

学校编码: 10384

密级_____

学号: X2005211001

福建省近岸海域生态系统健康评价与分析

厦门大学

硕士学位论文

福建省近岸海域生态系统健康评价与分析

Ecosystem health assessment and analysis in the coastal
zone of Fujian province

蔡爱萍

指导教师姓名: 黄凌风 教授

专业名称: 海洋生物学

论文提交日期: 2011年11月

论文答辩时间: 2011年11月

蔡爱萍

指导教师
黄凌风 教授

厦门大学

2011年11月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。
2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

目 录

摘要.....	1
Abstract.....	3
第一章 绪论.....	5
1.1 生态系统健康	5
1.2 海洋生态系统健康	6
1.2.1 定义.....	6
1.2.2 研究意义.....	7
1.2.3 研究方法.....	8
1.3 海洋生态系统健康研究现状	11
1.3.1 国外研究.....	11
1.3.2 国内研究.....	12
1.3.3 区域合作研究.....	13
1.4 本研究的意义	14
第二章 环境监测和生态系统健康评价方法	16
2.1 环境监测方法	16
2.2 生态系统健康评价方法	19
第三章 福建省近岸海域环境监测的主要结果	26
3.1 水环境	26
3.2 沉积环境	30
3.3 生物体残毒	31
3.4 栖息地	32
3.5 生物.....	33
第四章 福建省近岸海域生态系统健康评价	41
4.1 水环境健康评价	41
4.2 沉积环境健康评价	42
4.3 以生物体残毒为指标的健康评价	42

4.4 栖息地健康评价	42
4.5 生物健康评价	43
4.6 生态系统健康综合评价	45
第五章 主要问题及对策	46
5.1 主要环境问题	46
5.2 制约因素	47
5.3 福建省近岸海域生态系统主要压力	49
5.4 对策建议	52
第六章 不足与展望	56
6.1 不足.....	56
6.2 展望.....	56
附 录.....	57
附表 1. 浮游植物种名录	57
附表 2. 浮游动物种名录	61
附表 3. 部分主要底栖动物名录	63
附表 4 鱼卵和仔稚鱼的种类名录	64
参考文献.....	67
致谢.....	72

Contents

Abstract (In Chinese).....1

Abstract (In English)3

1 Introduction.....5

1.1 Ecosystem health.....5

1.2 Marine ecosystem health6

 1.2.1 Definition.....6

 1.2.2 Research significance.....7

 1.2.3 Research method.....8

1.3 Marine ecosystem health research status..... 11

 1.3.1 International research status 11

 1.3.2 National research status..... 12

 1.3.3 Regional reserach status..... 13

1.4 Research significance..... 14

2 Methods for environmental mornitoring and ecosystem health evaluation.....16

2.1 Environment mornitoring..... 16

2.2 Ecosytem health evaluation..... 19

3 Mornitoring results26

3.1 Water environment..... 26

3.2 Sedimentary environment.....30

3.3 Residual toxicity in organism31

3.4 Habitat32

3.5 Biota33

4 Marine ecosystem health evaluation in Fujian coastal zone.....41

4.1 Water environment health evaluation 41

4.2 Sediment environment health evaluation42

4.3 Organism residual toxicitbased heath evaluation	42
4.4 Habitat health evaluation	42
4.5 Biota health evaluation	43
4.6 General ecosytem health evaluation.....	45
5 Major problems and suggestions.....	46
5.1 Environment problems	46
5.2 Restriction factors.....	47
5.3 Stress to Fujian coastal areas ecosystem.....	49
5.4 Suggestions.....	52
6 Defects and Perspectives	56
6.1 Defects	56
6.2 Perspectives	56
Appendix	57
Appendix 1. Species composition of phytoplankton	57
Appendix 2. Species composition of zooplankton	61
Appendix 3. Species composition of benthic animal.....	63
Appendix 4. Fish eggs and larvae fish.....	64
Reference.....	67
Acknowledgement	72

摘要

近年来，随着沿海经济的高速发展和海洋资源开发利用力度的不断加大，海洋环境正面临着前所未有的严重挑战。本文首次根据《近岸海洋生态健康评价指南》中的“河口及海湾生态系统生态环境健康评价方法”，利用 2006 年~2010 年以来福建省环保厅的近岸海域监测网络多年来的监测数据及相关文献资料，对福建省近岸海域的生态系统健康状况进行分析评价。

主要研究结果如下：

水环境：与过去5年相比，2010年福建省近岸海域监测区域水环境质量有所改善。近岸海域水环境中的主要污染物为无机氮（平均浓度0.301 mg/L）和活性磷酸盐（平均浓度0.021 mg/L）。综合2010年三期的监测结果，福建省近岸海域水环境健康指数为11.5，总体处于濒临亚健康状态。

沉积环境：2010年近岸海域沉积物监测结果表明，福建省近岸海域监测区域的沉积环境总体良好，除个别站位有机碳和硫化物的含量稍微超标外，所有监测站位沉积物中有机碳和硫化物的含量均符合国家一类海洋沉积物质量标准的的要求。2010年福建省近岸海域沉积环境的健康评价指数为10.0，总体处于健康状态。

生物残毒：全省海域的17个区域牡蛎和缢蛏贝类质量监测结果表明，贝类生物质量状况总体良好，只有个别站点的牡蛎中金属Cd含量略有超标。全省近岸海域生物质量良好，生物残毒的健康指数为9.6，处于健康状态。

栖息地：近5年来全省滨海湿地生境减少的总面积为14.05 万亩，每年滨海湿地减少率达1.8%，并且存在加重的趋势。同时，底栖沉积物主要组分也发生了很大变化：最主要成分粘土占的比例明显下降，砂和粉砂含量迅速增加。栖息地健康指数为12.5，总体尚处于健康状态。

生物：全省近岸海域，除了底栖动物生物量指标相对正常外，海洋生物其它指标浮游植物密度、浮游动物密度、浮游动物生物量、鱼卵及仔鱼密度、底栖动物密度等评价结果都很不乐观，大多数指标处于第III类的现状，海洋生物指标健康指数为 16.7，总体处于不健康状态。

生态系统：综合水环境、沉积环境、生物体残毒、栖息地和生物五项生态系统评价指标，福建省近岸海域生态系统健康指数为 60.3，总体处于亚健康状

态。

关键词：生态系统健康评价；环境监测；近岸海域；福建省

厦门大学博硕士

Abstract

In recent years, as rapid development of coastal economy and gradual enhanced exploitation of marine resources, increased pollutant loading to the coastal waters has led to the deterioration of ambient environmental quality. Therefore, our coastal marine ecosystem is facing unprecedented severe challenge.

In the present research, for the first time, we applied ecosystem health assessment methods to evaluate and analyze the health status of water, sediment, organisms, biodiversity in the whole coastal areas of Fujian Province based on the monitoring data since 2006.

The evaluation results are as follows:

Water Environment: Compared with that in the past 5 years, the seawater quality in Fujian coastal areas had somewhat improved in 2010. Major pollutants were inorganic nitrogen and active phosphate, with the average concentration of 0.301mg/L and 0.021mg/L, respectively. The value of water environment health index was 11.5, indicating that the coastal waters in Fujian Province was close to sub-healthy status in 2010.

Sedimentary environment: According to the monitoring results in 2010, the quality of offshore sediment was generally good, except that the contents of organic carbon and sulfur in the sediment were slightly over the Class-I standard value of National Criteria of Marine Sediment Quality in some station. The value of sediment health index was 10.0, indicating a relatively healthy status of sedimentary environment in Fujian coastal waters.

Organism residual toxicity: According to the health index based on organism residual toxicity, the quality of marine living organisms in the whole coastal waters of Fujian Province was still in good status. The monitoring results in 17 coastal areas showed that shellfish quality was generally good, except that Cd content in the oysters from some monitoring station exceeded the standard value.

Coastal habitats: In past five years, the total loss of coastal wetland habitat

was 14.05×10^4 hectares in Fujian Province. According to the investigation results of polder and reclamation projects, the loss of coastal wetlands was serious in the past 5 years. The average loss speed of coastal wetland was 1.8% per year, with an increasing loss trends. Meanwhile, the major components of bottom sediment had changed a lot. The proportion of clay in the sediment obviously decreased, while sand and silt contents increased rapidly. However, the value of habitat healthy index was 12.5, indicating that the general habitats in the coastal areas of Fujian Province was still in the health status.

Biota: Biota indexes are assigned heavy weight in the entire ecosystem evaluation, thus, to some extent, it may determine the general ecosystem health status. With the exception of zoobenthos biomass, other indicators of marine biota, i.e. the abundance and biomass of phytoplankton and biomass, the density of roe and fry and the density of zoobenthos were far from satisfactory. Most of the above indicators were in Class-III status. The value of biota health index was 16.7, indicating an unhealthy status in the coastal areas of Fujian Province.

General Ecosystem health: Integrating the above 5 evaluation indexes, the value of general ecosystem health index was 60.3, indicating a sub-healthy status of the general ecosystem in Fujian coastal areas.

Key words: Ecosystem health evaluation; environmental monitoring; coastal sea areas; Fujian Province

第一章 绪论

生态系统为人类提供了自然资源和生存环境两个方面的多种服务功能。生态系统服务功能是人类生存和发展的基础。同时，一个生态系统只有保持了结构和功能的完整性，并具有抵抗干扰和恢复能力，才能长期为人类社会提供服务。因此，当人们在关注生态环境的同时，对生态系统健康的研究也越来越深入^[1]。

1.1 生态系统健康

“生态系统健康 (Ecosystem Health)”这一概念产生于20世纪70年代末。许多学者提出生态系统健康的定义，这些定义包括生态、环境、生理、人类健康、社会经济和伦理道德等各个方面。

在全球生态系统已普遍出现退化的背景下，相对于人类和生物个体的健康诊断，Rappon等^[2]提出了“生态系统医学 (Ecosystem Medicine)”，旨在将生态系统作为一个整体进行评估，随后，逐步发展形成了“生态系统健康”概念及其评价。Karra等^[3]指出能实现内在潜力、状态稳定、受到干扰时仍具有自我修复能力、管理时需要最小的外界支持的生态系统是健康的。Schaeffer等^[4]认为当生态系统功能未超过阈限时，该生态系统是健康的。这里的阈限定义为“当超过后可使危及生态系统持续发展的不利因素增加的任何条件”。Rapport等^[5]认为生态系统健康是指一个生态系统所具有的稳定性和可持续性，即在时间上具有维持其组织结构、自我调节和对胁迫的恢复能力等。O' Neill等^[6]认为健康的生态系统包括两层含义：“有足够能力维持生命并能够满足人类的合理要求”，他还指出“健康并不仅仅是一个科学定义，也是一种社会构造，其定义特征随着时间和环境的变化而不断进化”。Munawar & Mallay^[7]认为一个健康的生态系统包括以下特征：生长能力，恢复能力和结构。就人类社会的利益而言，一个健康的生态系统是能为人类社会提供生态系统服务支持，例如食物、垃圾再循环的能力、饮用水、清洁空气等。

国际生态系统健康学会将生态系统健康定义为^[8]：“研究生态系统管理的预防性的、诊断的和预兆的特征，以及生态系统健康与人类健康之间关系的一门系统科学”。它的主要研究内容包括：生态系统健康的评价方法、生态系统健康与人类健康的关系、环境变化与人类健康的关系以及各尺度上生态系统健康管理的方法。

国内学者也对生态系统健康的概念进行了探讨。袁兴中等^[9]认为生态系统健康是指生态系统的能量流动和物质循环没有受到损伤,系统对自然干扰的长期效应应具有抵抗力和恢复力,系统能够长期稳定地维持自身组织结构,并具有自我运作能力。健康的生态系统不仅在生态学意义上是健康的,而且有利于社会经济的发展,并能维持健康的人类群体。崔保山与杨志锋^[10]认为生态系统健康是指系统内的物质循环和能量流动未受到损害,关键生态组分和有机组织被完整保存,没有疾病,对长期或突发的自然或人为扰动能保持着弹性和稳定性,整体功能表现出多样性、复杂性、活力和相应的生产率。

目前,国内外普遍接受Costanza & Mageau^[11]的定义,即生态系统健康指一个生态系统所具有的稳定性和可持续性,在时间上具有维持其组织结构、自我调节和对胁迫的恢复能力。健康的生态系统应具有6个方面特征:①系统的自动平衡;②没有疾病;③多样性或复杂性;④稳定性或可恢复性;⑤有活力或增长的空间;⑥系统要素间的平衡。

1.2 海洋生态系统健康

1.2.1 定义

海洋生态系统是由海洋中复杂的生物群落和环境条件组成的生命支持系统。生物群落是海洋生态不可或缺的部分,同时环境条件影响海洋的演变生息。它们的细微变化都会对海洋生态系统的健康造成巨大的影响。由于海洋是地球上位能最低的区域而成为全球污染物的最终归宿,一旦污染物进入海洋后,很难再转移出去,污染物往往通过生物的富集作用和食物链传递,对整个海洋生态系统造成潜在威胁。海洋环境污染与破坏一旦超过海洋生态系统本身的自净能力,超过海洋生态系统的安全阈值,整个海洋生态系统就会崩溃,从而产生生态安全问题,出现灾难性的后果^[12, 13]。

现代研究证明^[14]:海洋生态系统提供的各种服务功能,包括生物资源和非生物资源,以及风暴对陆地的影响、对全球营养盐循环和其他全球过程的贡献等,对人类的生存极其重要。科学技术的进步虽然在一定程度上能影响生态服务功能,但不能替代自然生态系统服务功能^[15, 16]。

在早期的大型湖泊生态问题研究中,Birkeet等^[17]认为水体生态系统健康包括稳定性、平衡和功能,湖泊不健康因素是由于污染物质造成的,如果藻类被杀死

以及细菌增加超过了平衡，则系统不健康。自此以后，海洋生态系统健康经常被使用^[7, 18-20]。Pollard & Huxham^[20]将海洋生态健康定义为：“健康以及可持续性，保持其代谢水平、内部结构和组织，对于一定时间和空间尺度的压力有恢复能力（弹性）。” Peter^[21]认为近岸海洋生态系统健康包含三方面内容：人类健康、环境健康以及社区健康。社区健康包括所有“社区”，如现存岸边的、水中的及潮间带的群落，包括了海洋群落的全部功能。

我国国家海洋局^[22]将海洋生态系统健康定义为：“生态系统保持其自然属性，维持生物多样性和关键生态过程稳定并持续发挥其服务功能的能力。”健康状况可分为健康、亚健康和不健康3个级别。

1.2.2 研究意义

传统的环境评价方法仅仅着眼于物理化学参数或生物检测技术，而海洋生态系统健康评价作为一门交叉科学的实践^[23]，不仅包括海洋生态系统内部和海陆交错带生态系统的指标，还包括物理化学、生物、社会经济以及人类健康等方面的指标，反映了海洋生态系统为人类社会提供生态系统服务的质量和可持续性。因此，海洋生态系统健康评价为区域生态环境评价提供了新方法。

我国海洋生态系统健康评价还处于实验和摸索阶段，尚未形成一套成熟的方法，这一学科涉及的研究领域较宽，内容较多，制约海洋生态系统维持和发展的因素及相互之间的关系也较为复杂。这就导致了海洋生态系统健康评价研究的复杂性、多学科综合性和多因子的系统性。

长期以来，人类的各种开发活动在海岸带地区十分活跃，海岸带生态系统在人类活动的干扰下，基本功能已严重紊乱，出现了所谓的“生态系统危机综合症（Ecosystem Distress Syndrome, EDS）”^[24, 25]，主要表现为：海洋环境污染日益严重、渔业资源衰退、生境改变及丧失、全球气候变化和赤潮频发等方面。海洋生态系统已成为世界上“患病”最严重的生态系统，进行海洋生态系统健康研究更加迫在眉睫。海洋生态系统健康研究的意义在于：

1. 海洋生态系统健康的恢复

生态系统健康研究最为关心的是生态系统功能紊乱的辨识与诊断方案的设计。通过海洋生态系统健康研究可以找出海洋生态系统“危机综合症”的病因，“对症下药”，从而实现海洋生态系统的“康复”。

2. 避免重大海洋生态问题发生的有效手段

由于海洋的特殊性，海洋污染与大气污染、陆地污染有很多不同，主要表现在污染源广、持续性强、扩散范围广以及防治难、危害大等方面。海洋环境面临着巨大的环境危机，只有了解了海洋生态系统的健康状况与未来发展趋势，才能迅速有效地对海洋环境及生态问题作出反应。

3. 实现可持续发展的必由之路

生态系统健康是在可持续发展的总体框架下提出的，其目的就是维持健康的生态系统，以实现可持续发展。生态系统健康研究是理论与实践有机结合起来系统科学，它将可持续发展的软科学与可持续发展的硬技术有机结合起来。1992年发布的联合国《21世纪议程》认为，全世界有一半以上的人口居住在海岸线60公里以内的地方，到2020年，这一比例可能提高到四分之三。因此，海洋生态系统健康与否将直接关系到人类的可持续发展。

4. 海洋环境综合管理的新思路

生态系统健康是新时代环境管理方法—生态系统管理的目标。它从生态系统整体上探索环境保护的方法，而非以往“头疼医头，脚疼医脚”的管理思路。生态系统健康研究将自然生态系统理论、社会经济理论以及健康理论有机地联系在一起，是连接海洋生态系统与人类健康的纽带。

5. 政府海岸带综合管理的决策依据

海岸带生态系统健康研究可以揭示海岸带环境胁迫与生态系统作用的关系，提供海岸带生态系统疾病诊断方法，从而为政府海岸带综合管理提供决策依据。

1.2.3 研究方法

在过去，生态系统健康研究主要是进行理论研究^[26, 27]。近年来，定量评价成为生态系统健康研究的焦点。根据水生生态系统健康研究的现状，可以总结出两种评价方式：指示物种法和指标体系法。

1. 指示物种法

鉴于海洋生态系统的复杂性，人们经常采用一些指示类群来监测海洋生态系统的健康^[28]。在过去的研究中，很多水生生物都可以作为水生生态系统的指示种进行生态系统健康评价。常用的水生生态系统健康评价的指示类群包括：

A. 浮游生物

水中的小生物群落，包括病毒、细菌、自养浮游生物等，是水生生态系统的重要组成部分，可以用于监测水生生态系统健康^[29]。例如，原生生物可以作为水生生态系统的指示种进行生态系统健康评估^[30, 31]。因为纤毛原生生物的丰富度、多样性和生物量与生态系统营养状况相关。另外，微生物环是一个敏感、快速和可以早期预警人类压力的生物指标^[32]，是湖泊生态系统健康评价和恢复中非常缺乏的生态技术^[33]。近年来，采用这些小尺度、敏感、实用、廉价和自动化的生物技术监测生态系统健康已经取得了明显进展^[34]。

B. 底栖无脊椎动物

生态系统观点是理解和探究自然系统中干扰效应的基础，确定底栖群落的结构和动态是理解水生生态系统状态和演变过程的关键。Reice 和 Wohlenberg 探讨了采用底栖大型无脊椎动物进行生态系统健康评价的优点^[35]。

从采用底栖无脊椎动物指示生态系统健康的研究中可以总结出 3 个普适性的方法^[36]：①有机污染程度方法：需要详细了解生物种类，对污水排放的影响研究最合适。②多样性指标：不需要详细了解物种，但是忽略了重要物种的信息。③生物指标：以上两者相结合。

在海岸带影响评估项目中，小型底栖生物可以作为生物指示种来评估海洋环境健康^[37]，大型海洋底栖无脊椎动物也可以用作评价环境健康的指示种，指标包括物种密度、多样性、生物量以及优势种^[38]。Ganapati 等^[39]和 David^[40]选用海牛和南方海獭作为指示物种评价了海洋生态系统健康。

C. 鱼类

鱼类反映了整个水生生态系统的环境状况。因为，它们一方面对化学污染比其它种群更加敏感；另一方面，鱼类处于食物链的顶级，综合反映了其它生物的变化，因此是生态系统健康监测的很好的指示种^[41]。

用鱼类评价水生生态系统健康，最简便的方法是跟踪鱼类种群对环境退化的响应，重要指标包括：平均年龄、产卵能力和条件因素^[42]。此类研究由来已久，Sonstegard & Leatherland^[43]就指出银大马哈鱼可以指示北美大湖区的生态系统健康。Edwards 等^[44]采用蛙鱼作为指示种来监测湖泊贫营养化。目前，采用鱼类监测水质和水生生态系统健康已经成为一种常用方法。

D. 不同组织水平生物的综合运用

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

廈門大學博碩