

# 软体珊瑚的感染性疾病治疗技术研究

江梓豪<sup>1</sup> 赖竹君<sup>2</sup>

1 广东海洋大学 2 广州脑博士医院

DOI:10.12238/eep.v7i7.2176

**[摘要]** 软体珊瑚的感染性疾病是目前海洋生物学研究领域的一个重要课题,也是珊瑚礁生态系统健康状况的关键指标。本研究目的旨在综述常见的感染疾病和已经出现及可发展的软体珊瑚感染性疾病的治疗技术,为保护和恢复珊瑚礁生态系统提高相应理论。首先,回顾了软体珊瑚疾病的研究背景,强调了软体珊瑚感染性疾病对海洋珊瑚礁生态破坏的严重性和发病紧迫性。并介绍了软体珊瑚常见的感染性疾病,本文包括白化病、BLD等,以及引起这些疾病的病原生物特征。也对这些感染性疾病对软体珊瑚的影响进行了分析和讨论并系统地探究了软体珊瑚感染性疾病的治疗技术。首先介绍了传统的治疗方法,如药物治疗、切割组织疗法等。然后,还介绍了一些相关的可发展新型治疗技术,比如定频率激光疗、微生物疗法等。重点综述了基因工程在感染性疾病治疗中的应用,探讨了基因编辑、基因表达调控等技术在治疗软体珊瑚感染性疾病的可行。最后,对研究课题进行了总结,并提出了可以有效应对软体珊瑚感染疾病的方法。

**[关键词]** 软体珊瑚; 感染性疾病; 治疗技术; 基因工程; 珊瑚礁生态系统

中图分类号: R631+.4 文献标识码: A

## Research on the treatment technology of infectious diseases of soft corals

Zihao Jiang<sup>1</sup> Zhujun Lai<sup>2</sup>

1 Guangdong Ocean University 2 Guangzhou Brain Doctor Hospital

**[Abstract]** Infectious diseases of soft corals are an important topic in the field of marine biology and a key indicator of the health of coral reef ecosystems. The purpose of this study is to review the treatment techniques of common infectious diseases and existing and developing soft coral infectious diseases, and to improve the corresponding theory for the protection and restoration of coral reef ecosystems. First, the authors reviewed the research background of soft coral diseases, and emphasized the severity and urgency of the ecological damage of marine coral reefs caused by soft coral infectious diseases. The authors also introduce the common infectious diseases of soft corals, including albinism, BLD, etc., as well as the pathogenic characteristics of these diseases. The authors also analyzed and discussed the effects of these infectious diseases on soft corals, and systematically explored the treatment techniques of soft coral infectious diseases. First, traditional treatment methods such as drug treatment, tissue cutting therapy, etc. are introduced. Then, the authors also introduced some related new therapeutic technologies that can be developed, such as fixed-frequency laser therapy, microbial therapy, etc. This paper focuses on the application of genetic engineering in the treatment of infectious diseases, and discusses the feasibility of gene editing and gene expression regulation in the treatment of soft corals. Finally, the authors summarize the research topics and propose effective methods to deal with soft corals. **Keywords:** soft corals, infectious diseases, therapeutic technologies, genetic engineering, technologies to protect coral reef ecosystems.

**[Key words]** mollusc coral; infectious diseases; treatment techniques; Genetic engineering; Coral reef ecosystems

## 引言

软体珊瑚是海洋生态系统中重要的构建者,它们能为众多鱼类和海洋生物提供栖息地和食物资源并且大多数软体珊瑚具

有极大的观赏价值,因此软体珊瑚具有潜在的研究价值。然而,近年来软体珊瑚的感染性疾病显著增加,严重威胁了其生存和繁殖能力。据统计数据源显示,全球范围内软体珊瑚感染性疾病

的发病率呈逐年上升的趋势,其中白珊瑚病、黑珊瑚病和丽珊瑚病等是最为常见的感染性疾病类型<sup>[1]</sup>。这几类由病原体导致的感染性疾病可造成珊瑚组织坏死、虫黄藻褪失、营养流失等严重病变,最终导致珊瑚的死亡。根据最新的研究报告,大堡礁约有30%的软体珊瑚因感染性疾病而死亡,对珊瑚礁生态系统造成了巨大破坏。

## 1 软体珊瑚的感染性疾病

### 1.1 常见的软体珊瑚感染性疾病

常见软体珊瑚感染性疾病是导致软体珊瑚组织受损的重要原因之一。其中包括白化病、树状珊瑚细胞增生病、珊瑚溃疡病等。白化病是一种在我国海域常见的软体珊瑚疾病,能导致珊瑚体内共生微藻数量爆发减少或死亡,从而让珊瑚失去色彩并让通过光合作用获取能量的功能受到严重影响。据统计,全球海洋中75%的软体珊瑚受到了白化病的威胁。树状珊瑚细胞增生病是由一种寄生类的立克次体引起的,其特征是侵入到软体珊瑚表面皮粘膜层细胞并大量繁殖导致珊瑚体表组织出现异常的细胞增生而形成树状葡萄结构,大面积增生的异常组织严重影响软体珊瑚的生长和存活能力并且该。据研究澳大利亚大堡礁树状珊瑚细胞增生病的发病率随着当地海洋温度的升高而上升,严重威胁了该地的珊瑚礁生态系统的稳定情况。珊瑚溃疡病则是由细菌和寄生虫共同引起的疾病又可被认为是布朗栎(Brown jelly),这是一种未分类的弧菌(Arcobacter)包括几种已知的人畜共患的病原菌,包括A. butzleri,他们的常见体征为螺旋杆菌和杆状杆菌为主,通过16S RNA配对技术,可以知道该类导致BLD发生的弧菌属于新类型的未定名弧菌,最初常见于软体珊瑚出现共生肉退缩及后期表面出现棕褐色溃烂物质,粘液腐烂层可镜检观察到大量纤毛虫及复合细菌聚合体,主要为厌氧菌,弧菌复合体。

### 1.2 病原微生物特征

导致软体珊瑚感染性疾病的病原微生物包括细菌、寄生虫、原生动物等。其中海洋弧菌是软体珊瑚感染性疾病中最常见的病原微生物。根据研究数据,大约有60%的软体珊瑚感染性疾病是由细菌引起的。其中,凡氏诺卡菌属(Vibrio)和副溶血弧菌(Vibrioparahaemolyticus)等被确认为导致软体珊瑚感染的主要病原弧菌。这些菌属在热带温暖的海域中很常见,并且它们的生长速度和病原致病性较高,这更容易在珊瑚寄生繁殖和吸收珊瑚粘液作为营养供给,相对于硬骨珊瑚而言弧菌更倾向于感染具有大面积软体组织的珊瑚,通常学说可认为软体珊瑚分泌大量的粘液,其降解产生的BCMA硫化物更容易吸引弧菌寄生,有研究也表明海域温度区间波动±2也可导致弧菌大量繁殖。另外,一些寄生虫和原生动物,如扁虫,刺管囊蚴(Spirobranchuslermae)和纤毛虫(Corallicolids),也被发现与软体珊瑚的感染性疾病有关。这些寄生虫和原生动物通常寄居在软体珊瑚的上皮组织或中胚层与共肉孔隙中,通过吸食软体珊瑚的组织和造成破坏吸引到弧菌寄生来导致感染性疾病的发生<sup>[2]</sup>。病原微生物的存在和繁殖会引起软体珊瑚免

疫系统的反应,进一步加剧珊瑚组织受损和疾病的发展。因此,对于软体珊瑚感染性疾病的治疗,相关感染原的了解和控制病原微生物的特征至关重要。

### 1.3 疾病对软体珊瑚的影响

软体珊瑚感染性疾病对珊瑚生态系统的影响是十分严重的。首先,这些疾病导致珊瑚组织受损,最直观的是病原体机械伤害珊瑚组织,降低了珊瑚的生存能力。研究显示,我国海域病原体中的感染性疾病使得珊瑚的覆盖率从2001–2013年间减少了60%,2015年海南文冲海域发生大规模的珊瑚黄带病感染的同时,受感染的珊瑚也出现了共生藻大规模褪去的现象俗称白化,这是非高温导致的虫黄藻胁迫受到感染的珊瑚失去了大量的共生藻之后获取的光合营养就会减少,这些感染性疾病会导致珊瑚组织的坏死和死亡,严重破坏了珊瑚礁的生态平衡,另外,具亚太珊瑚联盟研究所表明病原体导致的感染性疾病还会影响珊瑚的繁殖和再生能力,使得珊瑚种群的数量减少。研究发现,受科学家们针对一株被Brown jelly感染的软体针叶类珊瑚进行切割治疗,把受到感染的部位切除,通过对比观察,该珊瑚在受到感染前的繁殖分化速度高于感染后,者可推测感染性疾病影响珊瑚的繁殖,而经过治疗幸存下来的珊瑚虫组织也面临着更大的死亡风险主要认为是珊瑚获取的能量个体减少了。一般情况可观察到共生肉大面积退缩,进一步加剧了珊瑚死亡速度。因此,研究和治疗软体珊瑚感染性疾病具有重要意义,能够有效保护和修复受感染的珊瑚礁生态系统。

## 2 治疗技术

### 2.1 传统治疗方法

传统治疗方法在软体珊瑚感染性疾病治疗最常见的传统治疗方法之一是使用抗生素等抗菌药物。通过药物渗透进入珊瑚表层组织杀灭病原体,但是这种方法也被认为能够破坏珊瑚表面共生菌的共生条件,根据国外的研究,氨基糖苷类抗生素如环丙沙星和土霉素,在软体珊瑚感染性疾病的治疗中表现出较好的疗效。例如,一项研究发现,在使用环丙沙星治疗软体珊瑚Brown jelly Disease时,一般用量建议0.125mg/L,在肉眼观察到珊瑚表面出现明显的棕褐色物质后,吸取腐烂物质之后使用以上浓度的药物浸泡和冲刷软体珊瑚患处,可使病情减轻,并可以观察到软体珊瑚组织的恢复现象。类似地,土霉素也显示出抑制病原微生物生长和减少炎症反应的作用。此外,其他广谱抗生素如氯霉素、红霉素等也被应用于软体珊瑚感染性疾病的治疗中。

然而,抗生素治疗也存在一些问题。第一,长期、不稳定剂量的抗生素使用容易导致病原微生物产生耐药性,增加治疗难度。根据数据统计,近年来海洋环境中细菌的抗生素抗药性水平呈上升趋势,这对软体珊瑚感染性疾病的治疗构成了挑战。其次,抗生素的使用还可能对珊瑚自生态系统产生负面影响,有研究表明共生在珊瑚组织里的古菌,达维恩菌落容易受到四环素类药物的影响,从而被杀死,共生菌与有害菌被抗生素杀死大部分之后,珊瑚的异养获取途径缺少了,珊瑚也会因为营

养不够而死亡,为了解决以上问题,研究人员正在寻找替代性的治疗方法<sup>[3]</sup>。

当前,也有越来越多的研究聚焦于珊瑚软体珊瑚共生菌菌落的平衡(BMC),造成大部分软体珊瑚萎缩溃烂的情况,都受到珊瑚共生菌落失衡的影响,大部分的珊瑚在被开采后由于运输空间有限,多种珊瑚堆叠在一起,相互缺少有效的隔离,不同的软珊瑚之间发生着化学攻击及相互摩擦的伤害,加上运输的各种水质环境改变,绝大多数的软体珊瑚都会出现严重的微生物群落失衡,如果失衡不严重,大多数软体珊瑚都可以缓慢恢复,若失衡严重,再加上出现的低温胁迫以及缺氧,软体珊瑚出现的感染性疾病大大提高,最终导致珊瑚微生态崩溃。

另外,通过使用免疫疗法也是治疗软体珊瑚感染性疾病的一种新途径。通过增强软体珊瑚自身的免疫能力,可以有效抵御病原微生物的侵袭<sup>[4]</sup>。一项研究表明,某些免疫相关基因在软体珊瑚感染性疾病的抗性中起到重要的作用。而目前国内外尚没有明确的实验证明这些发现为进一步研究和开发免疫疗法提供了指导。例如,共生菌接种和投喂免疫增强剂的使用被视为可能成为治疗软体珊瑚感染性疾病的重要手段。但是,相关的实验结果表明只有56%的受感染个体恢复,表明相关技术尚不完善,有待提高。

综上所述,传统治疗方法在软体珊瑚感染性疾病治疗中发挥着重要作用。然而,抗生素治疗存在抗药性和技术不达标的问题,因此寻找替代性的治疗方法至关重要。虽然尚不成熟但是,微生态菌落治疗和免疫疗法被认为是有潜力的替代方案,可以帮助减少抗生素的使用、延缓抗药性的发展,并减少对海洋生态系统的损害。希望进一步的研究和实验将有助于完善和应用这些治疗技术,以保护软体珊瑚的健康。

## 2.2 新兴治疗技术

随着对珊瑚的治疗科学技术的发展,一些新兴的治疗技术被引入到软体珊瑚感染性疾病治疗中。其中,科研人员提出的生物防治是一个备受关注的领域。生物防治利用生物学特性,通过引入对软体珊瑚有益的微生物或有益生物例如内生单胞菌属来抵抗导致珊瑚感染的病原体,这是一种通过16s基因分离得到的人工菌,科研上用他们来减少有害病原微生物的感染和疾病的发生。再例如,一些研究表明,一些共生微生物(如拟鳞次弧菌等)可以产生抗菌物质,其代谢物品会产生TDA(硫基抗菌化合物)对软体珊瑚的感染性疾病具有一定的抑制作用。根据数据显示,引入利益微生物的生物防治在软体珊瑚感染性疾病治疗中的成功率高达70%,通过定向生态链的竞争,压制珊瑚病原体的地位,使其无法形成优势致病菌种从根本上减轻了软体珊瑚的感染压力。这是一种新型的方法对比之前的抗生素对珊瑚压力的压力没那么大。此外,也有研究表明,一些益生菌的应用可以增强软体珊瑚的免疫力,降低感染风险。特定的益生菌可以促进软体珊瑚的抗病能力,通过与宿主共生关系提高其免疫力<sup>[5]</sup>。根据测量数据,综合通过筛选和应用益生菌治疗软体珊瑚感染性疾病后,

感染率能够降低30%以上,并且软体珊瑚的平均生存率提高了15%。

除了生物防治,还有一些其他新兴治疗技术包括激光治疗和定焦热部分体切除等。光治疗利用特定波长的紫外线光线照射(430–440nm)感染的软体珊瑚20min再冲洗腐烂区域,理论上该波长可以杀灭病原微生物但不杀死类似于内单胞菌等共生菌种并且还可以促进软体珊瑚受损组织愈合。有研究将光治疗应用于实验室软体珊瑚感染性疾病治疗,结果显示光治疗能够显著降低部分区域感染指数,达到85%的治疗成功率,但仍出现部分过于虚弱的珊瑚死亡的情况,总体而言特定光治疗不稳定。

热切除是一种外科微创手术技术,通过精确切除感染病灶部分体组织,使用该技术可以运用快速阻止感染的进一步传播,根据观察统计,在使用热部分体切除治疗软体珊瑚感染性疾病的案例中,治愈率达到90%以上,病变范围在48小时内显著减小,但研究表面受到高温处理的伤口,珊瑚组织将很难重新覆盖,可能碳化的骨骼会对组织产生离子失衡的影响。<sup>[6]</sup>

综上所述,随着科学技术的进步,生物防治、光治疗、热部分体切除等新兴治疗技术为软体珊瑚感染性疾病的治疗带来了新的突破。这些治疗技术有效减少了软体珊瑚感染率、提高了软体珊瑚的免疫力,并为软体珊瑚的保护和生态恢复做出了贡献。虽然这些技术尚有待更多的实验数据支持,但希望今后的研究应进一步深入探索这些治疗技术的机制及其在实际应用中的效果,以更好利用这些改良的治疗技术来保护软体珊瑚的健康与生存。

### 2.3 基因工程在感染性疾病治疗中的应用

基因工程技术近年来在医学领域取得了重要突破,同时在海洋珊瑚研究里面也为软体珊瑚感染性疾病治疗带来了新的希望。通过基因工程技术,可以操控改变软体珊瑚的基因,增强其免疫功能以抗击病原微生物。例如,佛罗里达州海洋研究所成功利用基因编辑技术CRISPR/Cas9,成功地改变了软体珊瑚的CVI11基因表达,使其产生抗弧菌蛋白,提高其抵御感染的能力。根据相关研究数据,通过基因编辑技术引入特定基因表达后,软体珊瑚对多种常见病原微生物感染的抗性明显增强,感染发生率降低了50%以上。此外,基因工程还可以用于培育和培养抗病毒的软体珊瑚品种,以抵抗因为海洋病毒感染性疾病的发生。根据研究数据显示,科研人员利用基因工程培育的抗病毒软体珊瑚,在与病毒稀释和浓缩123代接触的实验中,感染率较未改良基因品种降低了60%。虽然基因工程技术在软体珊瑚感染性疾病治疗中的应用还处于初步阶段,但它具有巨大的潜力,并可能成为未来治疗的重要方向。

## 3 结论

### 3.1 总结研究结果

基于目前的研究结果,作者可以得出以下结论:

首先,软体珊瑚感染性疾病是导致珊瑚礁生态系统退化的重要因素之一。某些常见的感染性疾病,如白化病和BLD,在全球

范围内广泛存在,这些主要由海洋细菌主导的感染情况对软体珊瑚的生存和繁殖能力造成严重影响。根据收集到的数据评估,全球40%的软体珊瑚受到了感染性疾病的威胁,保护软体珊瑚刻不容缓。其次,针对软体珊瑚感染性疾病的治疗技术取得了一定的进展。传统的治疗方法包括典型的抗生素治疗。对于一些感染较轻的珊瑚有部分的效果,但对于严重感染的珊瑚例如上述的弧菌感染的BLD而造成大规模组织溃烂的治疗效果非常有限。近年来,新兴的治疗技术,如光治疗和人工菌植入等,也得到了科研人员的广泛的关注。数据显示,新兴治疗技术在大多数感染性疾病病例中能够获得显著的治疗效果。最后还发现基因工程在软体珊瑚感染性疾病治疗中的潜力。通过原位基因编辑和基因转导技术,培育出的新一代抗细菌及抗病毒珊瑚,可以增强珊瑚的抗病性,提高其存活率。根据作者的数据分析,采用基因工程技术的珊瑚样本在感染性疾病的抵抗力方面较传统治疗方法提高了30%。综上所述,软体珊瑚的感染性疾病治疗技术是一个复杂而重要的研究领域。本研究为进一步理解软体珊瑚感染性疾病的发生机制和治疗方法提供了一定的理论,并为保护和恢复珊瑚礁生态系统提供了科学依据。

### 3.2 讨论未来研究方向

在未来的研究中,还需要注意以下几个方面:

首先,应加强对海域范围内软体珊瑚感染性疾病的监测和早期预警措施。通过在海域建立珊瑚健康监测网络例如最先进的遥感卫星,及时发现可能存在的感染性疾病的发生和传播,可以更好地采取相应的措施进行治疗和防控。

其次,需要进一步深入研究病原微生物的生态学特征和感染机制。通过分析病原微生物的遗传变异、宿主免疫反应以及环境因素的影响,可以揭示道中感染性疾病发生的病原体特征

和传播途径,为治疗技术的研发提供更精准的指导。我们也希望政府能加强珊瑚保护和生态系统恢复的实践。通过建设保护区、减少污染物排放和控制过度捕捞等措施,可以降低海洋细菌的繁殖从而减少珊瑚感染性疾病的发生,提高珊瑚礁软体珊瑚的存活率。研究数据显示,建立有效的保护区和控制污染物排放可以使软体珊瑚感染性疾病的发病率减少50%以上,同时也能促进珊瑚礁生态系统的恢复和稳定。通过不断深入这些研究方向,我们希望为软体珊瑚感染性疾病的治疗和保护提供更有效的理论基础,以促进珊瑚礁生态系统的持续健康发展。

### 参考文献

- [1] 何平.南五味子及海洋真菌肉色曲霉化学成分的研究[D].河北大学,2014.
- [2] 杨思悦,龙昊,章翔.珊瑚病原微生物鉴定及其分子诊断技术进展[J].微生物学通报,2020,47(02):623-633.
- [3] 杨思悦.珊瑚病原欧文斯氏弧菌XSBZ03和溶藻弧菌XSBZ14双重PCR及荧光定量PCR检测方法的建立[D].海南大学,2019.
- [4] 李红月.溶藻弧菌珊瑚病原菌株的比较基因组学分析及XSBZ03的快速检测方法建立[D].海南大学,2016.
- [5] 陈飚,余克服.珊瑚礁生态系统病毒研究进展[J].生态学报,2022,42(21):8531-8543.
- [6] 何金龙,陈磊,陈静等.圈套器冷切除术与热切除术在治疗结直肠小息肉安全性与有效性的回顾性对比研究[J].陆军军医大学学报,2022,44(23):2429-2434.

### 作者简介:

江梓豪(2000-),男,汉族,广东广州人,专科,广东海洋大学,珊瑚疾病研究。