

湿地保护修复与可持续利用丛书

Study on Biodiversity of New Created Wetland in
Coal Mining Subsidence Area

采煤塌陷区 新生湿地生物多样性研究

■ 袁兴中 侯元同 张冠雄◎著



张冠雄



科学出版社

湿地保护修复与可持续利用丛书

丛书资助：长江上游湿地科学研究重庆市重点实验室

本书为重庆大学煤矿灾害动力与控制国家重点实验室重点基金项目“采煤塌陷地新生湿地演变生态动力学及调控研究”

(2011DA105287—DZ201402) 成果

Study on Biodiversity of New Created Wetland in
Coal Mining Subsidence Area

采煤塌陷区 新生湿地生物多样性研究

■ 袁兴中 侯元同 张冠雄◎著

科学出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

采煤塌陷区新生湿地生物多样性研究 / 袁兴中, 侯元同, 张冠雄著. —北京: 科学出版社, 2018.6

(湿地保护修复与可持续利用丛书)

ISBN 978-7-03-057896-9

I. ①采… II. ①袁… ②侯… ③张… III. ①煤矿开采-地表塌陷-沼泽化地-生物多样性-研究 IV. ①Q16

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第126804号

丛书策划: 朱萍萍

责任编辑: 朱萍萍 赵晓静 / 责任校对: 邹慧卿

责任印制: 张欣秀 / 封面设计: 有道文化

编辑部电话: 010-64035853

E-mail: houjinlin@mail.sciencep.com

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>

北京教图印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年6月第 一 版 开本: 720×1000 B5

2018年6月第一次印刷 印张: 14

字数: 221 000

定价: 85.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

丛书编委会

主 任：马广仁

成 员（以姓氏笔画为序）：

罗世伟 田 昆 杨 华 袁兴中

张 洪 张明祥 赵洪新

丛 书 序

湿地是重要的生态系统，是流域生态屏障不可缺少的组成部分，具有重要的生态服务功能，包括涵养水源、水资源供给、气候调节、环境净化、生物多样性保育、碳汇等。近年来，经济社会的高速发展给湿地生态系统带来了巨大压力和严峻挑战。随着人口急剧增加和经济快速发展，对湿地的不合理开发利用导致天然湿地日益减少，功能和效益下降；捕捞、狩猎、砍伐、采挖等过量获取湿地生物资源，造成湿地生物多样性丧失；盲目开垦导致湿地退化和面积减少；水资源过度利用，使得湿地蓄水、净水功能下降，顺应自然规律的天然水资源分配模式被打破；湿地长期承泄工农业废水、生活污水，导致湿地水质恶化，严重危及湿地生物生存环境；森林植被破坏，导致水土流失加剧，江河湖泊泥沙淤积，使湿地资源遭受破坏，生态功能严重受损；气候变化（尤其是极端灾害天气频发）给湿地生态系统带来了严重威胁。长期以来，一些地方对湿地资源重开发、轻保护，重索取、轻投入，使得湿地资源不堪重负，已经超出了湿地生态系统自身的承载能力。为加强湿地保护和修复，2016年11月，《国务院办公厅关于印发湿地保护修复制度方案的通知》（国办发〔2016〕89号）提出了全面保护湿地、推进退化湿地修复的新要求。

加强湿地保护修复和可持续利用是摆在我们面前的历史任务。如何保护、修复湿地、合理利用湿地资源，需要科学指导，需要生态智慧，迫切需要湿地保护修复及可持续利用理论与实践应用方面的指导。针对湿地保护修复和可持续利用，长江上游湿地科学研究重庆市重点实验室和重庆大学湿地生态学博士点的专家团队组织编写了本套丛书。丛书的编著者近年来一直从事湿地保护、修复与可持续利用的研究与应用实践，开展了系列创新性的研究和实践工作，取得了卓越成就。本套丛书基于该团队近年来的研究与实践工作，

从流域与区域相结合的层面，以三峡库区腹心区域的澎溪河流域为例，论述全域湿地保护与可持续利用；基于河流尺度，系统阐述具有季节性水位变化的澎溪河湿地生物多样性；对受水位变化影响的工程型水库湿地——汉丰湖进行整体生态系统设计研究；从生物多样性形成和维持机制角度，阐述采煤塌陷区新生湿地生物多样性及其变化；在深入挖掘传统生态智慧的基础上，阐述湿地资源的可持续利用。

湿地是地球之肾，也是自然资产。对湿地认识的深入，推动我们从单纯注重保护，走向保护-修复-利用有机结合。保护生命之源，修复自然之肾，利用自然资产。保护，为人类提供生命保障系统；修复，为我们优化人居环境；利用则是为长远生计、永久可持续——这就是我国湿地保护与可持续利用的必由路径。组织出版一套湿地领域的丛书是一项要求高、费力多的工程。希望本丛书的出版能够为全国湿地保护、修复、利用和管理提供科学参考。

马广仁

2018年1月

前 言

生物多样性对人类的生存和发展具有重要意义，是人类社会赖以生存和发展的重要基础。湿地是地球表层的重要组成部分，是水陆相互作用形成的自然综合体，是自然界生物多样性最丰富的生态系统和人类最重要的生存环境，被誉为“生命的摇篮”“物种基因库”“地球之肾”。煤炭开采会导致地表移动、变形，造成大面积地表塌陷，浅层地下水涌出，降水汇集，地表积水，土壤潜育化，并逐渐生长水生植物，形成湿地，这就是典型的采煤塌陷区新生湿地。

2014年以来作者对山东省邹城市太平采煤塌陷区的调查表明，该区域所在的华北平原农耕区是几千年的传统农耕地带，地处暖温带，地形起伏不大，空间环境异质性较低，一直被视作生物多样性较贫乏的区域。对山东省邹城市太平采煤塌陷区新生湿地的研究表明，在 10km^2 塌陷区有维管植物392种、植被类型55个群系，其中水生植被33个群系、鸟类125种；而在同样面积的对照区（农田）只有维管植物74种、植被类型8个群系，其中水生植被1个群系、鸟类24种。由此表明，由采煤塌陷形成湿地后，该地区动植物种类丰富，成为生物多样性热点区域，新生湿地生物的种类丰度和多样性远远超出预估。

近年来，随着采煤塌陷地生态修复工作的开展，采煤塌陷地得到了一定程度的治理，采煤塌陷区新生湿地的保护及合理利用得到了一定程度的重视。但采煤塌陷区新生湿地极其脆弱，过度的人为干扰、水资源利用不当、有害生物入侵等均可导致新生湿地生态系统的健康受损甚至衰退，产生难以恢复的后果。因此，对大面积采煤塌陷区新生湿地进行生态保护和恢复重建已迫在眉睫。如何因势利导，化害为利？我们不能只看到采煤塌陷可能产生的一些次生地质环境灾害问题，更应该看到采煤塌陷区新生湿地的形成和丰富独

特的生物多样性给我们带来的生态机遇。

因此,迫切需要系统、深入地研究采煤驱动下塌陷地的生态演变规律,尤其是采煤塌陷区新生湿地的形成和发育演变,系统探讨采煤塌陷区新生湿地生物多样性的特征、形成和维持机制。这些研究不仅对揭示采煤对生态环境的影响机制、阐明采煤塌陷区新生湿地生态系统演变的动力学机制、创新煤矿灾害生态动力学及调控理论具有重要的理论和应用价值,而且对区域生物多样性保护具有重要的现实意义。

本书作为一本有关采煤塌陷区湿地生物多样性研究的专著,围绕“采煤塌陷区新生湿地生物多样性”的主题,进行了相关内容的探讨。全书共八章。第一章介绍了采煤塌陷区新生湿地的形成及国内外研究现状。第二章分析了研究区域的生态环境概况。第三~第五章是关于采煤塌陷区新生湿地维管植物多样性、底栖无脊椎动物多样性和鸟类多样性的研究成果。第六章探讨了采煤塌陷区新生湿地生态服务功能及生物多样性维持机制。第七章论述了采煤塌陷区新生湿地生物多样性保育。第八章主要从主流化和可持续利用两个方面阐述了采煤塌陷区新生湿地生物多样性可持续管理。

本书是作者在承担重庆大学煤矿灾害动力与控制国家重点实验室重点基金项目“采煤塌陷地新生湿地演变生态动力学及调控研究”(2011DA105287—ZD201402)以及大量实地研究的基础上编写而成的。全书由袁兴中组织编写和统稿,项目组成员对本书撰写提供了大力帮助和支持,各章撰写执笔分工如下。

第一章绪论由袁兴中编写,第二章研究区域生态环境概况由王惠、王萍、袁兴中编写,第三章采煤塌陷区新生湿地植物多样性由侯元同、张冠雄、袁兴中编写,第四章采煤塌陷区新生湿地底栖无脊椎动物多样性由张冠雄、舒凤月、袁兴中编写,第五章采煤塌陷区新生湿地鸟类多样性由张乔勇、袁兴中、刁元彬编写,第六章新生湿地生态服务功能及生物多样性维持机制由袁兴中编写,第七章采煤塌陷区新生湿地生物多样性保育由袁兴中、侯元同、张乔勇编写,第八章采煤塌陷区新生湿地生物多样性可持续管理由袁兴中编写。

由于采煤塌陷区新生湿地生物多样性是一个全新的课题,国内外尚没有

成熟的理论和方法体系可供借鉴。加之采煤塌陷区新生湿地生态环境问题错综复杂，给这方面的研究带来了巨大的挑战。在书中，我们力图反映采煤塌陷区新生湿地生物多样性研究的最新进展，尽量完整地阐明采煤塌陷区新生湿地生物多样性的重点。尽管还有许多问题需要进一步完善，但我们希望本书对采煤塌陷区新生湿地生物多样性保护能起到积极的作用。

袁兴中

2018年1月

目 录

丛书序	i
前言	iii
第一章 绪论	1
第一节 生物多样性概念	1
第二节 采煤塌陷区生态环境变化	3
第三节 采煤塌陷区新生湿地概念	5
第四节 采煤塌陷区新生湿地生物多样性研究概况	7
第五节 本书的背景、意义和重点内容	11
第二章 研究区域生态环境概况	15
第一节 自然环境概况	15
第二节 土地利用状况及变化	18
第三节 塌陷类型与塌陷预测	20
第四节 塌陷区水环境及新生湿地特征	23
第三章 采煤塌陷区新生湿地植物多样性	27
第一节 植物种类组成	27
第二节 植物区系分析	32
第三节 新生湿地植物生活型分析	39
第四节 植被类型及分布	40
第五节 植物多样性	54
第六节 珍稀植物及资源植物	58
第七节 入侵植物	60
第八节 新生湿地特征植物及其生境	60

第四章 采煤塌陷区新生湿地底栖无脊椎动物多样性	63
第一节 底栖无脊椎动物种类组成	64
第二节 底栖无脊椎动物群落数量特征	69
第三节 底栖无脊椎动物多样性特征	74
第四节 底栖无脊椎动物功能群分析	77
第五节 底栖无脊椎动物群落演替特征	83
第六节 特征性底栖无脊椎动物及其生境	85
第五章 采煤塌陷区新生湿地鸟类多样性	88
第一节 样地设置及调查方法	88
第二节 鸟类群落组成	90
第三节 塌陷时间对新生湿地鸟类的影响	99
第四节 鸟类功能群分析	115
第五节 塌陷区与非塌陷区鸟类多样性对比研究	117
第六节 采煤塌陷区典型新生湿地生境鸟类	122
第七节 新生湿地中的特征性鸟类	126
第六章 新生湿地生态服务功能及生物多样性维持机制	130
第一节 采煤塌陷区新生湿地生态服务功能	130
第二节 采煤塌陷区新生湿地生物多样性受胁状况	133
第三节 影响采煤塌陷区新生湿地生物多样性的因素	134
第四节 采煤塌陷区新生湿地生物多样性形成和维持机制	135
第七章 采煤塌陷区新生湿地生物多样性保育	139
第一节 采煤塌陷区新生湿地生物多样性保护目标	139
第二节 采煤塌陷区新生湿地生物多样性保护主要途径	142
第三节 行动计划和优先项目	146
第八章 采煤塌陷区新生湿地生物多样性可持续管理	151
第一节 采煤塌陷区新生湿地生物多样性管理主流化	151
第二节 采煤塌陷区新生湿地生物多样性可持续利用	153

主要参考文献	157
附录 1 研究区域（采煤塌陷区）维管植物名录	168
附录 2 对照区域（农田区）维管植物名录	183
附录 3 研究区域底栖无脊椎动物名录	186
附录 4 研究区域鸟类名录	190
附录 5 研究区域典型湿地生境鸟类种类及优势度等级	196
图版	

第一章 绪 论

第一节 生物多样性概念

一、生物多样性概念构架

生物多样性 (biodiversity) 是指生物种的多样化和变异性以及物种生境的生态复杂性。生物多样性是生物经过数十亿年自然进化的结果, 对人类的生存和发展具有重要意义, 是人类社会赖以生存和发展的重要基础, 为人类的生存提供了不可或缺的生物资源, 同时也构成了人类生存与发展的生物圈环境。对人类社会的可持续发展, 包括经济、文化、艺术、休闲娱乐、科学研究等, 具有极其重要的意义。

我国拥有丰富的生物多样性。在全球高生物多样性国家和地区排名中, 我国位于第八位, 居北半球之首。但由于我国人口基数较大, 农业开垦历史悠久及对自然资源的过度、不合理开发利用, 近 50 年来, 我国约有 200 种植物灭绝。在 640 种世界性濒危物种中, 我国就有 156 种, 约占总数的 1/4。^①由此, 生物多样性成为科学领域的一个热点问题。

生物多样性包含遗传多样性、物种多样性、生态系统多样性。遗传多样性是地球上生物个体所包含的遗传信息总和, 是基因水平上的多样性, 指生物种群内部和种群之间的遗传变异。不同种群之间或同一种群内部由于基因突变、自然选择或其他原因往往在遗传上存在差异。物种多样性是指地球上多种多样的生物种类, 反映物种水平上的多样性, 表征了一定区域内物种数量及其分布特征, 是生物多样性研究的基础。生态系统多样性则是指生物圈中生物群落、

^① 数据来源: 张维平, 1998. 生物多样性与可持续发展的关系. 环境科学, 19 (4): 92-96.

生境和生态过程的丰富程度，是生物多样性研究的重点。

物种多样性包括 α 多样性、 β 多样性和 γ 多样性。 α 多样性包括物种数目或丰富度、物种分布的均匀度两方面的含义。物种数目或丰富度 (richness) 指一个群落或生境中物种数目的多寡，物种的均匀度 (evenness) 指一个群落或生境中全部物种个体数目的分配状况。 β 多样性可以定义为沿着环境梯度的变化物种替代的程度。不同群落或某环境梯度上不同点之间的共有种越少， β 多样性越大。测定 β 多样性具有重要意义，因为它可以指示物种被生境隔离的程度，可以用来比较不同地段的生境多样性。 β 多样性与 α 多样性一起构成了总体多样性或一定地段的生物异质性。 γ 多样性是指一个区域的总体物种多样性。

二、生物多样性梯度变化

地球上有些地区的生物种类极其丰富，如热带雨林；而有些地区的生物种类却极其稀少，如沙漠和极地。探索不同区域生物多样性差异出现的原因一直是生态学家研究的核心问题，也是一个巨大的挑战。在地球表面，随着环境因素的梯度变化，生物多样性呈现各种梯度格局，包括纬度梯度、海拔梯度等。

1. 纬度梯度

从热带到寒带，随着纬度的增加，生物群落的物种多样性有逐渐减少的趋势。例如，北半球欧亚大陆季风气候区域从南到北，随着纬度增加，植物群落依次出现为热带雨林、亚热带常绿阔叶林、温带落叶阔叶林、寒温带针叶林、寒带苔原，伴随着植物群落有规律的变化，物种丰富度和多样性逐渐降低。

2. 海拔梯度

在大多数情况下，物种多样性与海拔呈负相关，即随着海拔的升高，群落物种多样性逐渐降低。

3. 深度梯度

在海洋或淡水水体中，物种多样性有随深度增加而降低的趋势。

4. 时间梯度

大多数研究表明，在群落演替的早期，随着演替的进展，物种多样性增加。在群落演替的后期，当群落中出现非常强的优势种时，物种多样性会降低。

第二节 采煤塌陷区生态环境变化

在我国一次性能源消耗结构中,煤炭长期保持在 70%左右的比例。在今后相当长的时期内,这个比例不会有明显减小。煤炭生产在带来巨大经济效益、推动经济社会发展的同时,也给生态环境带来极大的压力。随着煤炭的大量开采,因开采导致的塌陷区逐渐增多。采煤造成的地表变形和塌陷破坏了采煤区域内的居民建筑物,如地面塌陷导致房屋开裂,对居民人身安全产生了严重威胁。采煤塌陷导致地表变形,破坏了耕地、矿区地表水体和生态系统结构,影响了矿区及周边地区居民的生活。采煤的生态环境影响主要表现为环境污染型影响和生态破坏型影响两方面。采煤对矿区生态系统的影响表现在很多方面,包括矿坑废水污染、矿区废气污染、矸石山堆占土地、植被破坏、地表开裂、房屋破坏、地表塌陷、土地利用格局改变、生物多样性衰退等。

在煤炭开采造成的生态环境破坏中,以地表塌陷的影响范围最广。采煤导致地表塌陷的生态环境影响包括耕地破坏、地表水体及生态系统结构破坏,塌陷积水后由农田转变为水域湿地。研究表明,每采出 1 万 t 煤,造成塌陷土地面积 0.24hm^2 。截至 2006 年年底,我国煤矿开采累计造成采空塌陷面积超过 90 万 hm^2 。

地表环境由大气、水、植被和土壤四个要素构成。地表环境是地球表层的多相物质体系,而植被、土壤和水则是地球表层环境最鲜明的反映和标志。采煤造成的地表塌陷不同程度地损害了土壤、水、植被等人类赖以生存的基本环境要素。

采煤塌陷后会形成大面积、长期积水的塌陷地,以各种形式进入水体的重金属易造成水体污染,并导致矿区生态环境恶化。此外,随着矿区综合治理的不断深入,对煤炭开采塌陷区通过改造进行水产养殖,煤矸石被充填于塌陷区,水体和土壤中超标元素通过生物的富集和转换均会对人群产生近期或远期的危害。统计资料显示,我国因采煤引起成规模的地表塌陷面积巨大,全国每年采煤塌陷所造成的经济损失以亿元计。以淮南矿区为例。1992 年淮河以北的

潘集一矿、潘集二矿、潘集三矿陆续投产。到 1998 年, 3 个矿总塌陷面积为 2966hm^2 , 并且以每年 $144\sim 196\text{hm}^2$ 的面积增加。淮河以南的老矿区到 1992 年总塌陷面积达到 4607km^2 , 至 1998 年增加到 6536hm^2 , 增加了 41.87%。^①随着煤矿的开采, 地面塌陷区水域(习称“塌陷塘”或“塌陷湖”)逐渐形成并不断扩大。煤矿塌陷塘水深一般为 $3\sim 10\text{m}$, 老的塌陷塘水深超过 20m (如淮南谢家集矿区塌陷塘最大水深达 21.1m)。有的塌陷塘已形成了较大规模的塌陷湖泊, 发展速度快得令人吃惊。塌陷塘不断扩展, 致使矿区生态环境不断恶化, 有的矿区已出现富营养化塌陷塘或严重污染的塌陷水域。

我国煤炭资源开发中心经历了一个由东向西的迁移过程。东部地区煤炭资源开采最早、历史最长, 如淮南、徐州、兖州等地区, 采煤历史已有半个多世纪。东部地区大部分为河流冲积平原区, 如河南、鲁西南、两淮、冀中煤炭基地以及东北三江平原区等, 地表水系丰富, 地下潜水位较高, 土壤肥沃, 耕地面积广阔, 村庄人口密集。长期、高强度的煤炭开采严重地改变了这些地表生态系统的演变进程。主要表现在: 地下煤层采出后, 地表发生塌陷, 流域地形由平原变得坑洼不平, 由于地下潜水位埋深较浅, 塌陷后潜水位上升, 诱发土壤盐渍化; 重度塌陷后形成大面积积水洼地, 农田转变为水域环境。

煤炭资源开采对流域生态影响将持续累积, 整个流域生态系统组成、结构、功能演变的采煤驱动力也将日益增强。在华北平原采煤区, 多年煤矿开采造成大面积地面塌陷。根据塌陷地面沉降深度可将采煤塌陷区分为深塌陷区、中度塌陷区和浅塌陷区。深塌陷区塌陷深度大于 4m , 土地受地面塌陷影响大, 大范围积水, 土地变得坑坑洼洼, 无法耕种, 土地资源破坏极其严重。中度塌陷区塌陷深度在 $2\sim 4\text{m}$, 由于地面塌陷, 大面积土地变成斜坡或波浪形, 破坏土地资源。浅塌陷区塌陷深度小于 2m , 分布在深塌陷区和中度塌陷区之外的区域, 土地变形, 破坏耕地。采煤导致的地面塌陷对区域生态环境的影响是复合性的, 其复合叠加问题可在全方位、多层面显现, 从而使采煤塌陷区的生态保护与恢复重建工作显得极为复杂, 挑战更严峻。在煤炭资源蕴藏丰富的流域, 煤炭资源的强烈开采严重破坏了水土资源, 对小流域水文、土地利用、植被覆

① 数据来源: 彭苏萍, 王磊, 孟召平, 等. 2002. 遥感技术在煤矿区积水塌陷动态监测中的应用——以淮南矿区为例. 煤炭学报, 27(4): 374-378.

盖、景观等生态要素产生了巨大影响,显著改变了流域生态系统。深入、系统地研究采煤塌陷驱动下的地表生态演变规律,评价采煤塌陷对采掘区地表生态的影响,对保护区域生态平衡、实现水土资源可持续利用具有重要意义。

目前,我国煤炭资源开采的生态影响研究主要集中在矿区范围,矿区是人为划分的边界,生态系统和生态过程的完整性长期被忽视,缺乏从生态系统角度来研究采煤对生态演变的影响。

第三节 采煤塌陷区新生湿地概念

湿地(wetland),就字面含义而言,是指被浅水层所覆盖的低地,如沼泽地带。一般人认为,湿地是长满水草、杂乱无章的潮湿区域或沼泽地。最早关于湿地的定义之一,且目前常常被湿地科学家和管理者引用的是由美国鱼类及野生动物管理局(United States Fish and Wildlife Service, FWS)在1956年提出来,发表于《美国的湿地》报告集(通常称为“39号通告”),即“湿地是指被浅水和有时为暂时性或间歇性积水所覆盖的低地”。湿地较综合的定义是美国鱼类及野生动物管理局在1979年提出的,即湿地是处在陆地生态系统和水生生态系统之间的过渡区,通常其地下水位达到或接近地表,或者处于浅水淹没状态”。1971年,英国、加拿大和苏联等国在伊朗的拉姆萨尔签订了《关于特别是作为水禽栖息地的国际重要湿地公约》(即《国际湿地公约》)。该公约规定,湿地的含义包括:各种天然或人工的、长久或暂时的沼泽地、湿原、泥炭地或水域地带;静止或流动的水域;淡水、半咸水或咸水;低潮时水深不超过6m的水域。

从湿地生态学角度来看,湿地是介于陆地与水生生态系统之间的过渡地带,并兼有两类系统的某些特征,其地表为浅水覆盖或其水位在地表附近变化。湿地的三个突出特征是:①地表长期或季节性处在过湿或积水状态;②生长有湿生、沼生、浅水生植物,生活有湿生、沼生、浅生动物和适应其特殊环境的微生物群;③发育水成土,并具有明显的潜育化过程。

煤炭的大量开采导致地面移动、变形乃至破坏,最终形成大规模的塌陷地