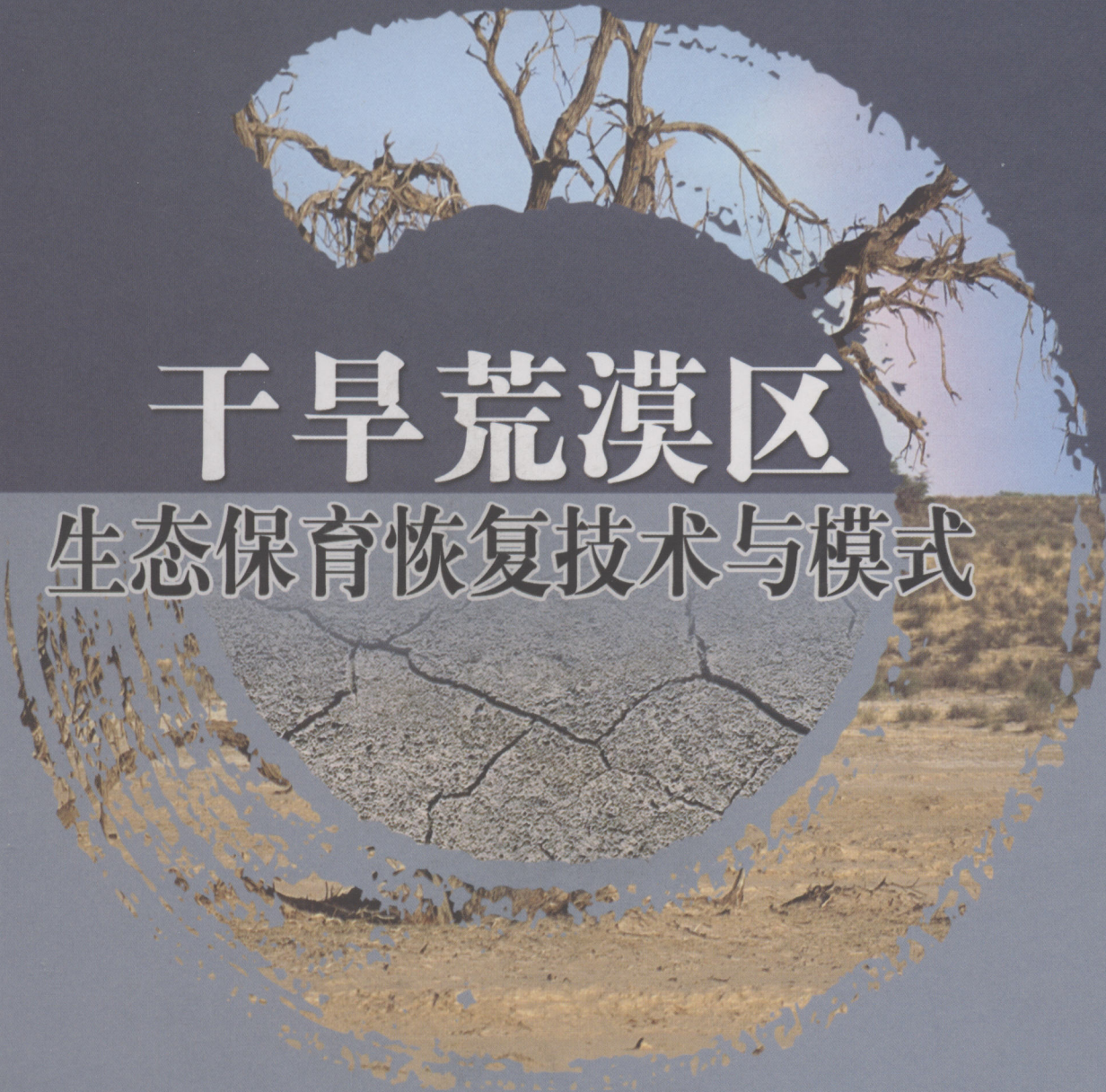


陈亚宁 等 著



干旱荒漠区 生态保育恢复技术与模式



科学出版社
www.sciencep.com

干旱荒漠区生态保育 恢复技术与模式

陈亚宁 等 著

p841.7
c614-2

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书主要探讨干旱荒漠区水土开发与生态治理技术与模式,全书分八章,系统介绍了干旱荒漠区生态环境的特点,并对干旱荒漠区生态系统进行了评价;针对干旱荒漠区的土地盐渍化、农林复合经营和草场退化等特点,重点提出了干旱荒漠区绿洲水土生态安全保障技术与模式、新垦土地农林复合经营技术与模式、退化草场改良与草地质量提升技术与模式等水土开发与生态治理技术与模式;评价了干旱荒漠区生物多样性,提出了干旱荒漠区生态保育模式推广的技术途径和政策保障机制。

本书可供地理学、生态学、环境科学等领域的科技工作者及高等院校的研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

干旱荒漠区生态保育恢复技术与模式/陈亚宁等著. —北京:科学出版社, 2010

ISBN 978-7-03-026959-1

I. ①干… II. ①陈… III. ①干旱区-生态系统-环境保护②荒漠-生态系统-环境保护 IV. ①P941.7②X321

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 042791 号

责任编辑:赵 峰 沈晓晶 / 责任校对:李奕莹

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:王 浩

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>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 3 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2010 年 3 月第一次印刷 印张:31 1/4

印数:1—1 200 字数:722 000

定价:128.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《干旱荒漠区生态保育恢复技术与模式》编辑委员会

主 任：陈亚宁

编 委：（按姓氏汉语拼音排序）

陈亚宁 程争鸣 李建贵 李 疆 李学森
潘存德 谭敦炎 尹林克 钟新才

序

新疆是我国最典型的干旱荒漠区，土地、能源、矿产等自然资源丰富，蕴藏着巨大的开发潜力，是我国 21 世纪重要的资源接替区，同时也是我国生态环境脆弱的地区，尤其在水土资源开发过程中，存在着很大的生态风险。因而，对新疆干旱荒漠区的资源开发要谨而慎之，开发过程中如何保障区域生态安全，提高区域生态系统稳定性和环境的抗干扰能力，确保区域经济社会可持续发展，是干旱荒漠区发展生产与保护生态的难点，也是实现党中央提出的西部大开发战略目标的关键所在。

近几十年来干旱荒漠区大规模的资源开发过程中所造成的河流断流，湖泊干涸，地下水位下降，土地荒漠化加重，绿洲的可持续性和生态、环境的稳定性受到威胁，人与自然和谐发展问题备受关注。

以陈亚宁研究员为首的科研团队，组织了新疆大学、新疆农业大学、新疆农业科学院、新疆林业科学院、新疆草原研究所等新疆主要科研院校的科研骨干，在“十五”、“十一五”国家科技支撑计划资助下，针对国家西部大开发生态建设与区域经济社会可持续发展需要，在干旱荒漠区开展了一系列有关提高荒漠区生态功能和荒漠环境稳定性、提升绿洲生产力和可持续能力以及退化生态系统修复与受损生态系统恢复重建等方面的技术研发与试验示范工作。他们在准噶尔盆地、塔里木盆地等新垦绿洲与荒漠化严重区域建立了生态保育与生态建设试验示范点与园区。该书即是陈亚宁研究员与他的研究团队多年来从事干旱荒漠区研究所取得成果的系统总结。书中所阐述的科学观点和理念、开发模式和技术规范，以及所积累的科学数据和资料等都可作为干旱荒漠区的资源开发与生态保育提供科学依据和借鉴，也为广大公众认识我国西北特别是新疆干旱荒漠区的特点提供了实例，具有很高的参考价值。

在《干旱荒漠区生态保育恢复技术与模式》出版之际，我谨表示衷心的祝贺，衷心希望该书的出版能激发各方面的科研人员对于干旱荒漠区生态保育的研究热情，促进干旱荒漠区经济社会可持续发展。

石玉林

2009 年 9 月

前 言

我国西北干旱区远离海洋,深居内陆,以其典型的大陆性气候、山盆相间的地貌格局和广袤无垠的荒漠景观越来越引起人们的关注,成为当今地理学、生态学、环境学工作者关注的热点地区。西北干旱区丰富的土地、光热和矿藏资源,在未来经济发展中的份额将会越来越重,是支撑中国 21 世纪经济发展的最大后备资源库。然而,西北干旱区自然资源的相对丰富和生态环境的极端脆弱交织在一起,严峻的荒漠化现实使得资源开发、经济发展对生态安全的需求极为迫切。水土资源开发过程中的生态风险和技术短缺成为制约经济社会可持续发展的瓶颈,原有的先开发、后保护,重生产、轻生态,重人工生态建设、轻自然生态保护的开发建设模式已不适应现代经济发展与生态安全保障的需求。高强度的水土资源开发引发的土地荒漠化、草场退化、土壤盐渍化等生态灾害日趋加大,区域经济社会发展的可持续性问题日益突出。

西北干旱区占我国国土面积的 1/4,是我国信仰伊斯兰教的少数民族群众分布最为集中的地区。由于历史和自然的原因,经济发展相对滞后,加上人口快速增长,人类开发活动对生态环境的压力不断增加。在西北干旱区,生态系统十分脆弱,区域生态环境的退化将会使得依托自然生态系统的社会、经济失稳,导致贫困地区和贫困人口增多。因此,寻求干旱荒漠区生产开发和生态保护协调发展途径,探索生态脆弱区经济发展与生态安全相融合的科学范式,研发干旱荒漠区土地开发与生态保育技术和模式,加强干旱荒漠区受损生态系统的恢复重建和生态保护,协调资源开发与环境保护的关系,提升干旱荒漠环境的稳定性和生态功能,提高绿洲土地生产力和可持续发展水平,不仅对加快西北干旱区经济发展和社会事业的全面进步及改善和提高各族人民生活水平有着非常重要的现实意义,而且对保证边疆地区的社会稳定和国家的长治久安,确保我国经济社会的健康可持续发展具有十分重要的战略意义。

干旱荒漠区生态环境建设迫切需要科技支撑,需要针对资源开发过程中生产与生态的矛盾,协调好开发与保护之间的关系,需要结合干旱荒漠区的自然生态条件与社会经济发展特点,制定生态保育的技术规程与科学模式。本书是“十五”、“十一五”国家科技支撑计划课题(2006BAC01A03、2004BA606A-10)的成果之一。该项研究针对干旱荒漠区资源开发过程中生产与生态的矛盾日益突出,荒漠区新垦土地瘠薄、生产力低下,资源开发引起的生态系统严重受损以及荒漠区生态保育和恢复重建技术短缺等问题,系统地对于干旱荒漠区新垦绿洲生产力提升与绿洲生态安全、退化草场改良与草地质量提升、生物多样性保护与野生资源植物可持续利用、荒漠植被保育与退化生态系统恢复重建等方面进行了技术研发、集成与试验、示范,结合干旱荒漠区脆弱生态环境的特点和生态治理的难点,从理论上探讨了干旱荒漠区生态系统过程的完整性和技术途径的合理性、生态与经济过程融合的高效性和可持续性以及荒漠区的生态安全与绿洲稳

定性等问题,总结了干旱荒漠区资源开发与生态保护相协调的技术模式,旨在从技术层面上解决该区域重大生态与环境问题的技术难点,为实现干旱荒漠区生态与经济相融合的高效性和可持续性、促进干旱荒漠区生态安全与经济社会可持续发展提供科技支撑。

本书共分八章,各章执笔人员如下:第一章及第二章,陈亚宁,钟新才;第三章,李疆;第四章,李学森,任玉平;第五章,尹林克,程争鸣;第六章,李建贵,谭敦炎,王兵,买买提江;第七章,潘存德,陈亚宁;第八章,陈亚宁,潘存德。陈亚宁对全书进行了统稿和总编纂。

在执行项目和本书的编写过程中,得到了科学技术部、科学技术部中国 21 世纪议程管理中心、中国科学院资源环境科学与技术局、新疆科学技术厅、中国科学院新疆生态与地理研究所、新疆农业大学、新疆农业科学院等单位的大力支持,得到了蔡运龙、傅伯杰、李秀彬、欧阳志云、陈利顶、刘国华、郭日生、田保国、柯兵、王磊、张书军、冯仁国、黄铁青、庄绪亮、张小雷、高峰、张耀等领导和专家的指导和帮助。袁素芬、万猛、王梅、刘谦、蒲红艳、付爱红等提供了大量分析资料,并帮助整理。中国工程院院士、中国科学院地理科学与资源研究所石玉林研究员为本书写序。在此,对各位领导和专家对本项工作给予的支持、重视和鼓励表示诚挚的感谢。

作 者

2009 年 8 月

目 录

序

前言

第一章 干旱荒漠区新垦绿洲生产力提升与保育技术	1
第一节 新垦绿洲土地利用与土壤质量变化.....	2
第二节 新垦绿洲适宜作物品种选择	33
第三节 新垦绿洲快速熟化保育技术与模式	41
第四节 新垦绿洲节水灌溉技术及案例分析	47
参考文献	51
第二章 干旱荒漠区新垦绿洲生态安全保障技术与模式	53
第一节 新垦绿洲生态保护型种植模式	54
第二节 新垦绿洲保护性耕作技术与模式	74
第三节 新垦绿洲盐渍化改良与土地保育技术	75
第四节 荒漠绿洲水盐调控与土壤次生盐渍化治理技术	85
参考文献	95
第三章 干旱荒漠区庭院生态经济林果建设技术与模式	96
第一节 庭院生态经济林果栽培原理与特点	96
第二节 庭院生态经济林果栽培技术	98
第三节 庭院果树设施栽培技术.....	163
参考文献.....	173
第四章 干旱荒漠区退化草地改良技术与模式	175
第一节 草地资源的分布及其特征.....	176
第二节 草地资源生态现状与退化.....	180
第三节 荒漠草地类型及形成的环境特点.....	183
第四节 草地资源保护对策与技术模式.....	192
参考文献.....	239
第五章 干旱荒漠区优良野生资源植物保护与可持续利用	241
第一节 干旱荒漠区野生植物资源的种类及特点.....	241
第二节 优良野生资源植物的生物学特性与生产力评价.....	247
第三节 优良野生资源植物的高效栽培技术与模式.....	253
第四节 荒漠区适宜种植的主要药用植物及栽培技术.....	266
第五节 优良野生资源植物的保护利用.....	312
参考文献.....	316

第六章 干旱荒漠区物种多样性及其保护技术	317
第一节 西北干旱区物种多样性分区特点.....	318
第二节 典型地区植物多样性分析.....	326
第三节 短命植物类型.....	358
第四节 物种多样性保护措施.....	377
参考文献.....	381
第七章 干旱荒漠绿洲防护林体系建设技术与模式	384
第一节 林带疏透度数字化测度.....	385
第二节 防护林林带的防护距离与面积.....	389
第三节 绿洲林网景观结构的度量与评价.....	397
第四节 绿洲防护林体系建设技术与模式.....	400
第五节 防护林体系生态经济效益评价.....	408
参考文献.....	435
第八章 荒漠植被保育恢复试验与关键技术	436
第一节 恢复生态学与生态保育恢复.....	436
第二节 荒漠植被保育与生态系统恢复原理.....	441
第三节 干旱荒漠区生态保育恢复途径与技术.....	443
第四节 荒漠植被保育恢复试验与案例分析.....	458
第五节 荒漠植被保育与恢复模式.....	476
参考文献.....	487

第一章 干旱荒漠区新垦绿洲生产力提升与保育技术

据联合国教科文组织 (UNESCO) 和粮农组织 (FAO) 不完全统计, 全世界盐渍土面积为 9.54 万 hm^2 , 主要分布在广大的干旱、半干旱地区, 涉及 100 多个国家和地区 (黄绍文和金继运, 2002)。我国干旱区地域辽阔, 其面积 (包括半干旱区) 约占全国国土总面积的 $1/3$, 而西北干旱区作为中蒙干旱区的主要组成部分, 约占全国国土总面积的 $1/4$, 是世界典型温带荒漠分布区, 也是我国荒漠化和沙漠化土地的主要分布区。面对我国资源短缺、人口剧增、粮食安全等一些重大社会问题, 西部干旱区农业土地安全管理技术体系的研究与推广应用, 对维护民族团结、社会稳定和领土完整与国家安全具有十分重要的意义。从开发利用的角度看, 区域内土地资源丰富, 加上光热资源充足, 长期以来一直是国家重要的农业基地, 其粮棉生产在我国占据举足轻重的地位, 同时也是中国可垦荒地的集中分布区 (刘俊民和马耀光, 1998; 李香云等, 2004)。

新疆是中国的荒漠化大区, 也是中国最大的盐土区, 绝大部分地区处于半干旱、干旱和极干旱或高寒地带, 是我国干旱、半干旱地区盐渍化程度最为严重的地区之一, 土壤发育十分微弱, 天然降水少而不均, 生态环境非常脆弱。盐渍土面积 1100 万 hm^2 , 约占全国盐渍土面积的 $1/3$ 和新疆土地面积的 6.6%, 现有耕地 $1/3$ 处于次生盐渍化, 成为农业低产的主要因素之一, 由于盐渍土面积大、种类多, 新疆也被一些外国学者称为“世界盐渍土博物馆”。碱土在土地资源中也占有相当大的比重, 是我国最大的土地资源后备库。由于新疆地处内陆封闭环境, 丰富的盐物质在区内循环, 并通过土壤灌溉, 导致次生盐渍化迅速发展, 成为土地开发安全中的最大障碍。因此, 在农业生产的发展过程中, 始终伴随着土壤盐渍化治理的重要任务。

准噶尔盆地是中国第二大盆地, 位于新疆维吾尔自治区北部, 地处天山山脉、阿尔泰山脉及西部诸山之间, 呈不等边三角形, 东西长 1120 km, 南北最宽处约 800 km, 海拔 500~1000 m, 地势呈东高西低, 盆地西部有高达 2000 m 的山岭, 多缺口, 西北风可吹入盆地, 冬季气候寒冷, 降水丰富。盆地边缘为山麓绿洲, 日平均气温大于 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温暖期 140~170 天, 栽培作物多一年一熟, 盛产棉花、小麦。盆地中部为广阔草原和沙漠, 部分为灌木及草本植物覆盖, 主要为南北走向的垄岗式固定、半固定沙丘, 南缘为蜂窝状沙丘。

克拉玛依新垦绿洲位于准噶尔盆地西北部, 属典型的温带大陆性干旱荒漠气候, 冬季寒冷, 夏季炎热, 春秋季节较短, 冬夏温差大。全年日照时数 2734.6 h, 日照率 61%, 光热资源十分丰富; 年平均气温 $8\text{ }^{\circ}\text{C}$, 极端最高气温 $42.9\text{ }^{\circ}\text{C}$, 极端最低气温 $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温为 $3605\text{ }^{\circ}\text{C}$, 但年降水量仅有 105.3 mm, 蒸发量高达 3545 mm, 蒸降比为 34:1, 无霜期 180~220 天。大于八级风的日数有 45.6 天, 最大风速可达 5.7 m/s, 并且大风的日数相对集中, 造成土壤风蚀严重, 加速盐分的地表蒸腾。地下径流流速极为缓慢, 地下水矿化度高、水质差, 大部分地区均为 10~50 g/L 的咸水。全区开发面

积为 3.33 万 hm^2 ，土壤多系残余沼泽土、盐化碱化灰漠土以及盐化干沼土，土质多系黏土。土壤盐渍化面积占新垦区面积的 2/3 以上，其中非盐渍化和轻度盐渍化面积占 60%，盐土和强度盐渍化面积占 25%，中度盐渍化面积占 15%，有碱化现象。大风日数多、土壤盐渍化、冻害等自然灾害使得农业开发的难度很大。不言而喻，绿洲灌区的土壤盐渍化是发展农业生产的严重障碍，为了充分发挥干旱荒漠区水土光热资源的优势，实现对新垦绿洲生态农业开发的可持续发展，需要采取合理正确的种植制度以及开发措施。

第一节 新垦绿洲土地利用与土壤质量变化

一、新垦绿洲土壤质量变化

1. 不同植被条件下的土壤质量变化特点

(1) 不同植被条件下土壤容重状况

对 5 种不同土地利用方式的土壤容重监测表明，表层 0~5 cm 的土壤容重大小依次为：农地>乔木林地>人工灌木林地>天然灌木林地>人工柽柳芦苇地（表 1.1）。其中，天然灌木林地表层 0~5 cm 土壤容重各土样间变异系数最小为 0.03，其他土地利用方式土壤容重变异均较天然灌木林大，均大于 0.7；表层 5~15 cm 土壤容重大小则为乔木林地>农地>人工灌木林地>天然灌木林地>人工柽柳芦苇地，人工柽柳芦苇地变异系数最大，灌木林地、乔木林地、农地次之，均为 0.06，而天然灌木林地最小；表层 15~30 cm 土壤容重大小则为人工柽柳芦苇地>乔木林地>农地、人工灌木林地、天然灌木林地，且各土地利用方式土壤容重均大于 1.44，农地和人工柽柳芦苇地的变异性较其他土地利用方式土壤大；表层 30~50 cm 土壤容重大小则为人工灌木林地=天然灌木林地>农地>乔木林地>人工柽柳芦苇地。

表 1.1 不同土地利用方式土壤容重特征

土地利用方式	深度/cm	容重/(g/cm^3)	均方差/(g/cm^3)	变异系数
人工灌木林地	0~5	1.31	0.11	0.08
	5~15	1.38	0.08	0.06
	15~30	1.44	0.05	0.03
	30~50	1.45	0.12	0.08
乔木林地	0~5	1.43	0.11	0.08
	5~15	1.44	0.09	0.06
	15~30	1.45	0.05	0.03
	30~50	1.43	0.07	0.05
农地	0~5	1.44	0.11	0.08
	5~15	1.43	0.09	0.06
	15~30	1.44	0.08	0.06
	30~50	1.44	0.09	0.06

续表

土地利用方式	深度/cm	容重/(g/cm ³)	均方差/(g/cm ³)	变异系数
天然灌木林地	0~5	1.26	0.04	0.03
	5~15	1.36	0.06	0.04
	15~30	1.44	0.03	0.02
	30~50	1.45	0.05	0.03
人工柽柳芦苇地	0~5	1.17	0.08	0.07
	5~15	1.31	0.25	0.19
	15~30	1.47	0.07	0.05
	30~50	1.41	0.06	0.04

(2) 不同植被条件下土壤有机质分布

土壤有机质(SOM)是土壤中非常活跃并普遍存在的组分,它几乎对土壤本质的所有方面都产生强烈的影响。它是植物生长必需的氮、磷、钾的主要营养来源,是调节土壤生物的生态动力的主要物质和能源;它可以改善土壤结构、保持土壤水分,还可以改变痕量元素和杀虫剂的吸附特征。SOM强烈地影响土壤特征性,如水渗透速率、侵蚀性、持水力、养分循环和杀虫剂的吸附。有人认为SOM的适当管理是持续农业的核心。近来的研究则承认SOM是土壤质量和健康的中心指标。例如,SOM的降低(生物氧化/侵蚀)显著地减少氮素供应,导致土壤物理条件的恶化和作物产量降低。因此,为保持土壤生产力,维持适当水平的SOM是重要的。由于土壤有机质可以对土壤质量健康和作物生产力产生有益的影响,所以多数人认为SOM是土壤质量衡量指标中最重要的指标之一。然而,把SOM作为衡量土壤质量指标,是要在关注SOM减少的同时,更要注意不同来源、形态的SOM,只有不稳定态的SOM才参与植株生长的养分供应,并易受到农业管理措施的影响,因此,对该种形态的有机质的早期预警测定有利于土壤质量的管理。

土壤有机质在分解过程中产生的多种有机酸能促进土壤矿物质的风化,有利于某些养分的释放和活化,提高其有效性。同时,土壤有机质可以改善土壤的物理性质,促进土壤团粒结构的形成,改善土壤结构,协调土壤水、肥、气、热状况,以及对酸、碱、有毒物的缓冲能力。因此,土壤有机质直接影响土壤的保水保肥性、供肥耐肥性和耕性,也是土壤的缓冲剂。

碳氮比(C/N)是指有机物中碳素总量和氮素总量的比例,对土壤有机质的分解与周转影响很大。氮是组成微生物体细胞的要素,而有机质中的碳则既是微生物活动的能源,又是构成体细胞的主要成分,它以一定的比例和氮配合,共同组成其体细胞。微生物在繁殖时,每增加一定数量的碳,不仅必须消耗一定数量的碳作为其能源,且必须按一定比例摄取一定数量的碳,通过同化作用使其作为体细胞的组成,同时,微生物还必须按一定比例同化一定数量的氮,以满足组成其体细胞的需要。这时如果有机物质中的氮量不足,则微生物要么从土壤中吸取有效态的无机氮作为补偿,以维持其应有的碳氮

比值, 要么抑制其自身生长, 以减少对氮的要求。

C/N 值的高低, 反映有机质在矿化过程中所释放出有效氮量的多少, C/N 值越小, 释放出的有效氮量越多。不同微生物, 在不同的条件下, 对碳氮的需求比例不一。一般认为, 微生物每分解 25~30 份碳大约需要 1 份氮, 如果有机残体中的 C/N 值小于或接近 25:1, 土壤就有充分的氮素供应, 其有机体分解也较快。C/N 值过大的有机质, 不仅矿化作用变慢, 而且形成腐殖酸的相对比例也小 (即腐殖化系数低)。各土类的具体 C/N 值范围主要受地区的水热条件和成土作用特征的控制, 我国耕地土壤一般为 7:1~13:1, 自然土壤中的黄红壤可高达 20:1, 在湿润温带的土壤中, 一般稳定于 10:1~12:1。

土地管理与利用方式直接影响土壤有机质的输入和输出, 而且植被特点对土壤有机质影响显著。土壤有机质的平均含量在几种土地利用方式之间的顺序是: 0~5 cm 土层为乔木林地>人工柽柳芦苇地>天然灌木林地>农地, 其变异系数为农地>人工柽柳芦苇地>天然灌木林地>乔木林地; 5~15 cm 土层为人工柽柳芦苇地>农地>乔木林地>天然灌木林地, 其中农地和天然灌木林地变异较大, 人工柽柳芦苇地和乔木林地则几乎无变异; 15~30 cm 土层为人工柽柳芦苇地>农地>乔木林地>天然灌木林地, 其变异系数为乔木林地>农地>天然灌木林地>人工柽柳芦苇地; 30~50 cm 土层为农地>人工柽柳芦苇地>乔木林地>天然灌木林地, 其变异系数为乔木林地>农地>天然灌木林地>人工柽柳芦苇地。土壤有机碳和土壤有机质的数量变化和变异情况一致 (表 1.2)。土壤 C/N 值在几种土地利用方式之间的顺序为: 0~5 cm 土层为乔木林地>天然灌木林地>农地>人工柽柳芦苇地, 其变异系数为农地、天然灌木林地>人工柽柳芦苇地>乔木林地; 5~15 cm 土层为天然灌木林地>乔木林地>人工柽柳芦苇地>农地, 其变异系数为乔木林地>天然灌木林地>农地>人工柽柳芦苇地; 15~30 cm 土层为人工柽柳芦苇地>乔木林地>天然灌木林地>农地, 其变异系数为乔木林地>农地>天然灌木林地>人工柽柳芦苇地; 30~50 cm 土层为天然灌木林地>乔木林地>人工柽柳芦苇地>农地, 其变异系数为人工柽柳芦苇地>农地>乔木林地>天然灌木林地。

表 1.2 不同土地利用方式下土壤有机碳和土壤有机质特征

土地利用方式	深度/cm	有机质		有机碳	C/N	
		平均/(g/kg)	变异系数	平均/(g/kg)	平均	变异系数
乔木林地	0~5	12.29±0.41	0.03	7.13	10.83±0.34	0.03
	5~15	7.21±0.03	0.00	4.18	11.07±2.24	0.20
	15~30	6.43±1.66	0.26	3.73	10.09±2.22	0.22
	30~50	6.33±1.80	0.29	3.67	11.36±1.54	0.14
农地	0~5	8.84±2.66	0.30	5.13	9.06±1.17	0.13
	5~15	8.89±2.43	0.27	5.16	9.40±0.72	0.08
	15~30	7.41±1.33	0.18	4.30	9.25±1.45	0.16
	30~50	6.74±1.60	0.24	3.91	8.50±1.60	0.19

续表

土地利用方式	深度/cm	有机质		有机碳	C/N	
		平均/(g/kg)	变异系数	平均/(g/kg)	平均	变异系数
天然灌木林地	0~5	10.22±2.46	0.24	5.93	10.37±1.39	0.13
	5~15	5.89±1.02	0.17	3.42	11.85±1.63	0.14
	15~30	5.21±0.69	0.13	3.02	9.72±0.96	0.10
	30~50	5.29±0.53	0.10	3.07	11.83±1.01	0.09
人工柽柳芦苇地	0~5	11.27±3.22	0.29	6.54	8.57±0.45	0.05
	5~15	9.21±0.01	0.00	5.35	10.24±0.38	0.04
	15~30	9.23±0.45	0.05	5.35	10.73±0.04	0.00
	30~50	6.69±0.52	0.08	3.89	10.71±2.52	0.24

(3) 不同植被条件下土壤氮素分布

氮是植物生长必需的营养元素,是土壤肥力的重要物质基础之一,土壤中氮素的总储量及其存在状态,与作物的产量在一定条件下有一定的正相关。土壤中氮素的积累主要来源于动植物残体的分解、有机或无机肥的使用、土壤中微生物的固定。

土壤全氮包括所有形式的有机和无机氮素,是标志土壤氮素总量和供应植物有效氮素的源和库,综合反映了土壤的氮素情况。土壤中氮素是成土过程中由生物作用而积累的,绝大多数呈有机态,故土壤氮素的高低直接和土壤有机碳含量的多少密切相关,且两者之间是平行相关的。土壤中氮素含量除了和土壤有机碳含量(或腐殖质含量)有关外,还与植被状况、气候、土壤质地、地形及地势、耕作利用等因素有关。

土地利用方式不同,表层覆盖度也不同,对土壤的人为干扰及养分补充就有差异。所选土地利用方式中受耕作、管理活动影响最大的就是农地;而人工灌木林、乔木林地受影响较小,从而形成了较丰富的全氮和速氮。不同土地利用方式下土壤氮的特征见表 1.3。

表 1.3 不同土地利用方式下土壤氮特征

土地利用方式	深度/cm	全氮		速效氮	
		平均/(g/kg)	变异系数	平均/(mg/kg)	变异系数
乔木林地	0~5	0.66±0.00	0.00	47.00±22.23	0.47
	5~15	0.39±0.08	0.20	22.01±1.26	0.06
	15~30	0.37±0.01	0.04	29.74±1.34	0.05
	30~50	0.34±0.13	0.40	21.09±10.41	0.49
农地	0~5	0.57±0.18	0.31	72.26±53.25	0.74
	5~15	0.56±0.17	0.30	60.26±63.80	1.06
	15~30	0.48±0.12	0.26	44.47±42.50	0.96
	30~50	0.46±0.08	0.18	31.46±19.66	0.62

续表

土地利用方式	深度/cm	全氮		速效氮	
		平均/(g/kg)	变异系数	平均/(mg/kg)	变异系数
天然灌木林地	0~5	0.58±0.15	0.26	62.87±57.33	0.91
	5~15	0.29±0.03	0.10	10.02±2.19	0.22
	15~30	0.31±0.02	0.05	14.65±11.08	0.76
	30~50	0.26±0.05	0.18	6.97±5.00	0.72
人工柽柳芦苇地	0~5	0.76±0.18	0.24	42.28±4.38	0.10
	5~15	0.53±0.02	0.04	28.39±8.30	0.29
	15~30	0.50±0.03	0.06	24.08±4.41	0.18
	30~50	0.37±0.06	0.15	17.34±4.89	0.28

土壤全氮的平均含量在几种土地利用方式之间的顺序是：0~5 cm 土层为人工柽柳芦苇地>乔木林地>天然灌木林地>农地，其变异系数为农地>天然灌木林地>人工柽柳芦苇地>乔木林地，其中乔木林地无差异；5~15 cm 土层为农地>人工柽柳芦苇地>乔木林地>天然灌木林地，其变异系数为农地>乔木林地>天然灌木林地>人工柽柳芦苇地；15~30 cm 土层为人工柽柳芦苇地>农地>乔木林地>天然灌木林地，其中农地变异系数最大，天然灌木林地、人工柽柳芦苇地和乔木林地变异情况相近，都较小；30~50 cm 土层农地>人工柽柳芦苇地>乔木林地>天然灌木林地，其中乔木林地变异系数最大，天然灌木林地、人工柽柳芦苇地和农地变异情况相近，都较小。总体上，农地各层土间土壤全氮平均含量较稳定，垂直递减趋势不明显，而其他土地利用方式则呈现出较明显的垂直递减趋势。农地各土层全氮含量变异较明显，这主要受农业耕作使用氮肥的影响。

不同土地利用方式下土壤速效氮含量顺序为：0~5 cm 土层为农地>天然灌木林地>乔木林地>人工柽柳芦苇地，其中只有人工柽柳芦苇地变异性较小；5~15 cm 土层为农地>人工柽柳芦苇地>乔木林地>天然灌木林地，其中只有农地变异性最大；15~30 cm 土层为农地>乔木林地>人工柽柳芦苇地>天然灌木林地，其中农地和天然灌木林地变异性最大；30~50 cm 土层为农地>乔木林地>人工柽柳芦苇地>天然灌木林地，其变异系数为天然灌木林地>农地>乔木林地>人工柽柳芦苇地。在总体上，农地表层各土层速效氮含量都较其他土地利用方式高，且变异显著，这主要是受农业耕作施氮肥的影响。其他土地利用方式速效氮含量只是0~5 cm 土层含量较其他土层高，这主要是与乔木、灌木及芦苇生长茂盛，且每年枯枝落叶对土壤养分耗竭的补充有关。天然灌木林0~5 cm 土层速效氮含量与其他土层差异最大，这可能是受干旱区干旱少雨等自然因素的影响。

(4) 不同植被条件下土壤磷素分布

土壤磷素是影响土壤肥力的重要因子之一，是一种沉积性的矿物，在主要的植物营养中，磷在风化壳中的物质迁移是最少的。土壤形成的过程中，磷素的风化、淋溶、富集迁移是多种因素共同作用的结果，其中生物的富集迁移是磷素积累的主导性因素。影

响有效磷的重要因子为土壤的酸碱度,近中性土壤(pH 6.5~7.0)的速效磷含量最高,在pH 7.0以上的碱性土中,会随着pH的升高而下降,在pH 6.5以下的酸性土中,则随着pH的下降而下降。此外,有机质含量多的土壤,速效磷的含量一般也较丰富。这是因为随着矿化作用的进行,有机质所含的磷转变成为有效态的矿物质磷,而土壤原来的矿物质磷被固定而不易发挥其有效作用。此外,有机质在分解过程中,还可能产生有机络合剂,把磷从不溶性磷酸盐中释放出来而成为有效磷。因此,调节土壤酸碱度和增施有机肥,可极大活化土壤磷素,增加土壤磷素的有效性。

由表 1.4 可知,土壤全磷的平均含量在几种土地利用方式之间的顺序是:0~5 cm 土层为天然灌木林地>农地>人工柽柳芦苇地>乔木林地,其变异系数为农地>天然灌木林地>人工柽柳芦苇地=乔木林地;5~15 cm 土层为天然灌木林地>农地>人工柽柳芦苇地>乔木林地,其变异系数为天然灌木林地>农地>人工柽柳芦苇地>乔木林地;15~30 cm 土层为天然灌木林地>农地>人工柽柳芦苇地>乔木林地,其变异系数为天然灌木林地>乔木林地>农地>人工柽柳芦苇地;30~50 cm 土层为天然灌木林地>农地>人工柽柳芦苇地>乔木林地,其变异系数为农地>天然灌木林地>人工柽柳芦苇地>乔木林地。土壤速效磷在几种土地利用方式之间的顺序为:0~5 cm 土层为农地>人工柽柳芦苇地>天然灌木林地>乔木林地,其中农地的变异性最大,人工柽柳芦苇地则几乎无变异;5~15 cm 土层为农地>人工柽柳芦苇地>乔木林地>天然灌木林地,其中农地的变异性最大,只有乔木林地变异不明显;15~30 cm 土层为人工柽柳芦苇地>农地>乔木林地>天然灌木林地,其中农地的变异性最大,只有乔木林地变异不明显;30~50 cm 土层为农地>天然灌木林地>人工柽柳芦苇地>乔木林地,其变异系数为天然灌木林地>农地>乔木林地>人工柽柳芦苇地。

表 1.4 不同土地利用方式下土壤磷素特征

土地利用方式	深度/cm	全磷		速效磷	
		平均/(g/kg)	变异系数	平均/(mg/kg)	变异系数
乔木林地	0~5	0.51±0.01	0.03	5.83±0.30	0.05
	5~15	0.46±0.01	0.03	3.10±0.42	0.14
	15~30	0.49±0.04	0.09	3.36±0.78	0.23
	30~50	0.47±0.01	0.03	3.40±0.72	0.21
农地	0~5	0.60±0.08	0.13	16.49±19.39	1.18
	5~15	0.63±0.07	0.11	14.01±17.76	1.27
	15~30	0.60±0.05	0.08	4.77±3.25	0.68
	30~50	0.61±0.06	0.10	4.83±2.73	0.57
天然灌木林地	0~5	0.72±0.03	0.04	7.72±2.80	0.36
	5~15	0.67±0.09	0.13	2.40±1.36	0.57
	15~30	0.71±0.09	0.12	2.48±1.19	0.48
	30~50	0.71±0.06	0.09	3.84±2.29	0.60

续表

土地利用方式	深度/cm	全磷		速效磷	
		平均/(g/kg)	变异系数	平均/(mg/kg)	变异系数
人工桉柳 芦苇地	0~5	0.56±0.01	0.03	13.67±0.06	0.00
	5~15	0.52±0.03	0.05	6.94±2.71	0.39
	15~30	0.53±0.01	0.03	5.74±2.47	0.43
	30~50	0.52±0.03	0.05	3.49±0.36	0.10

(5) 不同植被条件下土壤钾素分布

钾素是植物生长必需的养分之一。近年来随着复种指数的增加和单位面积产量的提高,在我国许多地区采取施用钾肥已成为夺取高产的重要措施之一。不同土壤对钾肥的反应,主要决定于土壤钾素供应水平。土壤钾素的主要来源是土壤的含钾矿物,但含钾的原生矿物和黏土矿物只能说明钾素的潜在供应能力,土壤的实际供应水平则表现为含钾矿物分解成可被植物吸收的钾离子的速度和数量。

土壤全钾的平均含量在几种土地利用方式之间的顺序是:0~5 cm 土层为天然灌木林地>农地>人工桉柳芦苇地>乔木林地,其变异系数为农地>天然灌木林地>人工桉柳芦苇地>乔木林地;5~15 cm 土层为天然灌木林地>农地>乔木林地>人工桉柳芦苇地,其变异系数为农地=人工桉柳芦苇地>天然灌木林地>乔木林地;15~30 cm 土层为天然灌木林地>农地>乔木林地>人工桉柳芦苇地,其变异系数为农地>人工桉柳芦苇地>天然灌木林地>乔木林地;30~50 cm 土层为天然灌木林地>农地>人工桉柳芦苇地>乔木林地,其变异系数为农地>天然灌木林地>人工桉柳芦苇地=乔木林地(表 1.5)。

表 1.5 不同土地利用方式下土壤钾素特征

土地利用方式	深度/cm	全钾		速效钾	
		平均/(g/kg)	变异系数	平均/(mg/kg)	变异系数
乔木林地	0~5	17.73±0.14	0.01	180.00±56.57	0.31
	5~15	17.44±0.18	0.01	135.50±40.31	0.30
	15~30	17.75±0.57	0.03	114.50±28.99	0.25
	30~50	17.18±0.64	0.04	104.00±43.84	0.42
农地	0~5	18.25±1.18	0.06	176.08±62.98	0.36
	5~15	18.20±1.27	0.07	186.75±80.71	0.43
	15~30	17.94±1.37	0.08	148.33±61.39	0.41
	30~50	18.60±1.84	0.10	142.92±56.73	0.40
天然灌木 林地	0~5	19.52±0.88	0.05	245.25±46.18	0.19
	5~15	18.88±0.40	0.02	125.75±10.28	0.08
	15~30	18.86±0.67	0.04	110.00±21.32	0.19
	30~50	20.67±1.55	0.07	118.50±16.22	0.14