

干旱区 地质生态学导论

Geo-ecology in Arid Regions:
An Introduction

周爱国 孙自永 马瑞 编著



中国环境科学出版社

国家自然科学基金

“211工程”重点学科——地下水资源与地质环境保护学科群

国土资源部 2000 年科技专项计划

资助

中国地质大学（武汉）学术著作出版基金

干旱区地质生态学导论

周爱国 孙自永 马 瑞 编著

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

干旱区地质生态学导论/周爱国, 孙自永, 马瑞编著. —北京:
中国环境科学出版社, 2007. 1

ISBN 978-7-80209-460-4

I. 干… II. ①周… ②孙… ③马… III. 干旱区—生
态环境: 地质环境—研究—西北地区 IV. P942.407.1 X141

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 147485 号

责任编辑 高速进 周溪竹

责任校对 扣志红

封面设计 龙文视觉

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京崇文区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.cn>
联系电话: 010-67112765 (总编室)
发行热线: 010-67125803

印 刷 北京市联华印刷厂
经 销 各地新华书店
版 次 2007 年 1 月第一版
印 次 2007 年 1 月第一次印刷
印 数 1—3000
开 本 787×1092 1/16
印 张 12
字 数 292 千字
定 价 36.00 元

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载, 侵权必究】
如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

前 言

地质生态学是地质学与生态学相交叉所产生的一门新兴学科。在约占我国国土面积 1/3 的干旱区, 土地荒漠化、盐渍化等生态环境问题十分突出, 不仅制约着当地的经济和社会发展, 而且为频发的沙尘暴提供了物质来源, 威胁到整个北方地区的生态安全。这些生态问题的产生与当地的天然地质背景及人类对地质(特别是表生带)资源的不合理开发利用密切相关。为制定合理的生态保护与建设措施, 缓解当地生态环境恶化趋势, 开展干旱区地质生态学研究, 查清上述生态问题产生的地质学背景、地质作用过程及作用机理就显得十分迫切和必要。虽然有越来越多的学者参与干旱区地质生态学研究, 但由于地质生态学仍处于初创时期, 关于其内涵、研究内容和方法, 国内外目前还没有形成统一的意见, 也未见到有关干旱区地质生态学比较完整、系统的论著。笔者根据自己近几年来为各类地质生态学研讨班、大学生和研究生开设此课程的讲义、参加相关会议的演讲稿及众多的科研成果, 参考了大量相关文献资料, 并结合在中国西北干旱区所开展的相关工作, 编著了本书。

本书上篇主要就干旱区地质生态学研究的 basic 理论问题进行了讨论。在回顾地质生态学的发展历程和总结地质生态学研究现状的基础上, 系统、全面地论述了地质生态学的概念与内涵、研究任务、研究内容、理论基础和地质生态学的学科交叉性; 通过对干旱地区主要地质生态环境问题、植被演替形式及限制性生态因子的分析, 详细阐述了干旱区地质生态学研究的思路及植被根层、物种生存域等研究中的关键性理论问题; 对干旱区地质生态学的调查方法、分析方法、评价和区划方法、植被恢复方法等进行了专论。下篇以中国西北典型内陆盆地——黑河下游额济纳盆地为例, 对上篇中所述及的地质生态学基本理论与方法进行了实践。确定了额济纳盆地主要天然植物物种的生存域, 据此选取地质生态环境质量评价的指标体系——根层生态指数; 根据各样地计算得出的根层生态指数, 对额济纳盆地的地质生态环境质量进行了评价与区划; 在分析各分区植被退化机制的基础上, 提出了土地生态整治的基本思路与方法, 以及相应的生态保护与建设措施。本书内容反映了地质生态学工作者在这一领域的最新研究成果, 具有较强的理论性和实用性。

本书第 1、3、5、7、8 章由周爱国执笔, 孙自永、马瑞参加编写, 第 2、4、9 章由孙自永执笔, 周爱国、马瑞参加编写; 第 6 章由马瑞执笔, 周爱国、孙自永参加编写。全书由周爱国统稿, 张晨、邢新丽、黄保安、余绍文、杨丽、刘德良、张俊、武金博、古琴等参加了大量文献、资料收集和文字整理工作。

本书的大部分内容是以国土资源部 2000 年科技专项计划《西北地区水资源与可持续利用》的第二项目“河西走廊黑河流域水资源开发对生态环境影响的研究”(编号: 200010302) 中的第 2 专题和第 5 专题、第五项目“黑河流域土地资源合理配置与生态整治模式研究”中第 3 专题的研究成果为依托, 综合中国地质大学(武汉)地质生态学研

究群体的相关成果而完成的。国土资源部科技司和中国地质科学院水文地质环境地质研究所的领导、陈梦雄院士和段永侯教授等专家为我们提供了参加此项目的机会和工作中的各种支持。国土资源部科技司的领导和科技专项计划专家组的张宗祜院士、沈照理教授、哈承佑教授、邱心飞教授在整个课题执行过程中对每个阶段给予指导，在此致以衷心谢意。在本书的编写及反复修改过程中，中国地质大学（武汉）的徐恒力教授给予了极大的关心和指导，书中也借鉴了他的许多思想，特此表示衷心感谢。项目组成员汤梦玲、李志建、王改从、崔长勇、罗晓云、甘义群、刘华、李鑫、申锐莉等几年来在野外调查、监测、资料收集和室内测试与数据整理等方面付出了辛勤的劳动，完成了许多前期研究工作，给予作者极大的支持和帮助。

在研究进行过程中，还得到了袁道先院士、殷鸿福院士，中国地质大学（武汉）的张人权、朱立、蔡鹤生、胡明安、王焰新、靳孟贵、祁士华等教授，中国地质科学院水文地质环境地质研究所的石建省、张发旺、张光辉、陈宗宇等研究员，中国地质大学（北京）的万力、周训、胡伏生等教授，中国地质环境监测院的李文鹏、郝爱兵、侯春堂、李瑞敏、冯翠娥等研究员，甘肃省地质环境监测院的黎志恒研究员，额济纳旗人民政府邓吉友先生的热心帮助与建议。罗泽娇、沈仲智、韩鸿印、曹李靖老师为实验工作的顺利进行提供了良好的工作环境，在此一并表示感谢。

特别感谢武选民教授，他的研究成果为本书的研究提供了众多基础数据，并为作者开阔了思路。在多次的请教和讨论中，他无私奉献出自己多年来在额济纳盆地研究地下水与生态建设时所积累的体会和真知灼见，给作者许多启迪。路京选博士为作者提供了部分生态环境遥感资料，并多次一起探讨额济纳盆地的生态退化与生态建设问题，特此表示衷心感谢。还要感谢奉献于极端艰苦环境的当地边防部队对研究工作的长期支持，感谢额济纳平原上众多帮助我们进行地质生态调查、热情招待我们，但未能一一标注姓名的武警官兵和牧民。

在研究过程中，国家自然科学基金委员会，国土资源部地质环境司、科技司，中国地质调查局水环部、基础调查部，中国地质大学，中国地质学会农业地学专业委员会、水文地质专业委员会等部门和学术组织为作者提供了许多次与全国同仁交流、学习的机会，使我们受益匪浅。作者对本书所有引用的文献尽量注明，但在多次学术交流中，许多学者和同仁口头上或以邮件方式向编者提出了许多宝贵的建议，提供了一些尚未发表的资料与成果，使我们深受启发，这里无法一一注明，特此致歉，并表示衷心感谢。

由于地质生态学的研究正处于初创时期，尚无现成的范本可供借鉴，而它所涉及的研究内容又相当广泛，再加之笔者的水平和实践经验都有限，因而书中若有不当和错误之处，敬请广大读者批评、指正。

作者

2006年10月

于中国地质大学（武汉）

目 录

上篇 干旱区地质生态学基本理论与方法

| | |
|---------------------------------------|----|
| 第 1 章 绪论 | 3 |
| 1 地质生态学的发展历程..... | 3 |
| 2 地质生态学的研究现状..... | 5 |
| 2.1 地质生态学(生态地质学)研究现状..... | 5 |
| 2.2 干旱区地质生态学研究现状..... | 8 |
| 3 地质生态学的概念与内涵..... | 9 |
| 3.1 生态系统的构成..... | 9 |
| 3.2 生态地质环境..... | 10 |
| 3.3 地质生态学..... | 10 |
| 第 2 章 地质生态学的研究任务、内容与理论基础 | 12 |
| 1 地质生态学的研究任务..... | 12 |
| 1.1 生物与地质体的成生联系..... | 12 |
| 1.2 生态系统演化的地质学机理..... | 12 |
| 1.3 生态保护与建设的地质学基础..... | 13 |
| 2 地质生态学的研究内容..... | 13 |
| 3 地质生态学的理论基础..... | 14 |
| 3.1 生态系统生态学..... | 14 |
| 3.2 地球系统科学..... | 14 |
| 3.3 耗散结构理论与等级系统理论..... | 15 |
| 4 地质生态学的学科交叉性..... | 16 |
| 第 3 章 干旱区地质生态学基本原理 | 18 |
| 1 西北地区干旱化趋势与水盐失衡..... | 18 |
| 2 西北干旱区的主要地质生态环境问题..... | 20 |
| 2.1 水环境变化..... | 20 |
| 2.2 土地沙漠化和盐碱化..... | 21 |
| 2.3 植被退化..... | 21 |
| 3 干旱区地质生态学的研究内容与思路..... | 22 |
| 3.1 研究内容..... | 22 |

| | |
|----------------------------------|-----------|
| 3.2 研究思路 | 23 |
| 4 干旱区植被演替的表现形式——斑块化 | 25 |
| 4.1 植被斑块及其演替 | 25 |
| 4.2 荒漠区植被斑块演化的实质 | 28 |
| 4.3 植物地下生境结构及其在斑块演化中的作用 | 29 |
| 5 植被演替的限制性生态因子 | 31 |
| 5.1 生态因子的阈值、生态幅与适宜区间 | 31 |
| 5.2 限制性生态因子的确定 | 33 |
| 5.3 地下水的生态效应 | 35 |
| 6 植物物种地质生态学研究 | 41 |
| 6.1 天然植被根层研究 | 42 |
| 6.2 关键种的生存域 | 48 |
| 6.3 植物物种地质生态学研究的意义 | 51 |
| 第4章 干旱区地质生态学的研究方法 | 53 |
| 1 干旱区地质生态学调查方法 | 53 |
| 1.1 区域尺度的调查 | 53 |
| 1.2 中小尺度的调查 | 55 |
| 2 干旱区地质生态学分析内容与步骤 | 60 |
| 2.1 区域尺度地质生态学分析内容与步骤 | 61 |
| 2.2 中小尺度地质生态学分析内容与步骤 | 61 |
| 3 干旱区地质生态学评价和区划方法 | 62 |
| 3.1 干旱区地质生态学评价内容——生态地质环境质量 | 62 |
| 3.2 生态地质环境质量评价指标——根层生态指数 | 64 |
| 3.3 生态地质环境质量评价与分区 | 67 |
| 4 干旱区植被恢复的地质生态学方法 | 67 |
| 4.1 生态恢复的概念 | 68 |
| 4.2 干旱区生态恢复的目标 | 69 |
| 4.3 干旱区生态恢复的原则 | 69 |
| 4.4 生态恢复的方法与程序 | 71 |
| 5 GIS 和 RS 技术在干旱区地质生态学中的应用 | 72 |
| 5.1 GIS 技术在干旱区地质生态学中的应用 | 73 |
| 5.2 RS 技术在干旱区地质生态学中的应用 | 74 |

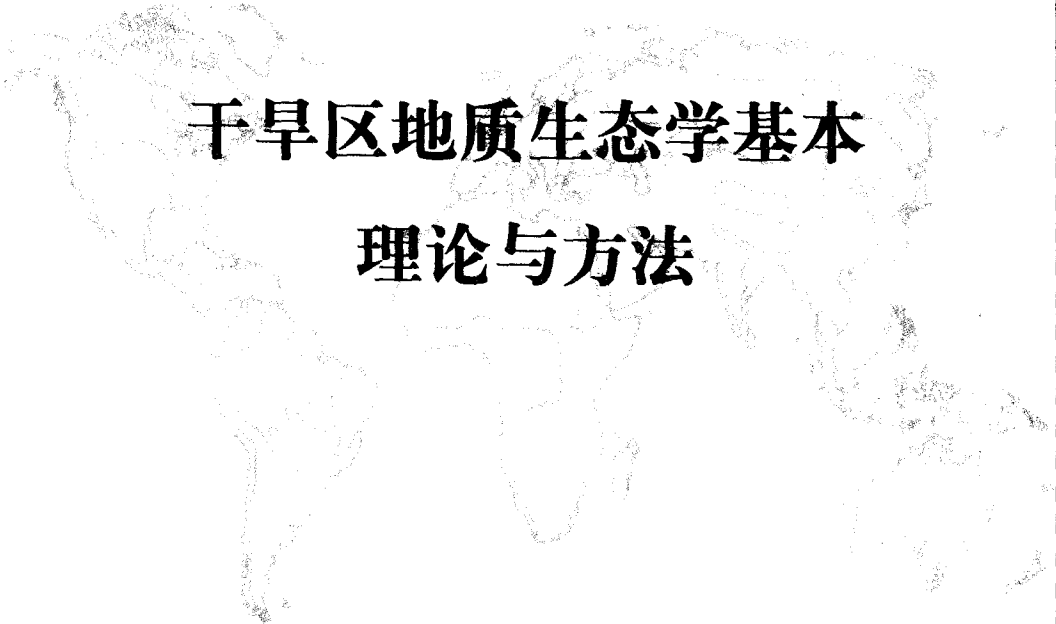
下篇 额济纳盆地地质生态学研究

| | |
|--------------------------------|-----------|
| 第5章 额济纳盆地生态地质环境背景 | 79 |
| 1 自然地理条件 | 79 |
| 1.1 地理位置 | 79 |

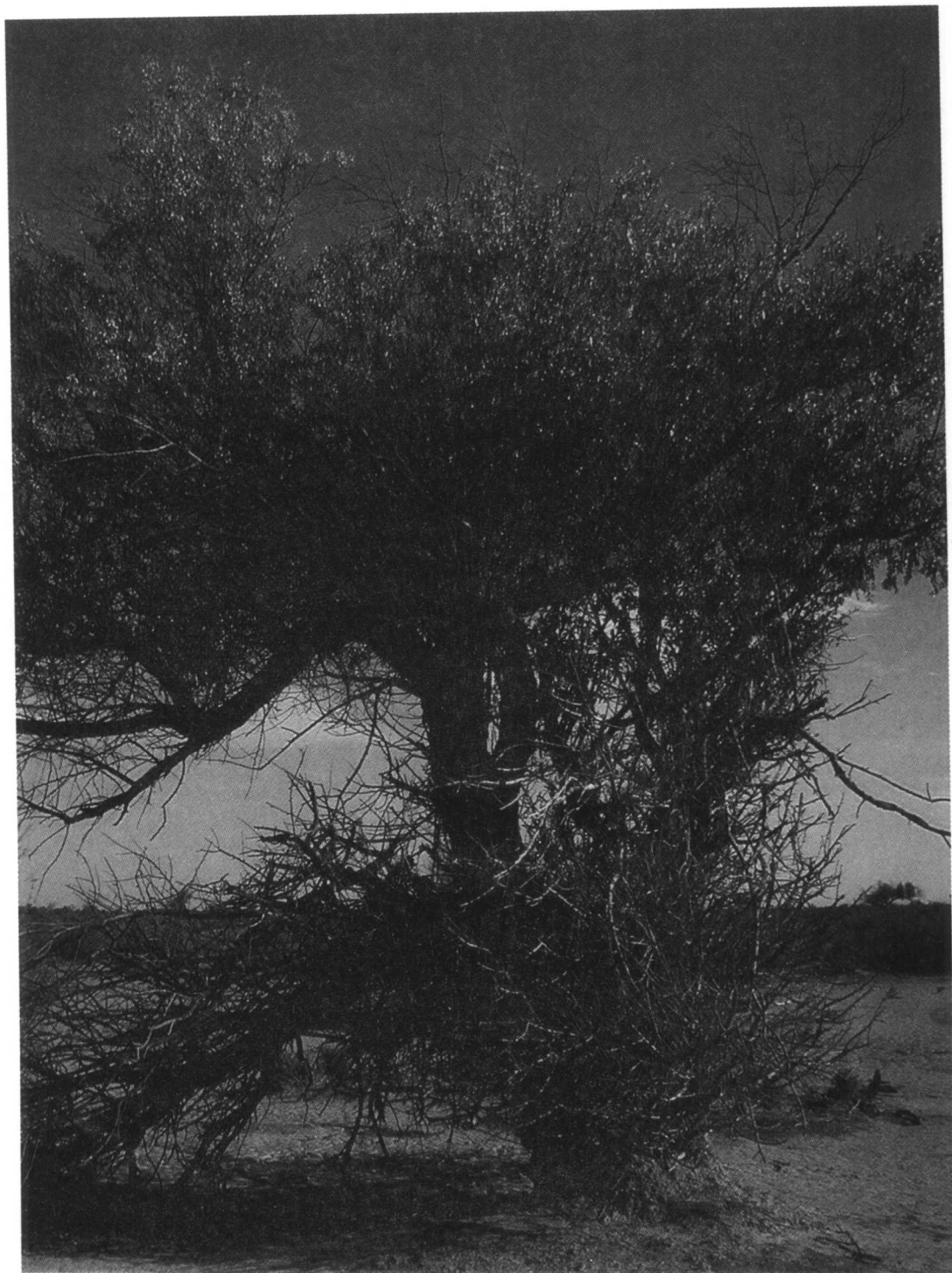
| | |
|---|------------|
| 1.2 气象 | 79 |
| 1.3 水文 | 80 |
| 2 地质环境背景 | 81 |
| 2.1 地质构造 | 81 |
| 2.2 第四纪地质 | 82 |
| 2.3 地形地貌 | 86 |
| 2.4 水文地质 | 87 |
| 2.5 土壤 | 95 |
| 3 天然植被生态系统概况 | 99 |
| 3.1 植被生态系统总体特征 | 99 |
| 3.2 植被生态子系统的划分 | 100 |
| 3.3 各植被生态子系统特征 | 100 |
| 4 地质生态环境问题 | 105 |
| 4.1 地下水位下降及土壤旱化 | 105 |
| 4.2 水质恶化 | 106 |
| 4.3 盐渍化 | 107 |
| 4.4 沙漠化 | 107 |
| 4.5 生物种类减少 | 107 |
| 第6章 额济纳盆地天然植被演化的地质生态学调查与分析 | 109 |
| 1 额济纳盆地天然植被生态系统的地质生态学调查 | 109 |
| 2 天然植被演化概况 | 111 |
| 2.1 植被分布状况 | 111 |
| 2.2 植被分布的历史变迁 | 116 |
| 3 天然植被演化的限制性因子 | 118 |
| 3.1 限制性生态因子的确定 | 118 |
| 3.2 土壤质地 | 119 |
| 3.3 土壤水分 | 119 |
| 3.4 土壤盐分 | 119 |
| 3.5 土壤有机质 | 119 |
| 第7章 额济纳盆地天然植物物种地质生态学研究 | 120 |
| 1 额济纳盆地天然植被根层研究 | 120 |
| 1.1 天然植被根层位置的确定 | 120 |
| 1.2 天然植物物种根层分析 | 123 |
| 2 额济纳盆地主要植物的生存域研究 | 124 |
| 2.1 主要植物物种的选择 | 124 |
| 2.2 植物生长状况的评判 | 125 |
| 2.3 各样地植物物种根层生态适宜性评判 | 131 |

| | |
|---------------------------------|------------|
| 2.4 主要植物物种生存域的确定..... | 134 |
| 3 额济纳盆地主要植物物种的生存域分析..... | 137 |
| 3.1 生存域图分析..... | 137 |
| 3.2 生存域叠加图的分析..... | 139 |
| 3.3 物种生存条件的分析..... | 140 |
| 第8章 额济纳盆地生态地质环境质量评价..... | 142 |
| 1 额济纳盆地根层生态指数分析..... | 142 |
| 1.1 各样地的根层生态指数..... | 142 |
| 1.2 根层生态指数分析..... | 144 |
| 2 额济纳盆地生态地质环境质量评价与分区..... | 148 |
| 2.1 各样地生态地质环境质量评价与分级..... | 148 |
| 2.2 区域生态地质环境质量评价与分区..... | 149 |
| 3 额济纳盆地各分区生态地质环境质量分析..... | 150 |
| 3.1 生态地质环境质量较好区(I级区)..... | 150 |
| 3.2 生态地质环境质量中等区(II级区)..... | 151 |
| 3.3 生态地质环境质量较差区(III级区)..... | 152 |
| 3.4 生态地质环境质量极差区(IV级区)..... | 152 |
| 第9章 额济纳盆地植被生态系统恢复研究..... | 154 |
| 1 额济纳盆地植被生态系统退化的地质生态学机制..... | 154 |
| 1.1 植被生态系统退化的过程..... | 154 |
| 1.2 新生植被斑块形成的过程..... | 160 |
| 1.3 植被生态系统退化的原因..... | 163 |
| 2 土地生态整治原则与方法..... | 167 |
| 2.1 地下生境的保护与建设..... | 167 |
| 2.2 物种的选择与搭配..... | 167 |
| 2.3 水资源的合理开发利用..... | 168 |
| 3 额济纳盆地土地生态整治的主要措施..... | 169 |
| 3.1 封育..... | 169 |
| 3.2 修补..... | 169 |
| 3.3 重建..... | 169 |
| 4 不同输水条件下额济纳盆地土地生态整治要点..... | 170 |
| 4.1 当前输水量条件下的土地生态整治措施..... | 171 |
| 4.2 不同输水量下的土地生态整治措施..... | 173 |
| 参考文献..... | 175 |

上 篇



干旱区地质生态学基本 理论与方法



第1章 绪论

1 地质生态学的发展历程

从生态学的发展历程来看,在生态系统概念提出和得到广泛认同之前,生态学家一直试图从生物间的相互作用中寻找对各种生态学现象的解释,其研究集中在生物与生物间的关系上,并因此衍生出种群生态学、群落生态学等分支学科(李博,2002)。种群生态学主要侧重于生物种内竞争、共存关系的研究,并用以解释种群的分布、动态、扩散等生态学现象;群落生态学则侧重于生物种间关系的研究,如种间竞争、捕食、寄生、偏利、互利、中性作用等关系,并试图描述和解释群落中各种物种所占据的地位、群落的结构和演替等现象。由于将一些数学模型成功地引入生态学研究,这些研究促进了生态学研究的定量化和生态学理论研究的发展(张大勇,2000)。

随着系统科学的出现,许多学者意识到各种生物学现象的成因不能仅仅归纳为生物间的相互作用,非生物成分(自然环境)可能起着更为重要的作用。自生态系统概念(Tansley, 1935)提出后,越来越多的研究者从生物环境中去寻找各种生态学现象的解释,侧重于研究生物与其生境间的相互作用、相互联系,生态系统生态学逐渐成为生态学的中心(蔡晓明,2000)。但由于受学科限制,这些研究更多地集中在地表各种生态因子对生物的影响上,如水分、温度或土壤的梯度变化对植被分布格局和群落结构的影响等,很少涉及地质要素对生物的影响。生态学与地质学的融合远远不及其他学科与生态学的融合。因此,出现了“在数、理、化、天、地、生六大基础学科中,数、理、化、天均与地学结合……唯独生物学与地学的结合尚未臻繁荣”的现象(殷鸿福,1994)。

一方面,随着生态学研究的深入,生态学者已意识到,如果不将地质要素考虑进来,许多生态学现象的解释将受到很大的限制,甚至会得出错误的结论;另一方面,随着科学技术的发展,人类活动所及的广度和强度越来越大,对地质体的干扰已越来越强烈,并因此而诱发了一系列的生态问题,如荒漠化、盐渍化等。在这种形势下,地质学与生态学的融合已变得越来越迫切,地质生态学(geoecology)的概念也被提出。近一二十年来,一些学者从不同角度对地质生态学的概念、研究内容、研究方法等提出了各自的见解。

自1994年以来,俄罗斯地质学家Trofimov发表了一系列地质生态学方面的文章,使地质生态学的研究逐渐受到重视。Trofimov认为,地质生态学是研究岩石圈的生态作用的一门学科,包括资源的生态功能、生态地球化学功能、生态地球物理学功能和生态地球动力学功能。按Trofimov的观点,生物圈只是作为研究岩石圈时的一个背景,研究的核心仍是岩石圈,这更像是一种广义的地质学研究。

另外,古生态学家一直把地质生态学视为生物地质学(biogeology)的主要组成部分,

将地质作用过程对生物演化的影响归入地质生态学或地球生物学的研究范畴,例如从重大地质作用事件的角度解释生物渐变、突变、灾变的规律(杨式溥,1983;殷鸿福,1994;杜远生和童金南,1998;夏邦栋,2001)。

地质生态学的真正起源要从生物地理学的发展追溯起。早在1807年洪堡(Humboldt)发表的《植物地理学知识》专论中就开始分析植物分布与其环境条件的关系。随着生物地理学的发展,岛屿生物地理学(island biogeography)、分支生物地理学(cladistic biogeography)等生物地理学分支学科分别建立,这些学科所涉及的地质演化(如板块漂移、古陆的联合与分离等)对植物和动物分布格局的解释等内容可以说是地质生态学的萌芽(Humphries和Parenti,1999)。1978年,地貌学家Carl和Wilhelm认为,Geocology是研究陆地地质生态系统构成和功能的一门综合性学科。Webber于1979年编著了《高纬度地质生态学》(High Altitude Geocology)一书,分析了地质构造、气候条件等对土壤区带性及生物分布的影响。

在随后的发展过程中,特别是随着景观生态学的快速发展,Geocology被认为与Land ecology或Landscape ecology等同,并有被后者所取代的趋势。中国和日本的一些学者有时也将Geocology一词译为“地生态学”(王秀红,1998;横山秀司,2002),这与荷兰学者Zonneveld(1995)对景观生态学的另一种定义Land ecology的中文译名完全相同(宗纳维尔,2003)。事实上,虽然景观生态学研究所涉及的空间尺度与地质生态学比较接近,也强调资源的异质性对植被分布的影响,但其研究核心却是不同景观分布格局对各种生态学过程的影响(即“格局与过程”,pattern and process)(Turner等,2001),仍侧重于生命部分间的相互影响和作用,只将地质要素作为斑块分布格局的形成原因之一。

表 1-1 地质生态学的发展历程

Table 1-1 History of geoecology

| 时间 | 事件 |
|----------|---|
| 1807年 | 洪堡(Humboldt)发表《植物地理学知识》,生物地理学创立。生物地理学通过地质演化(如板块漂移、古陆的联合与分离等)来解释植物和动物的分布格局,这一思想是地质生态学的萌芽 |
| 1909年 | 比利时古生物学家道洛出版《习性古生物学》一书,开创了古生态学研究 |
| 20世纪50年代 | 北京地质学院开设“古生态学”课程 |
| 1963年 | 北京地质学院正式编写出版了国内第一本古生态学教程——《古生态学》 |
| 1968年 | Troll提出Geoecology的概念,认为它是研究陆地地质生态系统(terrestrial geoecosystem)构成和功能的一门综合性学科 |
| 1990年 | 俄罗斯提出了“生态地质填图计划”,并召开“地质生态问题和解决方法”全国会议、“地质—生态制图”全俄会议,将地质生态图与前第四纪基岩圈图、第四纪沉积物图、成矿规律图一起列为国家新一代地质图系的内容 |
| 1994年 | 原地矿部四川省地矿局开展了我国第一次生态地质调查试点项目——1:5万大巴山区生态地质调查 |
| 1999年至今 | 中国地质调查局在珠江三角洲、汉江平原、成都盆地开展多目标区域地球化学调查试点工作,随后启动各地区和省市的农业地质调查工作 |
| 2004年 | 中国地质大学生态地质学博士点正式设立,这是国内首个生态地质学博士点,也是世界上少数设立生态地质学学科专业的组织之一 |

表 1-2 地质生态学的相关著作

Table 1-2 Books on geoecology

| 作者 | 年份 | 著作名称 |
|-------------------|------|--|
| Troll C | 1968 | Geoecology of the Mountainous Regions of the Tropical Americas |
| Troll C | 1978 | Geoecological Relations Between the Southern Temperate Zone and the Tropical Mountains: Proceedings of the Symposium of the Internat. Geograph. Union, Comm. on High-Altitude Geoecology |
| Webber Patrick J | 1979 | High Altitude Geoecology |
| Ives Jack D | 1980 | Geoecology of the Colorado Front Range: a Study of Alpine and Subalpine Environments |
| Kutilek Miroslav | 1994 | Soil Hydrology: Geoecology Textbook |
| Bryan Rorke B | 1994 | Soil erosion, Land Degradation and Social Transition: Geoecological Analysis of a Semi-arid Tropical Region, Kenya |
| Huggett Richard J | 1995 | Geoecology: an Evolutionary Approach |
| Zheng Du | 2000 | Mountain Geoecology and Sustainable Development of the Tibetan Plateau |
| Husain Zahid | 2002 | Geoecology of Kameng Himalaya |
| Beyer Lothar | 2002 | Geoecology of Antarctic Ice-free Coastal Landscapes |
| 孙立广 | 2006 | 南极无冰区生态地质学 |

1995 年, Huggett 的专著——《地质生态学: 一种演变的方法》(Geoecology: An Evolutionary Approach) 出版了。虽然该书中仍有许多生物地理学或“生物学 (biology) + 地貌学 (geomorphology)”的知识, 但却明确界定了地质生态系统 (geocosystem) 的构成: 生物和土壤, 各种地质过程和地质作用 (包括地貌特征) 通过对土壤性状的影响作用于生物, 造成其分布与组合情况的差异。Huggett 认为, 地质生态学的研究内容要少得多: 主要研究生物与土壤间的协同动态变化。

2 地质生态学的研究现状

地质生态学的概念来自国外, 但国内学者对其理解并不一致, 各种词典中对其解释也不一样, 如: 《英汉地质大词典》中将 Geoecology 译为地质生态学、环境地质学、地生态学; 《英汉环境大词典》中将 Geoecology 译为地质生态学、环境地质学; 《英汉农林大词典》中将 Geoecology 译为地质生态学、环境地质学、地生态学。国内也有学者将其称为生态地质学 (eco-geology)。实际上, 无论是称之为地质生态学, 还是生态地质学, 或是更宽泛地称之为地生态学, 其实质是基本一致的, 都是从地质学 (或地学) 的角度去研究生态学问题, 重点探究的是生态环境与地质环境之间的相互作用。为了与国际上对此术语的解释相一致, 本文采用地质生态学概念, 涉及国内一些采用“生态地质学”术语的专题研究或论著时, 为尊重原作者, 仍沿用“生态地质学”一词。

2.1 地质生态学 (生态地质学) 研究现状

目前, 地质生态学研究已受到一些国家, 特别是发达国家的关注, 并且取得了一定的进展。如俄、美、加、澳、英等国自 20 世纪 80 年代起就将地质生态调查列为国家级中、大比例尺地质图的构成部分, 还进行了诸如农业地质生态、城市地质生态、大江大

河及大型湖泊的地质生态等专项调查；俄罗斯从 1990 年起提出了“地质生态填图计划”，并召开“地质生态问题和解决方法”全国会议、“地质—生态制图”全俄会议，1997 年召开“地质生态学”国际会议；1997 年的美国地质年会（GSA）（盐湖城）也强调了地球系统科学与地质生态学，并召开了 GSA“地质生态学的概念”研讨会；德国哥丁根大学也设立了地质生态学研究，专门研究这方面的问题。

在国外，Trofimov 是地质生态学研究领域较有影响的学者之一。Trofimov (2002) 认为，地质生态学是地质科学的一个分支，将岩石圈的上层（包括地下水和其中的气体）视为生态系统中非生命要素的重要组成部分，探索它对生物地理群落和生物圈的生态功能、生态地质学的理论和实践意义，并对生态地质学的逻辑构成——科学结构、具体分类进行详细论述。此外，他还曾专门论述了“岩石圈的生态作用”这一概念的内涵，按其性质不同，将岩石圈的生态作用分为资源的、地球动力学的、地球化学的和地球物理的等不同方面；阐明了在地球演化过程中和工程技术造成的影响之下这些生态作用形成的规律，提出了有关这些生态作用的研究课题。

第三十届国际地质大会指出，需加强地壳表层生态环境系统研究，并提出以下认识和研究趋势（王长生，1997）：生物圈的化学镶嵌性，即认为生物与环境地质化学的密切关系决定着地球上不同区域中存在着各种生物化学食物链特征，如土地微量元素呈负平衡将导致生物生理、生化过程遭破坏；为鉴别生物圈中天然来源物质及工业来源物质的异源物，维持生态平衡，必须研究与岩土演化相关联的化学元素的生物循环及其化合物形态，微量元素作用的分子级机制，植物、动物和人类生命过程中“新”的微量元素。实质上，国际地质大会所强调的地壳表层即地质环境。

2004 年 8 月在意大利佛罗伦萨举行的第三十二届国际地质大会是全球地质学复兴的标志，会议综合地质生态学相关的讨论主题，包括环境地质、地球化学水文学、同位素化学以及全球变化研究等方面（滕吉文，2005）。在生态环境地质议题方面，最大的特点是将研究范围扩展到整个地球圈层，以探讨气候变化与生态环境地质的关系，设置了气候变化对地下水资源的影响，及其对湿地生态系统的意义、干旱区地下水优化利用等方面的研究（殷跃平，2005）。此外，大会特别设置了农业地质专题（徐学纯，2005）。

近几年，我国在该方面的研究也已深入到地质生态填图和生态地质环境评价等领域，从 1994 年起，原地矿部四川省地矿局开展了我国第一次 1:5 万生态地质调查试点项目——1:5 万大巴山区生态地质调查（王长生，1997），较为全面地调查了岩石圈、土壤圈、水圈、大气圈和生物圈的状况及相互作用，突出了岩石圈在生态环境中的制约作用。例如，地球表层土壤中化学元素的迁移转化是生物营养的主要来源，其种类和含量的高低由母岩中的矿物成分直接控制；人类生产活动产生的废物又直接影响土地表层、地表水、地下水的成分，改变着原有的自然体系和人类的生活质量。中国地质调查局还在三江源头、东部沿海等农业较发达地区开展了区域生态地质、区域生态地球化学试点调查及相关专题研究。

同时，国内也有相关文献就地质生态学的内涵、研究内容及地质生态调查方法等展开了讨论。如卢耀如（1991）认为，生态环境是依托于地质基础上，其相互作用构成了地质生态环境，它是包容了岩石圈、水圈、大气圈和生物圈的复合环境。陈梦熊（2003）则建议把生态环境地质调查作为国家基础性工作之一，列入国土资源大调查的计划，他

还阐述了生态环境地质调查的主要目标和具体任务, 强调对新技术、新方法和新理论的开发与应用。李正积(1986)提出了“岩石—土壤—植被—大气—人为”大系统理论, 并撰写了《岩土植物大系统研究 I·果树大系统》一书, 特别强调地质环境对生态环境的支配作用。何政伟等(2003)认为, 生态地质学是以研究和评价地质环境的变化对生态平衡的影响和作用、地质环境与生态环境之间的关联性规律, 是以生态—地质系统为对象, 即岩石圈、水圈、土壤圈、大气圈和生物圈, 研究保持生态平衡时与地质相关的诸环境因子的发生、发展、组成和结构、调节及控制、改造和利用, 它是基础地质学、环境地质学、生态学、遥感地质学等相互交叉的边缘学科。其研究任务是: ①对地质圈在自然和人类活动成因因素作用下发生的变化及其生态效应进行分析; ②在保护生态系统稳定的前提下, 合理利用地球的水、土地、矿产和能源资源; ③减轻地质环境受自然或人类活动成因灾害所造成的损失, 保障人类生存安全。其研究内容包括: 地质背景对生态系统的控制、生态地质脆弱带的地质灾害、岩—土—水—植物生态系统、土壤地球化学与生态农业、人类活动对生态环境的影响、生态地质环境的动态监测和评价决策支持系统、生态地质环境计算机模拟、研究区域性生态地质调查方法、制定填图规范(何政伟, 2003)。按王长生等的意见, 地质—生态环境调查研究的对象是岩石圈、水圈、土壤圈、大气圈及生物圈, 研究方法是野外调查与室内分析相结合, 研究内容是调查保持生态系统的平衡时与地质相关的诸环境因子的变化程度。

国内比较引人注目的一类生态地质研究是农业生态地质调查, 有大量对这类研究进行相关论述的文献。如袁道先(2000)针对南方岩溶石山地区地下水资源及生态环境地质调查, 提出生态地质调查应根据国家、地区目标和社会需求, 以及水文地质和生态环境地质特点, 结合国内外水文地质、环境地质科学技术新进展, 广泛采用地球系统科学、岩溶动力系统理论和 3S 及计算机技术, 并强调应将调查与土地利用结合起来。王从祥等(2002)认为, 农业生态地质调查涉及与农业生态相关的诸多地学方面, 包括地貌、地质结构及土壤、地球化学及工业发展对农业生态地质环境的影响; 在调查工作中主要借鉴地质学、农学的基本工作方法, 如农业地质填图、剖面测量、样品采集, 以及资料收集与综合整理、综合研究、编绘各类农业地质图件等。哈承佑等(2002)认为, 需要在地质环境研究和工作中注重调整水资源的利用结构。王建中等(2002)通过山东临淄城、青州市及河北龙华镇、流常乡的农业生态地质调查工作, 总结出应将基础地质调查、土壤地球化学调查、水文地质调查三个方面与农业生态结合, 其中基础地质地貌条件控制着农业的布局、土壤的地球化学背景, 且直接关系到农作物的生长环境、营养元素含量等; 水文地质特征则是农业可持续发展的关键。侯春堂等(2002)提出, 区域农业生态地质调查要以关键带(critical zone)的地质环境演化和对农业的影响来划分, 并据此确定调查的时段和重点: 深部以编为主, 浅部以验证调查为主; 总体上为网度控制, 灰度界线; 工作精度由下部至上部逐步提高。他还以河北平原为例, 将该区的农业生态地质调查划分为四个层段: 地表层段, 为调查重点, 作为综合成果的主体; 全新统上段和全新统层段, 分别以洛阳铲和浅钻验证调查为主; 第四系层段, 开发已有资料, 以编为主。在调查成果表达方面, 侯春堂等(2002)提出, 用综合性调查成果的主图及图例表反映调查区域的农业生态地质条件, 镶图及辅表反映调查区域的农业生态地质工程区划等, 剖面图辅助揭示区域农业生态地质背景条件。

总的来看,无论是地质生态学的理论研究还是应用实践,目前都逐渐得到重视。通过近二十年来大量学者的不懈努力,我国的地质生态学研究也取得了长足的发展。但需要看到的是,地质生态学是一门十分年轻的学科,它还很不成熟,甚至其学科理论体系尚未完全构建起来,在其研究过程中还存在许多问题,需要探讨和解决,主要表现为:①地质生态学的概念并不一致、研究范围不很具体、不同学科之间存在脱节或重复等问题,其成果的表达也不统一,需要从地球系统科学的高度去探究地质生态学的内涵;②在区域地质生态调查方面还远未形成得到公认的规范或指南,地质生态研究和调查工作的规范化亟待解决;③现有的大部分研究主要是在宏观层次上进行的,中小尺度上的相关研究较少;④现有的地质生态调查还多是生态调查与地质调查的简单叠加,主要强调物理结构的分析和有关数据的获取,没有反映出地质环境与生态环境之间的相互依存、相互作用的关系;⑤在研究中或强调地质环境对农业生产的影响,侧重于农业地球化学研究,或强调岩土体的稳定性对生态环境的灾难性影响,即侧重于环境地质研究,而对天然植被与其地质背景间的关系研究不够。由此可见,地质生态学的基本理论与方法还需要进一步探索。

2.2 干旱区地质生态学研究现状

总体来看,干旱半干旱区的地质生态学研究目前还较少。在已有的研究中,地下(包括饱水带、包气带及土壤层)的水、盐与植物间的关系受到了特别的重视。如杨戈(1972)分析了干旱区植物与水的关系。Trudgill(1977)通过解决植物养分问题而研究了土壤与植被系统间的生态平衡;Bornkamm(1986)研究了埃及南部的绿洲植被与地下水问题;Pankav(1994)阐明了戈壁绿洲植被盖度的大小完全取决于地下水的出现深度与矿化度;丁启夏等(1996)用回归模型建立了胡杨、红柳的植被盖度与地下水位之间的关系;阎顺国等(1994)用聚类分析对河西走廊盐生草甸植被群落按土壤水盐生态类型进行了分类;崔亚莉等(2001)通过地下水位埋深对植物生长和土壤盐渍化影响的分析,探讨了地下水对生态环境的控制作用,认为地下水埋深及包气带水分运动状况是主要生态环境指标,保持合理的生态地下水位是防止植物死亡和土地荒漠化的关键,维持适度的地下水位埋深,可以控制土壤水、盐运移和均衡,达到改良土壤和改善生态地质环境的目的。

徐恒力和周爱国等(2000)基于对西北地区干旱化趋势的讨论,研究了西北内陆封闭盆地水、盐迁移聚集的系统动力学模式,阐明了盆地浅表积盐与水盐失衡的根本原因。在此基础上,徐恒力等(2003)探讨了水、盐分布与生态适宜性之间的内在联系以及水循环节律的变化对土壤生态指数时空分布的影响,并提出应建立西北地区各物种的生存域及土壤生态指数,为干旱区地质生态学研究提供了切入点。在后续的研究中,还就如何建立植物物种的生存域、如何开展中小尺度的地质生态学研究提出了一系列见解,如将生境的地下部分称为地境(belowground habitat),认为在干旱半干旱地区,植物生境的地下部分的研究对生态建设和保护具有重要的理论和实际意义,探讨了西北干旱区天然植物地下生境的上、下界面位置;提出了植物根群部位对天然植被生存与演替的重要性,初步确定了一年生植物和多年生植物的地境稳定层。尽管这些研究思路和成果有待于进一步完善,但仍为干旱半干旱地区地质生态学研究提供了一些切实可行的方法。本书将借鉴有关生存域的研究思路。