

海水养殖技术资料汇编 第七十辑

养殖环境的 水质与管理（四）

中国科学院海洋研究所科技情报研究室

2002年2月 青岛

(以下资料可以来函复印, 或通过 Email: ocinfor@ms.qdio.ac.cn)

2001 年养殖环境的水质与管理专题文献题录

- 水产养殖多环境因子的计算机监控系统 / 潘天红等 (江苏理工大学电气信息工程学院) // 渔业现代化. —2001, 21(4): 28~31
- CaCl₂、NaHCO₃ 和盐酸降 pH 的效果及其对水质的影响 / 申屠青春等 (青岛海洋大学国家教育部水产养殖开放实验室) // 海洋与湖沼. —2000, 31(2): 53~61
- 半封闭虾池中二氮与溶解氧含量关系的数学模型 / 李兰生等 (青岛海洋大学) // 海洋湖沼通报. —2000(1): 52~58
- 对虾养殖池沉积环境中 TOC、TP、TN 和 pH 及质量评价模型 / 袁有宪等 (中国水产科学研究院增殖环境优化与污染控制重点开放实验室) // 水产学报. —2000, 24(3): 247~253
- 鱼类、河蟹类“三网”养殖对水环境的影响分析 / 张建洋, 尹 维 (苏州市渔政管理站) // 现代渔业信息. —2000, 15(3): 22~24
- 水族馆与养鱼工厂人造水体的净水微生物 / 丁永良 (中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所) // 现代渔业信息. —2000, 15(10): 6~10
- 辽宁近海浮游植物与夜光藻赤潮的关系 / 董 婧等 (辽宁省海洋水产研究所) // 水产科学. —2000, 19(1): 17~20
- 日本养殖渔场赤潮的现状、发生机理及防除对策 / 方荣楠 // 渔业现代化. —2000(5): 24~25
- 海水养殖池海洋原甲藻水华前后水化条件的变化 / 徐永健等 (青岛海洋大学水产学院) // 海洋湖沼通报. —2000(1): 41~46
- 胶州湾中肋骨条藻赤潮与环境因子的关系 / 霍文毅等 (中国科学院海洋研究所) // 海洋与湖沼. —2001, 32(3): 311~317
- 卤虫在油田生产水生物毒性监测中的应用 / 湛 波等 (湛江市霞山区科技文化局) // 湛江海洋大学学报. —2001, 21(3): 24~28
- 膜式氧合器不同解吸方式对水产养殖水体中氨氮去除效果的影响 / 成晓云等 (四川大学工程力学系) // 中国水产科学. —2001, 8(1): 77~80
- 以选择性电极及分光光度计法测定养殖系统中之氨-氮、亚硝酸-氮及硝酸-氮之比较 / 黄美莹等 (行政院农委会水产试验所) // 养鱼世界(台湾). —2001(7): 14~24
- 长山群岛周边海域水质监测分析 / 郑 莉, 张 进 (大连市长海县环境监测站) // 水产科学. —2000, 19(3): 33~34
- 养殖水体富营养污染与防治 / 谢 伟 (安徽马鞍山市向山区水产站) // 内陆水产. —2001(3): 32~33
- 移动式水车增氧机介绍 / 唐成云 (四川省水产学校) // 渔业现代化. —2000(1): 32, 13
- 新型消毒剂二氯海因在水产养殖中的应用 / 郑宗林等 (湖南晶天科技实业有限公司) // 水产科技情报. —2001, 28(6): 261~262
- 广东沿海夜光藻赤潮的生态模式研究 / 钱宏林 // 海洋与渔业. —2001(10): 15~19
- EM 对水质和鱼苗养殖的改善 / 黄文芳等 (华南师范大学生物系) // 水产科技. —2001(1): 22~23
- 井盐水池塘中国对虾与尼罗罗非鱼混养的研究 / 靳翠丽等 (大连水产学院养殖系) // 大连水产学院学报. —2001, 16(4): 280~286

用不同品牌的斑节对虾饲料与养虾池水质和浮游生物的关系研究 / 湛 波, 吴琴瑟(湛江霞山区科委) // 水科科技. —2001(3):18~19

河口区斑节对虾淡化养殖塘水化学状况与水质管理模式 / 臧维玲等(上海水产大学渔业学院) // 中国水产科学. —2001, 8(4):73~78

厦门市潘涂虾池一次简单裸甲藻 (*Gymnodinium simplex* Lohmann) 赤潮的调查/郭 丰等(厦门大学海洋学系) // 厦门大学学报. —2001, 40(1):98~102

从细菌学的观点来谈养殖池中的硝化作用 (1~2) / 柯清水 // 养鱼世界(台湾).—1999(11-12):14-18;19-23

三毛金藻的危害及其防治 / 孙清秀(滨州市水产研究所) // 齐鲁渔业.—2001,18(5):5

缓解养殖用水的新途径 / 李红梅(河北省邯郸市水产技术推广站) // 河北渔业.—2001(5):18

*精养鱼池的水质与调控技术……周月秀 ()

目 录

关于渔业环境监测的探讨·····	刘思远 (1)
威海湾养殖水域环境监测及其分析·····	单志欣等 (3)
关于水产养殖容量的研究·····	刘剑昭等 (5)
贝藻混养技术在我国海水养殖中的应用与研究·····	王德利 (7)
微生物在海洋污染环境中的生物修复作用·····	郑天凌等 (10)
固定化微生物技术及其在闭合循环养殖系统水处理中的应用·····	李辉华等 (20)
海水养殖环境生物修复技术研究展望·····	李秋芬, 袁有宪 (23)
养殖水体的有机物负荷及其减轻对策·····	姜 红等 (26)
养殖水体营养状态及自净能力的分析·····	王 宪等 (28)
移植川蔓藻对育苗用海水净化作用的研究·····	朱庆亮等 (32)
海水养殖对浮游生物群落和水环境的影响·····	陈应华等 (36)
水产养殖业的水处理技术综述·····	周 华, 孙建岐 (39)
池塘循环海水高效养殖技术探索·····	施福生, 吉红九 (42)
循环水养殖系统之介绍 ·····	陈瑶湖 (45)
工厂化养殖智能管理的初步研究·····	郭仲仁等 (51)
室内循环水技术开发与台湾养殖前景关系 (I-II) ·····	(54)
我国工厂化养殖水处理系统模式初探·····	黄聪年 (61)
水处理技术在水产养殖中的应用·····	潘厚军 (64)
水产养殖生产中水质的监测与控制·····	刘梦霞, 刘 岗 (67)
地下卤水、盐水和地表咸水在水产养殖中的应用问题 ·····	史为良 (73)
简论海水养殖池塘生态之特点·····	徐启家等 (76)
生态集成水处理系统处理虾池污水的应用与构想 ·····	刘 匆 (79)
养殖生态环境的建设与防病 ·····	吕军仪等 (81)
微生态制剂及其在集约式水产养殖业中的应用·····	毕永红, 王 武 (84)
微生态制剂在甲壳动物养殖中的应用研究·····	李 健等 (87)
微生态学 and 微生态制剂·····	刘锡梧, 刘奕明 (93)
养殖生态环境的优化措施·····	叶海斌等 (95)
养殖水体氯化处理的毒副作用及含氯药物应用评价·····	姜礼燮等 (98)
养殖水体氨氮去除的固定化微生物技术 ·····	李 谷等 (101)
二氧化氯对海水循环系统中生物滤器硝化作用的影响·····	罗国芝等 (108)
二氧化氯在海洋馆水处理中的应用研究·····	张饮江等 (112)
臭氧特性及对水质的净化作用·····	孙广明等 (115)
臭氧在水产养殖上的利用·····	刘俊宏, 叶信平 (120)
臭氧在水族维生系统之应用 ·····	陈明辉等 (124)
臭氧水处理在水产养殖中的应用研究·····	陈淑吟等 (134)

用臭氧处理海水对鱼虾的急性毒性效应研究·····	姜国良等 (137)
运用固定化硝化细菌从回流养殖系统中将氨氮移除·····	柯清水 (139)
温度、盐度和 pH 对生物过滤器去除氨氮效率的影响·····	鲍 鹰, 相建海 (149)
强氯在水产育苗养成中的应用·····	(151)
浅析化学增氧剂对越冬精养池的作用·····	苏文清等 (152)
养殖水质分析与控制(三)化学需氧量·····	单志欣 (153)
分光光度法分析水化因子时应注意的几个问题·····	薛永刚 (154)
生物制剂在水产养殖上之利用·····	张文重 (156)
海水苗种生产中的水质处理方法·····	崔兆进等 (162)
神克隆菌在水产养殖上的应用·····	田宝凤, 赵明森 (163)
活力菌在养殖环境改良中的作用·····	何义进 (165)
养虾池半精养封闭式综合养殖容量实验研究·····	刘剑昭等 (167)
对虾池的放养密度对浮游生物群落的影响·····	卢 静等 (172)
对虾养殖池生态环境的人工调控及其特征·····	曲克明等 (178)
同安湾潘涂对虾养殖垦区不同形态磷的含量与动态·····	郭 丰等 (186)
即墨养虾池虾病暴发前期浮游动物动态的研究·····	刘光兴, 张志南 (191)
虾池环境生物修复作用菌生长影响因子的研究·····	李秋芬等 (196)
杏林虾池综合养殖系统主要环境因子的变化·····	方志山等 (201)
养殖环境对对虾生长及病原体传播的影响·····	林荣根 (206)
滤食性贝类在对虾综合养殖生态系统中的作用·····	吴桂汉等 (210)
赤潮及其防治途径·····	毕远溥等 (215)

信息与简讯

影响青虾苗出塘运输成活率的关键因素(35) 海水无菌化装置(155) 新型养殖水质测定剂(155) 活性污泥法处理废水(155) 日本在养殖渔场周围海域底质调查出含有甲醛的毒性物质(162) 日本科学家发明活鱼针灸保鲜法(50) 封闭循环式养殖系统的新装置(162) 经济简捷的新型消毒方式(153) 活虾运输新方法(107) 臭氧技术在水产育苗中的应用(72) 臭氧处理水在水产业的应用(119) 挪威研制出鱼池水循环充氧系统(72) 蟹池内适宜种植水花生(124) 巴西鲷可作为保护渔业环境水域养殖对象(173)



关于渔业环境监测的探讨

刘思远

(广东省海洋与渔业环境监测中心)

中国广东省广州市海珠区同福东南村路10号 邮编:510222

【摘要】渔业环境监测是对渔业生态环境的污染和破坏现状及原因进行全面定量调查测试,对环境质量作出定量的科学评价的技术工作,是渔业环境保护技术的重要组成部分,是渔业生态环境管理的重要手段。本文作者围绕监测目的、监测对象、监测程序和技术、监测内容以及监测的质量要求等专题作简要的探讨。

刘思远,2000.关于渔业环境监测工作的探讨,《现代渔业信息》杂志,Vol.15, No.10,11-12, 13.

关键词:渔业环境 监测

由于未经处理工业废水的排放、船舶航运的溢油、漏油污染,使渔业水域受到不同程度污染,有的直接毒死水生生物,有的影响其生长繁殖而导致品种减少,水产品体内残留毒物增加,有些名贵经济鱼类洄游通道受阻,近海有些区域渔场外移或消失,滩涂水域出现不同程度荒芜等现象,除此,养殖业的快速发展和高密度养殖也引起了一系列生态负效应,加上大量生活污水的排放,大大超出生态环境承载力,缓冲力,使水体难于自净,结果养殖水域富营养化普遍加剧,变黑发臭、鱼虾绝迹的河涌有增无减,海域内湾和沿岸赤潮频频发生,养殖动物病害增多,病情日趋复杂化,这都反映渔业生态环境日趋恶化未能得到有效控制,对渔业的持续发展已构成威胁;因此,如何把渔业生产、资源与环境三者结合起来,运用生态学原理和系统科学的方法实现生态和经济的良性循环,避免渔业生态环境恶化而诱发区域性灾害的发生,是渔业生产和科技工作者急需研究解决的问题。

渔业环境监测是对渔业生态环境的污染和破坏现状及原因进行全面定量调查测试,对环境质量作

出定量的科学评价的技术工作,是渔业环境保护技术的重要组成部分,是渔业生态环境管理的重要手段;随着渔业生态环境管理工作的深化,环境监测工作愈来愈显示其重要性。

1. 监测目的

渔业环境监测范围很广、内容繁多,监测活动或任务都必须有明确的目的,监测的直接目的是准确测取、解释和运用渔业生态环境信息,它包括:

1.1. 定期或连续观察与定量测定水、水生生物和底质等的物理、化学和生物状态的一个或多个参数;

1.2. 检验和判断渔业环境质量是否符合国家和地方的质量标准,当发现超标时进一步追踪原因;

1.3. 对污染源进行定期的观察的监测,掌握污染源排放标准的执行情况以及污染物排放的动态变化,预报污染发展趋势。

2. 监测对象

渔业生态环境监测对象具有时空和量级上分布广、成分复杂随机多变、不易准确测量的特点,因此

必须选择特定内容为监测对象:

2. 1. 造成渔业生态环境污染和破坏的污染源所排放的各种污染因子;

2. 2. 渔业环境要素的各种参数或变量;

2. 3. 由于污染和破坏所产生的生态影响,包括产生的后果和二次污染影响。

3、监测程序和技术

当监测任务目的和对对象确定后,就需要一套完整的技术,按科学的程序来保证任务能有步骤地完成,它包括监测规划拟订、技术方案的选择、监测网络设计、质量控制手段、现场采样和实验室测试技术、数据分析处理和表达方法。

4、监测内容

按工作性质可分为两个方面:

4. 1. 例行监测(常规监测)

进行长期趋势监测,了解污染现状和发展趋势;进行超标监测,掌握超标信息;

4. 2. 专题监测

4. 2. 1. 污染事故调查和仲裁;

4. 2. 2. 为编制规划或环境评价;

4. 2. 3. 特殊需要的研究。

4. 3. 按监测内容可分为三个方面:

4. 3. 1. 水质监测;

在渔业生态环境中,水是最重要最活跃的因素,是生态系统中变化和运动最主要的一种物质运动,它含有各种无机物和有机物,此外还含有悬浮颗粒物和微生物等,在时空上具有巨大的变异性,为了获得一定时空范围内准确的分析数据,并使之具有可比性,需采用由国家技术监督局、国家有关权威机构颁布的标准分析方法,选择分析方法需考虑几个因素:方法的灵敏度高;抗干扰能力强;方法稳定、操作简单;方法易于普及;使用试剂毒性较小;常用的分析方法有:化学法(重量法、容量法和光度法);原子吸收法;等离子体发射光谱法;原子荧光法;离子色谱法;气相色谱法等;由于近代物理、数学、电子学和计算机等的急剧发展和应用,各学科相互渗透的监测分析方法以及不同分析方法的联合使用(如色谱—质谱联用等),计算机和分析仪器联机使用等,使监测分析自动化、连续化和数字化。

4. 3. 2. 生物监测;

生态环境质量优劣的最终判断在于生物的反

应,包括生物的形态特征、体内残留、遗传变异等;生物监测具有几个特点:

综合性:生态环境因素复杂,各种污染物之间不是孤立的,其毒性对生物的影响不是单因素作用的加合,而是存在协同拮抗作用,如浓碱具有很强的腐蚀性,氰是剧毒物质,但两者混合后碱性降低,毒性减弱;0.1mg/l的铬单独对生物无毒,但与砷、汞合在一起,毒性大增,因此只有生物监测才能反映出环境污染综合效应。

累积性:水中低浓度的污染物(尤其是难以降解的有机物或难以代谢排除的元素)如果仅取水样,监测分析数据是不易发现问题,但进入生物体后会在生物体内累积、富集(bio-enrichment),浓缩(bio-concentration),体内浓度大大超过水中的浓度,污染物在生物体内长期累积达到一定限度就会中毒,这种累积现象随着食物链中营养级的提高逐步增强(即生物放大—bio-magnification),如众所周知的水俣病发生地水俣湾(日本)当时水中汞含量极低,甲基汞通过食物链逐级富集:水→藻类→飞鳉→鱼贝,鱼贝体中甲基汞富集了上万倍,渔民吃了造成甲基汞中毒。

连续性

环境污染是连续的、变化的,生活在这种环境中的生物所受到的危害相应地表现出连续性、变化性、长期效应和污染物对环境污染的全貌。

敏感性

有些水生生物对污染物的敏感性很强,有机磷农药对水污染浓度只有 $10^{-6} \sim 10^{-5}$ mg/l,鱼类脑中的乙酰胆碱酯酶的活性受到抑制而出现中毒现象,但用仪器测定水样就必须预先浓缩才能测出。

4. 3. 3. 底质监测:

进入水体的化学物质,一般迅速沉积于水底,成为水底沉积物的组成部分,沉积物可看作是进入水体的多种化学物质特别是重金属的贮存库;因为水是流动的,水质组成变化较快,仅以水质监测数据来判断水环境质量状况是不能得出正确的结论,还要借助水底沉积物等的情况来判断水环境质量,根据不同时代、不同环境地区沉积物含的元素,特别是重金属的数量、形态和结合类型的差异,可揭示污染影响的历史过程,追踪污染物来源,判断水体水质状况和变化趋势。

(下转第41页)

威海湾养殖水域环境监测及其分析

单志欣 郑振虎 邢红艳 刘义豪 靳洋 刘晓波

(山东省渔业环境监测站,烟台 264001)

摘要 通过4个月的连续监测,分析了威海湾养殖水域的污染情况、养殖水质各项指标、浮游生物等情况,说明了诸多因素与养殖生产的关系,提出了存在的各种问题和改善养殖环境的建议。

关键词 养殖水质 环境污染 问题和建议

威海湾是威海市区最大的半封闭性内湾,水域面积约10万余亩,平均水深10 m。除拥有全市最大的商港、渔港、旅游码头、电厂外,其主要功能就是浅海养殖业,湾内筏式养殖占用水面约5万亩,养殖品种有海带、扇贝、牡蛎等,另有少量网箱养鱼。近几年由于海洋环境的变化,养殖病害流行,时有赤潮发生。

为了摸清养殖海域水质、环境情况,探索养殖与海洋环境相互影响、相互依存的关系,为养殖生产和病害防治提供科学依据,本文以1999年7~10月对威海湾养殖海域逐月连续监测资料为依据,提出分析意见和对策。

1 监测方法

1.1 站位设置 在威海湾养殖水域5~15 m水深范围内,共布设5个站位,并在相邻海域设辅助站位2个。

1.2 监测时间 1999年7~10月每月下旬监测1次。

1.3 监测项目 表底层的水质、底质、贝类、浮游生物等。

1.4 分析方法 均按《海洋监测规范》所规定的方法操作。

2 监测结果及分析

2.1 水温 海域7、8月水温上升,8月为最高温度。9、10月温度逐渐下降。养殖水域表底层水温的差异大小与海水的垂直运动有关,而海水的垂直运动主要受风浪影响。7、8月海域中风浪天气少,气温快速上升,海水表层升温快,底层升温慢,导致表底

层水温7、8月相差较大。9、10月气温下降,海水表层水温降温较快,但由于风浪较多和表层海水密度增大,使海水的垂直运动和水体上下交换较充分,表底层水温差异很小。见图1。

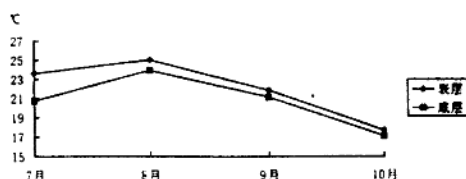


图1 威海湾表底层水温变化曲线

2.2 溶解氧和饱和度 图2表明威海湾养殖水域的溶解氧及饱和度。威海湾养殖水域7、8月表底层差异最大。10月表底层差异较小。从区域分布上看,底层溶解氧在湾的底部(里区)低于高区,8月1127站和1128站最低分别为5.8 mg/L和4.5 mg/L,饱和度分别为74%和50%。说明养殖水域在7、8月氧的消耗量大于氧的补充量,出现了溶解氧不足的现象,这与养殖密度过大和水体交换不畅有关。

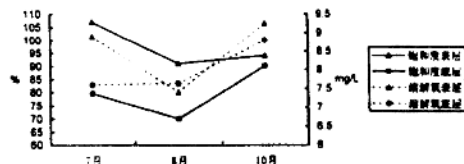


图2 威海湾溶解氧及饱和度逐月变化曲线

2.3 盐度 监测海域的盐度月份之间变化很小,7、8月航次平均值分别为31.79和31.72,9、10月都为32.19。正常年丰水汛期盐度下降较大,而1999年是山东半岛地区特大干旱之年,丰水期盐度反而升高,说明地表径流入海量相当少。

2.4 化学需氧量(COD) COD是代表水体中耗氧物质的含量,也是有机污染的重要指标。监测海域COD的主要来源为陆源污染排入的含有各种有机物的废水,其次是养殖贝类的排泄物。COD7~10月平均值分别为1.10 mg/L,0.79 mg/L,0.76 mg/L,0.78 mg/L,明显低于国家一类海水水质标准中的2 mg/L。

2.5 无机氮和无机磷 图3表明7月无机氮和无机磷含量很低,8月略有升高,属于贫营养水域,9、10月突然升高至0.2 mg/L以上,成为富营养水域。

监测海域无机氮、磷月份之间起落变化很大的原因有以下几点:1)威海湾是属于城市区的内湾,市区排污对其影响很直接。2)威海湾封闭性较强,水体交换差,对市区污染源变化反映很敏感。3)7、8月份是浮游植物繁殖和光合作用最强的季节,对无机氮、磷消耗量最大,干旱又使无机氮、磷入海量减少而得不到补充,海域呈贫营养状态。9月中旬11号台风带来一定降雨和10月降水量有所增加,使无机氮、磷入海量增加,海域又呈现富营养状态。监测海域无机氮、磷的区域分布7~10月比较一致,即近岸里区比高区站偏高。

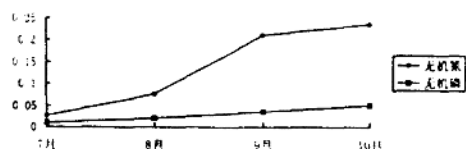


图3 威海湾无机氮和无机磷逐月变化曲线(mg/L)

2.6 重金属汞、铅、砷及油类 7~10月汞的平均值为0.00011 mg/L,铅为0.0033 mg/L,砷为0.001 mg/L,所有样品均未超过国家渔业水质标准,说明监测水域未受到明显的重金属污染。

油类7月份监测样品超标率100%,平均值为0.072 mg/L;8月超标率100%,平均值0.065 mg/L;9月超标率75%,平均值为0.059 mg/L;10月监测无超标现象,平均值为0.038 mg/L。由于威海湾封闭性强,养殖区与港口、码头交叉,船舶活动量大,已经受到明显的油类污染。

2.7 底质 长期利用的养殖水域,因养殖贝类排泄

物的沉积作用,容易产生底质老化或污染现象,反映底质老化的指标为硫化物和有机质。由于底质比较稳定,故未进行逐月采样,仅8月采样1次,硫化物平均值为0.91 mg/kg,有机质平均值为0.89%,表明该海域底质处于正常状态。

2.8 贝类 近年来赤潮发生频繁,养殖贝类是否含有贝毒成为沿海群众和出口时外商所关心的问题。8月是赤潮多发季节,在监测海域采集扇贝样品,经过提取处理后,进行小白鼠毒性试验,未出现异常。

2.9 浮游生物 监测海域动物性饵料生物主要为桡足类,7月为3.3个/L,8月为10.2个/L,9月为2.8个/L,10月为1.6个/L,数量较低,逐月变化不大。浮游植物的主要种类有角毛藻、三角角藻、圆筛藻等,其数量7月为114个/L,8月为3948个/L,9月为193个/L,10月为370个/L,总体上数量偏低。9、10月在氮、磷等营养元素上升较大时,浮游植物数量仍未跟随上升,这与养殖过密有关,说明该海域饵料生物明显不足,影响了贝类的生长发育和抗病害的能力。

3 问题和建议

3.1 威海湾养殖水域7~10月浮游生物量偏低,养殖贝类饵料生物供给不足,影响了贝类的生长发育和抗病害的能力。7、8月溶解氧表底层差异较大,里区氧的饱和度最低仅为50%,并且浮游生物量偏低,说明威海湾内养殖密度过大,水体交换太差。

3.2 该水域COD、汞、铅、砷等未超过国家渔业水质标准,油类超标率高,说明港口、码头、船舶的油污染比较明显。从9、10月无机氮、磷因降雨含量明显上升,而湾的西南底部突出,无机氮含量高达0.436 mg/L,说明附近污染源较多,有机污染较明显。

3.3 威海湾养殖水域无机氮、磷及其它污染物受干旱降雨量的影响很大,1999年是特大干旱年,7、8月水体呈贫营养状态,9月中旬11号台风带来降雨,使水体中氮、磷的含量陡然上升,说明了威海湾封闭性强,水体交换差,较少受到邻近水域的影响,湾的自身缓冲力弱,容易受到污染。

3.4 威海湾在城市区内,易受城市排污影响,生活污水含氮、磷较高,尤其磷含量更高。7、8月无机氮仅为0.009 mg/L和0.077 mg/L,而无机磷为0.011 mg/L和0.027 mg/L,浮游生物繁殖对氮和

关于水产养殖容量的研究*

刘剑昭 李德尚 董双林

(青岛海洋大学 266003)

在我国水产养殖业飞速发展的同时,出现了一系列的问题,如:病害严重、养殖对象的规格和品质下降、死亡率增高等^[1],严重地影响了我国水产养殖业的发展。这些问题的出现与养殖容量有关^[2]。养殖容量是近年来一个热门研究领域,我国在这方面的研究起步较晚,本文拟就养殖容量的概念、研究方法和发展趋势等问题进行探讨。

1 定义

容量来源于种群增长的逻辑斯谛方程^[3],也称容纳量、负荷力等。容量有环境容量、生态容量和养殖容量之分^[4]。对于养殖容量的概念,不同的学者有不同的定义。Carver 和 Mallet 于 1990 年将贝类养殖的养殖容量定义为:对生长率不产生负面影响并获得最大产量的放养密度。这一定义只考虑了产量,而未考虑生态和环境等因素,有一定的缺陷。李德尚于 1994 年把水库对投饵网箱养鱼的养殖容量定义为:不至于破坏相应水质标准的最大负荷量^[5],在定义中加入生态环境因素从而使定义相对完善。随着人们对养殖容量研究的不断深入,人们意识到养殖容量应该是一个包含环境、生态和经济等多种因素的综合概念。董双林把养殖容量定义为:单位水体在保护环境、节约资源和保证有效益的各个方面都符合可持续性发展要求的最大养殖量^[6]。杨红生等于 1998 年把浅海贝类养殖业的经济、社会与生态效益结合起来,定义养殖容量为对养殖海区的环境不会造成不利影响,又能保证养殖业可持续发展并有最大效益的最大产量。从养殖容量定义的不同看法中,可以看出其内涵在不断丰富。养殖容量是有地域性的,同时考虑到环境、生态、经济、社会等因素,因此,本文将养殖容量定义为:特定的水域,单位水体养殖对象在不危害环境、保持生态系统相对稳定、保证经济效益最大,并且符合可持续发展要求条件下的最大产量。

2 研究进展与研究方法

2.1 研究进展

养殖容量的研究,开始于 70 年代末 80 年代初。70 年代,日本科学家首先注意到容量对海水贝类养殖的影响^[1]。1974 年到 1976 年北海道大学等单位受佐吕间湖养殖渔业协同组合的委托进行了环境容量的调查。当虾夷扇贝放养量从 21×10^4 粒增加到 34×10^4 粒时,收获量反而降低了 9%,同时病害的频率和扇贝的死亡率增加。继而欧美一些学者,如 Cooke 等、Wiegert 等和 Carver 等分别于 1975 年、1982 年和 1990 年通过建立数学模型来估算不同海区的养殖容量。养殖容量在我国开始被重视并研究只是从近几年开始,李庆彪于 1990 研究了扇贝大量死亡与养殖容量的关系;刘庆余于 1993 研究了紫贻贝养殖的容纳量;方建光和李元山等也对养殖容量进行了研究^[2,5,6]。其中方建光等的研究比较有代表性,他们对桑沟湾栉孔扇贝和海带的养殖容量进行了较系统的研究。但我国学者研究的对象大多数是海湾或海区,而对滩涂和池塘等的研究甚少,而且大多只是单独地研究几种经济生物的养殖容量,而未研究几种经济生物相互作用、相互影响后的综合养殖容量。

2.2 研究方法

2.2.1 由养殖历史资料推算 根据历年的养殖产量、面积以及环境因子的详细记录推算出养殖容量。这一方法往往由于水质及环境因子的记录欠缺而难以得出准确的养殖容量,一般只能得出该海域的最高产量。Herral 于 1985 年曾利用历年产量与现存量的关系评价养殖容量。

* 国家攀登计划 B 资助项目 FDB-73 号及国家“九五”攻关计划资助项目 96-922-02-02 号的部分内容。

收稿日期:1999-12-03;修回日期:1999-12-16

磷的利用率为 6:1,威海湾磷的比例偏高。氮和磷是发生赤潮的基本因素,威海湾种种环境因素有可能使海湾成为赤潮多发区。建议威海市区应提倡使用无磷洗涤剂。

3.5 鉴于威海湾的各种环境因素和特点,在海湾的功能区划和环境治理当中,既不能偏废养殖业,养殖

自身又要调整养殖结构和布局。藻类和贝类养殖既能吸收无机氮、磷,又能充分利用初级生产力(浮游生物),是改善威海湾水质环境和防治赤潮不可缺少的重要方法和手段。根据威海湾 1999 年氮、磷的季节分布和平面分布特征,养殖自身调整要增加藻类养殖,减少贝类养殖,藻类养殖以里区为主。

齐鲁渔业,2000,17(5):36-38

2.2.2 瞬时生长率法 Hefper 和 Pruginin 于 1981 年首先采用瞬时生长率法来估算养殖容量,这一方法只注重产量而忽略了环境、生态等因素。

2.2.3 由初级生产力和营养需求估算养殖容量 董双林把养殖系统分为自然营养型和人工营养型两类养殖系统^[4],对于自然营养型养殖系统,可以从初级生产力和营养需求入手研究养殖容量。方建光等通过无机氮的供需平衡估算海带养殖容量^[1]。这种方法由于研究范围内生物种类太多,而只能以少数优势种为研究对象,有时不得不忽略生物的影响所造成的初级生产力和营养水平的变化,所以存在着或大或小的误差。

2.2.4 生态动力学模型 全球海洋生态系统动力学(GLOBEC)的着手研究是海洋生态系统研究史上的飞跃,生态通道 II 模型以营养动力学为理论依据估算世界海洋生物资源的容纳量^[1]。Bacher 等于 1991 年在法国的 Thau 湾,通过养殖对环境影响的氮动力学模型研究了太平洋牡蛎(*Crassostrea gigas*)的养殖容量^[9]。

2.2.5 现场实验 本法用实验方法求得符合养殖容量定义的产量作为养殖容量。即某特定的水域,单位水体养殖对象在不危害环境和保持生态系统相对稳定的前提下,能保证最大经济效益,并且符合可持续发展要求的最大产量。Darne G. F. 于 1976 年在美国的 North Inlet 河口通过野外实验的方法直接测定美洲牡蛎(*Crassostrea virginica*)的养殖容量。笔者等于 1998 年在山东黄海水产集团公司的 I 号虾池通过野外试验方法得到半精养型养虾池对以中国对虾(*Penaeus chinensis*)为主综合养殖的养殖容量。此种方法由于在现场的实际条件下直接进行测试,结果更为可信,而更适用于小面积的滩涂、池塘等生态环境的养殖容量的研究。

2.2.6 能量收支法 根据某种生物的能量需求和所研究水域可提供的能量总量来计算该水域所能承载的该种生物总量,亦即养殖容量。Carver 等于 1990 年在加拿大的 Whitehaven 港通过对 POM 的能量收支研究求得贻贝(*Mytilus edulis*)的养殖容量。方建光等^[12]通过栉孔扇贝(*Chlamys farreri*)对有机碳的需求量估算了桑沟湾栉孔扇贝的养殖容量。

2.2.7 底质耗氧速率法 武罔英隆^[1]认为在研究养殖容量时,以底质的耗氧速率为指标,借以判断物质循环的状况,进而推定鱼类养殖容量的方法最实用。笔者认为这种方法有可能不易操作而且误差较

大,因为即使同一海域其不同部分底质状况也是不同的,这就要求做底质的耗氧速率时,要尽可能多的选点,使得操作复杂;而如果选择的点较少,则会使误差增大。

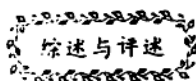
2.2.8 小结 以上简要地介绍了研究养殖容量的几种方法,在研究养殖容量时,应该选择一种适合自己研究对象的方法,同时也应确定一些标准,因为养殖容量会受到这些标准的影响。而要确定这些标准,则需要考虑下面的一些问题:

(1)养殖水域的用途。通过确定养殖水域的用途,可以制定出相应的水质标准来保护水环境,从而使养殖业不至于破坏水域的该种或多种用途。如果是封闭式池塘综合养殖用水,因为其排污较少,则只需考虑其水质不影响养殖生物的生长即可;如果是有多用途的水域,则需要综合考虑来确定一个较高的水质标准。(2)养殖对象。养殖对象间的互补和拮抗作用会影响养殖容量。(3)养殖模式。不同的养殖模式采用不同的管理措施,往往会导致养殖容量的较大差异。以池塘养虾为例,精养型虾池的养殖容量一般高于半精养型虾池。

3 展望

养殖容量的确定对于指导生产、实现水产养殖的可持续发展具有重要的意义。养殖容量由于环境条件的不同和管理水平的高低等而发生变化,此外,它还受到养殖生物间互补效应的影响^[4]。所以,研究养殖容量的动态性状是十分必要的。养殖容量研究是一个多学科交叉的领域,需要海洋学、数学、环境学和养殖生态学的有机结合,必须运用多学科的知识,多方位地考虑才能得到比较理想的结果。养殖容量反映了一定的生态系统的特性,因此研究这一问题需要充分利用生态学原理和知识,搞清某海区或滩涂主要经济生物之间以及它们与环境之间的关系。对于综合养殖容量(即某一水域对多种养殖对象的容量)的研究尤其如此,因为综合养殖容量不是单一品种养殖容量的简单叠加,而是往往有互补作用或互害(拮抗)作用。综合养殖容量比单一品种养殖容量更具有实际意义,所以仍需继续研究,这将是以后研究的一个主要方向。我国养殖容量的研究起步较晚,目前主要是在单一品种养殖容量的研究上取得了一定的成绩。“九五”期间我国明显加强了对养殖容量的研究。可持续发展作为一个新的经济发展目标已经得到各国的认可。其较为普遍认同的定义为:“可持续发展是在满足当代

(下转第 200 页)



贝藻混养技术在我国海水养殖中的应用与研究

王德利

(国家海洋局 第一海洋研究所, 山东 青岛 266061)

摘 要: 贝藻混养技术是一种极有发展前途的养殖方式, 对改善目前我国海水养殖中存在的水质污染严重、养殖品种生长缓慢等问题, 具有十分积极的作用。从几十年来我国海水养殖中贝藻混养技术的发展、应用及研究现状等几个方面, 综合论述了这一技术的优点和发展动态, 为我国海水养殖业的进一步健康发展提供参考。

关键词: 贝类; 大型藻; 混养

中图分类号: S96 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7199(2001)01-0078-04

近几十年来, 海水养殖业迅速发展, 它与周围环境的相互影响和冲突也日益引起人们的重视。在我国, 长期单品种高密度的养殖, 造成了水质恶化、养殖品种生长缓慢等问题。如何解决养殖业与周围环境的矛盾便成为海水养殖研究重点之一。其中, 贝藻混养技术是近年来兴起的一种前景广阔的养殖方式, 即在养殖环境中引入一些适应同一生态环境的海洋生产者——大型藻和滤食者——经济贝类, 用以改善养殖环境, 优化养殖海域生态系统, 最终提高养殖业的经济效益。因此, 贝藻混养技术日益受到了我国各沿海地区有关方面的重视。

1 传统贝藻单养所面临的问题

20世纪80年代, 我国北方扇贝养殖出现了产量大幅度下降的现象。例如, 1983年, 胶州养殖栉孔扇贝的死亡率高达80%以上^[1]; 1985年以来, 大连沿海地区养殖业紫贻贝 (*Mytilus edulis* L.) 养殖出现生长缓慢, 肥满度下降, 甚至出现大量死亡, 造成减产减收^[2]; 1988年和1989年长岛栉孔扇贝养殖出现大量死亡, 造成欠收^[3]; 90年代以来桑沟湾养殖栉孔扇贝 (*Chlamys farreri*), 出现死亡率高, 产品质量下降等问题。与此同时, 我国藻类养殖业也出现了许多问题, 如海带、紫菜的腐烂病。海带 (*Laminaria japonica*) 是我国的主要海水养殖品种, 但90年代以来, 一些养殖区域的海带, 由于高密度的养殖, 引起致病菌

收稿日期: 2000-05-31 修订日期: 2001-02-14

作者简介: 王德利(1973-), 男, 助研, 硕士, 主要从事海洋环境化学和海洋生态学方面的研究。

的入侵和传播,藻体或幼苗出现腐烂现象,严重影响了产品的质量和产量^[4,5]。据文献报道,发生这种现象的主要原因是水温过高以及营养盐特别是氮肥不足^[6]。1987年和1988年,我国台湾省江藻的养殖产量和质量突然下降,其产量只有1986年的50%,其中原因之一就是疾病感染以及环境污染问题^[7,8]。

2 贝藻混养技术的引入与应用

贝藻混养技术最早在20世纪70年代应用于海水养殖。1981年,贝藻间养在烟台沿海地区大面积推广,以扇贝为主间养海带,结果是海带在混养获得的效益比单养高出132.0%,生产成本减少了27.6%,扇贝生产成本降低了41.9%,这表明混养大大优于单养^[9]。近年来,在山东省沿海地区,越来越多的单品种养殖被贝藻混养所取代,例如贻贝与海带混养试验^[10,11]等,都取得显著的经济效益和生态效益。1993~1995年,在海南岛三亚,进行的合浦珠母贝与异枝麒麟菜混养的小规模试验,与珠母贝混养的海藻生长率比单养高出46%,而笼养在海藻养殖场的珠母贝生长比在外海里单养的要快^[12]。

3 海水贝藻混养的优点

3.1 贝藻对 O₂ 和 CO₂ 的相互利用

贝类等养殖动物呼吸作用放出 CO₂,增加了水中 CO₂含量,使海水中 pH 下降,据报道,3个体高4.1 cm的扇贝在375 mL水体中,24 h可使 pH 下降0.12^[13];另一方面,大型藻光合作用吸收了 CO₂,释放出 O₂,因此,从生态的角度,贝藻的混养也起到了维持生态系中 O₂和 CO₂水平的平衡和稳定作用,有利于生态系中 O₂和 CO₂循环,促进了贝藻生长。

3.2 贝藻对氨、氮等的相互作用

贝类等养殖动物排泄物中,多以 NH₃为主,而 NH₃对养殖动物自身非常有毒^[14]。试验表明,扇贝可在 NH₃含量17000 mg/m³的水中活20 d,其致死浓度为25500~30000 mg/m³^[9],而 NH₃与海水 NH₄-N 含量呈正相关($P < 0.01$),NH₃与 NH₄-N 在海水中存在下列关系^[15]: $\text{NH}_3 + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{NH}_4^+$ 。而藻的存在可以降低 NH₃-N 的浓度,净化水质,当大型藻引入贝类养殖系后,NH₄-N 和 NO₃-N 都大大降低^[13]。一方面,大型藻吸收 NH₄⁺,使一些有毒的 NH₃转化为对贝类等无害又能被藻类吸收的 NH₄⁺;另一方面,贝类的代谢作用为藻类的生长提供了氮、磷肥,这与其他有关贝藻间养相互利用的报道也是一致的^[9]。据报道,1 t 贻贝在秋、春两季一昼夜排放的氮量相当于 NO₃-N 和 NH₄-N 等速效肥的141 g 和235 g,说明了贝类为海区提供了相当数量的自然肥。这样,大型藻与贝类混养就形成互为有利的共生关系,有利于养殖水体的稳定,起到了维持生态系中铵态氮水平平衡稳定和促进氮循环的作用。

3.3 贝藻对微藻等的利用

一定条件下,海水中营养盐含量的高低决定了大型藻类和微藻在内的海洋初级生产力水平的高低。同时,在微藻与大型藻之间必然存在着一定的竞争关系。例如,大型藻与微藻都利用 CO_2 、营养盐等物质和外界能源——太阳能,来进行光合作用,同时释放出 O_2 。微藻的大量繁殖,势必影响大型藻的生长。而对养殖贝类,微藻主要起到了贝类饵料作用,有利于贝类的生长。养殖贝类通过大量摄食水体中所含浮游植物,影响甚至会控制特定水域植物(如大型藻)的生长^[16,17]。

3.4 贝类对颗粒物等的作用

海水中颗粒物等悬浮物质直接影响水体透明度的大小,是决定大型藻类光合作用强弱的重要因素之一。贝类对颗粒物具有滤过作用,同时产生生物沉降,使大量悬浮物从水体中搬运到底层,对水体中浮游生物、颗粒有机物质及生态系统的结构和功能产生影响^[18~20],贝类对水体中颗粒物质的滤除,在一定程度上有利于大型藻的光合作用和生长。

4 贝藻混养技术的前景

近年来,贝藻混养技术在中国取得了重大的成功。如北方的贻贝或扇贝与海带的混养、南方的珍珠贝与江蓠、麒麟菜的混养。但是贝藻混养技术目前仍然处于生产应用的初级阶段。另外,贝藻混养也存在着一些问题,如:高密度的贝藻混养,片面地依赖贝藻混养,而忽略了贝藻养殖中饵料和肥料的管理等,有时则会出现贝藻生长缓慢等现象。但随着海水养殖的进一步发展,贝藻混养技术也必将日益完善和发展。

黄渤海海洋,2001,19(1):78-80

参考文献:

- [1]王远隆,杨晓岩. 扇贝死亡原因及其防治[J]. 海水养殖, 1992, 43-44 (1/2): 61-65.
- [2]刘庆余. 紫贻贝养殖的环境容量问题[J]. 水产科学, 1993, 12(9): 15-17.
- [3]王从敏,张启龙,苗辉,等. 长岛养殖扇贝丰、欠原因的初步探讨[J]. 黄渤海海洋, 1992, 10(2): 52-59.
- [4]方建光,孙慧玲,匡世煥,等. 桑沟湾养殖容量的研究[J]. 海洋水产研究, 1996, 17(2): 7-17.
- [5]林光恒. 藻虾病害与生态调控研究[M]. 中国海洋科学研究及开发, 青岛: 青岛出版社, 1993.
- [6]FAO. Culture of kelp (*Laminaria japonica*) in China. RAS/86/024, Training Manual. 1989, 1: 140.
- [7]廖一久. 虾病防治专辑[M]. 中国台北: 大进印刷有限公司, 1989.
- [8]廖一久. 两岸水产养殖学术研讨会论文集3[C]. 中国台北: 高点高计摄影事业有限公司, 1993.
- [9]李顺志,张高怡,王宝捷,等. 扇贝海带间养试验研究[J]. 海洋湖沼通报, 1983, (4): 70-75.
- [10]孙永杰,潘培舜,王林夫,等. 贻贝与海带兼养技术推广试验[J]. 齐鲁渔业, 1991, 33(2): 16-17.
- [11]吴树敬. 海带贻贝套养技术[J]. 中国水产, 1997, (8): 30-31.
- [12]Qian P Y, Wu C Y, Wu M, et al. Development of ecological farming; integrated cultivation of alga *Kappaphycus alvarezii* and pearl oyster *Pinctada fucata* [J]. Aquaculture, 1996, 147: 21-35.
- [13]田铸平,高凤鸣,孙选,等. 海带贻贝间养对环境条件影响的研究[J]. 海洋湖沼通报, 1987, (2): 60-66.
- [14]汪心沅. 泥蚶和菲律宾蛤仔对环境中的氨的耐受力[A]. 90年代最新海水养殖技术[C]. 1990, 453-458.

微生物在海洋污染环境中的生物修复作用

郑天凌^{1,2}, 庄铁城¹, 蔡立哲², 田 蕴¹, 郭楚玲², 徐美珠¹, 李少菁²

(1. 厦门大学生命科学学院应用与环境微生物研究所,

2. 教育部海洋环境科学重点实验室, 福建 厦门 361005)

摘要: 海洋环境微生物学作为生命科学、环境科学及海洋科学紧密渗透、相互交叉的新兴学科, 近年来有着突飞猛进的发展. 特别是利用微生物为主体的生物修复在治理海洋中有害污染物的作用日益重要, 已成为当今国际海洋环境科学与工程研究的热点之一. 阐述了生物修复技术发展的基础——微生物降解作用、微生物的生态、生理、进化等问题, 强调了生物修复在治理海洋污染环境中的应用的重要性. 报道了作者近年来以新思路、新方法、藉海洋微生物的特殊功能与特点对海洋环境中的主要污染物——石油、农药、赤潮灾害与毒素以及病原性微生物等修复作用的新成果, 展示了厦门大学在该领域所进行的若干创新性、前瞻性研究工作以及生物修复技术在海洋污染环境中广泛的应用前景.

关键词: 生物修复; 微生物; 海洋污染

中图分类号: Q 176.53

文献标识码: A

近年来, 随着大量非生物有机化合物合成的生产使用及资源的开发利用, 进入环境中的有害污染物越来越多, 在环境中长期存在且难以降解. 由于这些污染物的潜在毒性、诱导性及生物累积效应, 引起各国研究学者的极大重视, 极大地促进了生物修复技术的发展和运用. 生物修复(Bioremediation)指生物尤其是微生物催化降解环境污染物, 减少或最终消除环境污染的受控或自发过程^[1]. 生物修复的基础是自然界中微生物对污染物的生物代谢作用. 由于自然的生物修复过程一般较慢, 难以实际推广应用, 因此一般指的是在人为促进条件下的生物修复. 与其它物理、化学治理方法相比, 如填埋、燃烧等, 对于污染物仅是稀释、聚集或不同环境中的迁移作用; 化学方法易造成二次污染, 而在生物修复作用下污染物转化为稳定的、无毒的终产物如水、CO₂、简单的醇或酸及微生物自身的生物量, 最终从环境中消失^[2]. 目前, 生物修复已成为一种新的可靠的环保技术.

条条江河归大海, 海洋容纳了各式各样的污染物. 陆地及淡水水域的污染物质绝大部分可以在海洋中发现. 由于其面积广、自净能力强, 一直被视为天然的“垃圾箱”. 海洋微生物由于数

收稿日期: 2001-02-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(“九五”重大项目 39790110 和面上项目 30070157)

作者简介: 郑天凌(1955—), 男, 教授.

量大、种类多、特异性和适应性强、分布广、世代时间短、比表面积大、在水体自净、污染物生物降解中起着决定性的作用。然而,随着近年来我国沿海地区工、农业和海洋养殖业的迅速发展以及人口的骤增,大量人工合成的污染物的不合理排放,海上石油的开发等,造成了海洋环境污染的危机,局部海域污染尤其严重,如赤潮发生频率的增加、石油污染、农药的非点源污染加剧等,损害了海洋环境生态系统,威胁到人类的生命健康,当前海洋污染环境治理已势在必行。80年代末至90年代初美国环境保护局在阿拉斯加 Exxon Vadez 石油泄露导致海滩严重污染的生物修复项目中,短时间内消除了污染,治理了环境,是生物修复技术成功应用的开端,同时开创了生物修复在治理海洋污染环境中的应用。

1 生物修复的基础——微生物的生态、生理、进化

污染物的生物修复作用,本质上是开发利用微生物的新陈代谢能力及基因的多样性,把污染物转化为无污染的终产物,重新进入生物地球化学循环。因此,对降解微生物的生态、生理和进化程度的了解是成功地应用生物修复的前提。

1.1 污染物的微生物降解进入到微生物能量网

微生物的生长,离不开碳源和能源。自然界存在各种化合物,大多数污染物都可以作为微生物生长的营养物。有机污染物一般分为脂肪烃和芳香烃化合物,含有不同的功能团如 $-OH$ 、 $-Cl$ 、 $-NH_2$ 、 $-NO_2$ 和 $-SO_2$,在微生物的作用下,污染物发生氧化分解,其中某些中间产物作为微生物生长的碳源,功能团形成营养物质,构成微生物食物网一部分,重新进入生物地球化学循环。氧气的参与是脂肪烃和芳香烃发生反应的关键因素,其主要有两方面的作用:1. 电子接受者,2. 直接与有机物分子反应。 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 CO_2 、金属离子均可做电子的接受者,其产生的能量则较少。但除了 O_2 外,其它物质均不可取代 O_2 直接参与反应。

1.2 生物修复中微生物的生态关系

微生物作为顶级生态群落的组成部分,与其它生物之间有着复杂关系,表现为互相促进或抑制关系;促进作用包括共生关系、互生关系、协作关系;抑制作用包括竞争、寄生、猎食等。

1) 共生关系:环境中污染物的降解现象是很普遍的,然而从环境中分离出降解微生物往往是比较困难的,原因在于许多污染物的降解是多种微生物共代谢的结果。一种微生物往往无法直接利用自身代谢产生的能量。共生关系的微生物互相提供底物以供生长。共代谢是许多污染物降解的主要机制。如多氯联苯 PCBs (图 1)。类似富集法(analogue enrichment)和交叉适应法(cross-acclimation)^[5,6]都是在这基础上发展而来的生物修复。类似富集法是指外加结构类似的可降解化合物于生态系统中,富集培养共代谢的微生物;交叉适应法是指可降解一种特殊污染物的微生物,也可驯化成降解相关的污染物。利用这些方法在缩短污染物暴露及微生物降解时间是行之有效的。

2) 互生关系:互生关系在降解微生物之间极为普遍。微生物之间彼此满足营养的需要,互利互惠。在厌氧环境下,这种关系更占优势,如图 2 所示。微生物之间存在着一种热力学的平衡转移。一种微生物的代谢产物为另一种微生物创造了一个生态位,促进了群落间的种群替换。在相同的生态环境中,不同的时间,不同的污染物,不同的微生物,不同的代谢途径,不同的代谢产物,产生了不同的微生物群落。但随着能源的耗尽,生态位消失,微生物也随之消亡。污染物的初步降解能否继续进行与其降解产物被转移效率是紧密相关的。参与到这种过程中不只

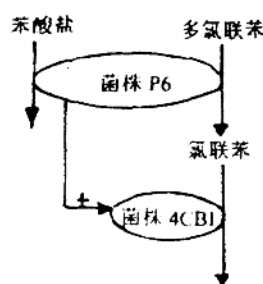


图1 两种菌株 *Acinetobacter* species 的共代谢作用

Fig. 1 Co-metabolism between two strains of *Acinetobacter* species

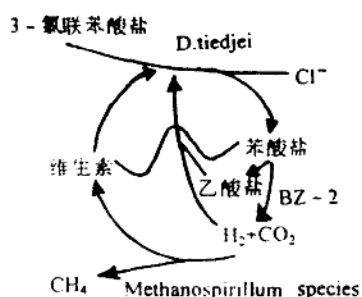


图2 甲烷菌、*D. Tiedjei* 与菌株 BZ-2 的互生关系

Fig. 2 Synergism among *Methanospirillum* species, *D. Tiedjei* and strain BZ-2

是单种微生物,而是微生物群体,因此,在估计环境中污染物的降解速率应从整体过程入手。

互生关系在微生物与自由生活海洋线虫之间也常见,海洋线虫摄食微生物,同时海洋线虫分泌粘液,刺激微生物的生长^[7-9]。

3) 竞争关系:降解微生物与其它生物之间同样存在着营养与环境因子的竞争。在竞争条件下,即使环境中已存在着某种降解微生物,预料中污染物的生物转化也不一定会发生。原因在于环境中其它生物可能更易于获得营养底物、光线、空间等,生长繁殖速率快,成为环境中的优势种,而该种降解微生物的生长则受到抑制。微生物能否成为电子的最终接受者影响到竞争关系及生态系统中群落的结构。因此,了解微生物种群结构将有助于预测污染物在环境中的归宿,有助于根据环境中不同的污染物设计不同的生物修复方案,培养特殊的降解微生物群体^[10]。

1.3 生物修复环境中微生物的引入

生物修复作用的成功与否很大程度上与降解微生物群落在环境中的数量及生长繁殖速率有关。当污染环境很少或甚至没有降解菌存在,而时间又不允许在当地富集培养降解菌,引入降解菌株是一种实际的最佳选择,甚至有时引入的菌株可缩短暴露于污染物与降解的时间。然而引入的菌株不管是天然分离菌种或基因工程菌(GEMs)均与自然界天然降解微生物一样,受到各种环境因素的影响。

微生物能在一定的环境中生存,离不开碳源和能源及一定的生态位。环境污染物常成为微生物潜在的能量来源。然而,天然的微生物并不一定都具备降解污染的能力,引入的菌种较易进入该种环境,其生存依赖于污染物的浓度。一旦污染物的生物修复过程完成,这些菌株最终也会在环境中消亡。少数情况下接种的菌株长期存在于环境中,可能是由于环境竞争压力减少或其它生存机制,尚需深入研究。

生物修复中引入菌种的成功与否与菌株的降解能力及在环境中的竞争力有关。菌株的生存受到许多因素的影响,例如:pH、温度、氧化还原能力、或氧、水分的供给等非生物因素及微生物之间的竞争、捕食等生物因素。提高引入菌株生存机率包括引入足够的数量^[11],以适当的方式引入,同时引入一种选择性的底物,创造一个新的生态位。这种方法的有效性及安全性常