

植物修复技术在近海污染治理中的研究与应用

夏立群, 张红莲, 简纪常, 鲁义善

(湛江海洋大学水产学院, 广东 湛江 524025)

摘要 对国内外有关近海污染的植物修复技术研究进展进行综述, 简述植物修复的 6 种作用机理, 阐明植物修复对海水养殖富营养化、石油等有机物污染、赤潮、近海重金属污染以及污水净化的作用。最后指出应用植物修复技术治理近海污染具有以下优点: ①对人类和海洋环境副作用小、生态风险小, 易于为人们接受; ②易于后处理, 不会形成二次污染, 很少有废物和排放物, 遗留问题少; ③具有一定的生态景观效应; ④生物量大。

关键词 植物修复; 近海污染; 海洋植物

中图分类号: X55 文献标识码: A 文章编号: 1004-693X(2005)01-0032-04

Study on the application of phytoremediation technology to the treatment of wastewater in the coastal sea

XIA Li-qun, ZHANG Hong-lian, JIAN Ji-chang, LU Yi-shan

(College of Aquaculture, Zhanjiang Ocean University, Zhanjiang 524025, China)

Abstract The phytoremediation technology applied to coastal water treatment in China and abroad is reviewed. Six mechanisms of phytoremediation are outlined. The phytoremediation technology is useful in alleviating eutrophication caused by marine cultivation, reducing pollution of oil and other organic substances, controlling red tide and pollution of heavy metal, and purifying wastewater. The advantages of the phytoremediation technology in coastal pollution abatement includes: 1. it is acceptable to people because of its slight side effect for human and marine environment and its small ecological risk; 2. its post treatment is easy, and with little wastes, emissions, and problems left, it won't cause secondary pollution; 3. it contributes to ecological landscaping; 4. its output is large.

Key words phytoremediation; coastal sea pollution; marine plants

1 近海污染的严峻现状

海洋污染已经成为威胁人类的十大环境祸患之一。根据 2002 年联合国环境规划署发布的《全球环境展望 - 3》, 在过去的 30 年中, 全球沿海和海洋环境持续退化, 海洋污染不断加剧, 尤其是近海污染问题日益严重。目前全球面临的主要近海污染问题是石油等有机物污染、富营养化、赤潮、重金属污染、非降解垃圾污染以及放射性污染等。近海污染已对人类产生了巨大危害。

在我国, 随着近年来沿海地区人口的急剧增加、

工农业和海洋养殖业的迅速发展、大量人工合成污染物的不合理排放, 近海污染范围不断扩大, 海域污染事件频繁发生, 海洋环境污染的形势不容乐观。《2003 年中国海洋环境质量公报》显示, 在全海域总体污染趋势有所减缓的同时, 我国近岸海域污染依然严重, 严重污染海域主要分布在鸭绿江口、辽东湾、渤海湾、长江口、杭州湾、珠江口等局部水域。我国近海污染物普遍以氮、磷、油类为主, 局部海区以有机氯农药、重金属为主。富营养化是我国近岸海域面临的主要环境问题。由于营养盐污染和有机污染逐年加重, 20 世纪 90 年代以来我国近海赤潮发

作者简介: 夏立群 (1976—), 女, 安徽太和人, 硕士研究生, 助教, 主要研究方向为水生植物恢复生态学及水生植物遗传多样性. E-mail: xliq101@yahoo.com.cn

生频率、面积、区域和损失都大为增加,2003年共发生赤潮119起。近年来,我国沿海因赤潮灾害造成的直接经济损失已达上百亿元^[1]。

2 植物修复技术的作用机理

随着对近海污染危害的认识,人们开展了各种近海污染防治技术的相关研究及其应用,其中植物修复技术在治理近海污染中开始崭露头角。植物修复(Phytoremediation)是指利用植物转移、容纳或转化污染物,使其对环境无害,使污染环境得到修复与治理^[2]。植物修复技术作为一项新兴的技术,自20世纪80年代后期提出以来短短十几年时间,便得到了广泛的认同和应用。目前植物修复技术的研究正在防治水体、土壤和空气污染领域迅速兴起。研究证明植物修复技术可用于污染环境中的有机污染物、重金属、放射性核素等的生物修复去除,为近海污染防治与修复提供了新途径。

植物修复的作用机理可分为以下6种:

a. 植物提取(Phytoextraction)。指应用可积累污染物的植物将环境中的金属或有机物污染物转运、富集于植物易于收集的部分。

b. 植物转化(Phytotransformation)。指植物从土壤、水体等污染环境中吸收富营养化污染物或有机污染物,并通过植物体的代谢过程来降解污染物,将污染物部分或完全降解或结合进植物组织内,从而使污染物变得无毒或毒性较以前减小。

c. 植物固定(Phytostabilization)。是指利用植物降低污染物质在环境中的不稳定性和生物可利用性,防止污染物进入地下水或食物链,降低污染物对生物的毒性。

d. 根际生物修复(Rhizosphere bioremediation)。又称植物激活或植物支持的生物修复(phytostimulation or plant-assisted bioremediation),是指植物根系及其根际微生物释放酶、有机酸等物质,对污染物质进行溶解、螯合、吸收或降解。

e. 植物挥发(Phytovolatilization)。是指应用植物将挥发性污染物或其代谢产物吸收并挥发到大气中,从而清除土壤或水中的污染。

f. 根际过滤(Rhizofiltration)。是指利用植物根部从水中或废水中吸收、富集和沉淀重金属、有机物等污染物,从而达到消除环境污染的目的。

3 近海污染植物修复的国内外研究进展

对于近海污染的植物修复而言,主要是利用丰富的海洋植物来发挥其生物修复作用。海洋植物一般分为浮游植物、大型海藻、海洋种子植物3类,共

1万多种。目前在近海污染的植物修复中,研究最多的是大型海藻和红树植物。

近几年,国内外主要致力于研究植物修复在海水养殖富营养化的治理、石油等有机污染物的治理、赤潮的防治、重金属污染的清除和沿海水质恶化的防治等海洋污染领域中的机理与应用,总体而言,在治理海水养殖富营养化方面的研究最多。

3.1 海水养殖富营养化的植物修复

人们在海水养殖富营养化的治理研究过程中,发现大型海藻是海洋环境中非常有效的生物过滤器。将海藻与鱼虾贝类共养不仅可以提供资源,还有助于解决鱼虾贝类养殖中产生的富营养化问题,这一点引起了全世界科研人员的关注并开展了很多相关研究。近十几年来,国内外不但对海藻与鱼虾贝类共养进行了许多定性、定量的研究,还根据研究结果提出了综合养殖理论,并应用该理论进行了综合养殖体系的构建与实际应用。

江篱属(*Gracilaria*)海藻是国内外研究较多的一类修复植物。国外科研人员发现*Gracilaria tenuistipitata*、*Gracilaria verrucosa*、*Gracilaria chilensis*等江篱属植物可以利用鱼类养殖过程中产生的废物作为营养源,从而降低养殖水域中的氮磷浓度,对海水富营养化有很大的改善,而单位水体养殖的经济效益也有所提高^[3-5]。我国科研人员对细基江篱繁枝变种(*Gracilaria tenuistipitata* var. *liui*)与纹缟虾虎鱼、脊尾白虾、中国对虾、刀额新对虾、中型新对虾、锯缘青蟹、马氏珠母贝等多种养殖动物进行了共养研究,结果表明混养江篱可以吸收CO₂和鱼虾贝类的代谢废物,具有显著的增氧效果,改善养殖水质,稳定水体pH值,提高了单位养殖水域的经济效益^[6,7]。

除江篱属海藻外,对紫菜属(*Porphyra*)和石莼属(*Ulva*)海藻的植物修复作用也研究较多,此外对海带属(*Laminaria*)、角藻属(*Fucus*)、麒麟菜属(*Eucheuma*)和浒苔属(*Enteromorpha*)海藻及红树等海洋植物的植物修复作用也进行了研究与探讨^[8,9]。从经济效益考虑,在海水养殖富营养化的植物修复中,可食用或可用作工业原料的、养殖技术成熟的海洋养殖藻类更受青睐。

通过研究,科学家们认为通过栽培江篱、紫菜、石莼等大型海藻可以真正意义上消除营养负荷,植物修复效果非常明显,是减轻海水养殖富营养化的一种有效途径。在此基础上,科学家们提出了综合养殖理论,并开展了一系列综合养殖系统(integrated aquaculture systems)、再循环养殖系统(recirculating aquaculture system)的筛选、构建、研究与实际应用,发现与单一养殖相比,海藻可减少排放到环境中的营养

物质,增加养殖体系的可持续性,减少养殖用水量,降低对环境的负面影响,保持稳定安全的水质条件。

3.2 石油等有机物污染的植物修复

石油污染是目前最主要的海洋污染,而多环芳烃(PAHs)、多氯联苯(PCBs)等持久性有机污染物(POPs)的危害也很广泛,目前国内外应用植物修复技术治理石油等有机物所造成的海洋污染的研究也正在兴起。庄铁诚等^[10]、Ke等^[11]和Tam等^[12]的研究发现,红树及其根部微生物所构成的红树微生态系对石油、PAHs、PCBs和农药等有机物污染有着良好的修复潜力。与无红树微生态系相比,红树微生态系可更高效和更快速地降解柴油、农药甲胺磷和萘,并能对石油污染产生的PCBs和PAHs进行高浓度富集。

除红树植物外,关于大型海藻对石油污染的植物修复也有所研究,Radwan等^[13]在多种大型海藻上发现附有大量的石油分解细菌,这些大型海藻和细菌共同作用可有效降解石油污染物。

3.3 赤潮的植物修复

不少学者认为通过栽培大型海藻可有效防治赤潮。汤坤贤等^[14]对细基江篱繁枝变种对赤潮的消亡和水质的影响进行了研究,结果表明,江篱可以加速中肋骨条藻赤潮的消亡,减轻赤潮生物死亡腐败对水体的污染,避免赤潮消亡后水体出现缺氧,减轻赤潮对环境的损害。

国内外研究还发现一些海藻及其提取物对赤潮微藻具有除藻作用。如小珊瑚藻、孔石莼、石牙藻、小海带、褐藻昆布及其提取物对多环旋沟藻等多种赤潮微藻的生长具有抑制作用,可以使赤潮微藻运动性降低、细胞变形并破裂^[15,16]。

3.4 近海重金属污染的植物修复

在近海重金属污染的植物修复方面,对红树植物吸收富集重金属污染物的研究较多。研究发现红树植物对铅、汞、镉、铜、锌等重金属有相当程度的吸附及固定作用,还具有吸收某些放射性物质的作用,可有效地净化沉积物中的重金属,而所富集的重金属70%~90%储存在不易被动物消耗的根和树干部分,利用红树植物净化海域重金属污染是一种投资少而可行的治理途径^[17,18]。此外一些海藻对铜、镉、镉、铅、镍、锰等重金属也有一定的吸收积累作用,如三角褐指藻对铅、镍具有较高的耐受力,海蒿子对砷和镉具有超富集能力,对锰、镍、铜和铅也有较强的富集能力,海带对砷的富集作用也很强^[19]。

3.5 污水的植物修复

污水排放是近海海域水质不断恶化的原因之一,研究证明海洋植物不但可以用于富氮污水的净化,还可用于农业、养殖业和工业污水的处理。随着

保护海洋生态的迫切需要,海藻、红树植物在防治沿海水质的进一步恶化方面得到应用并正在兴起。刘玉、缪绅裕等研究发现红树林系统能有效包陷污水藻类,对污水具备较强抗性,对人工污水中氮的净化效果较好,因此用于处理人工污水的可行性较大^[20,21]。Jones等^[22]还利用大型海藻*Gracilaria edulis*和牡蛎组成的生物过滤体系,大大改善了日本对虾养殖场排放污水的水质,使细菌浓度、叶绿素a和总悬浮颗粒都明显减少。

4 植物修复技术治理近海污染的应用前景

植物修复作为一门新兴技术,由于其具有明显的生态效益、经济效益和景观功能,商品化的植物修复系统已被应用于污染水体、土壤和沉积物的治理,其在近海污染修复方面也显现了广阔的应用前景。应用植物修复技术治理近海污染具有以下优点:①绿色安全。对人类和海洋环境副作用小、生态风险小,不必担心二次污染等问题,易于为人们接受。②易于后处理。不会形成二次污染,很少有废物和排放物,遗留问题少。③具有一定的生态景观效应。在对海洋污染进行植物修复的同时,红树植物、大型海藻等海洋植物还能缓解近岸海域生境恶化、改善生态系统结构失衡、减轻近岸海域生态压力。④生物量大。海洋植物作为海洋中的初级生产力其生物量是相当巨大的。

参考文献:

- [1] 关道明, 战秀文. 我国沿海水域赤潮灾害及其防治对策[J]. 海洋环境科学, 2003, 22(2): 60~63.
- [2] Cunningham S D, Shann J R, Crowley D R, et al. Phytoremediation of contaminated water and soil. Phytoremediation of Soil and Water Contaminants[M]. USA: American Chemical Society, 1997. 2~17.
- [3] Haglund K, Pedersen M. Outdoor pond cultivation of the subtropical marine red alga *Gracilaria tenuistipitata* in brackish water in Sweden: Growth, nutrient uptake, co-cultivation with rainbow trout and epiphyte control[J]. Journal of Applied Phycology, 1993, 5: 271~284.
- [4] Cuomo V, Merrill J, Palomba I et al. Mariculture with seaweed and mussels for marine environmental restoration and resources production[J]. International Journal of Environmental Studies, 1997, 52(4): 297~310.
- [5] Buschmann A H, Troell M, Kautsky N, et al. Integrated tank cultivation of salmon and *Gracilaria chilensis* (Gracilariales, Rhodophyta)[J]. Oceanographic Literature Review, 1997, 44(3): 257~257.
- [6] 王焕明. 藻虾混养的研究 I: 江篱与新对虾、青蟹在鱼塘中混养的试验[J]. 海洋湖沼通报, 1994(3): 52~59.

[7] He L H ,Wu M ,Qian P Y ,et al. Effects of co-culture and salinity on the growth and agar yield of *Gracilaria tenuistipitata* var. *liui* zhang et al. [J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology 2002 20(4) 365 ~ 370.

[8] Yarish C ,He P ,Carmona R ,et al. The aquaculture of *Porphyra Leucosticta* (Rhodophyta) for an integrated rinfish/seaweed recirculating aquaculture system in an urban application [J]. Journal of Phycology 2002 38(1) 39.

[9] Martinez-Aragon J F ,Hernandez I ,Perez-Llorens J L ,et al. Biofiltering efficiency in removal of dissolved nutrients by three species of estuarine macroalgae cultivated with sea bass (*Dicentrarchus labrax*) waste waters 1. Phosphat [J]. Journal of Applied Phycology 2002 14(5) 365 ~ 374.

[10] 庄铁诚 ,张瑜斌 ,林鹏. 红树林土壤微生物对甲胺磷的降解 [J]. 应用与环境生物学报 2000 6(3) 276 ~ 280.

[11] Ke L ,Wang W Q ,Wong T W Y ,et al. Removal of pyrene from contaminated sediments by mangrove microcosms [J]. Chemosphere 2003 51(1) 25 ~ 34.

[12] Tam N F Y ,Yao M W Y. Concentrations of PCBs in coastal mangrove sediments of Hong Kong [J]. Marine Pollution Bulletin 2002 44(7) 642 ~ 651.

[13] Radwan S S ,Hasan R H ,Salamah S ,et al. Bioremediation of oily sea water by bacteria immobilized in biofilms coating macroalgae [J]. International Biodeterioration and Biodegradation , 2002 50(1) 55 ~ 59.

[14] 汤坤贤 ,袁东星 ,林泗彬 ,等. 江篱对赤潮消亡及主要水质指标的影响 [J]. 海洋环境科学 2003 22(2) 24 ~ 27.

[15] Jeong J H ,Jin H J ,Sohn C H ,et al. Algicidal activity of the seaweed *corallina pilulifera* against red tide microalgae [J]. Journal of Applied Phycology 2000 12(1) 37 ~ 43.

[16] Nagayama K ,Shibata T ,Fujimoto K ,et al. Algicidal effect of phlorotannins from the brown alga *Ecklonia kurome* on red tide microalgae [J]. Aquaculture 2003 218 601 ~ 612.

[17] 郑文教 ,林鹏. 深圳福田白骨壤红树林 Cu ,Pb ,Zn ,Cd 的累积及分布 [J]. 海洋与湖泊 1996 27(4) 386 ~ 393.

[18] 郑逢中 ,林鹏. 红树植物秋茄幼苗对镉耐性的研究 [J]. 生态学报 1994 14(4) 408 ~ 414.

[19] 康士秀 ,沈显生 ,黄宇营 ,等. 青岛藻重元素富集特性的 SR-XRF 分析及对海洋环境监测的应用 [J]. 光谱学与光谱分析 2003 23(1) 94 ~ 97.

[20] 刘玉 ,陈桂珠 ,缪绅裕. 深圳福田红树林系统藻类生态及系统净化功能研究 [J]. 环境科学研究 1994 7(6) :29 ~ 34.

[21] 缪绅裕 ,陈桂珠. 人工污水对温室中秋茄苗光合速率的影响 [J]. 环境科学学报 1997 10(3) 41 ~ 45.

[22] Jones A B ,Preston N P ,Dennison W C. The efficiency and condition of oysters and macroalgae used as biological filters of shrimp pond effluent [J]. Aquaculture Research ,2002 ,33(1) :1 ~ 19.

(收稿日期 2004-05-31 编辑 傅伟群)

(上接第 31 页) 干渠水温回升率在 0.04 ~ 0.13℃ 之间 ,左岸直干渠及锡陂灌区干渠沿程水温在水稻生育期的月平均值均低于水稻生长所需的最低水温 ,对于上述两个灌区采用干渠取水灌溉的农田而言 ,其农业增产效益会受到较大的影响 ,必须采取相应的调温措施。郑公陂灌区渠首水温年平均值在 17.3℃ 左右 ,比天然水温低 1.8℃ ,水稻生育期水温平均值在 20.5℃ 左右 ,比天然水温低 2.8℃ ,3 ~ 10 月份的月平均水温均能保证不低于水稻生长所需的最低水温。在坝址下游 10 km 断面(老联陂) ,由于受袁河支流半山水汇入的影响 ,各月平均水温与建库前天然水温相差不超过 0.3℃ ,因此老联陂灌区及其下游的座陂灌区和五一陂灌区的水温受水库下泄低温水的影响很小 ,水温能满足农田灌溉的要求。

4 对策措施

由以上分析可知 ,山口岩水库灌区灌溉水温偏低 ,将对水库灌溉功能的增产效益产生较大的影响 ,可考虑采取如下对策措施 :

- a. 在工程设计时 ,应考虑采用分层取水措施。
- b. 合理利用水库洪水调度运行方式 ,采用放空

洞泄洪 ,改善库区水体水温结构。汛期(6 月前) 来水流量大 ,紊动较强 ,利用放空洞排出库底低温水体 ,可以较大程度改善水温的垂向结构 ,且通过放空洞下泄的水体通过挑流消能 ,将水流散射到空中 ,产生水流的撞击作用 ,增加水体与空气的接触面积 ,吸收太阳辐射 ,可有效促使泄流水体升温。

c. 尽量采用宽浅式过水断面的灌溉渠道 ,以利于灌溉水体水温上升。

d. 可结合灌区水土保持设计沿渠植树 ,既防止水土流失 ,又可形成防风林 ,减少风对渠道水温的降温影响。

e. 采用田间调温措施。设置田间迂回加温水渠、加温池和升温田 ,在渠道适当位置修建加温池 ,同时充分利用休耕水田或田间池塘来作加温水池 ,从渠道引来的低温水在这种加温池或加温田中停留一段时间 ,待水温提高以后再进行灌溉。

参考文献 :

[1] SL278—2002 水利水电工程水文计算规范 [S].

[2] 刘仲桂. 水库水温与水稻丰产灌溉 [M]. 北京 : 水利电力出版社 ,1985. 100.

(收稿日期 2003-06-23 编辑 徐 娟)