

DOI:10.19296/j.cnki.1008-2409.2025-01-002

· 综 述 ·
· REVIEW ·

螺旋藻促进皮肤伤口愈合作用机制的研究进展

王若澜,段小群

桂林医学院药学院,桂林 541199

摘要 螺旋藻是一种蓝绿色微藻,因其富含多种生物活性成分,如可溶性膳食纤维、多不饱和脂肪酸、优质蛋白质、多种维生素、多糖及人体必需氨基酸,所以近年来备受关注,并广泛应用于膳食补充领域。随着对螺旋藻药理作用的深入研究,发现其在促进伤口愈合方面具有显著的潜力,通过其抗菌、抗炎、抗氧化等多重机制,有效促进细胞增殖、供氧等过程,从而加速伤口愈合。此外,螺旋藻与新型材料及疗法结合的应用,展示出更为显著的治疗效果。本文对螺旋藻促进伤口愈合的作用机制进行综述,探讨其作为天然多功能资源在该领域的应用潜力及研究前景,强调螺旋藻在促进伤口愈合及提升健康质量中的重要价值,以期螺旋藻的研究与应用提供参考。

关键词:螺旋藻;皮肤伤口愈合;药理作用

中图分类号:R782.4

文献标志码:A

文章编号:1008-2409(2025)01-0009-07

Progress of the mechanism of Spirulina in promoting the healing of skin wounds

WANG Ruolan, DUAN Xiaoqun

School of Pharmacy, Guilin Medical University, Guilin 541199, China

Abstract Spirulina, a blue-green microalga, has gained significant attention in recent years and is widely used in dietary supplements due to its rich content of biologically active components, such as soluble dietary fibers, polyunsaturated fatty acids, high-quality proteins, various vitamins, polysaccharides, and essential amino acids. With the in-depth study of its pharmacological effects, Spirulina has been found to have significant potential in promoting wound healing. Through its multiple mechanisms, including antibacterial, anti-inflammatory, and antioxidant effects, Spirulina effectively promotes cell proliferation, oxygenation, and other processes, thereby accelerating wound healing. Furthermore, the combination of Spirulina with novel materials and therapies has shown enhanced therapeutic effects. This review discusses

基金项目:广西科技重大专项项目(桂科 AA23023035)。

第一作者:王若澜,硕士研究生,研究方向为药物研发与转化。

通信作者:段小群,1069559975@qq.com。

the mechanisms by which *Spirulina* promotes wound healing, explores its potential as a natural multifunctional resource in this field, and examines its research prospects. The paper emphasizes the important value of *Spirulina* in promoting wound healing and improving health quality, aiming to provide a reference for further research and application of *Spirulina*.

Keywords: *Spirulina*; skin wound healing; pharmacological action

皮肤作为身体和外部环境之间的物理屏障,具有保护组织和器官免受物理、机械和化学损伤的作用,参与各种重要的生理功能^[1]。然而,在日常生活中,皮肤极易受损和破裂,受损后愈合的过程复杂,包括止血期、炎症期、组织增殖期和组织成熟或重塑期^[2]。这些愈合过程依赖于多种生长因子和细胞因子的协同调控,任何因素的失衡都可能导致伤口愈合的延缓,这也是临床治疗中的一个难点问题。近年来,创伤病例稳步增加,导致慢性损伤治疗面临重大临床挑战。然而,目前对于难治性皮肤损伤,普通的药物治疗仍然不令人满意,迫切需要新的、更有效的伤口愈合药物。螺旋藻是一种蓝绿色微藻,在营养学及药理学领域展现出极高的研究与应用价值,其富含多种营养成分,包括可溶性膳食纤维、多不饱和脂肪酸、优质蛋白质、多种维生素族群、多糖类化合物以及人体必需氨基酸。这些成分共同构成其丰富的营养谱系,因此它们有许多潜在的健康影响^[3]。同时,螺旋藻还表现出显著的药理活性,例如抗氧化活性、抗病毒活性和抗炎活性等,其多种活性成分在调节生理功能、促进健康及维护机体稳态方面展现出多样化的功能^[4]。近年来,关于螺旋藻在伤口愈合方面的研究逐渐增多,显示出其在促进伤口愈合方面具有显著的效果。螺旋藻含有许多具有抗氧化和抗炎活性的生物活性成分,包括酚类植物化学物质^[5]和藻蓝蛋白^[6]等。这些成分都被证明能够对伤口愈合过程中产生正反馈作用。LIU 等^[7]研究结果表明,加工螺旋藻是组织修复和再生的“绿金”,系统阐述了螺旋藻对皮肤伤口的愈合潜力,并最终将螺旋藻作为治疗各种皮肤伤口的有效化合物。本文主

要按照伤口愈合的生理过程,探讨螺旋藻在各阶段所发挥的促愈合机制,并进一步结合了螺旋藻如何通过调节全身反应来促进皮肤伤口的愈合效果,旨在为普通伤口的抗生素替代治疗及慢性伤口的对因治疗提供科学依据。

1 螺旋藻的成分研究

1.1 螺旋藻的形态特征

螺旋藻是一种光能自养的丝状物种,科学上归类于蓝藻纲、颤藻科下的螺旋藻属(亦称节旋藻属)。它体内富含叶绿素,赋予了其进行光合作用的能力,成为自然界中一种罕见的螺旋状多细胞水生原核生物,其细胞结构展现出一种优雅的姿态,既可能是疏松排列,也可能是紧密且规则地弯曲,内部还巧妙地含有气泡,赋予其良好的上浮特性。自然界中存在多个螺旋藻品种,但研究和使用的品种是钝顶螺旋藻和极大螺旋藻。这种藻类具有原核组织,有多层细胞壁、核糖体、大量内含物和片层光合系统。螺旋藻在富含矿物质的碱性水域中自然生长,温度在 35~40 ℃,其菌丝长度可达 0.5 mm^[8]。值得一提的是,螺旋藻的藻体表面光洁无胶鞘覆盖,这一特性有效减少微生物的附着,保持其生态位的纯净与独特。

1.2 螺旋藻的营养成分与生理活性

螺旋藻富含多种营养成分,包括蛋白质、脂肪、碳水化合物、矿物质和维生素等,其蛋白质含量高达 50%~70%,是大豆的 2.5 倍,大米的 10 倍,且易于被人体消化吸收^[3]。螺旋藻富含酚类物质、 γ -亚麻酸(占总多不饱和脂肪酸的 36%)、维生素(B1、B2、B3、

B6、B9、B12、C、D 和 E)、矿物质(钾、钙、铬、铜、铁、镁、锰、磷、硒、钠和锌)、色素(叶绿素 a、叶黄素、β-胡萝卜素、紫锥花青酮、姜黄素、玉米黄质、加拿大黄质、双黄素、3-羟基儿茶素甲酮、β-隐黄素、沙棘黄质、藻胆蛋白、C-藻蓝蛋白等)和酶(如脂肪酶)^[9-10]。这些成分不仅营养价值高,对于伤口愈合也具有重要作用。螺旋藻的成分含量如表 1 所示。

表 1 螺旋藻的成分含量

营养成分	含量
蛋白质	占螺旋藻总含量的 50%~70%
碳水化合物	占螺旋藻总含量的 15%~20%
脂肪	占螺旋藻总含量的 7%~16%,以不饱和脂肪酸为主,必需脂肪酸(由于机体无法自主合成,需要从外部摄取的不饱和脂肪酸)含量高,如 γ-亚麻酸含量高达 8.75~11.97 g/kg
氨基酸	螺旋藻中富含多种氨基酸,包括异亮氨酸、亮氨酸、赖氨酸、蛋氨酸、苯丙氨酸、苏氨酸、色氨酸、缬氨酸等
维生素	维生素 A、B1、B2、B6、B12、E 等含量丰富,特别是 β-胡萝卜素和维生素 B12,β-胡萝卜素比胡萝卜高 10 倍,维生素 B12 是动物肝脏的 3.5 倍
矿物质	富含钙、镁、钠、钾、磷、碘、硒、铁、铜、锌等微量元素,矿物质总量中约 9%为这些元素,其中有机铁含量是菠菜的 23 倍,钙含量是牛奶的 10 倍
生物活性物质	含有螺旋藻多糖、藻蓝蛋白和水溶性多酚,具有免疫调节、抗肿瘤、抗病毒、抗氧化、抗辐射等多种保健功能

2 螺旋藻促进皮肤伤口愈合的作用机制

2.1 螺旋藻的抗菌与抗炎作用

正常伤口愈合过程中,抗炎和抗感染反应是必不可少关键步骤,通常在持续数天后,伤口会逐渐进入组织增殖阶段。然而,在含有生物膜(由细菌、真菌等微生物及其分泌物在固相界面上形成的复杂、动态的微生物群落)的慢性伤口和糖尿病溃疡等炎性伤口中,由于其促炎作用一直存在,就会使得伤口处的中性粒细胞和巨噬细胞 M1 持续聚集,释放过量的蛋白酶以及炎症因子参与降解伤口愈合的关键蛋白质,延缓伤口愈合。螺旋藻含有几种活性成分,特别是藻蓝蛋白,具有强大的抗炎活性。相关研究^[11]结果表明,藻蓝蛋白能够抑制促炎细胞因子的形成,如肿瘤坏死因子-α,抑制环氧合酶-2 的表达,并减少前列腺素 E2 的产生。螺旋藻中的多糖等成分能够调节炎症因子的产生和释放,抑制过度的炎症反应,减少水肿和疼痛,促进伤口愈合^[12]。CHEI 等^[13]研究结果表明,螺旋藻提取物(*S. maxima*

extract, SME)抑制脂多糖(lipopolysaccharide, LPS)诱导的肿瘤坏死因子-α、白细胞介素 IL-12、IL-1β 和 IL-18 在 RAW264.7 细胞中的上调。此外, SME 还可减轻 LPS 诱导的 NLRP3 炎症小体的激活,从而使 IL-1β 的前体 pro-IL-1β 无法被 RAW264.7 细胞中 NLRP3 炎症小体激活的 Caspase-1 裂解为 IL-1β。SME 还能抑制 LPS 诱导的细胞外信号调节激酶(extracellular signal-regulated kinase, ERK)在 RAW264.7 细胞中的磷酸化,并减少 ERK1 诱导的活性氧(reactive oxygen species, ROS)的生成,从而降低 NF-κB 的表达^[13]。藻蓝蛋白不仅具有抗炎的特性,也已被证实具有显著的抗菌活性,能够抑制多种致病菌的生长^[14]。相关研究^[15]结果表明,螺旋藻具有体外抗菌活性和改善益生菌生长的能力。另外,CHOI^[16]研究结果表明,γ-亚麻酸是一种高浓度存在于螺旋藻中脂肪酸,具有抗菌活性。螺旋藻的抗菌作用有助于减少伤口感染,为伤口愈合提供有利环境。螺旋藻提取物的抗炎机制如图 1 所示。

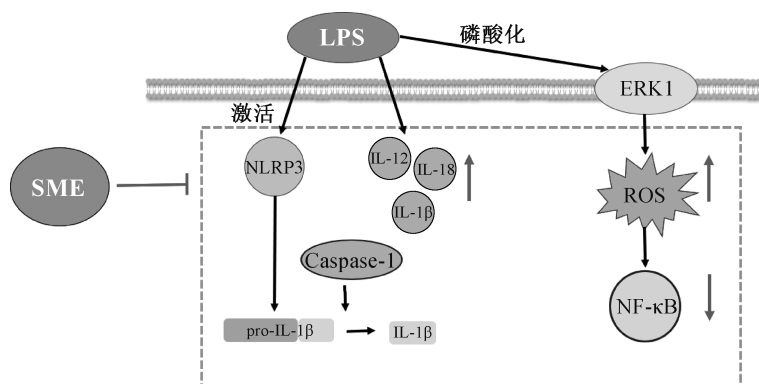


图 1 螺旋藻提取物的抗炎机制

2.2 螺旋藻的氧合能力

螺旋藻作为光合生物,能在光照条件下产生氧气^[17]。这一特性使得螺旋藻在伤口愈合中发挥重要作用,因为伤口愈合过程中需要大量的氧气来支持细胞增殖和血管生成^[18]。尽管急性缺氧可促进细胞增殖并启动组织修复,但慢性伤口中的长期缺氧会抑制血管生成、再上皮化和细胞外基质合成,从而损害愈合过程^[19]。糖尿病足溃疡是糖尿病的常见并发症之一,由于慢性缺氧会显著延迟伤口愈合,所以可以通过将螺旋藻应用于伤口表面,可以显著提高伤口局部的氧浓度,加速伤口愈合过程^[20]。CHEN 等^[21]研究结果表明,目前的氧疗,包括高压氧和局部气态氧,主要采用气态氧输送,这在渗透皮肤方面效果较差。微藻类凝胶伤口敷料可增加伤口氧合,产生的溶解氧可以穿透大于 700 μm 的人体皮肤,从而促进糖尿病患者的慢性伤口愈合。

2.3 螺旋藻的修复作用

螺旋藻中的营养成分能够直接参与细胞的修复过程。例如,螺旋藻中含有的胱氨酸、甲硫氨酸和甘氨酸等氨基酸,可以与某些毒物结合成无毒物质,起到解毒作用,同时也有助于细胞的修复和再生。炎症反应之后是真皮和表皮细胞的增殖和迁移,其对于新组织的形成和重建是至关重要的^[22]。JUNG 等^[23]研究结果表明,螺旋藻水提取物对大鼠成纤维细胞的存活和增殖有积极作用。BARI 等^[24]研究结果表明,与丝胶结合的螺旋藻水提取物具有诱导人成纤维细胞迁移的能力。SYARINA 等^[25]研究结果表

明,螺旋藻水提取物可促进人真皮成纤维细胞的增殖。此外,螺旋藻还可以促进干细胞的增殖^[26]。

2.4 螺旋藻的抗氧化作用

螺旋藻富含抗氧化剂,包括蛋白质、多糖、多不饱和脂肪酸、维生素、类胡萝卜素和其他生物活性化合物,它们赋予螺旋藻强大的抗氧化性能^[3]。这些抗氧化物质能够有效地清除体内的自由基,保护细胞膜免受氧化损伤,从而稳定病情并促进伤口的愈合。螺旋藻还含有大量的水溶性酚类化合物,这类物质被认为是最重要的天然抗氧化剂之一,已观察到多酚类化合物可作为自由基清除剂、供氢化合物并诱导细胞抗氧化调节的蛋白和基因表达^[27]。同时,螺旋藻水提取物在减少氧化损伤的过程中起着关键作用^[28-29]。DARTSCH 等^[30]通过无细胞和基于细胞的检测方法评估四种不同螺旋藻制剂的抗氧化和抗炎特性,结果表明,螺旋藻能灭活氧化应激过程中产生的游离超氧自由基,并呈现剂量依赖性。相关研究^[31]结果表明,螺旋藻中的丰富的 β -胡萝卜素能够很好地保护细胞免受单线态氧介导的脂质过氧化。

3 螺旋藻与其他生物材料的结合应用

为了进一步提高螺旋藻在伤口愈合中的效果,研究人员尝试将其与各种生物材料结合使用。REFAI 等^[32]研究结果表明,螺旋藻纳米植体制剂-凝胶的局部应用在切除伤口愈合中具有潜在的治疗效果。RAJAPAKSHA 等^[33]合成了螺旋藻衍生的果胶

纳米颗粒,研究结果表明,螺旋藻衍生的果胶纳米颗粒可增强斑马鱼的免疫调节和伤口愈合。EBRAHIMI 等^[34]研究结果表明,包封螺旋藻蛋白水解物与纳米脂质体能够有效缩短伤口愈合时间。螺旋藻也是一种很好的植物光敏剂,其光敏作用主要体现在藻蓝蛋白等光敏色素对光的吸收和转化上,有望与光动力疗法结合,在伤口愈合中发挥更好的作用。LI 等^[35]成功研制了一种光合微生物水凝胶,该水凝胶以螺旋藻为核心,并通过羧甲基壳聚糖进行包覆,在 650 nm 激光的照射下,螺旋藻内部的天然光敏剂被激活,释放出 ROS,这些 ROS 有效地针对金黄色葡萄球菌及革兰阴性大肠杆菌等细菌产生抑制作用。同时,水凝胶表面的羧甲基壳聚糖层不仅不会阻碍氧气的释放,反而显著增强了水凝胶对伤口的黏附力,使其能够更紧密地贴合伤口表面。因此,这种光合微生物水凝胶在提升伤口局部氧浓度的同时,还兼具抗菌作用,进而加速伤口的愈合过程^[35]。这些研究都证实螺旋藻与其他生物材料结合,疗效较好,具有广阔的应用前景。

4 结束语

螺旋藻作为一种天然多功能资源,在促进伤口愈合过程中展现出广泛的应用潜力,其丰富的生物活性成分,包括多糖、维生素、多不饱和脂肪酸以及优质蛋白质,赋予其抗菌、抗炎、抗氧化等多种药理作用,为伤口愈合的关键生理过程提供了支持。同时,螺旋藻能够促进细胞增殖,加速血管生成,提高局部供氧等,从而有效缩短伤口愈合时间。更为重要的是,螺旋藻与新型材料和疗法的结合,拓宽其临床应用的可能性,使其在伤口愈合领域的治疗效果进一步提升。

尽管已有大量研究证明螺旋藻在伤口愈合中的作用,但仍需进一步深入研究其具体的作用机制以及在不同伤口类型中的应用效果。此外,螺旋藻的安全性、标准化生产、剂量优化及临床应用的规范化也是未来研究的重要方向。随着对螺旋藻深入探索的推进,其在伤口愈合及其他相关领域的应用前景

将愈加广阔,推动其在医学与健康领域的价值转化。

参考文献

- [1] LIU P, CHOI J W, LEE M K, et al. Spirulina protein promotes skin wound repair in a mouse model of full-thickness dermal excisional wound[J]. *Int J Mol Med*, 2020,46(1): 351-359.
- [2] 董嘉利,王雪静,柏歌研,等.益生菌促进伤口愈合的作用机制的研究进展[J]. *生物医学工程学杂志*, 2024, 41(3): 635-640.
- [3] FAIS G, MANCA A, BOLOGNESI F, et al. Wide range applications of Spirulina: from earth to space missions[J]. *Mar Drugs*, 2022,20(5):299.
- [4] WANG J, SU L Q, ZHANG L, et al. Spirulina platensis aqueous extracts ameliorate colonic mucosal damage and modulate gut microbiota disorder in mice with ulcerative colitis by inhibiting inflammation and oxidative stress[J]. *J Zhejiang Univ Sci B*, 2022,23(6):481-501.
- [5] MACHU L, MISURCOVA L, AMBROZOVA J V, et al. Phenolic content and antioxidant capacity in algal food products[J]. *Molecules*, 2015, 20(1):1118-1133.
- [6] RISS J, DÉCORDÉ K, SUTRA T, et al. Phycobiliprotein C-phycoerythrin from *Spirulina platensis* is powerfully responsible for reducing oxidative stress and NADPH oxidase expression induced by an atherogenic diet in hamsters[J]. *J Agric Food Chem*, 2007, 55(19):7962-7967.
- [7] LIU S, SHI L, LUO H L, et al. Processed microalgae: green gold for tissue regeneration and repair[J]. *Theranostics*, 2024,14(13):5235-5261.
- [8] 赵越,王潇,马晓彤,等.螺旋藻的研究进展[J]. *内蒙古农业大学学报(自然科学版)*, 2023,44(6):94-100.
- [9] KULSHRESHTHA A, ZACHARIA A J, JAROULIYA U, et al. Spirulina in health care management[J]. *Curr Pharm Biotechnol*, 2008, 9(5):400-405.
- [10] DESAI K, SIVAKAMI S. Purification and biochemical characterization of a superoxide dismutase from the soluble fraction of the cyanobacterium, *Spirulina platensis* [J]. *World J Microbiol Biotechnol*, 2007, 23(12):1661-1666.
- [11] ROMAY C, DELGADO R, REMIREZ D, et al. Effects of phycocyanin extract on tumor necrosis factor- α and ni-

- trite levels in serum of mice treated with endotoxin[J]. *Arzneimittelforschung*, 2001, 51(9):733-736.
- [12] SASSI AYDI S, AYDI S, BKHAIRIA I, et al. Polysaccharides in CO₂ enriched *Arthrospira platensis*: structure, physico-chemical properties, antioxidant and cytotoxicity activities and laser burn wound healing in rats[J]. *Cell Mol Biol*, 2022, 68(8):191-201.
- [13] CHEI S, OH H J, SONG J H, et al. *Spirulina maxima* extract prevents activation of the NLRP3 inflammasome by inhibiting ERK signaling[J]. *Sci Rep*, 2020, 10(1):2075.
- [14] LIN J Y, TAN S I, YI Y C, et al. High-level production and extraction of C-phycoerythrin from cyanobacteria *Synechococcus* sp. PCC7002 for antioxidation, antibacterial and lead adsorption[J]. *Environ Res*, 2022, 206: 112283.
- [15] EL-SHEEKH M M, DABOOR S M, SWELIM M A, et al. Production and characterization of antimicrobial active substance from *Spirulina platensis* [J]. *Iran J Microbiol*, 2014, 6(2):112-119.
- [16] CHOI W H. Evaluation of anti-tubercular activity of linoleic acid and conjugated-linoleic acid as effective inhibitors against *Mycobacterium tuberculosis*[J]. *Asian Pac J Trop Med*, 2016, 9(2):125-129.
- [17] CALELLA P, CERULLO G, DI DIO M, et al. Antioxidant, anti-inflammatory and immunomodulatory effects of *Spirulina* in exercise and sport: a systematic review[J]. *Front Nutr*, 2022, 9: 1048258.
- [18] SONEJA A, DREWS M, MALINSKI T. Role of nitric oxide, nitroxidative and oxidative stress in wound healing[J]. *Pharmacol Rep*, 2005, 57(Suppl):108-119.
- [19] SCHREML S, SZEIMIES R M, PRANTL L, et al. Oxygen in acute and chronic wound healing[J]. *Br J Dermatol*, 2010, 163(2):257-268.
- [20] GUAN Y, NIU H, LIU Z T, et al. Sustained oxygenation accelerates diabetic wound healing by promoting epithelialization and angiogenesis and decreasing inflammation[J]. *Sci Adv*, 2021, 7(35):eabj0153.
- [21] CHEN H H, CHENG Y H, TIAN J R, et al. Dissolved oxygen from microalgae-gel patch promotes chronic wound healing in diabetes[J]. *Sci Adv*, 2020, 6(20):eaba4311.
- [22] STADELMANN W K, DIGENIS A G, TOBIN G R. Physiology and healing dynamics of chronic cutaneous wounds[J]. *Am J Surg*, 1998, 176(2A Suppl):26S-38S.
- [23] JUNG S M, KIM D S, JU J H, et al. Assessment of *Spirulina*-PCL nanofiber for the regeneration of dermal fibroblast layers [J]. *In Vitro Cell Dev Biol Anim*, 2013, 49(1):27-33.
- [24] BARI E, ARCIOLA C R, VIGANI B, et al. In vitro effectiveness of microspheres based on silk sericin and *Chlorella vulgaris* or *Arthrospira platensis* for wound healing applications[J]. *Materials*, 2017, 10(9):983.
- [25] SYARINA P N, KARTHIVASHAN G, ABAS F, et al. Wound healing potential of *Spirulina platensis* extracts on human dermal fibroblast cells[J]. *EXCLI J*, 2015, 14:385-393.
- [26] BACHSTETTER A D, JERNBERG J, SCHLUNK A, et al. *Spirulina* promotes stem cell genesis and protects against LPS induced declines in neural stem cell proliferation[J]. *PLoS One*, 2010, 5(5):e10496.
- [27] MILENKOVIC D, JUDE B, MORAND C. miRNA as molecular target of polyphenols underlying their biological effects[J]. *Free Radic Biol Med*, 2013, 64: 40-51.
- [28] NEYRINCK A M, TAMINIAU B, WALGRAVE H, et al. *Spirulina* protects against hepatic inflammation in aging: an effect related to the modulation of the gut microbiota? [J]. *Nutrients*, 2017, 9(6):633.
- [29] WU L C, HO J A, SHIEH M C, et al. Antioxidant and antiproliferative activities of *Spirulina* and *Chlorella* water extracts[J]. *J Agric Food Chem*, 2005, 53(10):4207-4212.
- [30] DARTSCH P C. Antioxidant potential of selected *Spirulina platensis* preparations[J]. *Phytother Res*, 2008, 22(5):627-633.
- [31] SCHAFER F Q, WANG H P, KELLEY E E, et al. Comparing beta-carotene, vitamin E and nitric oxide as membrane antioxidants[J]. *Biol Chem*, 2002, 383(3/4):671-681.
- [32] REFAI H, EL-GAZAR A A, RAGAB G M, et al. Enhanced wound healing potential of *Spirulina platensis* nanophytosomes: metabolomic profiling, molecular networking,

- and modulation of HMGB-1 in an excisional wound rat model[J]. Mar Drugs, 2023,21(3):149.
- [33] RAJAPAKSHA D C, EDIRISINGHE S L, NIKAPITIYA C, et al.Spirulina maxima derived pectin nanoparticles enhance the immunomodulation, stress tolerance, and wound healing in zebrafish[J]. Mar Drugs, 2020,18(11):556.
- [34] EBRAHIMI A, REZA FARAHPOUR M, AMJADI S, et al. Nanoliposomal peptides derived from Spirulina platensis protein accelerate full-thickness wound healing[J]. Int J Pharm, 2023,630:122457.
- [35] LI W L, WANG S J, ZHONG D N, et al. A bioactive living hydrogel: photosynthetic bacteria mediated hypoxia elimination and bacteria-killing to promote infected wound healing[J]. Adv Ther, 2021,4(1):2000107.
- [收稿日期:2024-10-16]
- [责任编辑:杨建香 英文编辑:张勇]