

退化湿地生态系统恢复的一些理论问题*

彭少麟 任海** 张倩媚

(中国科学院华南植物研究所, 广州 510650)

【摘要】 湿地是陆地和水生生态系统间的过渡带. 作为一种重要的自然资源, 湿地是野生生物的栖息地, 可调控区域内的水分循环和 C、N 等元素的生物地球化学循环; 其生物生产力可为人类提供食物和商品, 还能过滤和分解所吸纳的污染物. 由于湿地的功能未受到足够的重视, 全世界的湿地因大量围垦和干扰而丧失或退化. 在退化湿地的恢复过程中, 可用自我设计和设计理论、演替理论、入侵理论、河流理论、洪水脉冲理论、边缘效应理论和中度干扰假说等理论作指导. 湿地恢复的方法包括: 尽可能采用工程与生物措施相结合的方法, 恢复湿地的供水连接, 利用水文过程加快恢复, 控制污染物的流入, 修饰湿地的地形或景观, 改良湿地土壤, 在最佳位置重建湿地的生物群落, 减少人类干扰, 提高湿地的自我维持能力, 建立缓冲带以保护自然的和恢复的湿地, 建立湿地稳定性和持续性的评价体系并予以监控.

关键词 湿地恢复 自我设计和设计理论 恢复技术

文章编号 1001-9332(2003)11-2026-05 **中图分类号** X171.4 **文献标识码** A

Theories and techniques of degraded wetland ecosystem restoration. PENG Shaolin, REN Hai, ZHANG Qianmei (South China Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650)...-Chin. J. Appl. Ecol., 2003, 14(11): 2026~2030.

Wetlands are the lands transitional between terrestrial and aquatic ecosystems. They provide humanity many services and commodities, are the habitats of wildlife, can control the water cycling and the biogeochemical cycling of nitrogen and carbon, and can filter and decompose the pollutants. The wetlands suffer loss and degradation because of reclamation and human disturbance. Some theories, such as self-design versus design theory, succession theory, invasion theory, flood pulsing theory, edge effect theory, and intermediate disturbance hypothesis, can be used to direct the restoration of wetlands. Techniques of wetland restoration include to restore the natural hydrologic conditions, to rehabilitate suitable vegetation types, to control human disturbance, to meliorate the soil or landscape, to construct the buffer region, and so on.

Key words Wetland restoration, Self-design versus design theory, Restoration technique.

1 引言

湿地是地球上水陆相互作用形成的独特生态系统, 全球约有 $8.6 \times 10^6 \text{ km}^2$ 的湿地(约占地球陆地面积的 6%), 其中约 56% 的湿地分布在热带亚热带区域(此前 Matthews 于 1987 估计全球湿地有 $5.3 \times 10^6 \text{ km}^2$. 两者数据不同的主要原因是两人对湿地的划分范围不同, 当前人们沿用较多的仍是较大的数据^[15]). 湿地是地球上最脆弱的生态系统之一, 在蓄洪防旱、调节气候、控制土壤侵蚀、促淤造陆、降解环境污染等方面起着极其重要的作用. 由于大多数人并未意识到湿地的重要功能, 随着社会和经济的发展, 全球约 80% 的湿地资源丧失或退化, 严重影响了湿地区域生态、经济和社会的可持续发展^[18]. 自 20 世纪 70 年代开始, 西方发达国家就开展了有关研究和实践, 以保护自然湿地并恢复退化的湿地生态系统, 我国虽然起步晚一些, 但发展很快, 尤其是红树林湿地恢复和湿地综合利用方面. 本文拟探讨湿地退化的原因、湿地恢复的有关理论及方法.

2 湿地的功能及其退化原因

湿地是陆地和水生生态系统间的过渡带, 其水位常常较

浅或接近陆地表面, 主要分布在海岸带和部分内陆区域. 美国一般可将湿地分为海岸带湿地生态系统和内陆湿地生态系统, 其中前者又可细分为潮汐盐沼、潮汐淡水沼泽和红树林湿地三类, 后者可细分为内陆淡水沼泽、北方泥炭湿地、南方深水沼泽和河岸湿地四大类^[4]. 中国湿地的主要类型包括: 沼泽型组(森林沼泽、灌丛沼泽、草丛沼泽、藓类沼泽); 浅水植物湿地型组(漂浮植物、浮叶植物、沉水植物); 红树林湿地型组; 盐沼型组(灌丛盐沼、草丛盐沼); 海草湿地型组^[14].

湿地作为一种生态系统, 其主要的功能体现在: 调控区域内的水分循环; 调节区域乃至全球 C、N 等元素的生物地球化学循环; 具有生物生产力, 分解进入湿地的各种物质, 作为生物的栖息地^[18]. 对人类来说, 这些功能体现的价值包括: 生物多样性的生境, 调控洪水、暴雨的影响, 过滤和分解污染物, 改善水质, 防止土壤侵蚀, 提供食物和商品, 旅游地点等^[1].

* 国家自然科学基金重大项目(39899370, 30200035)、中国科学院生物特支费(STZ-01-36)、中国科学院生命科学创新小组和广东省基金团队资助项目(003031).

** 通讯联系人.

2001-03-20 收稿, 2003-03-11 接受.

湿地丧失和退化的主要原因有物理、生物和化学三方面。它们具体体现如下:围垦湿地用于农业、工业、交通、城镇用地;筑堤、分流等切断或改变了湿地的水分循环过程;建坝淹没湿地;过度砍伐、燃烧或啃食湿地植物;过度开发湿地内的水生生物资源;废弃物的堆积;排放污染物。此外,全球变化还对湿地结构与功能有潜在的影响^[2, 15, 18, 25, 29]。

3 湿地恢复的概念

湿地恢复是指通过生态技术或生态工程对退化或消失的湿地进行修复或重建,再现干扰前的结构和功能,以及相关的物理、化学和生物学特性,使其发挥应有的作用。它包括提高地下水来养护沼泽,改善水禽栖息地;增加湖泊的深度和广度以扩大湖容,增加鱼的产量,增强调蓄功能;迁移湖泊、河流中的富营养沉积物以及有毒物质以净化水质;恢复泛滥平原的结构和功能以利于蓄纳洪水,提供野生生物栖息地以及户外娱乐区,同时也有助于水质恢复^[5]。目前的湿地恢复实践主要集中在沼泽、湖泊、河流及河缘湿地的恢复上。

一般地,在许多情况下湿地受扰前的状态是湿林地、沼泽地或开放水体,恢复哪一种状态在很大程度上决定于湿地恢复管理者和计划者的选择,即他们对受扰前或近于原始湿地的了解程度。无论如何,由于恢复与重建的细微差别,如果是恢复,一个地区只会再现它原有的状态,重建则可能会出现一个全新的湿地生态系统。在湿地恢复过程中,由于许多物种的栖息地需求和耐性不能被完全了解,因而恢复后的栖息地没有完全模拟原有特性,再者恢复区面积经常会比先前湿地要小,使先前湿地功能不能有效发挥。因此,湿地恢复是一项艰巨的生态工程,需要全面了解受扰前湿地的环境状况、特征生物以及生态系统功能和发育特征,以更好地完成湿地的恢复和重建过程。

4 湿地恢复的理论

4.1 自我设计和设计理论

自我设计和设计理论据称是唯一起源于恢复生态学的理论。由 van der Valk^[23]、Mitsch 和 Jorgensen^[16]等提出并完善的湿地自我设计理论认为,只要有足够的时间,随着时间的进程,湿地将根据环境条件合理地组织自己并会最终改变其组分。Mitsch 和 Jorgensen^[16]认为,在一块要恢复的湿地上,种与不种植物无所谓,最终环境将决定植物的存活及其分布位置。Mitsch^[17]比较了一块种了植物与一块不种植物的湿地恢复过程,他发现在前 3 年两块湿地的功能差不多,随后出现差异,但最终两块湿地的功能恢复得一样。他与 Odum^[20]均认为湿地具有自我恢复的功能,种植植物只是加快了恢复过程,湿地的恢复一般要 15~20 年。

而设计理论认为,通过工程和植物重建可直接恢复湿地,但湿地的类型可能是多样的。这一理论把物种的生活史(即种的传播、生长和定居)作为湿地植被恢复的重要因子,并认为通过干扰物种生活史的方法就可加快湿地植被的恢复(图 1)。

这两种理论不同点在于:自我设计理论把湿地恢复放在生态系统层次考虑,未考虑到缺乏种子库的情况,其恢复的只能是环境决定的群落;而设计理论把湿地恢复放在个体或种群层次上考虑,恢复可能是多种结果。这两种理论均未考虑人类干扰在整个恢复过程中的重要作用。

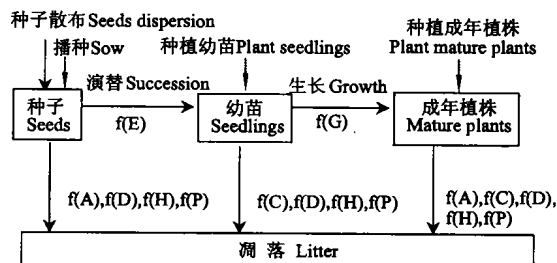


图 1 通过干扰物种的生活史加快湿地恢复的设计理论

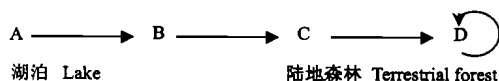
Fig. 1 Self-design versus design theory of wetland restoration by disturbing the life history of species

A: 年龄 Age, C: 竞争 Competition, D: 干扰 Disturbance, E: 环境条件 Environment condition, G: 生长 Growth, H: 啃食 Herbivore, P: 疾病 Disease and pest.

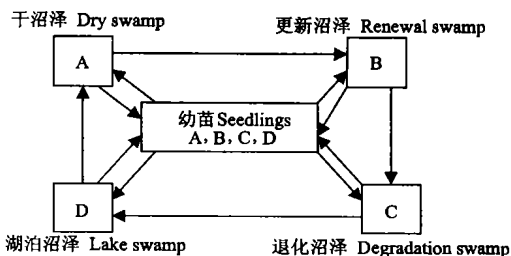
4.2 演替理论

演替是生态学中最重要而又争议最多的基本概念之一,一般认为“演替是植被在受干扰后的恢复过程或从未生长过植物的地点上形成和发展的过程”。演替的观点目前至少已有 9 种^[28],但只有 2 种与湿地恢复最相关,即演替的有机体论(整体论)和个体论(简化论)^[22]。有机体论的代表人 Clements 把群落视为超有机体,将其演替过程比作有机体的出生、生长、成熟和死亡。他认为植物演替由一个区域的气候决定,最终会形成共同的稳定顶极。个体论的代表人 Gleason 认为植被现象完全依赖于植物个体现象,群落演替只不过是种群动态的总和。

上述两种演替观点代表了两个极端,而大多数的生态演替 a) Clements/Pearsall 的经典演替理论



b) van der Valk/Gleasonian 的演替理论



c) Egler 的起源区系演替理论

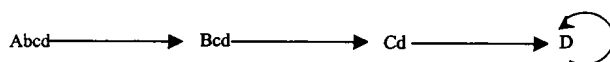


图 2 湿地演替的几种理论

Fig. 2 Theories on wetland succession.

替理论反映了介乎其间的某种观点^[2,22]。例如, Egler^[6]提出的初始植物区系组成学说认为, 演替的途径是由初始期该立地所拥有的植物种类组成决定的, 即在演替过程中哪些种的

出现将由机遇决定, 演替的途径也是难以预测的(图 2)。事实上, 前两种演替理论与自我设计和设计理论在本质上是一回事。利用演替理论指导湿地恢复一般可加快恢复进程, 并

表 1 溪流恢复过程与 Odum 预期的演替过程中的特征比较^[8,19]
Table 1 Characteristic comparison between the process of stream restoration and the wetland succession hypothesized by Odum

生态系统特征 Ecosystem characteristics	预期 ^[19] Anticipation	实际恢复 ^[8] Actual Figures
生产力/呼吸量 Productivity/Respiration	接近 1 About 1	从 <1 升为 >1 From <1 to >1
生产力/生物量 Productivity/Biomass	降低 Decrease	先快速增加, 后降低 First increase fast then decrease
生产力/叶绿素 a Productivity/Chlorophyll a	—	降低 Decrease
净生产力降低 Net productivity decrease	增加 Increase	
食物链 Food chain	肉食-腐食 Herbivore-decomposer	腐食-肉食-腐食 Decomposer-herbivore-decomposer
总有机质 Total organic matter	增加 Increase	增加 Increase
非有机质循环 Non-organic matter cycle	增加 Increase	增加 Increase
物种多样性 Biodiversity	增加 Increase	不同群体不同 Different
生物化学多样性 Biochemistry diversity	增加 Increase	稳定 Steady
有机体大小 Organism size	增加 Increase	不同群体不同 Different
食物网 Food web	变长和复杂 Lengthen and complex	短而简单 Short and simple
碎屑的作用 Debris action	重要 Importance	重要 Importance
营养保存 Nutrition conservation	加强 Enhance	加强 Strengthen
抗干扰力 Anti-disturbance	加强 Enhance	较低 Lower

促进乡土种的恢复。

Odum^[19] 提出了生态系统演替过程中的 14 个特征, Fisher 等^[8] 在研究了美国 Arizona 的一条溪流的恢复过程后作了比较, 他们发现所比较的 14 个特征中只有半数相符的(表 1)。因此, 虽然可以用演替理论指导恢复实践, 但湿地的恢复与演替过程还是存在差异的。

4.3 入侵理论

在恢复过程中植物入侵是非常明显的。一般地, 退化后的湿地恢复依赖于植物的定居能力(散布及生长)和安全岛(safe site, 适于植物萌发、生长和避免危险的位点)。Johnstone^[12] 提出了入侵窗理论, 该理论认为, 植物入侵的安全岛由障碍和选择性决定, 当移开一个非选择性的障碍时, 就产生了一个安全岛。例如, 在湿地中移走某一种植物, 就为另一种植物入侵提供了一个临时安全岛, 如果这个新入侵种适于在此生存, 它随后会入侵其它的位点。入侵窗理论能够解释各种入侵方式, 在恢复湿地时可人为加以利用。

4.4 河流理论

位于河流或溪流边的湿地与河流理论紧密相关。河流理论有河流连续体概念(River Continuum Concept)、系列不连续体概念(Serial Discontinuity Concept, 有坝阻断河流时)两种。这两种理论基本上都认为沿着河流不同宽度或长度其结构与功能会发生变化。根据这一理论: 在源头或近岸边, 生物多样性较高; 在河中间或中游因生境异质性高生物多样性最高, 在下游因生境缺少变化而生物多样性最低^[24,26]。在进行湿地恢复时, 应考虑湿地所处的位置, 选择最佳位置恢复湿地生物。

4.5 洪水脉冲理论

洪水脉冲理论认为洪水冲积湿地的生物和物理功能依赖于江河进入湿地的水的动态。被洪水冲过的湿地上植物种子的传播和萌发, 幼苗定居, 营养物质的循环, 分解过程及沉积过程均受到影响^[18]。在湿地恢复时, 一方面应考虑洪水的影响, 另一方面可利用洪水的作用, 加速恢复退化湿地或维

持湿地的动态。

4.6 边缘效应理论和中度干扰假说

湿地位于水体与陆地的边缘, 又常有水位的波动, 因而具有明显的边缘效应和中度干扰, 是检验边缘效应理论和中度干扰理论的最佳场所。边缘效应理论认为两种生境交汇的地方由于异质性高而导致物种多样性高^[9]。湿地位于陆地与水体之间, 其潮湿、部分水淹或完全水淹的生境在生物地球化学循环过程中具有源、库和转运者三重角色, 适于各种生物的生活, 生产力较陆地和水体的高。

湿地上环境干扰体系的时空尺度比较复杂(图 3), Connell^[3] 提出的中度干扰理论认为在适度干扰的地方物种丰富

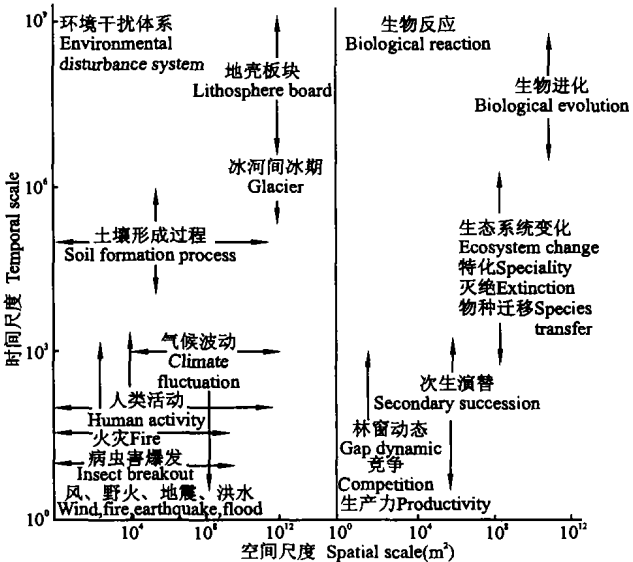


图 3 环境干扰体系和生物反应的时空尺度
Fig.3 Environmental disturbance system and temporal-spatial scale for biological reaction.

度最高, 即在一定时空尺度下, 有适度干扰时, 会形成缀块性的景观, 景观中会有不同演替阶段的群落存在, 而且各生态

系统会保留高生产力、高多样性等演替早期特征,但这一理论应用时的难点在于如何确定中度干扰的强度、频率、持续时间。

5 湿地恢复的策略

湿地退化的主要原因是人类活动的干扰,其内在实质是系统结构的紊乱和功能的减弱与破坏,而外在表现上则是生物多样性的下降或丧失以及自然景观的衰退。湿地恢复和重建最重要的理论基础是生态演替。由于演替的作用,只要消除干扰压力,并且在适宜的管理方式下,湿地是可以恢复的。恢复的最终目的就是再现一个自然的、自我持续的生态系统,使其与环境背景保持完整的统一性^[7, 11, 21, 23, 27]。

不同的湿地类型,恢复的指标体系及相应策略亦不同。对沼泽湿地而言,由于泥炭提取、农业开发和城镇扩建使湿地受损和丧失。如要发挥沼泽在流域系统中原有的调蓄洪水、滞纳沉积物、净化水质、美学景观等功能,必须重新调整和配置沼泽湿地的形态、规模和位置,因为并非所有的沼泽湿地都有同样的价值。在人类开发规模空前巨大的今天,合理恢复和重建具有多重功能的沼泽湿地,而又不浪费资金和物力,需要科学的策略和合理的生态设计。

就河流及河缘湿地来讲,面对不断的陆地化过程及其污染,恢复的目标应主要集中在洪水危害的减小及其水质的净化上,通过疏浚河道,河漫滩湿地再自然化,增加水流的持续性,防止侵蚀或沉积物进入等来控制陆地化,通过切断污染源以及加强非点源污染净化使河流水质得以恢复。而对湖泊的恢复却并非如此简单,因为湖泊是静水水体,尽管其面积不难恢复到先前水平,但其水质恢复要困难得多,其自净作用要比河流弱得多,仅仅切断污染源是远远不够的,因为水体尤其是底泥中的毒物很难自行消除,不但要进行点源、非点源污染控制,还需要进行污水深度处理及其生物调控技术。

对于红树林湿地而言,红树林沼泽发育在河口湾和滨海区边缘,在高潮和风暴期是滨海的保护者,在稳定滨海线以及防止海水入侵方面起着重要作用。它为发展渔业提供了丰富的营养物质,也是许多物种的栖息地。由于人类的各项活动,红树林正在被不断地开发和破坏。为恢复这一重要的生态系统,需要保持陆地径流的合理方式,严禁滥伐及矿物开采,保证营养物的稳定输入等是恢复退化红树林的关键所在。

湿地恢复策略经常由于缺乏科学知识而阻断,特别是湿地丧失的原因,自然性和对一些显著环境变量的控制,有机体对这些要素的反应等还不够清楚,因此对湿地水动力的理解以及评价不同受损类型的影响是决定恢复策略的关键。

6 湿地恢复的过程与方法

6.1 湿地恢复的过程

湿地恢复可分为消极的恢复(停止人类干扰,让其自然恢复)、积极的恢复、重建成非原始湿地、失败的恢复等4类。

积极的湿地恢复过程常包括清除和控制干扰,净化水质,去掉顶层退化土壤,引种乡土植物和稳定湿地表面等步骤。但由于湿地中的水位经常波动,还有各种干扰,因此在湿地恢复时必须考虑这些干扰,并将其当作恢复中的一部分^[13]。

6.2 湿地恢复的方法

湿地恢复的目标、策略不同,拟采用的关键技术也不同。根据目前国内外对各类湿地恢复项目研究的进展来看,可概括出以下几项技术:废水处理技术,包括物理处理技术、化学处理技术、氧化塘技术;点源、非点源控制技术;土地处理(包括湿地处理)技术;光化学处理技术;沉积物抽取技术;先锋物种引入技术;土壤种子库引入技术;生物技术,包括生物操纵(biomanipulation)、生物控制和生物收获等技术;种群动态调控与行为控制技术;物种保护技术等。这些技术有的已经建立了一套比较完整的理论体系,有的正在发展。在许多湿地恢复的实践中,其中一些技术常常是相整合应用的,并可取得显著效果。

与其它生态系统过程相比,湿地生态系统的过程具有明显的独特性:兼有成熟和不成熟生态系统的性质;物质循环变化幅度大;空间异质性大;消费者的生活史短但食物网复杂;高能量环境下湿地被气候、地形、水文等非生物过程控制,而低能量环境下则被生物过程所控制^[15]。这些生态系统过程特征在湿地恢复过程中应予以考虑。不同的湿地恢复方法不同(如红树林和江心洲),而且在恢复过程中会出现各种不同的问题,因此很难有统一的模式,但在一定区域内同一类型的湿地恢复还是可以遵循一定的模式^[10],当然这个模式是需要进行试验探索的。在我国已应用的模式也非常多,比较著名的是桑基鱼塘模式^[30]和林果草(牧)渔模式^[29]。从各种湿地恢复的方法中可归纳如下的方法:尽可能采用工程与生物措施相结合的方法恢复;恢复湿地与河流的连接为湿地供水;恢复洪水的干扰;利用水文过程加快恢复(利用水周期、深度、年或季节变化、滞留时间等改善水质);停止从湿地抽水;控制污染物的流入;修饰湿地的地形或景观;改良湿地土壤(调整有机质含量及营养含量等);根据不同湿地选择最佳位置重建湿地的生物群落^[2, 18];减少人类干扰提高湿地的自我维持能力;建立缓冲带以保护自然的和恢复的湿地;发展湿地恢复的工程和生物方法;建立不同区域和类型湿地的数据库;开展各种湿地结构、功能和动态的研究;建立湿地稳定性和持续性的评价体系。

参考文献

- 1 Cairns JR, eds. 1992. Restoration of Aquatic Ecosystems. Washington, DC: National Academy Press.
- 2 Chris B. 2000. European wet grasslands. Chichester: John Wiley & Sons. 249~295
- 3 Connell JH. 1978. Diversity in tropical rainforest and coral reefs. *Science*, 199:1302~1310
- 4 Cowardin LMV. 1978. Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States. Washington, DC: U.S. Department of the Interior, 31~35
- 5 Cui B-S(崔保山), Liu X-T(刘兴土). 1999. Review of wetland restoration studies. *Adv Earth Sci*(地球科学进展), 14(1):10~15(in Chinese)

- 6 Egler FE. 1977. The nature of Vegetation. Norfolk:Connectut. 58
- 7 Ellenberg H. 1988. Vegetation ecology of central Europe. Cambridge: Cambridge University Press. 32~76.
- 8 Fisher SG. 1982. Temporal succession in a desert stream ecosystem following flash flooding. *Ecol Monogr*, 52:93~110
- 9 Forman RTT. 1995. Land Mosaics. Cambridge: Cambridge University Press. 428
- 10 Giller PS, eds. 1992. Aquatic Ecology: Scale, Pattern and Process. Oxford: Blackwell Scientific Publications. 1~37
- 11 Grootjan AP. 1985. Change of Groundwater Regime in Wet Meadows. Ph D. Thesis. State University of Groningen, The Netherlands.
- 12 Johnstone IM. 1986. Plant invasion windows: a time-based classification of invasion potential. *Biol Rev*, 61:369~394
- 13 Kauffman T. 1995. Ecological approaches to riparian restoration in northeast Oregon. *Rest Man Notes*, 13:12~15
- 14 Lang H-Q(郎惠卿) ed. 1999. Wetland Vegetation in China. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- 15 Mitsch WJ & Gosselink JG. 1993. Wetland(second edition) . New York: Van Nostrand Reinhold. 10~18
- 16 Mitsch WJ & Jorgensen SE. 1989. Ecological Engineering. New York: John Wiley & Sons. 78~91
- 17 Mitsch WJ. 1996. Improving the success of wetland creation and restoration with know-how, time, and self-design. *Ecol Appl*, 6:77~83
- 18 Middleton B. 1999. Wetland Restoration, Flood Pulsing, and Disturbance Dynamics. New York: John Wiley & Sons, Inc. 1~288
- 19 Odum EP. 1998. Experimental study of self-organization in estuarine ponds. In: Mitsch WJ & Jorgensen SE eds. Ecological Engineering. New York: John Wiley & Sons. 291~340.
- 20 Odum EP. 1969. The strategy of ecosystem development. *Science*. 164:262~270
- 21 Ren H(任海), Peng S-L(彭少麟). 2001. Introduction to Restoration Ecology. Beijing: Science Press. 65~75(in Chinese)
- 22 van der Valk. 1999. Succession theory and wetland restoration. Proceedings of INTECOL' V International Wetlands Conference, Perth, Australia. 31~47
- 23 van der Hoek. 1988. The influence of water level management on vegetation development. *Agric Water Man*, 14:423~437
- 24 Vannote RLGW. 1980. The river continuum concept. *Can J Fish Aqua Sci*, 37:130~137
- 25 Wade M. 1988. Floodplain meadows in the Czech Republic. *Praha*, 4:1~16
- 26 Ward JV. 1989. The serial discontinuity concept: extending the model to floodplain rivers. *Res Man*, 10: 159~168
- 27 Wheeler BD, Shaw SC, Fojt WJ. 1995. Restoration of Temperate Wetlands. Chichester: John Wiley & Sons. 12~87
- 28 Wu J-G(邬建国), Vankat J L, Gao W(高玮). 1992. Ecological succession theory and model. In: Current Advance in Ecology. Beijing: China Science and Technology Press. 49~64(in Chinese)
- 29 Yu Z-Y(余作岳), Peng S-L(彭少麟). 1997. Ecological studies on vegetation rehabilitation of tropical and subtropical degradation ecosystem. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press. 10~30(in Chinese)
- 30 Zhong G-P(钟功甫). 1987. Fish pond system in the pearl river delta. Beijing: Science Press. (in Chinese)

作者简介 彭少麟,男,1956年生,博士,研究员,博士生导师.主要从事植被生态学和恢复生态学研究,主持有国家基金、中国科学院和广东省重大项目5项,发表论著300余篇,获得国家和省部级成果12项. E-mail: Slpeng@scib.ac.cn