

中国西部环境和生态科学研究丛书

黄土高原生态建设 环境效应研究

田均良 等 编著

本书由国家自然科学基金委员会“中国西部环境和生态科学”重大研究计划资

“中国西部环境和生态科学”研究丛书

黄土高原生态建设环境效应研究

田均良 等 编著

 气象出版社
China Meteorological Press

内容简介

本书以国家自然科学基金委员会“中国西部环境和生态科学”研究计划拟定的相关科学问题为核心,结合黄土高原特点,在概述黄土高原全新世以来自然环境变化的基础上,重点集成、提升对水土保持工程和植被建设为主的生态建设环境效应的认识;以景观格局与过程、土壤环境、土壤侵蚀、水文等关键生态过程为重点,较系统地揭示生态建设的环境效应,论述了生态建设环境效应评价方法。本书依据丰富的资料与研究成果,展现了近期黄土高原生态建设环境效应领域研究最新进展,对于进一步深化该区环境与生态科学研究具有重要价值。

本书可供从事农业、区域治理、生态恢复等方面的工作人员及生态学、土壤学、环境科学及水土保持专业的高等院校师生及科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

黄土高原生态建设环境效应研究:中国西部环境和生态科学研究丛书/田均良等编著. —北京:气象出版社,2010.9
(中国西部环境和生态科学研究丛书)

ISBN 978-7-5029-4957-0

I. ①黄… II. ①田… III. ①黄土高原-生态环境-建设-研究
IV. ①X171.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 054893 号

Huangtugaoyuan Shengtai Jianshe Huanjing Xiaoying Yanjiu

黄土高原生态建设环境效应研究

田均良 等 编著

出版发行:气象出版社

地 址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

总 编 室:010-68407112

网 址: <http://www.cmp.cma.gov.cn>

责任编辑:简学东 李太宇

封面设计:燕 彤

印 刷:北京中新伟业印刷有限公司

开 本:787 mm×1092 mm 1/16

字 数:450 千字

版 次:2010 年 9 月第 1 版

印 数:1~1000

邮政编码:100081

发 行 部:010-68409198

E-mail: qxcbs@263.net

终 审:周诗健

责任技编:吴庭芳

印 张:17.75

印 次:2010 年 9 月第 1 次印刷

定 价:50.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,请与本社发行部联系调换。

“中国西部环境和生态科学” 研究丛书编委会名单

主编：孙鸿烈

编委（以姓氏笔画为序）：

丁仲礼 马福臣 田均良 任继周 孙鸿烈

李秀彬 张宗祜 陈宜瑜 周秀骥 袁道先

蒋有绪 程国栋 童庆禧

序

西部大开发战略,是中国政府在世纪之交做出的重大决策。旨在推动经济结构的战略性调整,促进地区经济协调发展。是实施区域发展总体战略的重要组成部分。然而,人类基本生存环境恶劣和生态脆弱是西部发展的重要制约因素;矿产资源、化石能源和水土资源的不合理利用,加剧了水资源的短缺和生态的破坏;环境质量的退化和自然灾害的加重构成了对重大基础设施的威胁。因此,切实加强生态环境保护和建设,是推进西部开发重要而紧迫的任务,也是实施这一战略的基础。

西部的环境和生态问题,根源在于陆地表层环境的脆弱性。然而,西部陆地表层过程的许多基本科学问题尚不清楚。例如,西部现代的环境状况,哪些是自然因素造成的?哪些是人为因素导致的?尘暴中的粉尘到底是从哪里来的?关系到西北地区命脉的冰雪资源在气候变化影响下将如何演化?西北干旱区和西南岩溶(喀斯特)地区的水循环过程遵循什么样的规律?如何科学评估西部水资源的数量、质量以及生态系统在其中的作用?在干旱半干旱地区,什么样的植被覆盖模式既有利于生态又不会对人类水资源的需求构成严重制约?在西南地区的复杂地质背景下,如何在提高工程设施稳定性的同时保护环境和生态?对于这些问题的圆满回答,依赖于对构成陆地表层环境核心的土壤—植被—大气系统基本过程及其演变背景的科学探索。而限制这一探索继续深入的原因,主要是围绕主攻科学目标的多学科交叉和综合不够充分。首先,该领域的科学进展越来越多地依赖于长期持续的地面和空间遥感的观测数据,这是靠单个科学家和个别项目难以完成和支撑的。其次,该领域的研究对象比较复杂,研究工作的深入越来越依赖于综合集成和跨学科协同攻关。特别是,该领域许多学科虽然有着相近的研究对象,但往往出现学科背景不同的科学家之间难以沟通和对话的情形,问题主要在于各学科侧重的时间或空间尺度存在较大的差异。为了有效地动员起解决西部环境和生态重大科学问题所需的广泛的人才和技术,国家自然科学基金委员会于2001年启动了“中国西部环境和生态科学”重大研究计划(简称“西部计划”),组织实施围绕西部环境和生态建设的基础性、战略性和前瞻性的基础研究项目。旨在以“重大研究计划”的顶层设计来保证科学目标的统一性和研究、观测工作的持续性;鼓励科学家围绕总体科学目标与核心科学问题从不同角度开展高水平的探索,以保证科学探索的综合性和原始创新性;并以重大研究计划中项目设置的灵活性来鼓励竞争。

实施重大研究计划是完善科学基金制的一项举措,其战略意图是为了提高我国解决重大科学问题的能力,围绕一个明确的科学研究方向,为多学科交叉和不同学术思想的碰撞提供研究平台。坚持在顶层设计下的自由申请,针对核心科学问题,整合集成具有不同学科背景、不同学术思想和不同层次的科研项目,形成具有统一目标的项目群,提高基础研究的源头创新能力。

相对于项目模式,重大研究计划的最大优势在于:(1)不断深化顶层设计,突出重大科学问题,引导不同学科、不同领域的科学家围绕同一目标协同研究;(2)不断引进新的队伍,以促进不同学术思想相互碰撞,激励创新;(3)一个较长时间的持续支持、不断优化又相对稳定的队伍以及长期连续的科学积累。

“西部计划”的宗旨在于,通过对围绕中国西部环境和生态建设的基础性、战略性和前瞻性科学探索的组织和支持,推动地球系统科学的发展,并为西部地区环境和生态管理服务。

该计划的总体思路,是以陆地表层系统的物理、化学、生物、人文过程及其相互作用为主要研究对象,以各种时间和空间尺度上物质和能量传输过程的耦合与嵌套,以及这些过程在人类干预下从自然状态偏离的机理为核心,以中国西部特殊地理环境为“区域操作平台”,资助、协调和集成相关领域的研究项目,从而提高我国解决西部环境、生态和可持续发展中重大科学问题的能力。

该计划的目标,试图回答三大基本科学问题:(1)西部的现代环境格局是如何形成的?(2)如何区分西部环境和生态的演化中自然和人文因素的作用?(3)在全球变化的背景下,西部环境和生态今后的发展趋势如何?在此基础上为西部环境和生态管理决策提供科学依据。围绕这些科学问题,西部计划从“西部环境系统的演化及未来趋势”、“水循环过程与水资源可持续利用”、“生态系统过程与调控”和“主要人类活动方式与环境”四大研究主题,分年度发布项目申请指南。通过“上下结合”的立项模式,前后共资助了64个研究项目。

经过近十年的努力,已经形成了围绕西部环境和生态领域重大科学问题开展交叉协同研究的平台,获取了大量的第一手数据,构建了科研数据共享平台,取得了丰硕的科研成果。特别是围绕以下四个综合性主题,形成了集成性的研究成果:(1)中国西部环境系统演化;(2)黄土高原生态环境效应;(3)内陆河流域水循环;(4)人类活动与环境相互作用。作为“西部计划”科研成果的总结,本丛书只收录了这四个综合集成主题的部分研究成果。其他成果已广泛发表于国内外学术期刊上。

作为国家自然科学基金委员会资助的资源环境领域中第一个重大研究计划,“西部计划”不仅培育了一支致力于中国西部环境和生态科学研究队伍,取得了丰硕的科研成果,也探索出了与这一新型科研组织形式相适应的管理模式。这要感谢“西部计划”的科学指导与评估专家组,他们是:孙鸿烈、陈宜瑜、周秀

骥、程国栋、袁道先、任继周、田均良、童庆禧、蒋有绪、张宗祜、李秀彬。也要感谢“西部计划”的协调组和秘书组成员,包括:马福臣、柴育成、冷疏影、王爽等。在“西部计划”的实施规划制订过程中,黄鼎成、宋长青、王会军、李晓波、郭正堂、姚玉鹏等作出了突出的贡献。在此,谨向他们表示诚挚的谢意!

程国栋

国家自然科学基金委员会地球科学部主任

2010年8月

前 言

随着我国西部大开发战略的实施，生态建设受到高度的重视，同时也对生态和环境科学研究提出了更高的要求，诸如西部脆弱的生态环境的形成、在环境演变和生态重建过程中主要生态过程的变化特点及其互馈作用、自然和人类活动的驱动作用等重大科学问题受到普遍关注。对这些科学问题的正确认识，不仅有益于推动西部环境与生态科学的研究，也是实现西部开发与生态建设协同发展的重要科学基础。为此，中国科学院和国家自然科学基金委员会相继启动了西部行动计划和中国西部环境和生态科学研究计划。十年来，通过一批针对西部生态环境研究项目的实施，对西部生态与环境的认识逐步有所深化。国家自然科学基金委员会中国西部环境和生态科学研究计划决定以集成研究专著的形式，反映这些研究的进展。

本书作为国家自然科学基金委员会“中国西部环境和生态科学”研究计划集成研究成果之一，旨在针对黄土高原生态建设区域特色及其环境效应，以国家自然科学基金委员会和中国科学院十年来针对黄土高原实施的相关研究项目为主，参照其他有关研究成果，通过对研究成果的集成，展现近期黄土高原生态建设环境效应领域的研究进展和获得的主要认识。由于黄土高原地域辽阔，生态环境类型多样且问题复杂，虽然十年来的研究工作有力地推动了该区域生态环境研究，但对于回答一些热点、重点科学问题，仍然任重而道远。本书通过对黄土高原生态建设环境效应相关研究阶段性成果的梳理与集成，期望对今后该地区环境和生态科学研究能有一定的启迪作用。

黄土高原因其独特的地貌特征、连续广阔的黄土分布、严重的水土流失，长期受到国内外学者关注。本书所指的黄土高原，沿用了20世纪80年代的黄土高原地区综合考察所界定的黄土高原地区。其范围南以秦岭山脉为界，北至阴山山脉，东以太行山为界，西到贺兰山、日月山。地理坐标处于 $100^{\circ}52' \sim 114^{\circ}33'E$ ， $33^{\circ}41' \sim 41^{\circ}16'N$ 范围内。总面积64.2万 km^2 ，其中水土流失面积45.4万 km^2 （水蚀面积33.7万 km^2 、风蚀面积11.7万 km^2 ），多年平均年输入黄河泥沙达16亿t，是我国乃至世界上水土流失最严重的区域之一。黄土高原也是中华民族农业和文化的主要发源地，在人类活动与自然力的双重驱动下，经过数千年的环境变迁，形成了今日黄土高原脆弱的生态环境现状。该地区多位于半干旱或半湿润干旱区，水土流失和干旱并存是黄土高原生态建设和经济发展的主要制约因素。

基于黄土高原在西部社会经济发展中的战略地位,半个多世纪来,为黄河的长治久安,也为改变黄土高原农业生产力低下、经济发展滞后和农民贫困的落后面貌,开展以水土流失治理为核心的生态建设一直得到各级政府的高度重视。在20世纪80年代以前主要经历了50—70年代初开展的以农民投入为主,以梯田、淤地坝建设为主体的基本农田建设。截至1980年底,黄河中上游地区的治理面积为7.5万 km^2 ,占水土流失总面积45.4万 km^2 的16.5%。20世纪80年代后,实施国家重点治理工程,全面推广和实施以小流域为单元的综合治理,截至1985年底,治理面积共计11.58万 km^2 ,占水土流失总面积的25.5%。进入90年代以后,随着国家西部大开发战略的实施和对生态建设的重视,在黄土高原先后启动了大规模的淤地坝建设、坡改梯和天然林保护等生态建设工程。特别是1999年以来,退耕还林(草)工程进一步全面推动了该区生态建设进程。1999—2002年期间,黄土高原五省(区、市)退耕还林(草)面积就接近全国退耕面积的30%。陕西省自启动退耕还林工程以来,累计退耕还林近102万 hm^2 ,再加上其他林业工程的实施,全省森林覆盖率从14.2%提高到37.26%,作为荒漠化较为严重的地区,与十年前相比,荒漠化面积中重度、极重度比例由54.8%下降到13.4%。在黄土高原,由于一系列生态建设工程实施及配套政策的落实,推进了农村经济的发展,遏制了该区多年来边治理边破坏和生态环境局部改善整体恶化的趋势。

长期不懈的生态建设,也为黄土高原生态建设环境效应研究提供了不可多得的实地研究平台。半个多世纪的生态建设对生态环境产生了重要影响,这些影响带来的环境效应,包括某些长时效应,已开始显现。生态建设引起的环境效应是科技界关注的热点科学问题,特别是生态建设在区域规模全面实施的新形势下,深化对生态建设环境效应的认识,可为生态建设的宏观决策和效益评估提供科学依据。

鉴于生态建设及其环境效应涉及内容广泛,不同学科、不同地区研究的目的、内容各有侧重。本书以国家自然科学基金委员会“中国西部环境和生态科学”研究计划拟定的相关核心科学问题为重点,结合黄土高原特点,侧重于以水土保持工程治理和植被建设为主的生态建设措施对生态系统产生显著影响的主要生态环境效应。全书共有六章。第1章简介黄土高原环境演变历史概况,作为背景,了解全新世黄土高原生态环境的演变过程及目前脆弱生态环境的形成历史,为黄土高原生态建设的目标及其环境效应评价研究提供基础信息;第2章从景观尺度阐明了生态建设引起的景观格局变化趋势与主要生态过程;第3章到第5章分别从土壤、水文、土壤侵蚀角度,认识因生态建设引起关键环境要素变化产生的环境效应类型及其主要生态过程和形成机理;第6章对环境效应的评价方法进行了探讨。由于是对相关研究项目成果的集成,本书重点展

现近十年相关科学问题研究的进展和认识的提升，并不强调所涉及的学科领域知识的系统性和完整性，敬请读者予以谅解。在撰写过程中，通过对主要科学问题认识的梳理，也明显感到研究现状的不足，为此在每章后面的结语和全书的后记也归纳出一些亟待深化研究的科学问题，供读者参考，以期今后研究中能得到关注。

本书各章由主笔和参加撰写人员共同完成。主笔分工如下：第1章：郭正堂、侯甬坚；第2章：陈利顶；第3章：许明祥、焦菊英；第4章：刘文兆；第5章：郑粉莉、刘宝元；第6章：上官周平。参写人员名单附于各章（节）结尾处。全书由田均良、上官周平负责统稿，定稿的汇总编辑由刘普灵、王百群完成。本书的图表编辑由程立平、王计平、张小彦、汪晓勇等协助完成。

全书初稿得到杨文治、周佩华、傅伯杰、宋长青、冷疏影、吴金水等专家学者的审查指导，在相关章节的多次研讨中邀请的与会专家也提出了不少中肯建议。这些指导和建议对本书的定稿起到了重要作用。在此，对所有参与指导和研讨的专家表示衷心感谢。

本书是数十名撰写人员的共同劳动成果，多次研讨，几经修稿，虽不尽完善，但基本反映出目前对黄土高原生态建设环境效应研究的进展和主要认识。由于所集成研究项目的时间和区域限制，以及囿于参写人员的水平，书中可能有偏颇之处，如能得到读者的赐教，将不胜感谢。

本书由国家自然科学基金委员会“中国西部环境和生态科学”研究计划资助，集成研究以国家自然科学基金委员会西部计划重点项目“黄土高原生态恢复的环境效应及评价”（90502007）为支撑，同时也得到中国科学院西部行动计划项目“黄土高原水土保持与可持续生态建设试验示范研究”（KZCX2-XB2-05）的支持。

田均良

2010年2月

目 录

序

前言

第 1 章 黄土高原全新世以来自然环境变化概况	(1)
1.1 全新世以来黄土高原生物气候环境变化趋势及驱动机制	(1)
1.1.1 黄土高原的形成演化历史	(1)
1.1.2 全新世以来黄土高原气候环境变化趋势	(2)
1.1.3 全新世以来黄土高原古植被演化趋势	(8)
1.2 近 50 a 来黄土高原环境变化概况	(13)
1.2.1 气候变化趋势	(13)
1.2.2 河川径流变化	(17)
1.2.3 植被覆盖变化	(19)
1.2.4 水土流失变化趋势	(22)
1.2.5 对黄土高原 50 a 来环境变化研究的基本认识	(23)
1.3 历史时期人类活动对黄土高原环境的影响	(24)
1.3.1 人类活动分类及其影响强度分析	(25)
1.3.2 历史时期地貌演变和水文变化	(27)
1.3.3 人为土壤和农业景观的形成	(30)
1.3.4 土地利用扩大对动植物的影响	(33)
1.4 结语	(39)
参考文献	(40)
第 2 章 生态建设对景观格局与过程的影响	(48)
2.1 景观格局演变及其驱动机制	(48)
2.1.1 景观格局演变的时空特征	(48)
2.1.2 景观格局演变的驱动机制	(60)
2.2 景观格局演变的生态环境效应	(64)
2.2.1 景观格局演变对水文过程和水循环的影响	(64)
2.2.2 景观格局演变对土壤侵蚀过程的影响	(68)
2.2.3 景观格局演变对生物多样性的影响	(71)
2.2.4 景观格局演变对区域生态安全的影响	(72)
2.2.5 景观格局演变对全球变化的影响	(73)
2.3 景观格局对土壤侵蚀过程影响的定量评价	(74)
2.3.1 坡面景观连通度与土壤侵蚀过程评价	(74)

2.3.2 “源—汇”景观格局分析与土壤侵蚀过程评价	(76)
2.3.3 多尺度景观格局分析与土壤侵蚀过程评价	(81)
2.4 结语	(82)
参考文献	(84)
第3章 生态建设的土壤环境效应	(88)
3.1 土壤物理环境效应	(88)
3.1.1 植被恢复对土壤团聚体与渗透性的影响	(88)
3.1.2 植被建设引起的土壤干化问题	(91)
3.1.3 植被恢复对土壤水库的影响	(95)
3.2 土壤化学环境效应	(98)
3.2.1 植被恢复对土壤有机质的影响	(98)
3.2.2 植被恢复对土壤养分的影响	(100)
3.2.3 植被恢复对土壤碳库的影响	(103)
3.3 土壤生物环境效应	(111)
3.3.1 植被恢复对土壤微生物的影响	(111)
3.3.2 植被建设对土壤酶活性的影响	(114)
3.3.3 不同植被类型的土壤种子库特征	(116)
3.3.4 生物土壤结皮发育特征及其环境效应	(121)
3.4 土壤质量响应	(124)
3.4.1 土壤指标对生态建设的响应及敏感性	(125)
3.4.2 土壤质量指标筛选	(126)
3.4.3 植被恢复对土壤质量的影响	(127)
3.5 结语	(129)
参考文献	(131)
第4章 生态建设水文效应	(138)
4.1 生态建设条件下流域下垫面水文特征参数及坡面降雨径流模拟试验 尺度转换分析	(138)
4.1.1 土壤水力学参数	(138)
4.1.2 坡面径流的流型	(140)
4.1.3 坡面径流的流态	(141)
4.1.4 坡面径流的流速	(142)
4.1.5 坡面径流的深度	(143)
4.1.6 坡面径流的水流阻力	(143)
4.1.7 坡面降雨径流模拟试验尺度转换控制指标	(144)
4.2 生态建设对土壤水文过程与特征的影响	(146)
4.2.1 生态建设对土壤入渗与蓄水能力的影响	(146)
4.2.2 农林草地水文效应与土壤干演化	(147)
4.2.3 生态建设对土壤水资源的影响	(149)
4.2.4 生态建设条件下流域土壤水分生态特征及其区域差异	(150)

4.3 生态建设对流域径流的影响	(152)
4.3.1 植物冠层及凋落物对降水的截留作用	(152)
4.3.2 生态建设对坡面产流的影响	(154)
4.3.3 生态建设对流域径流的影响	(155)
4.4 地下水及其对生态建设的响应	(159)
4.4.1 地下水资源动态变化	(159)
4.4.2 生态建设条件下地下水的补给分析	(160)
4.5 生态建设条件下流域水量平衡及用水结构	(162)
4.5.1 地块尺度农、林、草地水量平衡特征	(162)
4.5.2 生态建设对流域蒸散量的影响	(164)
4.5.3 小流域水资源各组分比例关系及用水结构	(165)
4.6 气候变化下生态建设的水文效应	(167)
4.6.1 气候变化与生态建设对水文变化影响	(167)
4.6.2 未来气候下生态建设的水文效应	(169)
4.6.3 未来气候变化对黄土高原水资源影响的评估	(170)
4.7 结语	(172)
参考文献	(174)
第5章 生态建设的土壤侵蚀环境效应评价	(182)
5.1 生态建设对土壤抗侵蚀性的影响	(182)
5.1.1 植被恢复过程中的土壤抗蚀性演变	(183)
5.1.2 植被恢复过程中的土壤抗冲性演变	(184)
5.1.3 土地利用对土壤分离速率的影响	(185)
5.2 生态建设对坡面侵蚀产沙的影响	(188)
5.2.1 生态建设对浅沟集水区坡面侵蚀产沙的影响	(188)
5.2.2 林草措施对坡面侵蚀产沙的影响	(188)
5.3 生态建设对小流域侵蚀产沙的影响分析	(190)
5.3.1 生态建设对小流域产流、产沙影响的分析方法	(190)
5.3.2 生态建设对小流域产流量和产沙量的影响	(192)
5.3.3 生态建设过程中小流域产流量和产沙量动态变化	(193)
5.4 生态建设对区域径流泥沙的影响	(196)
5.4.1 生态建设对河口镇—龙门区间减沙量的贡献分析	(196)
5.4.2 各项水土保持措施的减流量和减沙量分析	(198)
5.5 多尺度土壤侵蚀预报模型及其应用	(199)
5.5.1 坡面土壤侵蚀预报模型	(200)
5.5.2 小流域分布式水蚀预报模型	(204)
5.5.3 区域水土流失评价模型	(209)
5.5.4 土壤侵蚀机理模型研究	(210)
5.5.5 未来黄土高原水土流失趋势预测	(212)
5.6 示踪方法在土壤侵蚀研究中的应用	(213)

5.6.1 示踪方法研究	(214)
5.6.2 示踪技术在土壤侵蚀研究中的应用	(217)
5.7 土壤侵蚀环境影响评价概述	(219)
5.7.1 几个基本概念	(219)
5.7.2 土壤侵蚀危险性研究现状	(222)
5.8 结语	(222)
参考文献	(223)
第6章 生态建设环境效应评价方法	(229)
6.1 生态建设环境效应评价内容与基本方法	(229)
6.1.1 生态建设环境效应评价内容	(229)
6.1.2 生态环境效应评价的基本方法	(232)
6.2 生态建设环境效应评价的概念框架	(236)
6.2.1 评价目标	(236)
6.2.2 评价原则	(236)
6.2.3 评价的思路选择	(237)
6.2.4 评价概念框架	(238)
6.3 生态建设环境效应评价指标识别	(240)
6.3.1 评价指标选择识别原则	(240)
6.3.2 评价指标初步选择	(241)
6.3.3 初选指标的“三性”分析	(241)
6.3.4 评价指标体系建立	(241)
6.4 生态系统服务功能价值的分类与评估方法	(245)
6.4.1 生态系统服务功能价值	(246)
6.4.2 生态系统服务功能价值评估方法	(247)
6.4.3 生态系统服务功能评价中的局限性	(249)
6.5 基于系统服务价值的生态建设环境效应评价应用案例	(250)
6.5.1 吴起县实施退耕还林工程的生态服务价值评价	(250)
6.5.2 陕北黄土高原不同土地利用类型生态系统服务价值评价	(252)
6.6 生态建设环境效应评价研究中亟待解决的关键问题	(253)
6.7 结语	(255)
参考文献	(256)
后记	(258)
附录	(261)
附录1:主题词索引	(261)
附录2:英文缩写	(263)
附录3:物种中文和拉丁文对照表	(265)

第1章 黄土高原全新世以来 自然环境变化概况

主笔:郭正堂 侯甬坚

【提要】 现代黄土高原的生物气候环境是长期以来、特别是 10 000 a 来的全新世期间自然和人为因素共同作用的结果。理解这种相互作用的历史和过程,对黄土区生态建设研究具有重要价值。本章主要基于各类生物地质记录、历史文献和器测资料:(1) 简要介绍黄土高原的形成演化历史及其与亚洲季风环境和内陆干旱环境形成演化的关系;(2) 研究全新世以来黄土高原气候在万年和千一百年尺度上的变化特征、主要驱动因素和机制,探讨该时期的自然植被状况及其与气候变化的关系;(3) 分析最近 50 a 来黄土高原气候变化趋势及其对植被、河川径流和水土流失等的影响;(4) 剖析数千年来人类活动的强度变化及其与黄土区地貌、水文、土壤和植被演变的关系。上述内容试图从较为宏观的角度,为研究黄土高原生态建设的环境效应提供相关的历史背景。

1.1 全新世以来黄土高原生物气候环境变化趋势及驱动机制

在黄土高原生态恢复研究中,我们有必要了解高原目前的气候和生态环境格局是如何形成的,又是如何演化到目前的状态的,受哪些主要因素控制。本节首先基于各类长尺度地质记录的研究结果,简要介绍黄土高原的形成演化历史及其与亚洲季风环境和内陆干旱环境形成演化的关系;继之重点讨论全新世以来黄土高原气候在万年和千年尺度上的变化特征、主要驱动因素和机制;然后根据孢粉学、同位素地球化学和古土壤学证据,探讨黄土高原全新世自然植被的状况及其与气候变化的关系,以期从历史的角度,为高原的生态环境恢复研究提供有关自然背景的参考。

1.1.1 黄土高原的形成演化历史

大约在渐新世末期到中新世初期,由于区域构造运动对大气环流的改变,亚洲的纬向带环境格局解体,副热带高压控制的“行星风型”干旱带消失,代之以季风环境和“内陆型干旱”环境的出现(Liu 和 Guo, 1997; Guo 等, 2002; 2008; Sun 和 Wang, 2005)。也就是说,亚洲内陆型的干旱环境已有非常久远的历史。至少从中新世初期约 22 Ma BP 开始,冬季风环流就从内陆干旱区携带大量的风尘在黄河中游堆积形成黄土;而夏季风环流从低纬海洋携带大量的水汽,得以形成黄土中大量的古土壤层。因此,我国北方黄土高原的雏形在中新世初期就开始形成,之后持续发展(Guo 等, 2002; 2008)。到新近纪晚期和第四纪,北极冰盖的形成与发展使冬季风环流的强度和内陆干旱度加剧(Guo 等, 2004),风尘堆积速率增大,形成今天巍然壮观的黄土高原(刘东生等, 1985)。

以六盘山为界,目前西部黄土高原风尘堆积的历史至少可以追溯到 22 Ma BP,且具有大范围分布的特征(Guo 等, 2002; 2008; Liu 等, 2006; Hao 和 Guo, 2007; 袁宝印等, 2007);而东部黄土高原风尘堆积只有约 8 Ma 的历史(Sun 等, 1998; Ding 等, 1999)。这种空间上突变的区域差异难以用气候变化解释,显然是区域构造运动的结果:六盘山以西黄土堆积的基底地形形成于中新世初期以前,而东部黄土堆积的基底地形大多数则形成于中新世晚期约 8 Ma BP(郭正堂, 2003; Hao 和 Guo, 2004)。在东部黄土高原,除渭河谷地有晚中新世以前的河湖相沉积(李传夔等, 1984)外,其他地区不仅尚未发现年代久于 8 Ma 的风尘堆积,而且也很少有此前其他类型的松散沉积,表明它们在晚中新世约 8 Ma BP 的一次构造运动中被侵蚀殆尽。此次构造运动使西部黄土高原的中新世黄土也遭受较强烈的侵蚀,是甘肃群成因多样性的重要原因(Guo 等, 2002; 2008; Liu 等, 2006; Hao 和 Guo, 2007; 袁宝印等, 2007)。证实上述关于风尘堆积底界年龄差异的构造推论的办法之一,是在今后的研究中注意东部黄土高原某些保存较好的古地形上是否有更老的风尘堆积。如果确实有,则说明肯定不是气候原因所致。

六盘山以西以梁峁为主体的地形是在晚上新世约 3.5 Ma 以后的另一次侵蚀过程中形成的(郭正堂, 2003; Hao 和 Guo, 2004; 袁宝印等, 2007)。这种不平坦地形难以保存大量的风尘堆积,致使该区较厚的第四纪黄土只在西宁、兰州等地平坦的河流阶地上发育。相反,大面积地区的梁峁内部主要由新近纪不同类型的松散沉积组成,之上以披覆形式保存了较薄的第四纪黄土。而六盘山以东的黄土高原虽然在更新世不同时期也有侵蚀(刘东生等, 1985; 袁宝印等, 1987; Porter 和 An, 2005),但黄土塬内大量的沟谷切穿全新世土壤,表明全新世晚期的侵蚀十分强烈,可能与人类活动对植被的改变有关。新生代的上述气候和构造等事件,决定了黄土高原形成和演化历史的宏观轮廓及其与亚洲大陆构造和气候变化的关系。

1.1.2 全新世以来黄土高原气候环境变化趋势

黄土高原的形成演化历史与亚洲季风环境、内陆干旱环境的形成演化及区域构造历史密切相关。亚洲季风系统是全球气候系统的重要组成部分,包含南亚季风(西南季风)、东亚季风(东南季风)和亚洲冬季风三个主要环流分支,它们与亚洲内陆型荒漠形成于同一时代,是一种协同演化(Guo 等, 2008),既相互独立,又有着密切的相互作用,共同影响着亚洲大陆大范围地区的气候和生态环境格局。一般认为,目前黄土区的降水主要源于东亚季风携带的水汽,而西南季风携带的水汽经云贵高原和四川盆地也可到达黄土高原,对该区环境也有一定影响(陈隆勋等, 1991)。对最近 5 个间冰期黄土高原环境空间格局的研究(Hao 和 Guo, 2005)显示,东亚季风对黄土区降水的影响占主导地位,而南亚季风的影响处于相对次要的地位。毋庸置疑,作为第四纪最后一个间冰期的全新世期间,黄土高原的降水较大程度地受东亚夏季风环流的控制。北部的沙漠—黄土边界带可大致反映夏季风环流影响的北界(Ding 等, 2005)。

在理解我国北方环境演化时,不能忽视冬季风系统的作用:受西伯利亚高压强烈控制的亚洲冬季风环流会通过控制冬半年的气候条件而对黄土区的环境和生物状况产生深刻的影响。从这个意义上讲,黄土区的生物气候环境在很大程度上可以看作是东亚冬、夏季风环流相互作用的产物。如果从全球变化的角度来理解这个问题,则是高、低纬气候过程的相互作

用在我国北方的体现。这种相互作用体现在不同的时间尺度上。其中,全新世的环境趋势主要受控于地球轨道参数变化引起的万年尺度(也称轨道尺度)的气候变化和气候系统内部过程引起的千年尺度的变化。其他因素可以导致更短时间尺度的变化,本节不作详细讨论。

1.1.2.1 地球轨道和全球冰量对全新世气候变化的影响

东亚夏季风环流是黄土区水汽的主要携带者,其演化过程对黄土区水热平均状况有最直接的影响。虽然黄土是良好的气候记录,但由于数千年来剧烈的人类活动,全新世的土壤剖面上部多数受到农业活动的扰动,很难用以精确地恢复该时期的气候历史。相反,季风区内的其他记录(如湖泊、石笋等)则可以更好地反映夏季风环流的演化过程。

我国南方的石笋为东亚季风演化提供了具有较准确年代的记录。虽然目前对石笋碳酸盐氧同位素组成的气候意义仍有不同看法,但较多学者认为它是季风降水变化的记录。如果这个前提正确,则它记录了夏季风环流的演化历史。湖北山宝洞的石笋氧同位素可能较多地记录了东亚夏季风的历史(Wang 等, 2008),而贵州董歌洞可能同时受东亚和西南季风影响(Wang 等, 2005)。从图 1-1-1 可以看出,两地石笋氧同位素反映的季风降水从 11.5 ka BP 之后均开始增强,在约 10—9 ka BP 前后达到最大值,从约 6 ka BP 开始逐渐下降。这个趋势与北半球低纬夏季日照量(Berger, 1978)的变化高度吻合。上述数据一方面说明,东亚和南亚季风在万年尺度上的变化具有相对一致性,另一方面有力地支持了 Kutzbach (1981)提出的理论:北半球低纬夏季风日照量变化是控制季风环流在轨道时间尺度上变化的主要因素。

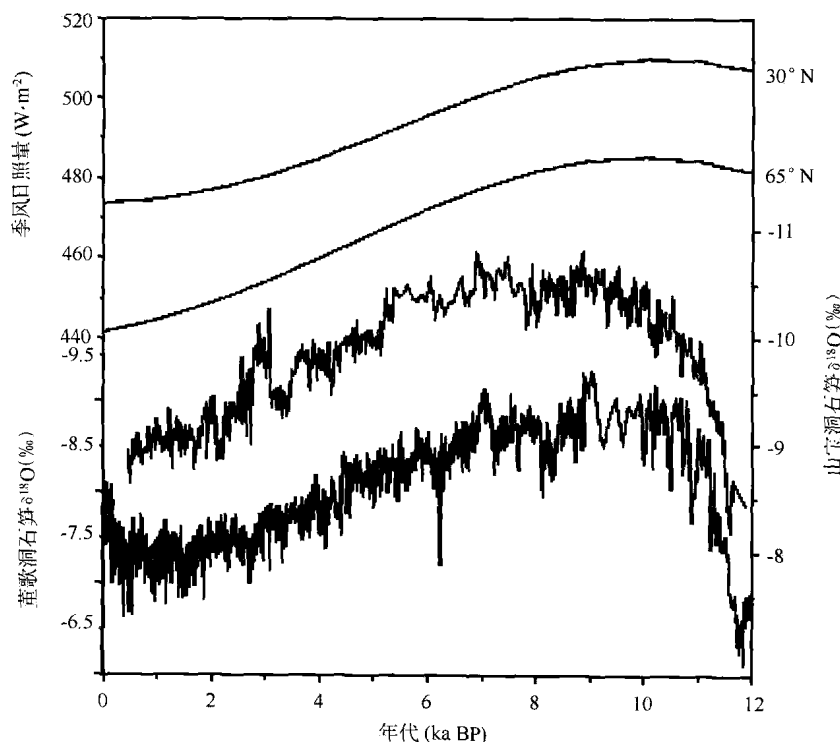


图 1-1-1 湖北山宝洞(Wang 等, 2008)和贵州董歌洞(Wang 等, 2005)石笋碳酸盐氧同位素记录的全新世季风降水变化及其与北半球低纬(30°N)和高纬(65°N)日照量变化(Berger, 1978)的对比