/1087057115617456>
 - [26] 祁岗, 朱艳媚, 李焱, 等. NF- κ B 通路在自身免疫性甲状腺炎发病过程中的作用[J]. 实用医学杂志, 2018, 34(20): 3362-3366.
 - [27] 封潇添, 马剑雄, 王岩, 等. 青蒿素及其衍生物治疗骨科相关疾病的研究进展[J]. 中国中药杂志, 2024, 49(18): 4829-4840.
 - [28] Liu, H., Tian, Q., Ai, X., Qin, Y., Cui, Z., Li, M., *et al.* (2017) Dihydroartemisinin Attenuates Autoimmune Thyroiditis by Inhibiting the CXCR3/PI3K/AKT/NF- κ B Signaling Pathway. *Oncotarget*, **8**, 115028-115040.

<https://doi.org/10.18632/oncotarget.22854>

- [29] 苗常鑫, 冷锦红. 薯蓣皂苷的药理作用及机制研究进展[J]. 中华中医药学刊, 2024, 42(11): 113-118.
- [30] Zhang, C., Zhang, Q., Qin, L., Yan, Z., Wu, L. and Liu, T. (2023) Dioscin Ameliorates Experimental Autoimmune Thyroiditis via the mTOR and TLR4/NF- κ B Signaling. *Drug Design, Development and Therapy*, **17**, 2273-2285. <https://doi.org/10.2147/dddt.s410901>
- [31] 郭风宜, 刘子玉, 王智民, 等. 益气化痰活血方对自身免疫性甲状腺炎小鼠肠道菌群的影响[J]. 时珍国医国药, 2023, 34(2): 292-295.
- [32] Zhao, Z., Liu, Z., Song, N., *et al.* (2024) Based on SIRT1/NF- κ B/NLRP3 Signal Pathway to Explore the Effect of Yiqi Huatan Huoxue Recipe on Inflammatory Injury in AIT Mice by Pyroptosis. *Combinatorial Chemistry & High Throughput Screening*.