



■ 遥感诊断系列专著

环境健康遥感诊断 指标体系

Index System for Diagnosis of
Environmental Health
by Remote Sensing

曹春香 陈伟 黄晓勇 / 著
田蓉 徐敏



科学出版社

环境健康遥感诊断指标体系

曹春香 陈伟 黄晓勇 著
田蓉 徐敏

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是“遥感诊断系列专著”的第二部。全书共分为5章。第1章为绪论,系统概述环境健康问题,阐述环境健康遥感诊断的理论基础,并从森林、湿地、大气、水体等角度介绍国内外环境健康遥感诊断指标体系的研究现状。第2章为环境健康遥感诊断指标体系构建方法,分别介绍诊断对象及单元的确定、诊断概念模型的选择、指标因子筛选的原则与方法、指标标准化及综合模型的选择。第3章为典型领域环境健康遥感诊断指标体系,具体从森林健康、湿地健康、大气环境健康、自然灾害和人居环境健康五个方面阐述典型应用领域环境健康诊断指标体系的构建。第4章则针对第3章的典型领域,详细阐述环境健康遥感诊断指标体系案例应用。第5章为环境健康遥感诊断指标体系展望,探讨环境健康遥感诊断尺度转换、概念模型发展、指标体系应用前景等。

本书可供全球变化、环境健康、生态安全、疾病防控、灾害防治、定量遥感等学科领域的科研人员参考阅读,也可作为高等院校遥感类与环境类专业本科生及研究生教材。

图书在版编目(CIP)数据

环境健康遥感诊断指标体系/曹春香等著. —北京:科学出版社, 2017. 6
(遥感诊断系列专著)

ISBN 978-7-03-049341-5

I. ①环… II. ①曹… III. ①环境遥感-评价指标-体系-研究 IV. ①X87

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第158010号

责任编辑:彭胜潮 丁传标 赵 晶/责任校对:何艳萍

责任印制:张 伟/封面设计:黄华斌

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>

北京东华虎彩印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年6月第一版 开本:787×1092 1/16

2017年6月第一次印刷 印张:12 3/4

字数:300 000

定价:89.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

序

自工业革命以来，特别是近半个世纪，人类活动对全球生态环境的影响日益加剧，以致地球的大气圈、水圈、生物圈等圈层发生不同程度的改变，从而导致地球环境健康状况的急剧下降。全球气候变化、森林减少、草原退化、水土流失和土地荒漠化等的加剧，物种灭绝速度的增加等生态环境问题日趋严重。人类面临着由于自身发展所导致的日益恶化的全球环境健康问题的严峻挑战，极大地威胁着人类自身的生存和健康发展。这种挑战和威胁是世界任何国家、任何种族和任何民族都不能置之度外的。世界各国政府部门及各领域科学家都在积极行动，努力寻找解决办法。包括遥感领域专家在内的我国科学家也为此展开了创新性的探索，在用遥感技术对环境健康问题进行系统性研究方面也做出了不懈努力！曹春香研究员于2012年出版的《环境健康遥感诊断》就是这种努力的体现。正是在她的书中构建了一种基于中国传统医学理念支撑的独具特色的健康中国理论体系。

遥感、地理信息系统等空间信息技术能为科学把握环境健康指针性指标提供先进的技术手段与全新的研究模式。遥感技术具有多时相、多分辨率、多波段以及低成本等特点，在发挥遥感多源数据在环境健康分析、环境健康监测、环境健康预测预警、环境健康综合评价等方面的优势以及宏观、快速、客观和有效地对环境健康状况进行定性分析的基础上，研究制定了阈值化定量评价影响环境健康的权重指标，以期进一步刻画环境健康的时空演化特征与驱动机制，实现对热点区域环境健康状况的客观评价，并进而为全球、国家和区域尺度的生态安全、环境健康优化提供有效的科学依据和决策支持。

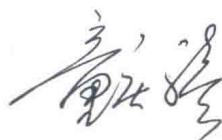
我们也应看到，遥感技术在环境健康评价方面发挥着日益重要作用的同时也仍存在一些问题。例如目前大多是针对某些类型的自然生态系统进行诊断与评价，诊断对象类型较为单一。实际上，一种自然生态系统中也会包括多种生态类型。例如，城市生态系统中可能包含湿地生态系统、农田生态系统甚至森林生态系统等，仅采用某单一类型的生态系统评价方法对其进行诊断就有可能产生一定的偏差。为了区分不同地区的同一类型生态系统由于周

围环境要素的胁迫及人类活动的影响而导致环境健康状况的差异，特别关注由于当今中国飞速发展所引起的复杂且严重的环境问题，以把握环境健康发展的态势，客观、准确、定量诊断区域的环境健康状况，利用遥感技术选取合适的环境健康指标因子，构建科学合理、切实可行的环境健康遥感诊断指标体系已势在必行。

《环境健康遥感诊断指标体系》一书就是在这样的背景下编著完成的。一套完整、系统的环境健康遥感诊断指标体系，不仅可从科学研究的角度检验《环境健康遥感诊断》专著提出的理论体系的正确性，从而指导环境健康遥感诊断关键技术的针对性研发；面向国家政府部门，可以进一步为国家生态文明、健康中国及全球资源环境的把握等方面提供理论支撑和定量判据；面向行业部门，能客观和有针对性地实施评价目标；面向公众，也有利于传播环境健康科普知识。

如果说《环境健康遥感诊断》作为系列专著的第一部，提出了环境健康遥感诊断的概念、框架和理论体系，那么《环境健康遥感诊断指标体系》一书则从理论和技术上将环境健康的概念具象化、将环境健康遥感诊断指标量化、把人类生存环境的健康遥感诊断实例化，并在此基础上构建了一整套系统完整的环境健康遥感诊断指标体系。这一研究丰富了环境健康的内涵，夯实了遥感诊断的基础，拓展了遥感应用的领域，在研究和应用上都具有重要意义。作为一名遥感技术和应用研究的先行者，我对这一项遥感在环境健康领域的研究成果备感欣慰。我们可以期待，环境健康遥感诊断指标体系的建立健全一定能够在环境健康遥感诊断和评价中得到广泛应用，在贯彻实施国家可持续发展战略，协调人与自然的关系、并最终服务于增强生态环境支撑能力、推动国家生态文明建设及经济社会与生态环境的协调健康发展中发挥重要作用、做出应有的贡献。在此祝贺曹春香研究团队在环境健康这一关乎国计民生的重要领域所取得的成绩及该书的出版！

中国科学院院士



2016年6月

前 言

传统的环境健康评价更多依赖于地面监测站点的采样数据,但由于监测站点的数量及分布限制,以及利用样方代替区域的方法难以客观准确描述其空间变化,具有一定的局限性。遥感技术的大范围、多时相、多分辨率等优点为生态环境健康诊断评价提供了全新手段。在全球变化背景下,遥感手段为实施全方位的环境健康诊断、评价、监测和预警提供了先进的技术保障,如何充分利用动态、近实时、空间连续的遥感技术提取环境健康诊断必需的指标参数,建立以遥感和地理信息系统等空间信息技术为主导的环境健康遥感诊断指标体系,显得极其迫切和重要。

根据环境健康的内涵、影响因子和评价原则,参考国内外已有研究成果,本书以国家统计局提出的可持续发展指标体系为基础框架,基于层次分析法,将区域环境诊断评价指标体系划分为四个层次,即1个目标层、5个准则层、13个要素层及若干的指标参数层。目标层为环境健康遥感诊断指标体系;准则层包括生态环境健康状况、大气健康状况、水体健康状况、灾害影响程度、人类健康状况5大准则。13个要素层分别隶属于5大准则层,其中,生态环境健康状况包括森林生态环境健康指数、草地生态环境健康指数、湿地生态环境健康指数、农业生态环境健康指数及城市生态环境健康指数;大气健康状况包括空气质量指数、大气特征参数;水体健康状况包括水网密度指数和水体质量指数;灾害影响程度包括自然灾害指数和人为灾害指数;人类健康状况包括:人群身体健康指数和文化素质综合指数。每一个要素分解后的指标层将由若干遥感提取的参数或统计数据资料转化的因子构成,其选取需遵循一定的原则并根据实际需求确定。

作为环境健康遥感诊断系列专著的第二部,本书基于确立的环境健康遥感诊断指标体系的基础框架,对环境健康的概念作了进一步的诠释,对指标体系的构建方法进行了深入具体的描述,并给出了丰富的实例论证。

全书共分为5章。第1章为绪论,系统概述了环境健康问题,阐述了环境健康遥感诊断的理论基础,并从森林、湿地、大气、水体等角度介绍了国内外环境健康遥感诊断指标体系的研究现状。第2章为环境健康遥感诊断指标体系构建方法,分别介绍了诊断对象及单元的确定、诊断概念模型的选择、指标因子筛选的原则与方法、指标标准化及综合模型的选择。第3章为典型领域环境健康遥感诊断指标体系,具体从森林健康、湿地健康、大气环境健康、自然灾害和人居环境健康五个方面阐述典型应用领域环境健康诊断指标体系的构建,在此基础上形成环境健康遥感综合诊断指标体系。第4章则针对

第3章详述了环境健康遥感诊断指标体系案例应用。第5章为环境健康遥感诊断指标体系展望,探讨了环境健康遥感诊断尺度转换、概念模型发展、指标体系应用前景等。

本书构建的环境健康遥感诊断指标体系,不仅在科学性方面得到许多专家学者的认可,而且在面向行业应用部门的示范应用方面也取得较大的成绩。尤其在湿地生态系统评价方面,国家湿地管理部门用该指标体系的框架成功评价了中国国际湿地与重要湿地的生态系统;令人高兴的是,科学出版社就该部分工作总结提炼成一本《中国国际重要湿地生态系统评价》专著。

从2012年在“遥感诊断系列专著”的第一本问世之前就开启的本专著的起笔撰写,到对指标体系构建的科学性、合理性、实用性及其可能产生的社会效益等多维度的讨论中,得到了多位领导与专家同仁以及亲朋好友的指导和帮助,尤其是中国社会科学院研究生院的黄晓勇院长和国家林业局的陆诗雷教授级高工、张煜星教授级高工、党永峰教授级高工、郑盛、刘诚、何祺胜、高孟绪、赵坚、项海兵、倪希亮、刘迪、田海静、尹航、包姍宁、刘明博、杨天宇、江厚志、吴春莹、张敏、谢波等在资料收集、数据处理、章节构架讨论、内容编写等付出了辛勤的劳动,在此一并表示最诚挚的感谢!还要特别感谢为本书作序的童庆禧院士,并致以崇高的敬意!

本书的出版得到林业公益性行业科研专项“树流感暴发风险遥感诊断与预警研究”(No. 201504323)、科技部863项目“星-机-地综合定量遥感与应用示范”中的“典型应用领域全球定量遥感产品生产体系”课题(No. 2013AA12A302)、三峡后续工作科研项目“三峡库区生态屏障区生态效益监测技术与评价方法研究”(No. 0001792015CB5005)等项目的资助,谨此一并致谢!

鉴于水平和时间所限,书中可能会存在一些不妥乃至错误之处,恳望读者不吝批评指正!

曹春香

2016年4月

目 录

序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 环境健康问题概述	1
1.2 环境健康遥感诊断理论基础	2
1.3 环境健康遥感诊断指标体系的必要性和重要性	3
1.4 环境健康遥感诊断指标体系研究探索	3
1.4.1 森林环境健康遥感诊断方法研究	4
1.4.2 湿地环境健康遥感诊断方法探索	5
1.4.3 大气环境健康状况遥感监测研究	6
1.4.4 水体健康遥感反演研究方法进展	6
1.4.5 地震灾害对环境状况影响的遥感诊断	7
1.4.6 基于遥感的环境相关流行病诊断研究	8
1.5 小结	8
参考文献	10
第 2 章 环境健康遥感诊断指标体系构建方法	13
2.1 诊断目标确定	13
2.2 诊断概念模型选择	14
2.3 指标因子筛选	16
2.4 指标标准化	19
2.5 综合诊断	20
2.6 小结	22
参考文献	23
第 3 章 典型领域环境健康遥感诊断指标体系	24
3.1 森林健康遥感诊断指标体系	24
3.1.1 植被结构参数	27
3.1.2 植被覆盖度	29
3.1.3 叶面积指数	31
3.1.4 生物量	33
3.2 湿地健康遥感诊断指标体系	36
3.2.1 “要素-景观-社会”概念模型	36

3.2.2	湿地健康指标的选择	38
3.2.3	指标意义及计算方法	40
3.2.4	湿地健康等级划分及指标阈值化的参考标准	50
3.2.5	诊断指标与湿地生态系统健康之间的阈值关系	52
3.3	大气环境健康遥感诊断指标体系	65
3.3.1	气溶胶光学厚度	65
3.3.2	颗粒物浓度	67
3.3.3	温度与湿度	69
3.3.4	温室气体与污染气体含量	70
3.4	自然灾害遥感诊断指标体系	73
3.4.1	地质灾害	73
3.4.2	气象灾害	75
3.4.3	传染病灾害	76
3.5	人居环境健康遥感诊断指标体系	79
3.6	小结	81
	参考文献	82
第4章	环境健康遥感诊断指标体系案例应用	87
4.1	中国“树流感”暴发风险遥感诊断	87
4.1.1	“树流感”及其起源和发展	87
4.1.2	“树流感”遥感诊断数据源	89
4.1.3	AHP-模糊综合评价与指标体系构建	93
4.1.4	“树流感”风险诊断结果分析	97
4.2	湿地国家级自然保护区环境健康遥感诊断	101
4.2.1	若尔盖国家级自然保护区	101
4.2.2	青海湖国家级自然保护区	123
4.2.3	黄河三角洲国家级自然保护区	137
4.2.4	湿地生态系统健康遥感诊断过程及结果验证	150
4.2.5	模型性能评价与决策支持	156
4.3	北京市大气环境健康遥感诊断	157
4.3.1	研究区概况	157
4.3.2	北京沙尘暴对大气环境的影响	159
4.3.3	遥感监测地面指数	173
4.4	小结	180
	参考文献	181
第5章	环境健康遥感诊断指标体系展望	188
5.1	环境健康遥感诊断尺度转换	188
5.2	环境健康遥感诊断概念模型发展	188

5.3 遥感技术驱动诊断指标体系完善.....	189
5.4 环境健康遥感诊断指标体系应用前景.....	190
5.5 环境健康遥感诊断指标体系与关键技术及系统等的关系	191
参考文献.....	191

第1章 绪论

全球性经济社会的快速发展带来日益突出的环境健康问题，遥感等空间信息技术为诊断区域、国家甚至全球等多尺度的环境健康提供了较新的技术手段和数据来源。在曹春香研究员的系列专著第一部《环境健康遥感诊断》中提出的“环境健康遥感诊断”学科框架的基础上，诊断指标因子的选择和指标体系的构建成为当务之急。本章基于案例性的环境健康问题和第一部中论述的诊断理论，阐述了构建指标体系的必要性和重要性，分析了环境健康遥感诊断指标体系构建的研究基础，提炼了构筑指标体系中亟待解决的关键的科学问题。

1.1 环境健康问题概述

近几十年，随着人口的急速增长和经济的驱动发展，人类活动导致了我们的赖以生存的环境发生了变化。全球气候变暖、土地沙化、乱砍滥伐和森林退化、江河湖海严重污染等环境恶化问题日益突出；气候和生态环境变化加剧了如地震泥石流、干旱洪涝、海啸雾霾等自然和人为灾害的发生及疟疾、血吸虫病、鼠疫、霍乱、H1N1 等各种流行病的暴发；城市化和全球化给疾病传播带来更多机会，导致各种传染病可能会在极其短暂的时间内遍及全球。人类物质文明和经济社会高速发展是以危害环境健康为代价的，而环境健康问题反过来已经成为人类面临的最严重的问题之一 (Strong, 2013; Balan et al., 2010)，它不仅全面影响着我们自身的健康，而且危害子孙后代的生存环境，进而危及人类的繁衍与发展。

根据国务院新闻办公室(2006)和环境保护部(2013)，对比世界整体水平，中国的环境健康恶化状况尤其严重，已成为制约我国经济发展、危害公众健康，甚至成为影响社会安定的一个重要因素。如我国的荒漠化土地已占国土陆地总面积的 27.3%，且还在以每年 2460 km² 的速度增长；酸雨覆盖面积已占国土面积的 29%；全国城市大气总悬浮微粒浓度的日均值为 320 μg/m³，污染严重的城市超过 800 μg/m³，高出世界卫生组织标准近 10 倍；全国七大水系近一半的监测河段污染严重，86%的城市河段水质超标，15 个省、市 29 条河流的监测结果显示了 2800km 的河段几乎没有鱼，淮河流域 191 条支流中，80%的水体呈黑绿色，一半以上河段的水完全丧失使用价值。2011 年 8 月 17 日华北、东北、黄淮、西南、西北等地暴雨洪涝、风雹灾害造成 16 个省份的 380 余万人受灾，直接经济损失达 20.7 亿元。地震频繁，震级越来越高及各种流行病不断暴发、快速传播，给公众健康带来严重威胁。

环境不健康问题不仅危害人类健康，而且影响经济可持续发展和社会和谐发展，给我们带来了沉重的经济和社会负担。在应对环境恶化、保护人类健康的对策中，我国卫

生与环保部门已经开始协作,对环境健康因素实施监测预警,相关部门也在着手制定健康损害补偿机制法律框架(杨宏伟等,2007)。然而,环境健康问题的最终突破,不仅需要利用现代技术对恶化的环境进行治理修复,而且还需要对环境健康状况进行诊断预测和预警。

1.2 环境健康遥感诊断理论基础

环境健康遥感诊断理论的构筑着重从环境健康包含的生态健康和环境安全入手,主要刻画了人与生态环境关系的健康,生态系统的健康,人体与人群的生理与心理健康,人居物理环境、生物及代谢环境的各环境要素安全等(杨宏伟等,2007;曹春香,2013;Liang, 2014)。当某一区域的森林、湿地、城市、农田等生态系统功能稳定,大气、水体、土壤等环境因子指标维持在安全的阈值范围内,生活在该区域的人们身心健康时,就表明这个区域的环境较健康;反之,若某一区域的生态系统遭到严重破坏,生态功能紊乱,大气、水体、土壤等污染严重,灾害和疾病频繁,严重影响到人们的身心健康,则该区域的环境不健康。环境健康的相关参数是生物、大气、水体、土壤等自然环境要素和与环境相关疾病因子等社会环境要素下的相关指针性指标。

小范围环境健康评价可以通过传统的地面调查方法来实现,但全球全国尺度的环境健康论证利用传统的方法则需要大量的人力与物力。快速发展起来的空间信息技术为大空间尺度和长时间序列的环境健康诊断及研究提供了新的经济快捷有效可行的研究模式与技术手段(曹春香,2013)。

随着相关学科领域的发展,遥感数据的空间分辨率不断提高,光谱分辨率不断细化;遥感数据的获取方式逐渐多元化,从被动接收地表反射和发射的电磁波能量到主动接收自身发射的电磁信号,从单极化向全极化发展;传感器的扫描方式也多样化。这些技术进步极大地丰富了遥感数据源,同时提高了遥感影像的质量,增强了遥感技术对环境健康相关参数监测与评价的支持能力(Bach and Mauser, 2003)。因此,基于遥感技术的多时相、多分辨率、多波段及低成本等优势,快速、有效、定性地宏观把握环境健康状况成为可能;定量分析环境健康的时空演化特征与驱动机制,进而客观评价重点生态区的环境健康状况,为国家和区域尺度的生态系统保护、恢复与优化管理能提供有效的科学依据和决策支持(曹春香,2013;Liang, 2004)。面对当今中国飞速发展引起的环境健康问题,利用遥感技术建立一整套科学合理经济适用的环境健康诊断指标体系显得尤为迫切和必要。

曹春香研究员于2013年提出了一系列的环境健康遥感诊断思路,利用遥感技术适时对影响环境健康因子的宏观把握,进而对环境健康进行综合评价,推动了传统的环境健康评价技术的根本性变革,进一步发展了环境健康研究从定性到定量、从静态到动态、从简单描述到综合评价、从单一尺度到多维尺度的改变,为环境健康研究提供了极为有效的新思路和新方法(曹春香,2013)。

1.3 环境健康遥感诊断指标体系的必要性和重要性

《环境健康遥感诊断指标体系》是“遥感诊断系列专著”的第二部，在系列专著第一部《环境健康遥感诊断》中提出环境健康遥感诊断的概念、框架、理论体系的基础上，本书具体从如何构建遥感诊断指标体系出发展开论述，将环境健康的概念具象化，切实把人类生存环境的健康遥感诊断实例化，丰富了环境健康的内涵，夯实了遥感诊断的基础。

结合案例构建的环境健康遥感诊断指标体系，一方面促进和规范了“环境健康遥感诊断”交叉学科的积极发展；另一方面为行业部门的生产管理实践的科学决策提供了充足的理论支撑，同时为环境健康遥感诊断领域关键技术的研发与诊断系统的构建提供了思路支撑和理论指导，为后续中国与全球范围内的环境健康遥感诊断的案例应用指引了方向。环境健康遥感诊断指标体系是系列专著的灵魂。

1.4 环境健康遥感诊断指标体系研究探索

环境健康研究涉及的领域比较广泛，包含了环境科学、流行病学、地理学、生物学、管理学等方面的内容。国际地理联合会早在 1976 年就设立了“健康地理”工作组，专门研究地理环境与健康问题。在 20 世纪 80 年代更名并升级为“健康与发展”专业委员会，至 90 年代，更名为“健康、环境与发展”委员会，并于 2000 年组成“健康与环境”委员会(程杨等，2006；杨林生等，2010)。其研究目标是“研究人类健康及其与发展 and 变化的联系，重点是全球、国家、区域和地区环境变化对健康的影响；城市化，特别是发展中国家城市化对健康的影响；自然和人为因素引起的灾害问题；与经济危机、结构调整有关的社会经济变化对健康和保健的影响”。北欧、美国、加拿大、英国等的地理学及医学等领域的专家自 1980 年起每两年召开一次地理医学学术讨论会。20 世纪 80 年代中期，由于气候变暖、生态破坏、环境污染等一系列问题的加剧，使人们对因此而出现的人类健康问题表现出不同程度的焦虑和关注。1986 年 9 月 22~26 日世界气象组织(WMO)、世界卫生组织(WHO)和联合国环境规划署(UNEP)在俄罗斯圣彼得堡召开了首次关于气候与人类健康的国际会议。WHO(1990)出版了《气候变化的潜在健康影响》，首次论述了气候变化与潜在的健康问题。近 20 年，随着全球自然和人文环境的变化，环境健康的研究内容开始由较短期的疾病传播分布和环境中的水、大气、土壤、食物污染对健康的影响转向研究地球生态系统长期变化、全球环境变化对敏感人群健康的综合影响，以及国家或区域的应对健康问题的相应措施等。

关于环境健康的研究早已开展，但利用遥感技术的环境健康诊断由曹春香研究员近期才提出并推动进入了发展的初期阶段。国际上有不少专家学者针对相关环境健康因子的模型和方法进行过探索性研究，但基于“环境健康遥感诊断”的概念、方法和技术还没有形成完全统一的认识，欧美等发达地区非常重视遥感在环境健康领域的应用研究，

并组织了加州大学、哈佛医学院等相关研究机构就该领域展开了多个项目的研究。2009年,曹春香建议第三十届亚洲遥感会议上首次设立的“空间信息与人类健康”专题,标志着人类健康问题正式纳入亚洲遥感科学研究领域。2010年8月,在日本举行的国际摄影测量与遥感大会上,第八工作组专门就进一步推动亚洲国家在环境健康领域的交流与合作进行了研讨。通过一系列的探索研究,终于在2011年年底,曹春香研究员联合美国波士顿大学 Ranga B. Myneni 教授等发起并组织了首届环境健康遥感诊断国际学术研讨会,在会上首次就环境健康遥感诊断的概念进行了翔实的阐述,为进一步推动环境健康遥感诊断研究奠定了坚实的基础。

根据环境健康的内涵、影响因子和评价原则,参考国内外针对相关环境因子的已有研究成果,以国家统计局提出的可持续发展指标体系为基础框架,利用层次分析法,把区域环境健康评价指标体系分为目标层、准则层、要素层和指标参数层4个层次。目标层为环境健康遥感诊断指标体系;准则层是通过生态、大气、水体等健康状况阈值化刻画环境健康各子领域的状况。本书重点选取森林环境健康、湿地环境健康、大气环境健康、水体健康状况、灾害影响状况及传染病与环境健康6个环境健康的子领域分别开展指标体系研究,下面也将从这6个方面分别进行探索性分析。

1.4.1 森林环境健康遥感诊断方法研究

森林健康研究最早出现在20世纪60年代,当时森林健康作为森林管理者的一个基本概念,强调的是森林病虫害、森林火灾和干旱等胁迫因子对森林的影响,以及如何实施有效的制约等。60~80年代中期,随着人们对森林作为生态系统主体认识的不断深入,以及环境污染、木材的过量消耗而造成森林生态系统的不断退化,对森林健康的理解也随之发生了变化,对森林健康的研究也逐步从林分转移到森林生态系统(Alan, 1994; Aamlid et al., 2000)。当时对森林健康的研究主要从净初级生产力(NPP)、碳截留与碳分配、营养物质循环等方面研究森林生态系统的物质循环与能量流动。另外是源于酸沉降和其他大气污染物影响的森林林分的生长率、死亡率和林冠状态的调查。

到20世纪80年代,随着对物种多样性、濒危物种,以及非经济森林价值概念的深入理解,森林健康的概念和研究内容发生了变化。相应研究内容辐射到了生态系统结构和功能的变化、物种多样性保护和森林资源的持续管理等。现代森林生态系统健康的概念已逐步发展为包括林分、森林群落、森林生态系统,以及森林景观在内的一个复杂的系统概念。目前,对森林生态系统健康的研究,一方面强调森林生态系统健康与森林生态系统服务功能的关系(Hirvonen, 2001);另一方面,对森林生态系统健康状况的研究,包括森林健康胁迫因子、活力、组织、承载能力和恢复能力等(Rapport, 1998)。从1990年开始,美国对部分州的森林进行健康评价,同时美国林务局设立了专门机构和研究监测项目(FHM),负责对全美国进行森林健康调查,监测国家森林健康状态的动态变化及发展趋势等。

随着遥感和GIS技术的发展,森林生态系统健康的监测与评价方法得到了发展,研究方法也逐步从定性到定量(Rapport, 1999; Royle and Lathrop, 1997)。当前基于遥感

对森林健康状况的研究比较多的主要是美国(Vora, 1997)、加拿大(Allen, 2001)、澳大利亚(Paul, 2002)和巴西(Muchoney and Haack, 1990)等一些森林资源发达国家。随着高分辨率、高光谱光学传感器, 以及 SAR、LiDAR 等新型传感器的出现和兴起, 利用 AVHRR、TM、SPOT、HJ、IKONOS、QuickBird、LiDAR 等多源遥感数据进行森林健康遥感诊断的研究将成为今后森林健康研究的主要趋势(曹春香等, 2009)。另外, 不同来源、不同分辨率遥感影像之间存在尺度转换问题, 指标参数反演结果的明显差异将导致评价结果的不一致, 这一问题仍有待于深入研究解决。

1.4.2 湿地环境健康遥感诊断方法探索

湿地是世界上最具生产力的生态系统之一, 被誉为“地球之肾”。湿地生态系统健康诊断评价方法可归纳为指示物种法和指标体系法。

指示物种法是通过评价湿地生态系统内某个对环境变化极为敏感的物种或物种类群的数量, 以及其他特征的变化等间接衡量湿地生态系统健康状况的方法。指示物种可以是微生物、藻类、鸟类、鱼类、小型哺乳动物、爬行动物等。指示物种法简便易行、针对性强, 在河流、湖泊等湿地生态系统评价中得到了较为广泛的应用(陈家宽, 2003; Pont et al., 2007), 但由于指示物种的筛选标准及其对生态系统健康指示作用的强弱不明确, 且未考虑人类健康和社会经济等因素, 难以全面准确地反映生态系统健康状况。

指标体系法的思路是通过建立与生态系统健康程度相关的多层次、多类型指标来衡量生态系统健康程度。国外应用比较成熟的是美国国家环境保护局(USEPA)提出的景观评估、快速评估和集中的现场评估 3 个层次的湿地评价方法。这些评价方法已经广泛用于美国湿地的监测和评价项目(Carey et al., 2001; Reiss and Brown, 2007)。国内学者对湿地生态系统健康的研究大致可分为 3 类: ①部分学者引入压力-状态-响应模型(pressure-state-response, PSR)(Rapport, 1989)和活力-组织-恢复力模型(vigor-organization-resilience, VOR)(Costanza et al., 1992)等概念模型构建指标体系, 进行湿地健康评价; ②部分学者引入或者改进美国 LDI 和 IBI 方法对部分湿地进行健康评价(Lin et al., 2013); ③部分学者根据特定研究区, 加入一些辅助指标, 更全面地对湿地生态系统健康进行评价(Xu et al., 2012)。遥感和 GIS 等作为湿地健康评价的新型手段, 主要用于部分湿地健康评价指标因子的获取上, 据此得到湿地生态系统健康的空间分布规律和时空变化特征(蒋卫国, 2003; Tian et al., 2012)。

我国湿地生态系统健康评价起步较晚, 进步较快, 研究案例较多, 但方法类似, 不同类型、不同区域的湿地指标选择、指标含义、量化方法均未统一; 指标体系的可移植性和可比性较差。现有的指标体系和评价方法也大都针对特定的区域, 普适性不强, 很难直接应用于中国不同湿地类型和区域的湿地评价, 难以满足中国湿地管理的需求。因此, 亟须一套适用性强、可广泛应用于大范围湿地生态系统定量诊断的模型。

1.4.3 大气环境健康状况遥感监测研究

大气的状态和变化时时刻刻影响着人类的健康与发展。大气成分的改变将引起气候变化、危害人类健康,如温室气体含量的增加导致气候变暖;有毒气体的排放导致多种疾病;大气运动的改变将引起飓风、沙尘暴等灾害天气。由于大气成分纷繁复杂,大气环境健康涉及的内容也多种多样,且监测评价方法差异很大,因此这里主要针对沙尘暴期间大气环境遥感监测的研究现状。

沙尘暴是由特殊的地理环境和气象条件所致的一种破坏力很强的气象灾害,主要发生在沙漠及其临近的干旱与半干旱地区,世界范围内沙尘暴多发区位于中亚、北美、中非和澳大利亚(Pye, 1987)。我国沙尘暴主要集中在北方地区,以西北地区为主,包括新疆、甘肃、宁夏以及内蒙古西部等干旱区,约占全国土地总面积的 13.6%(Zhu et al., 1986)。由于沙尘颗粒对太阳光谱辐射的衰减效应,来自不同传感器和光谱带的卫星遥感已经越来越多地应用到沙尘暴研究中(Swap et al., 1996)。目前,利用可见光和红外多光谱卫星通道信息判别沙尘暴仍是较好的方法之一(Carboni et al., 2012)。

国外对沙尘暴的遥感监测研究始于 20 世纪 80 年代的 NOAA/AVHRR 传感器。目前的遥感监测主要利用静止气象卫星(GMS/VISSR)和极轨气象卫星(NOAA/AVHRR、FY-21C/MVISR)两大卫星遥感系列数据。MVISR 和 AVHRR 数据空间分辨率是 1.1 km,高于静止气象卫星分辨率(1.25~4 km),扫描宽度为 2300~2800 km,如果时机恰当,则可较好地用于沙尘暴信息的提取。GMS/VISSR 的优势在于它的时间分辨率高,可弥补极轨卫星在这方面的不足,对于持续时间较短的沙尘暴过程的监测很有利。自从 1999 年美国成功发射 TERRA 卫星后,其星上搭载的 MODIS 传感器在继承了 NOAA/AVHRR 功能的同时,把数据分辨率提高到了 0.25~1 km,波段数增加到 36 个;数据应用范围、数据发射与接收、数据格式上都作了很大的改进,它的应用为沙尘暴遥感监测提供了另一重要的数据源。

在研究沙尘暴引起的气溶胶等大气环境参数变化上,目前的研究主要是基于地面观测站或者是遥感反演产品,既有针对全球沙尘的研究(Dubovik et al., 2002),也有针对中国区域的研究(Guo et al., 2013)。根据以往研究发现,评价对象集中在少数几个指标上,如气溶胶光学厚度、Ångström 指数等,缺少协同地面和遥感数据对沙尘暴引起的气溶胶和气象参数变化的全面诊断。

1.4.4 水体健康遥感反演研究方法进展

水环境包括淡水和海洋两大类,其都具有丰富的物质组成。水环境因子包括水体叶绿素 a 浓度,水体悬浮泥沙含量,总有机质含量,黄色物质含量,水体总氮、总磷、氨氮、硝氮含量,水面面积,水深等参数。面向不同参数因子的遥感反演方法各异,此处仅阐述针对叶绿素 a 浓度的遥感诊断方法。

基于遥感技术,监测评估水体叶绿素 a 浓度的方法主要有经验统计法(Gitelson et al.,

2007)、半经验分析方法(Cheng et al., 2013)、基于辐射传输模型的机理模型(Gitelson et al., 2009)等。近年来,随着水色遥感器的改进及数据处理方法的深入研究,提出了荧光高度法和神经网络法。经验统计法,即通过建立遥感数据与实测叶绿素浓度之间的统计关系,估测叶绿素浓度。这种方法简单易行,但缺乏物理依据。半经验分析方法的特征是将已知的叶绿素光谱特征与统计模型相结合,选择最佳的波段或波段组合作为叶绿素浓度估算的依据。这种方法具有一定的物理意义,是常用的方法。机理模型主要基于水体中叶绿素含量与固有光学量和表观光学量之间的关系,模拟水中光场分布,进而反演叶绿素浓度。机理模型以水体中光学传输的机理为理论基础,是叶绿素浓度监测的重要方法之一。神经网络作为一种有效的非线性逼近方法,近年来在海洋水色反演中已有应用,但这些反演所使用的数据或者数量太少或者是模拟光谱的结果,其结论的合理性仍需更充分的、真实情况的检验。

已有很多研究采用上述方法对水体叶绿素浓度进行分析和估测,如黄海清等(2004)基于 SeaBAM (SeaWiFS bio-optical algorithm mini-workshop) 小组搜集的全球范围叶绿素浓度与离水辐射率的同步观测数据,利用神经网络方法反演海水叶绿素浓度。席红艳等(2009)基于半经验分析方法对香港邻近海域叶绿素 a 浓度进行反演,结果表明,该算法在低悬浮物低叶绿素浓度区域有一定适用性。杨一鹏等(2006)利用常规卫星遥感数据 Landsat TM 定量反演太湖叶绿素 a(Chl-a)浓度的方法,选择适于太湖 Chl-a 定量反演的最佳波段组合,采用半经验回归模型和混合光谱分解模型分别建立太湖 Chl-a 浓度定量反演模型,并对不同模型的结果进行对比分析。

1.4.5 地震灾害对环境状况影响的遥感诊断

灾害可分为自然灾害和人为灾害。自然灾害又包括地质灾害、气象灾害、海洋灾害、生物灾害等。其中,地震灾害作为一种常见的自然灾害,不仅可以造成大量人员伤亡,也会摧毁人类居住的环境,引发更多次生灾害,如滑坡、泥石流、水灾、火灾、饥饿和疫情等。因此,快速准确地获取震区受灾信息,评估地震灾害对当地环境的影响,对于灾后救援、避免或减少次生灾害,甚至是后期的灾区重建都具有重要意义(Ozisk and Kerle, 2004)。

从 20 世纪 60 年代开始,美国、日本、加拿大等多个国家就开始基于航空遥感影像对地震灾情信息进行了提取。随着卫星遥感影像分辨率的提高,利用卫星遥感影像或多源遥感数据协同对个别灾情因子进行监测。在灾情因子的识别方法研究上,也由人工目视解译发展出了人工神经网络等半自动识别方法和变化监测、面向对象分类、边缘算子等计算机自动识别算法(Chigira and Yagi, 2006)。我国也基本同步开始应用遥感技术对地震影响进行评估,如针对 1966 年的邢台地震、1976 年的唐山地震(魏成阶, 2009); 90 年代后,多种不同类型的遥感数据也被应用到地震灾害监测中,如王超等(2000)基于合成孔径雷达(SAR)影像应用差分干涉技术对 1998 年张北地震进行了监测。2008 年汶川地震后,基于遥感的灾害调查和环境评估相关研究达到了高峰(魏成阶等, 2008; 王文杰等, 2008; Xu et al., 2010; Lei et al., 2010)。近年来,随着遥感技术的高速发展,越来越