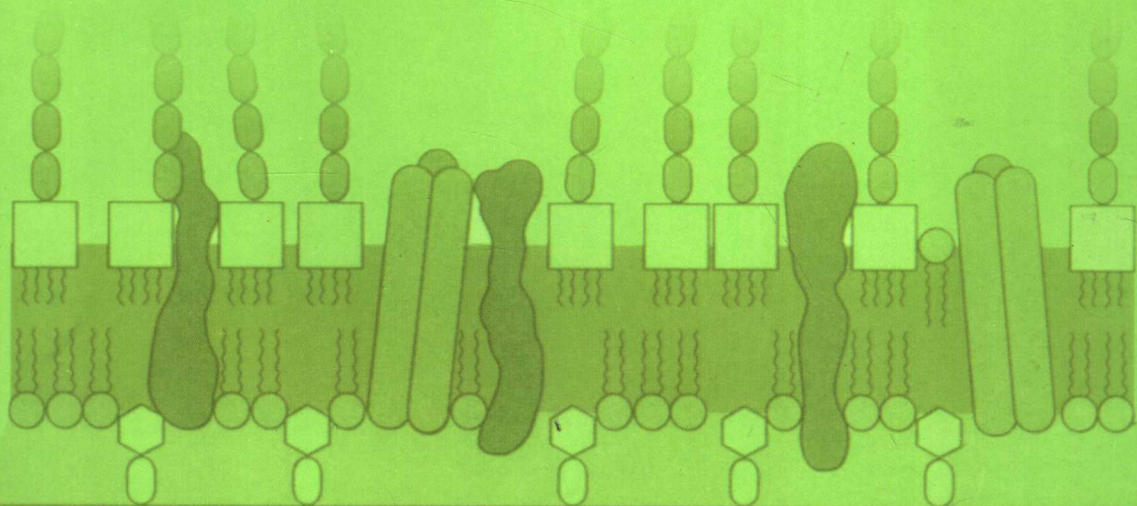


现代生命科学基础丛书

16

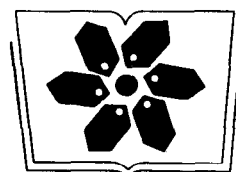
# 微生物分子生态学

张素琴 主编



科学出版社

[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)



中国科学院科学出版基金资助出版

现代生命科学基础丛书

# 微生物分子生态学

张素琴 主编

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书系统探讨了微生物与环境之间的分子生态关系,充分体现了环境造就生物,生物改造和修饰环境的基本原理。全书共分8章,核心是外界环境因子对微生物产生的环境分子生态效应和微生物对环境适应的遗传分子生态效应;微生物在机体内环境的分子生态现象体现在它们之间的信息交流,进一步阐明微生物感染与免疫,以及肿瘤病毒致癌的分子机制;病毒的分子生态涉及生命分子在细胞环境中的特殊生命状态,占据了较大的篇幅。

本书为污染环境的生物修复、生态整治以及健康医学提供了理论基础,可供生物学、医药学、农学等领域从事微生物学、病毒学、分子生物学、生态学的科研、教学人员和研究生参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

微生物分子生态学/张素琴主编. —北京:科学出版社,2005.9

(现代生命科学基础丛书)

ISBN 7-03-015282-4

I. 微… II. 张… III. 微生物生态学:分子生态学 IV. Q938.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 040411 号

责任编辑:高 锋 王 静 / 责任校对:陈丽珠

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:陈 敬

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2005年9月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2005年9月第一次印刷 印张:20 1/2

印数:1—2 000 字数:459 000

定价:58.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

## 《现代生命科学基础丛书》编委会

主 编：许根俊

副主编：沈倍奋 乔守怡 马克平 王克夷

编 委：(按汉语拼音排序)

敖世洲	昌增益	陈润生	戴灼华	丁明孝
杜生明	段恩奎	方荣祥	傅继梁	龚非力
顾红雅	何大澄	胡志红	黄伟达	金冬雁
李 博	李 林	曲音波	沈 萍	施苏华
寿天德	谭仁祥	王金发	武维华	薛勇彪
药立波	查锡良	张大勇	张知彬	左建儒

## 《微生物分子生态学》编者名单

**主 编：**张素琴

**副主编：**张忠信 刘海舟

**编 委：**（按汉语拼音排序）

刘海舟 中国科学院武汉病毒研究所

刘 智 华中科技大学博士后流动站

刘志培 中国科学院微生物研究所

汤显春 中国科学院武汉病毒研究所

吴云峰 西北农林科技大学

张素琴 中国科学院武汉病毒研究所

张忠信 中国科学院武汉病毒研究所

微生物是人类的朋友，也是人类的敌人。如何兴其利，除其害，乃至化害为利，是微生物生态学研究至关重要任务。现代分子生物学理论与技术的发展，促成了微生物分子生态学这一分支学科的形成。可以深信，随着这一新领域研究工作的不断发展和深入，人类必定能更好地利用微生物为自己造福。

祝贺《微生物分子生态学》出版

于震  
九十五岁  
于震

## 序 言

分子生物学的诞生和发展,是人类 20 世纪最伟大的科学成就之一,它深入揭示了生命现象的本质,使整个生命科学产生了深刻的分子革命。微生物分子生态学就是分子生物学在微生物生态学领域里相互渗透而形成的新的分支学科。

《微生物分子生态学》是主编者长期酝酿、精心组织有关作者经过数年努力的结晶。它较系统地阐述了微生物分子生态学的基础理论,重点论述了微生物与环境及微生物与细胞间关系的分子机制,详细地介绍了病毒分子生态学和微生物分子生态学的研究方法,较全面地反映了微生物分子生态学的现状。虽然由于分子生物学发展十分迅速,本书在最新文献的引述上,难免有遗漏之处,但终究“瑕不掩瑜”,本书不失为从事微生物分子生态学教学与科研的一本颇有价值的参考书。可以相信,它的出版将有助于推动微生物分子生态学在我国的发展。

笔者在 20 世纪 50 年代中期以研究酚降解菌开始的 40 多年的科学研究中,有幸从 20 世纪 70 年代后期起,在老一辈科学家的大力支持和指导下,与主编者一起一直从事石油、农药降解质粒的研究、细菌质粒生态调查和分子生态等国家攻关和国家基金项目研究,并适时有效地将 DNA 分子杂交和 PCR 等分子生物学技术应用于研究中,初步感受到分子生态学研究工作的艰辛与愉悦。老一辈科学家以高瞻远瞩的全局观点和对科学事业的高度责任感,为发展分子生态学所作的贡献,更是令人深受鼓舞和难以忘怀。现值本书付梓之际,谨向为此事业付出巨大心血的已故马世骏院士和陈华癸院士,表示深切的怀念和崇高的敬意!对至今还在一直关心、支持本事业的 95 岁高龄的简浩然教授,致以衷心的感谢和良好的祝愿!

马世通 谨识

2005 年“五一”节于羊城圆梦轩

## 前 言

1972年美国的Chakrabarty首次发现细菌的水杨酸降解质粒以后，我们就在简浩然（我国环境微生物学创始人之一）、王志通教授的指导下开展细菌质粒的研究，相继多次得到国家攻关和自然科学基金的资助，较深入系统地从事分子水平探讨一些生态学问题，尤其是1989年王志通（中国科学院广州能源研究所）、龚立三（华南师范大学）和我共同申请并获得“分子生态——抗污染质粒的构建及其生态学的研究”的国家自然科学基金项目资助以后，得到了我国著名生态学家、中国科学院院士马世骏先生的大力支持。马老高兴地指出：“分子生物学的发展必将带动生态学的发展，而二者交融成分子生态学，这是必然的。”后来在马老的主持下在北京相继召开了三次分子生态学发展座谈会。1993年11月，在中国微生物学会环境微生物专业委员会主任顾宗谦的倡导下，在南京举办了全国分子生态学学习班，我们以“微生物对环境的遗传适应和质粒的分子生态效应”以及“分子生物学研究内容与方法”为讲座内容。在此期间我们一直想把它编辑成书（当时国际上还没有出版这样的书），并曾经与科学出版社王惠君女士一起讨论了该书的基本内容和大纲，但是遗憾的是在复杂社会的生态系统中，成功并不容易。随后马先生不幸去世，我经历了难以承受的压力和艰难，一直没有时间和勇气写这本书。如今退休了，马世骏先生逝世十年多了，但一种精神一直鞭策着我，包括理想、信念和责任，必须完成这一早在十年前就该完成的工作。正好，1996年向近敏先生的世界首部《分子生态学》出版了，表明我国分子生态学的发展已经有了相当的基础，阅后受益匪浅。2003年，中国科学院科学出版基金对本书给予出版经费的支持，促使编写出版这样一本书的愿望得以实现。

本书的重点在于微生物分子生态学，有别于向近敏先生以分子生物体的分子环境和环境分子的层次性和生物活性分子的分子环境和环境分子的网络性为研究对象的分子生态学。全书分8章27节，约40万字，有些章节曾经作为研究生内部教材；也曾经在上海微生物学会年会、复旦大学、华东师范大学、南京大学、南京农业大学、华中农业大学等作过相关内容的专题讲座，在不同场合的学术交流中不断加深对分子生态学的理解，这里特别提出把生态系统理论和生态文化写在绪论之中，主要为了纪念已故的马世骏、陈华癸、龚立三等老一辈生态学家、微生物学家和分子生物学家，尤其是马世骏先生的“生态学是包括人文科学在内的自然科学”的论断，把我们带到了许许多多学科交叉的大视野中；特别是生态系统理论，不论是宏观生态学还是微观生态学以至于分子生态学都离不开这一理论范畴。也就是说生态系统中能流、物流、信息流，归根结底还是以分子水平的相互交流为基础。那么生态文化，生态整治的理念也同样具有分子生态性。总之，使读者对这一学科的形成过程和基本理论有个系统的认识；第二章把环境与微生物的相互作用作为重点展开，无疑涉及生物进化的问题，参考了裴新澍先生的《生物进化控制论》；第三章是微生物分子生态学在生物修复中的应用基础；第四章阐述了微生物与细胞之间的信息交流，重点讨论了微生物的信息传递的调控；第五章微生物与人体之间的通讯，作为微生物免疫分子生态学探索了微生物感染致癌的分子机制和免疫机制；新兴病毒的产生是病毒分子演化的结果作为第六章，第七章普通病毒分子生态学。



从第二章到第七章是本书的基础内容，第八章论述了分子生态学研究方法，以便从事分子生态研究的读者参考。从宏观生态学到微观生态学已经有 130 多年的发展历史，凝聚着许多先辈的心血，但是分子生态学仅有十几年的历史，涉及了生态学、微生物学、免疫学、细胞学、遗传学、分子生物学、生物信息学等许多学科相互交汇的领域，以新近发展的“控制论”、“耗散结构理论”、“信息论”等系统科学理论作为指导，尚有很多问题需要有志之士去拼搏、探索。

本书的出版目的只作为抛砖引玉，希望能够引起生物学界、医药学界和教育学界的学术争鸣，以促进真理发展，使人类在探索生命存在的各种复杂关系中，发现人类与自然和谐发展的秘诀，诸如微生态制剂、分子生态制剂（包括基因治疗），真正使科学服务于社会。

本书在编写过程中得到了中国科学院院士陈华癸和简浩然、陈宏溪、顾宗濂、王志通教授的悉心指教，得到了中国科学院武汉病毒研究所胡志红、袁志明等领导以及热衷于生态建设的武汉和平科技集团总裁黄崇胜与和平生物环保公司总经理张世敏和公司员工的大力支持。编者都是从事分子生态学科研、教学的工作者，大多数是年轻人，他们在百忙之中抽出时间，发挥团队精神完成了这本书的编写工作，充分体现了生态系统中的高效和谐，融汇了复杂系统理论的真谛。在这里一并表示衷心的感谢！

由于编者的水平和时间有限，本书不足之处在所难免，恳请广大读者、专家不吝指正。

张素琴

2004 年 4 月

# 目 录

简浩然祝词

序言

前言

<b>第一章 绪论</b> .....	1
<b>第一节 生态系统理论与生态文化</b> .....	张素琴 1
一、生态系统理论 .....	1
二、人类文化的发展史 .....	2
三、生态文化——人与自然和谐发展的文化 .....	2
四、生态整治 .....	3
<b>第二节 生态学发展的层次概念</b> .....	刘志培 4
一、宏观生态学与分子生态学的联系 .....	5
二、微生物生态学和微生态学的关系 .....	6
<b>第三节 分子生态学的产生与发展</b> .....	张素琴 6
一、分子生物学的发展带动了分子生态学 .....	6
二、环境造就生物的分子生态性 .....	8
三、分子生态学研究涉及的范围 .....	10
<b>第四节 微生物分子生态学的理论基础概述</b> .....	张素琴 13
一、微生物与外界因子之间产生的环境分子生态效应和遗传分子生态效应 .....	14
二、微生物与细胞之间的信息交流 .....	14
三、微生物在环境生物修复中的分子生态学 .....	15
四、病毒的分子生态学 .....	15
<b>参考文献</b> .....	16
<b>第二章 微生物对外界环境信号的适应与调整</b> .....	17
<b>第一节 外界环境条件和微生物相互作用的分子基础</b> .....	张素琴 刘海舟 17
一、光以及其它辐射影响微生物的分子生态性 .....	17
二、磁场和氧化还原电位影响微生物的分子生态效应 .....	23
三、温度对微生物的影响 .....	27
四、pH 值对微生物的影响 .....	28
五、水和水的活度 .....	28

六、表面与微生物的关系 (表面微生物学 surface microbiology)	31
七、其它环境因子对微生物的影响	32
第二节 极端环境微生物适应性的机制	张素琴 刘海舟 33
一、微生物对环境的非凡适应性	33
二、高温环境下微生物耐热的分子生态性	34
三、嗜盐微生物适应高盐环境的分子基础	39
四、微生物嗜碱性的分子基础	41
第三节 微生物响应环境新奇信号的分子生态学	张素琴 43
一、作用于微生物的信息物质	43
二、微生物对环境信号分子响应的调节作用	43
三、微生物对环境新奇信号的应答反应——噪声调节假说	50
第四节 微生物质粒的分子生态效应	张素琴 51
一、质粒的生物学特性	53
二、质粒功能的鉴定	56
三、质粒的分子生态效应	57
四、降解性质粒在生态工程中的应用	66
五、结语	69
第五节 微生物对环境适应的遗传分子生态效应	张素琴 70
一、通过基因转移、转导来改变遗传结构	71
二、环境中可转移的遗传物质 DNA 分子进行自然遗传转化	71
三、微生物进化的讨论	75
参考文献	76
<b>第三章 微生物在环境生物修复中的分子生态学</b>	80
第一节 微生物对污染环境修复作用的概述	刘智 张素琴 80
一、自然界的自净作用	80
二、污染环境微生物修复的概念与类型	80
三、生物修复的发展历史	81
第二节 从分子水平探索生物修复的多态性	刘智 张素琴 82
一、环境因子对农田土壤及水体污染的环境分子生态效应	82
二、生物修复多态性的分子机制	84
第三节 生物修复中的微生物分子生态学原理	刘智 张素琴 91
一、生物修复的微生物学原理	91
二、微生物生物修复中的环境分子生态效应	93

三、微生物在生物修复中的遗传分子生态效应 .....	95
四、基因工程菌在生物修复过程中的功能效应 .....	97
参考文献 .....	99
<b>第四章 微生物与细胞之间的信息交流</b> .....	102
<b>第一节 细菌通讯的媒介——细菌信号分子</b> .....	刘海舟 102
一、细菌信号分子——细菌信息素 .....	102
二、信号分子的特性 .....	106
<b>第二节 细菌信号分子的调节机制</b> .....	刘海舟 108
一、革兰氏阴性细菌信号分子的调节机制 .....	108
二、革兰氏阳性细菌的信息调节机制 .....	110
三、 <i>Vibrio harveyi</i> 复杂的 QS 调节系统和 AI-2 .....	112
四、研究阈值感应的方法 .....	114
<b>第三节 微生物信号系统与动植物的关系</b> .....	刘海舟 115
一、微生物与植物之间的信息交流 .....	115
二、微生物的细胞密度感应系统和生物膜 .....	116
三、细菌的细胞密度感应系统和抗感染治疗 .....	117
四、结语 .....	117
参考文献 .....	118
<b>第五章 微生物与人体之间的通讯</b> .....	125
<b>第一节 微生物的免疫分子生态学</b> .....	张素琴 125
一、益生菌的免疫调节作用 .....	125
二、细菌感染的分子生态基础 .....	128
三、病原菌致病的分子机制 .....	132
<b>第二节 肿瘤病毒的致癌作用</b> .....	张忠信 汤显春 134
一、肿瘤病毒的两重性 .....	135
二、细胞的癌基因和抗癌基因 .....	135
三、RNA 肿瘤病毒的癌基因及其作用机制 .....	137
四、DNA 肿瘤病毒的致癌基因 .....	142
五、肿瘤病毒致癌的分子生态学 .....	146
<b>第三节 乙型肝炎病毒与宿主分子的相互作用</b> .....	汤显春 张忠信 149
一、乙肝病毒形态结构的多样性 .....	149
二、乙肝病毒基因组的独特性 .....	150
三、乙肝病毒的复制、转录和表达 .....	153

四、乙肝病毒编码蛋白与宿主分子的相互作用 .....	157
五、乙肝病毒感染过程的分子机制 .....	161
六、诊断乙肝病毒的分子标志 .....	162
七、乙肝病毒在免疫接种人群中的分子变异 .....	164
八、乙肝病毒在治疗中的分子演变 .....	166
第四节 病毒编码泛素相关蛋白的功能 .....	张忠信 167
一、疱疹病毒编码的两个 E3 在病毒感染过程中的分子生态学 .....	168
二、痘病毒编码的 E3 参与 CD <sub>4</sub> 减量调节 .....	169
三、腺病毒编码的 E1B-55K 蛋白是泛素连接酶组分 .....	171
四、反转录病毒编码的泛素相关蛋白在病毒出芽增殖中的作用 .....	172
五、结语 .....	173
参考文献 .....	174
<b>第六章 新兴病毒及其产生的分子生态基础 .....</b>	<b>177</b>
第一节 新兴病毒出现的分子生物学基础 .....	张忠信 177
一、新兴病毒是病毒分子演化的结果 .....	177
二、病毒-宿主相互作用的类型 .....	180
三、新兴病毒出现的途径 .....	186
四、部分新兴病毒简介 .....	189
五、可能出现的新兴病毒 .....	207
第二节 人类免疫缺陷病毒 (HIV) 的多样性和起源 .....	张忠信 208
一、HIV 基因组的基本结构 .....	209
二、HIV-1 的重组及生物多样性 .....	213
三、灵长类动物慢病毒的演化及 HIV 的起源 .....	218
四、结语 .....	225
参考文献 .....	227
<b>第七章 普通病毒分子生态学 .....</b>	<b>232</b>
第一节 环境病毒分子生态学 .....	汤显春 张素琴 232
一、自然环境中病毒生存的特点 .....	232
二、病毒与外界环境之间的相互作用 .....	236
第二节 对虾白斑综合征病毒的致病性及其对宿主的作用 .....	汤显春 张忠信 237
一、WSSV 不同地区分离株的特征 .....	237
二、WSSV 基因组及表达蛋白的多样性 .....	239
三、WSSV 的致病过程中的分子生态学 .....	240

---

四、WSSV 的宿主多样性及传播途径 .....	242
五、WSSV 检测的分子生物学技术 .....	243
六、利用病毒分子生态学对 WSSV 的预防策略 .....	244
第三节 昆虫病毒分子生态学及其应用 .....	张忠信 245
一、昆虫病毒的类型 .....	245
二、杆状病毒分子生态学 .....	247
三、昆虫病毒的传播及病毒对宿主种群的作用 .....	258
四、利用昆虫病毒分子生态学对害虫进行生物防治 .....	266
第四节 植物病毒的分子生态学 .....	吴云峰 张忠信 268
一、植物病毒的侵染 .....	268
二、植物病毒的传播 .....	271
三、植物的抗病毒基因和抗性蛋白 .....	274
四、利用病毒基因工程防治植物病毒病 .....	276
参考文献 .....	278
第八章 微生物分子生态学方法 .....	284
第一节 微生物生态学中的分子生物学技术和方法 .....	刘志培 284
一、核酸分子(探针)杂交法 .....	284
二、荧光原位杂交 .....	294
三、PCR 扩增及其产物的多态性分析与序列测定 .....	297
四、变性梯度凝胶电泳 .....	301
第二节 分子生态学方法在微生物多样性与进化研究中的应用 .....	刘志培 305
一、微生物多样性研究 .....	305
二、微生物系统发育与进化研究 .....	307
参考文献 .....	310

# 第一章 绪 论

## 第一节 生态系统理论与生态文化

### 一、生态系统理论

生态学 (ecology): 生态即生存状态, 它蕴涵着生物与环境 (包括生物之间的内环境) 的复杂关系。生态学就是研究生命系统和环境系统之间的相互作用及其规律的科学, 正如著名生态学家马世骏教授所说: 生态学包括了人文科学和自然科学。

生态系统 (ecosystem): 是由生命系统和环境系统构成的复杂性耗散结构系统, 它是在开放的和远离平衡的条件下, 通过能量的耗散和内部非线性动力学机制维持客观时空的有序性结构, 自维持其稳态。生态系统的基本特点是进行物质、能量和信息的流动。即能流 (energy flow)、物流 (signal flow) 和信息流 (information flow)。而在其生物系统中, 三流则是体现在分子作用上。物流就是自然环境中的物质分子被细胞吸收, 通过新陈代谢, 有的分子构成细胞物质, 有的则排出胞外; 能流是活细胞吸收了光能转变成化学能的过程, 为细胞生命活动提供能量, 借这种能量的流动进行中间代谢; 第三种则是信息流, 信息流意味着方向和蓝图, 通过信息, 贮存或传递特殊分子的聚合, 分解的方向。可以说分子生物学特别是分子生态学核心是研究活细胞与环境交流时信息分子的表达、分配、复制和交流的方式。生态系统的运转包括生命与非生命, 系统各组分之间复杂的信息网络, 以实现营养元素循环和能量流动。因此通过三流运转构成生态系统动态平衡的结构状态。但是当外界变化达到一定的阈值时, 有序可能失去稳态, 使之形成时空或功能上的新稳态, 从无序到有序这就是自组织过程。因此, 自组织、自协调形成了系统的融合性和多元性的特征, 体现了天、地、人和生物、物理、化学等生命与非生命之间的相互依存和因果关系。由此构成了生态系统各组分之间功能上的统一, 即为自校稳态 (self-tuning homeostasis)。良好的稳态是进化的结果。它是系统在正负反馈作用下形成的对立统一的平衡状态, 也就是系统本身所具有的弹性和缓冲力。自然界里充满着和谐、完美, 而又相生相克, 这一切在时空上是统一的, 但是, 当人类面对着严重环境污染的负反馈 (negative feedback), 自然也没有能力对付这种污染的稳态控制 (homeo-static control), 一些古老文明的毁灭、土地的大规模沙漠化, 由此引起的自然灾害的频发等等都是大自然对人类不适当的干扰所给予的“报复”, 是我们应该吸取的教训。因此, 认识自然生态系统中各个成分间交互作用的方式和规律, 这就是分子生态学到宏观生态学需要解决的问题。也是推动生态平衡的良性循环, 为人类建设一个美好而理想的生存环境的首要问题。

## 二、人类文化的发展史

文化就是指人类在社会历史发展过程中所创造的物质财富和精神财富的总和,尤其是指精神财富(文学、艺术、教育、科学等)。人类文化的发展已经经历了三个阶段:自然文化、人文文化和科学文化阶段。早期人类使用石器以捕猎为生,实行崇拜自然的自然文化时代,到了青铜器时代,农业、牧业产生并得以快速发展,形成了以农业文明为特征的灿烂的古代文明。这也是人类的第一次文化革命。虽然科学已经产生,但主要以经验形式存在。而人类特别重视人伦与人事,进入了人文文化时代。

16世纪近代自然科学产生,科学推动了工业革命,机械化自动化大生产得以发展。尤其是20世纪以来,原子能技术、信息技术、生物技术等等高新技术的发展,推动了以科学技术为核心,以科学文化为特征的工业文明的发展。这是人类的第二次文化革命,形成了人类科学文化发展的时代。

现在,人类已经经历了三个文化发展阶段,面临着新的文化革命和新文化的选择。如果说农业文明是以土地和森林破坏为代价而被称为“黄色文明”的话,而工业文明却以环境污染为代价可被称为“黑色文明”;那么未来文化应该是摒弃掠夺自然的生产生活方式,重新尊重自然,以人与自然和谐发展为目的的“绿色文明”——那就是生态文化(eco-culture)。21世纪是生态文化的世纪,它要求“理性生态人”创造和建设人类生存的新世界!

回顾人类文化发展史,无不以向自然无限索取的、以人类为中心的价值取向构成了人类统治自然的文化。如今,人口、资源已经成为人类与社会关注的焦点。此时回顾一下祖国传统文化的“人与自然共相应以和为道,调其阴阳之所在以平为期”,以及天时、地利、人和的基本理念,又是多么亲切,那么人与自然和谐发展的价值取向产生的生态文化又是何等的重要!从某种意义上来说,观其社会发展,生态文化是一切文化的出发点!

## 三、生态文化——人与自然和谐发展的文化

随着历史的进程,人类智能高度发展,即人文和科学的发展促进人的心理与精神的修养和社会的文明。也就是说促进了生态文化的发展,在其发展过程中,值得关注的有如下几个问题。

### 1. 生存与发展

环境造就生物,生物改变和修饰着环境,这是自然界的发展史。生物在自然界中诞生,并在与自然灾害斗争中,不断改造、修饰自己和外界环境,以平衡协调发展,完成着生态演替和物种进化。然而它们在漫长的进化历史长河中,始终面临着生存与发展的严峻挑战。求生是生物的本能,竞争是生物生存斗争的基础和进化的机制。人不同于其它生物是因为他以意识超越本能。人们追求更美好的生活、更高的生活质量,这是最具有生气的表现。也就是人们向往和平、安定、安全、繁荣的社会环境和清静美丽的自然



环境。这种向往和追求构成了社会发展的原动力，因此，发展始终为硬道理；只有创新才具有生命力。这是生态文化发展的纽带。

## 2. 可持续发展战略

它是生态文化的重要组成部分。生物物种延续是生物的本能，而发展必须考虑到子孙后代和全世界人们的共同利益。而生态文化则指导人类行为和社会实践，建立可持续发展的战略，其原则就是：整体优化体现出高效和谐，循环再生体现了系统的增长动力，区域分异体现适度空间的合理利用和人口资源的协调发展。不断探索解决生产发展与资源环境保护之间的矛盾，真正形成社会-经济-自然的耦合系统。经济问题直接关系到社会发展和人类生活的改善，而工业发展，资源利用，环境整治与保护无不涉及经济问题。生态文化所倡导的经济、生态、社会科技相结合的综合效益观点是可持续发展战略的核心。

## 3. 人是协调与自然关系的关键

在社会-经济-自然这个耦合系统之中，调节人与自然关系中的关键是人，也就是说关键在于人类如何调节和控制生态系统中的人类行为（个体和群体行为），在自然法则中单个生物不能自持单位，因为在每个生态系统中都分布着各种各样的种群和群落，不论是低等的单细胞生物还是最高等的人类，都以群落形式存在于自然界。群落是生态系统的结构单位和功能单位，它们是生态系统内最充满生气的部分。群落中的不同种群以有规律的方式共处，才能使个体和社会达到最佳行为状态。这样的状态是全局整体的发展趋势的非线性相互作用的结果。而人的真、善、美和理性的有效性同样也是社会、家庭和个人的复杂性相互作用的结果。这种结果才能充分体现人与自然的高效和谐。这就是生态文化中涉及的思维与伦理道德的规范。因此，复杂性的系统思维理念就显得尤为重要。

系统思维是通过建立一个整体框架，提出所有解决问题的影响因素和机制，全面考虑技术上、社会上和个人的诸方面因素，系统综合的思维方法。它与还原性思维(reduced thinking)有本质的区别：前者是整体把握，后者是还原分析，线性还原的单极思维，很可能导致教条主义和狭隘的偏激主义、空想和狂热。在人类的生态、政治和经济的复杂性非线性的系统中，系统思维是防止复杂世界混乱，利用协同效应创造美好社会的先进思维方法，也就是不断变革的创新思维(breakthrough)。由这种思维产生的生态文化则是实现人与自然-社会协调发展的产物。

## 四、生态整治

由复杂性系统思维所产生的生态文化应用于解决环境治理和生物病虫害防治而提出来的生态整治(eco-realignment)，是维系生态系统平衡，促进人类文明的科学举措。它的具体内容是：充分考虑人类的行为活动对环境产生的影响，采取积极主动的措施，防患于未然；在时间、空间上全面考虑，统筹兼顾，对系统所采取的措施的性质和强度不能超出生态系统的忍耐限度和调节复原的弹性范围；从而实现人与自然和谐发展。“三废”的生态整治实施方法应该是运用系统能流、物流规律和自身调节能力，实现清