

大蒜来源的有机多硫化物对泌尿系统 缺血再灌注损伤的药理机制研究现状

Research status of pharmacological mechanism of organosulfur compounds from garlic on ischemia – reperfusion injury of urinary system

韩 宁, 孙许涛, 陈佳旭,
毛彩云, 宋运佳

(黑龙江中医药大学 基础医学院, 黑龙江 哈尔滨
150000)

HAN Ning, SUN Xu – tao,
CHEN Jia – xu, MAO Cai – yun,
SONG Yun – jia

(College of Basic Medicine, Heilongjiang
University of Chinese Medicine, Harbin
150000, Heilongjiang Province, China)

基金项目: 黑龙江省自然优秀青年基金资助项目(YQ2024H028)

作者简介: 韩宁(2002 –), 女, 硕士研究生, 主要从事心血管疾病方面的研究

通信作者: 宋运佳, 副教授, 博士生导师
MP: 13126767633

E – mail: songyunjia666@126. com

摘要: 缺血再灌注损伤(I/R)是临床常见病理过程,指组织器官缺血后恢复血流供应时,损伤程度反而加剧的病理现象。在泌尿系统中,肾 I/R 是诱发急性肾损伤的关键因素,其发生机制与缺血后大量活性氧(ROS)爆发、全身性炎症反应等密切相关,且可以通过血液循环引发睾丸等多器官连锁损伤。大蒜作为药食同源的传统食材,其衍生的有机多硫化物(如大蒜素、S – 烯丙基半胱氨酸等)已被证实具有抗氧化应激、抗细胞凋亡及抗炎等药理活性,其保护效应具有多靶点、多器官特征。本文系统综述了大蒜衍生有机多硫化物在泌尿系统 I/R 损伤中的保护作用及分子机制。在氧化应激层面,通过调控超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)等抗氧化酶及 ROS 生成酶活性恢复氧化平衡;在抗凋亡层面,靶向 B 细胞淋巴瘤 – 2 相关蛋白(Bcl – 2)/Bcl – 2 相关 X 蛋白(Bax)家族、半胱天冬酶(Caspase)级联通路抑制肾小管上皮细胞过度凋亡;在抗炎层面,调节白细胞介素(IL) – 4/IL – 10 与 IL – 6/肿瘤坏死因子 α (TNF – α)平衡,调控核因子 – κ B(NF – κ B)通路及巨噬细胞极化。本文旨在为泌尿系统 I/R 相关损伤的防治提供新思路,同时展望未来更深入探索氧化应激 – 凋亡 – 炎症的交叉调控机制,以期推动其成为临床潜在的治疗方案。

关键词: 大蒜衍生有机多硫化物;缺血再灌注;炎症因子;氧化应激;细胞凋亡

DOI: 10. 13699/j. cnki. 1001 – 6821. 2026. 01. 022

中图分类号: R28 **文献标志码:** A

文章编号: 1001 – 6821(2026)01 – 0137 – 05

Abstract: Ischemia – reperfusion injury (I/R) is a common pathological process in clinical practice, referring to the phenomenon where the degree of tissue or organ damage intensifies when blood flow is restored after ischemia. In the urinary system, renal I/R is a key factor in inducing acute kidney injury, and its mechanism is closely related to the burst of reactive oxygen species (ROS) and systemic inflammatory responses after ischemia, which can also cause chain damage to multiple organs such as the testis through the blood circulation. Garlic, as a traditional food and medicine, its derived organic polysulfides (such as allicin, S – allyl cysteine, etc.) have been proven to have pharmacological activities such as anti – oxidative stress, anti – apoptosis and anti – inflammation. This article systematically reviews the protective effects and molecular mechanisms of garlic – derived organic polysulfides in urinary system I/R injury. At the level of oxidative stress, it restores the oxidative balance by regulating the activities of antioxidant enzymes such as superoxide dismutase (SOD) and catalase (CAT) and

ROS-generating enzymes; at the anti-apoptotic level, it inhibits excessive apoptosis of renal tubular epithelial cells by targeting the B-cell lymphoma 2 protein (Bcl-2)/Bcl-2 associated X protein (Bax) family and cysteine aspartate-specific protease (Caspase) cascade pathways; at the anti-inflammatory level, it regulates the balance of interleukin (IL)-4/IL-10 and IL-6/tumor necrosis factor- α (TNF- α), and controls the nuclear factor- κ B (NF- κ B) pathway and macrophage polarization, its protective effects have multi-target and multi-organ characteristics. This article aims to provide new ideas for the prevention and treatment of urinary system I/R-related injuries, and at the same time looks forward to further exploring the cross-regulation mechanism of oxidative stress-apoptosis-inflammation in the future, with the expectation of promoting it to become a potential clinical treatment option.

Key words: garlic-derived organic polysulfides; ischemia-reperfusion; inflammatory factor; oxidative stress; apoptosis

急性肾损伤(acute kidney injury, AKI)是一种肾小球滤过率急性下降为核心特征的临床疾病^[1],其不仅表现为肾功能的突然减退,更伴随高死亡率、多器官功能受损及慢性肾病进展等严重后果^[2]。AKI在临床中的发病率与致死率居高不下,且除透析等替代治疗外,暂没有其他有效的方法,这使得寻找新的治疗策略成为待解决的临床难题。AKI的致病因素复杂多样,其中肾缺血/再灌注损伤(renal ischemia-reperfusion injury, RIR)是最主要的因素之一,常见于肾移植、心脏手术、休克等临床场景。当肾缺血后恢复血流灌注时,组织损伤反而会出现加剧,即形成RIR。值得注意的是,RIR并非局限于肾本身的局部病变,I/R过程中会爆发大量活性氧(reactive oxygen species, ROS),同时激活全身性炎症反应,这些病理产物可通过血液循环扩散,进一步累及睾丸等泌尿生殖系统其他器官,形成“肾-睾丸”等多器官连锁损伤,加重病情复杂性。目前,治疗泌尿系统I/R的主要方法包括药物治疗,如使用抗氧化剂、抗炎药物、改善肾微循环药物等。再灌注治疗也是关键手段,包括及时恢复肾血流灌注、经皮肾动脉介入治疗和肾移植术中的血流再通管理。然而,这些治疗方法可能伴随再灌注损伤加重、药物不良反应等问题,且长期治疗会产生一定的经负担,因此正在积极寻找预防泌尿系统I/R损伤的策略,以及更安全有效的替代治疗方法。

大蒜作为一种药食兼用的传统植物,其药用价值在现代药理学研究中得到充分证实。大蒜的活性成分丰富多样,主要包括大蒜素(allicin)、二烯丙基硫醚(diallyl sulfide, DAS)、二烯丙基二硫醚(diallyl disulfide, DADS)、二烯丙基三硫醚(diallyl trisulfides, DATS)、s-烯丙基半胱氨酸(s-allyl-cysteine, SAC)和s-烯丙基-L-半胱氨酸(S-allyl-mercaptopcysteine, SAMC)等^[3],这些成分被证实具有抗炎、抗氧

化、免疫调节、抗凋亡等多种药理活性,而这些活性恰好与泌尿系统I/R损伤中“氧化应激失衡”“炎症过度激活”等相关。早期研究已发现,大蒜活性成分中的大蒜素在I/R损伤治疗中展现出一定效果。鉴于大蒜廉价易得、药理活性明确且安全性较高的特点,其衍生的替代疗法已成为泌尿系统I/R损伤治疗新策略的重要方向,具有广阔的研究与应用前景。

尽管大蒜衍生物在I/R损伤中的保护作用已经得到了初步的验证,但是目前仍然存在一定的争议。不同大蒜衍生物(如大蒜素、SAC、DATS等)的作用特异性尚不明确,目前,没有研究系统对比不同成分在泌尿系统I/R中的差异,导致临床转化时的成分选择缺乏相关依据。此外,现有研究主要以动物和体外细胞模型为主,缺乏临床试验数据的支撑,因此,系统梳理大蒜衍生有机多硫化物在泌尿系统I/R损伤中的保护作用及分子机制,整合现有研究成果、填补研究空白,对推动该领域研究深入开展及临床转化具有重要意义。

1 大蒜及大蒜衍生的有机多硫化物在泌尿系统I/R中作用的研究进展

1.1 抗氧化作用

氧化应激失衡是泌尿系统I/R损伤的核心环节之一,I/R过程中,肾、膀胱等泌尿器官细胞中ROS大量产生,远超体内超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、过氧化氢酶(catalase, CAT)等抗氧化系统的清除能力,导致脂质过氧化丙二醛(malondialdehyde, MDA)生成增加、加重肾小管上皮细胞凋亡、坏死及间质纤维化。大蒜及大蒜衍生的有机多硫化物可以通过上调抗氧化酶的表达与活性,抑制黄嘌呤氧化酶、烟酰胺腺嘌呤二核苷酸磷酸氧化酶(nicotinamide adenine dinucleotide phosphate, NADPH)等

ROS 生成酶的活性,减少 ROS 的过量蓄积,恢复氧化应激与抗氧化系统的平衡,从而减轻泌尿器官组织损伤,保护肾功能及泌尿器官生理功能。

肾作为泌尿系统 I/R 损伤的主要靶器官,早期主要研究大蒜及其衍生物对氧化应激指标的调控作用,研究通过建立小鼠肾 I/R 模型,观察到大蒜衍生抗氧化剂 SAC 可降低血液尿素氮(blood urea nitrogen, BUN)、改善血清肌酸酐升高,减少肾结构性损伤,同时使脂质过氧化标志物 4-羟基壬烯醛(4-hydroxynonenal, 4-HNE)的免疫染色信号减弱,初步证明大蒜衍生物的肾保护作用与抗氧化性能直接相关^[4]。同期针对大蒜素的研究进一步验证了这一结论,在大鼠右肾缺血 45 min 再灌注 12 h 模型中,腹腔注射大蒜素可显著逆转 I/R 引起的 MDA 含量升高和 SOD 活性降低^[5],而双侧肾动静脉夹持 45 min 再灌注 22 h 模型显示,大蒜素预处理能直接提高 SOD 活性、降低 MDA 水平,明确大蒜素可以增强肾自身抗氧化能力^[6]。这 2 项研究与 SAC 的结果相互印证,共同奠定了大蒜衍生物通过调节 SOD、MDA 等氧化应激指标进一步改善 RIR。随着研究推进,大蒜素的剂量依赖性与多通路调控机制成为新的探索方向,弥补了早期研究的局限性。有研究通过夹闭大鼠双侧肾蒂血管 45 min 建立模型,明确大蒜素的保护作用具有剂量依赖性特征,随浓度升高,其降低肾指数、下调血清 BUN、肌酸酐、尿酸(uric acid, UA)的效果增强,同时调控相关凋亡蛋白,如上调 B 细胞淋巴瘤-2 相关蛋白(B-cell lymphoma 2 protein, Bcl-2)的表达,下调 Bcl-2 相关 X 蛋白(Bcl-2 associated X protein, Bax)的表达。抗氧化酶[SOD、谷胱甘肽过氧化物酶(glutathione peroxidase, GPX)、CAT]及炎症相关转录因子核因子- κ B(nuclear factor- κ B, NF- κ B)的调控作用均显著增强^[7]。这一发现突破了单一浓度的研究局限,为后续潜在临床应用的剂量选择提供了依据。在此基础上,另有研究进一步揭示了大蒜素的具体作用通路,发现其可通过靶向 ROS/丝裂原活化蛋白激酶(mitogen-activated protein kinase, MAPK)/NF- κ B 通路,同步调控谷胱甘肽(glutathione, GSH)、ROS 等多个氧化应激分子,从机制层面解释了其抗氧化保护的核心原理^[8]。针对大蒜油(garlic oil, GO)的研究发现,在雄性大鼠双侧肾缺血 45 min 再灌注 6 h 模型中,口服 GO 不仅能下调血清肌酸酐、Ua,还能降低肾组织总氧化状态(total oxidative status, TOS)、氧化应激指数(oxidative stress index, OSI),同时升高 CAT 活性、降低髓过氧化物酶

(myeloperoxidase, MPO)水平, MPO 作为中性粒细胞浸润标志物,其水平下降表明, GO 可同步抑制氧化应激与炎症反应^[9]。这一发现较早期单一成分研究更全面,体现大蒜衍生物抗氧化、抗炎的协同保护作用。而大蒜提取物(aged garlic extract, AGE)的研究则实现了机制的进一步拓展, AGE 不仅能通过清除自由基、维持 GSH 水平减轻氧化损伤,通过降低 MPO 活性抑制炎症,还能显著降低肾组织胶原蛋白含量以抑制纤维化,且使 GSH 水平恢复至接近正常^[10]。此外,大蒜素的研究也补充了这一协同效应,其可通过减弱细胞间粘附分子-1(intercellular adhesion molecule-1, ICAM-1)表达阻断炎症级联反应,与降低 MDA、升高 SOD 的抗氧化效应共同减轻肾小管病理损伤^[11],与 GO、AGE 的多维度保护特征形成呼应。

除肾之外,大蒜衍生物对睾丸 I/R 损伤也具有保护作用,以扭转所致 I/R 模型为核心,睾丸扭转后的 I/R 损伤与黄嘌呤氧化酶(xanthine oxidase, XO)介导的 ROS 过量生成密切相关,早期研究明确了大蒜提取物的针对性保护作用。有研究将大鼠左睾丸扭转 720° 持续 2 h 建立模型,发现提前 5 d 用大蒜提取物预处理可直接阻止 MDA 和 XO 水平升高,同时减轻精小管细胞分离的病理损伤,首次证实大蒜提取物可通过抑制 XO 活性、减少脂质过氧化,保护睾丸扭转所致的 I/R 损伤^[12]。这一研究与肾领域早期调控 SOD、MDA 的思路相一致,但将 XO 作为睾丸 I/R 模型中的核心调控靶点,体现了器官特异性研究的创新方向。后续针对大蒜素的研究则进一步细化了这种靶向调控的组织特异性。研究发现,睾丸 I/R 后 XO 表达增加仅导致同侧睾丸生精功能下降、MDA 升高,而给予大蒜素后,仅显著降低同侧睾丸的 MDA 含量和 XO 表达,对侧睾丸 XO 表达无明显变化^[13-14]。这一发现揭示大蒜素对睾丸 I/R 损伤的抗氧化保护具有“损伤侧特异性”,提示其可能通过感知局部氧化应激信号发挥作用,为理解大蒜衍生物的器官特异性保护机制提供了新的研究方向。

1.2 抗凋亡作用

肾小管上皮细胞凋亡是泌尿系统 I/R 损伤中细胞死亡的核心形式之一,其调控涉及 Bcl-2/Bax 凋亡蛋白家族、半胱天冬酶(cysteine aspartate-specific protease, Caspase)级联激活通路等关键机制。大蒜及大蒜衍生的有机多硫化物可通过靶向调节这些通路中关键分子的表达与活性,有效抑制肾小管上皮细胞过度凋亡,进而减轻肾结构性损伤并保护泌尿功能。

早期研究率先聚焦大蒜素对核心凋亡调控分子的直接影响,为抗凋亡作用奠定基础。针对大鼠 RIR 模型的研究发现,大蒜素可显著降低肾组织中 Bax、Caspase-3、细胞色素 C (cytochrome C, Cyt-C) 的表达水平,同时显著提高 Bcl-2 的表达水平^[6]。这一发现明确了大蒜素对 Bcl-2/Bax 凋亡蛋白家族及 Caspase 级联通路的调控作用,直接指向其抗凋亡效应,但尚未揭示这种调控与其他损伤机制是否存在关联。同期另一项研究进一步验证了这一结论,在大鼠肾 I/R 模型中观察到大蒜素可以下调 Caspase-3 和 Bax 的表达、上调 Bcl-2 的表达^[5],与前者结果相互印证,明确了大蒜素靶向 Bcl-2/Bax 及 Caspase-3 通路抑制凋亡的核心结论。在此基础上,有研究发现了大蒜素的多重保护效应,发现其不仅能通过降低肾组织 MDA 含量、升高 SOD 活性减轻氧化应激,还能同步调控 Bcl-2/Bax、Cyt-C、caspase-3 等凋亡相关分子的表达与活性^[15]。这一发现将氧化应激与细胞凋亡 2 个核心损伤机制相互关联,揭示了大蒜素的抗凋亡作用并非独立存在,而是与抗氧化效应协同发挥,加深了大蒜及大蒜衍生物对泌尿系统 I/R 保护机制的理解。随着研究的推进,体外细胞实验的补充与剂量依赖性的发现,进一步完善了大蒜素抗凋亡作用的应用价值。在体外实验中,以缺氧/复氧 (hypoxia/reoxygenation, H/R) 诱导的正常大鼠肾 52E 肾小管上皮细胞为模型,证明大蒜素可通过降低 Caspase-3 和 Bax 表达、升高 Bcl-2 表达,直接抑制肾小管上皮细胞凋亡^[5]。这一研究从体内动物模型延伸至体外细胞层面,排除了体内复杂环境的干扰,明确了大蒜素对肾小管上皮细胞的直接保护作用,为机制研究提供了更精准的实验依据。在给药剂量方面有研究采用夹闭双侧肾蒂血管 45 min 建立大鼠肾 I/R 模型,给予低、中、高 (5、10、20 mg·kg⁻¹) 剂量大蒜素后发现,其下调 Bax 表达、上调 Bcl-2 表达、降低 Bax/Bcl-2 比值的抗凋亡效应,与改善肾功能指标、增强抗氧化能力的作用一致,均呈现明确的剂量依赖性^[16]。该研究不仅进一步验证了大蒜素“抗氧化-抗凋亡”的协同机制,更明确了其抗凋亡作用与剂量具有相关性。

1.3 抗炎作用

炎症反应是泌尿系统 I/R 损伤的关键病理驱动因素,I/R 过程中,肾组织会激活巨噬细胞、中性粒细胞等炎症细胞,释放大量炎症因子,加重肾小管上皮细胞损伤与肾间质纤维化。大蒜及大蒜衍生的有机多硫化物可通过抑制炎症细胞浸润、减少炎症因子释

放,并调控炎症相关信号通路活性,发挥显著的抗炎保护作用。

早期研究表明,大蒜素的基础抗炎效应为核心,通过建立肾 I/R 模型并给予大蒜素治疗,研究发现,大蒜素可以显著上调抗炎因子白细胞介素-4 (interleukin-4, IL-4)、IL-10 的表达水平,同时显著下调促炎因子 IL-6、肿瘤坏死因子- α (tumor necrosis factor- α , TNF- α) 的表达水平^[6]。这一研究直接证实了大蒜素对肾 I/R 损伤中炎症因子平衡的调控作用,为后续深入探索奠定了理论基础。在此基础上,肥胖型肾 I/R 这一复杂病理场景中,创新性地探索了大蒜素与替米沙坦的联合用药效应。该研究以左肾动脉闭塞 45 min 再灌注 24 h 建立肾 I/R 模型,并聚焦肥胖群体这一高危人群,研究发现,单独使用大蒜素或替米沙坦虽均能显著降低血清肌酐和尿素水平,但大蒜素与替米沙坦联合应用可进一步使肌酐、MDA 及 GSH 恢复至正常水平,还能成功改善肥胖 I/R 组的高胆固醇血症、高甘油三酯血症及缺血肾周围增大的脂肪细胞大小^[17]。这一发现将大蒜素的抗炎保护作用从单纯肾损伤延伸到代谢紊乱与肾 I/R 的复合病理状态,突破了前期研究的局限。联合用药不仅可以显著上调 IL-10,还能有效的抑制 NF- κ B 免疫反应性及 TNF- α 含量,同时调控脂联素受体 1 和巨噬细胞 (M1、M2) 极化标记物分化簇 11c (cluster of differentiation 11c, CD11c) 和 CD206 的 mRNA 表达^[17]。相较于前期仅关注基础炎症因子的研究,该研究揭示了大蒜素在炎症信号 NF- κ B 通路、脂肪因子受体及巨噬细胞极化等多个层面的调控作用,加深了对其抗炎机制的认知。明确提出大蒜素与替米沙坦联合用药可产生协同效应,对炎症反应、氧化应激及代谢紊乱的改善效果均优于单一用药。这一发现为临床制定更高效的肾 I/R 损伤防治策略提供了新的思路,具有更强的转化应用价值。

2 结论与展望

本研究系统梳理了大蒜衍生有机多硫化物在泌尿系统 I/R 损伤中的保护作用及机制。在作用靶点上,大蒜及其衍生物可针对泌尿系统 I/R 损伤的 3 大核心病理环节:氧化应激失衡、细胞凋亡及炎症反应过度激活发挥作用,且保护效应覆盖肾、睾丸等关键泌尿器官,体现出“多靶点、多器官”的保护特征。

在抗氧化应激层面,大蒜素、SAC 等单一成分及 GO、AGE 等复合成分,可通过上调 SOD、CAT 等抗氧

化酶活性,抑制 XO、NADPH 氧化酶等 ROS 生成酶活性,减少脂质过氧化产物 MDA 蓄积,其中大蒜素的作用还呈现剂量依赖性,并可通过靶向 ROS/MAPK/NF- κ B 通路形成协同调控。在抗凋亡层面,大蒜素可以通过下调 Bax、Caspase-3 等促凋亡分子表达,上调 Bcl-2 等抑凋亡分子表达,抑制肾小管上皮细胞过度凋亡,且该效应与抗氧化作用协同,在体外细胞模型中也得到了验证。在抗炎层面,大蒜素可调节 IL-4/IL-10 与 IL-6/TNF- α 的炎症因子平衡,以及可以在肥胖型肾 I/R 等复杂场景中与替米沙坦联合,通过调控 NF- κ B 通路、巨噬细胞极化等机制增强抗炎效果,同时改善代谢紊乱。

尽管现有研究已明确大蒜衍生有机多硫化物的保护潜力,但仍然需要进一步的探索。在机制研究上,当前多聚焦单一通路或分子,未来可深入探索其对氧化应激、凋亡、炎症相互之间交叉的调控机制,尤其关注不同成分间的协同作用。在研究模型上,现有研究以动物及体外细胞模型为主,缺乏临床样本验证,后续可进一步开展临床研究,明确其在人类泌尿系统 I/R 损伤中的适用剂量与安全性。同时,针对特殊人群(如合并基础疾病患者)的个体化应用策略、不同大蒜衍生物的制剂优化(如提高生物利用度)等方向,也需进一步探索,以期推动大蒜衍生有机多硫化物成为泌尿系统 I/R 损伤防治的新型治疗方案,为临床治疗提供更多选择。

参考文献:

- [1] 卞和格,金娟. STM2457 减轻顺铂诱导的高尿酸下肾小管细胞损伤[J]. 安徽医科大学学报, 2023, 58(9):1540—1546.
- [2] HOBSON C, OZRAZGAT - BASLANTI T, KUXHAUSEN A, et al. Cost and mortality associated with postoperative acute kidney injury [J]. *Ann Surg*, 2015, 261(6):1207—1214.
- [3] SHANG A, CAO S Y, XU X Y, et al. Bioactive compounds and biological functions of garlic (*Allium sativum* L.) [J]. *Foods*, 2019, 8(7):246.
- [4] SEGOVIANO - MURILLO S, SANCHEZ - GONZALEZ D J, MARTINEZ - MARTINEZ C M, et al. S-allylcysteine ameliorates ischemia and reperfusion induced renal damage [J]. *Phytother Res*, 2008, 22(6):836—840.
- [5] LI M, NING J, HUANG H, et al. Allicin protects against renal ischemia - reperfusion injury by attenuating oxidative stress and apoptosis [J]. *Int Urol Nephrol*, 2022, 54(7):1761—1768.
- [6] SHAN Y, CHEN D, HU B, et al. Allicin ameliorates renal ischemia/reperfusion injury via inhibition of oxidative stress and inflammation in rats [J/OL]. *Biomed Pharmacother*, 2021, 142:112077. 2021 - 08 - 23 [2025 - 10 - 01]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/344262521>.
- [7] 杨杰,胡亚丽,郑茂东,等. 大蒜素对大鼠肾缺血再灌注氧化应激损伤保护作用的研究[J]. 医学研究杂志, 2017, 46(2):108—111.
- [8] XU N, HAN W, YUN G, et al. Allicin protects renal function, improves oxidative stress and lipid peroxidation in rats with chronic renal failure [J]. *Iran J Kidney Dis*, 2023, 17(3):135—140.
- [9] SAVAS M, YENI E, CIFTCI H, et al. The antioxidant role of oral administration of garlic oil on renal ischemia - reperfusion injury [J]. *Ren Fail*, 2010, 32(3):362—367.
- [10] KABASAKAL L, SEHIRLI O, CETINEL S, et al. Protective effect of aqueous garlic extract against renal ischemia/reperfusion injury in rats [J]. *J Med Food*, 2005, 8(3):319—326.
- [11] 吴建伟,罗春丽,李家彬,等. 大蒜素及缺血预处理对大鼠肾缺血再灌注损伤的影响及机制研究[J]. 重庆医科大学学报, 2010, 35(4):549—552.
- [12] UNSAL A, EROGLU M, AVCI A, et al. Protective role of natural antioxidant supplementation on testicular tissue after testicular torsion and detorsion [J]. *Scand J Urol Nephrol*, 2006, 40(1):17—22.
- [13] WEI S M, HUANG Y M. Protective effect of allicin on ischemia - reperfusion injury caused by testicular torsion - detorsion in rats [J]. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*, 2024, 28(7):2817—2826.
- [14] ABDELZAHER W Y, MOSTAFA - HEDEAB G, SAYED ABOBAKR ALI A H, et al. Idebenone regulates sirt1/Nrf2/TNF- α pathway with inhibition of oxidative stress, inflammation, and apoptosis in testicular torsion/detorsion in juvenile rats [J/OL]. *Hum Exp Toxicol*, 2022, 41:9603271221102515. 2022 - 11 - 31 [2025 - 10 - 01]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35593271/>.
- [15] 宁金卓,程帆,余伟民,等. 大蒜素对大鼠肾缺血再灌注损伤的保护作用[J]. 中国临床保健杂志, 2020, 23(5):683—687.
- [16] 朱敏杰. 大蒜素对肾缺血再灌注损伤大鼠细胞凋亡的影响[J]. 西部中医药, 2018, 31(9):38—41.
- [17] ALI S I, ALHUSSEINI N F, ATTEIA H H, et al. Renoprotective effect of a combination of garlic and telmisartan against ischemia/reperfusion - induced kidney injury in obese rats [J]. *Free Radic Res*, 2016, 50(9):966—986.

(本文编辑:崔兰卿 收稿日期 2025 - 11 - 19)