



宁夏大学生态学丛书

气候变化背景下 区域干旱监测理论与实践

THEORY AND PRACTICE OF REGIONAL DROUGHT MONITORING IN
THE CONTEXT OF CLIMATE CHANGE

杜灵通 等 著



科学出版社

宁夏大学生态学丛书

气候变化背景下区域干旱监测 理论与实践

杜灵通 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

干旱是全球气候变化研究中的一个热点科学问题,在气候变化日趋严重的大背景下,开展干旱半干旱地区的干旱监测理论研究与应用实践,对探明区域干旱成因机制及指导政府防灾减灾具有重要的意义。本书在国家自然科学基金项目研究的基础上,系统梳理了遥感、气象等多种手段监测干旱的机制基础,改进了温度植被干旱指数模型,并以干旱半干旱地区的宁夏为例,开展区域干旱时空演化特征实践研究。本书分基础理论和实践应用上下两篇,共13章,基础理论篇主要包括干旱监测的机制、模型、方法与应用基础,实践应用篇主要包括气候变化背景下宁夏不同类型干旱的时间演变规律、空间变化特征和演化驱动机制。

本书不仅在植被干旱监测机制和模型构建方面具有较高的理论价值,而且可为地方政府制定适宜的抗旱救灾行动提供科学依据,可供从事干旱监测、生态遥感、生态恢复、植被遥感、自然地理和农业遥感等研究的科技工作者及相关领域高等学校的师生参考,对气象、农业和国土等各级业务部门的管理人员也具有一定的指导作用。

图书在版编目(CIP)数据

气候变化背景下区域干旱监测理论与实践/杜灵通等著. —北京:科学出版社, 2017.2

(宁夏大学生态学丛书)

ISBN 978-7-03-051657-2

I. ①气… II. ①杜… III. ①干旱—监测—研究 IV. ①P426.616

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第020944号

责任编辑:罗 静 岳漫宇 / 责任校对:彭 涛

责任印制:张 伟 / 封面设计:北京图阅盛世文化传媒有限公司

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencecp.com>

北京京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2月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2017年2月第一次印刷 印张:13

字数:262 000

定价:88.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《气候变化背景下区域干旱监测理论与实践》

作者名单

杜灵通 宁夏大学

田庆久 南京大学

刘 可 宁夏大学

胡 悦 宁夏大学

候 静 宁夏大学

朱玉果 宁夏大学

序

干旱虽不如洪水、地震等自然灾害来势汹涌，但却是全球最具破坏性的自然灾害。2013年在日内瓦举行的“国家干旱政策高级别会议”，旨在促进各国制定切实可行、积极主动的政策来提高应对干旱的能力。目前，世界气象组织(WMO)、联合国粮食及农业组织(FAO)和联合国防治荒漠化公约(UNCCD)等组织正在全力推动各国制定和应用积极的抗旱政策，并提升发展中国家在干旱实时监测、干旱演化规律研究等方面的能力。长期以来，来自气象、农业、水文和遥感等领域的科学家一直关注干旱监测的理论与技术研究，并试图从气候和水资源等角度揭示干旱发生与发展的规律。中国是全球干旱灾害频发的国家之一，在全球气候变化背景下，我国干旱灾害呈现出发生频率增高、持续时间加长、影响范围扩大、因灾损失加重等特点，干旱灾害正成为一种新的气候常态。干旱虽由于区域降水异常偏少引起，但往往不止于气象层面，还常常影响区域农业生产、水资源分配、生态安全和社会经济发展，继而引发一系列的其他类型干旱，为政府的灾害预防和抗灾救灾增加了难度。

该书的出版正好迎合了当前遥感干旱监测理论和实践的需求，针对目前遥感干旱监测领域备受关注的科学问题，从机制上对干旱监测的理论基础进行了阐述，通过模型模拟和实验等手段，改进了相关遥感干旱监测模型与方法，并采用新技术、新模型对宁夏近几十年干旱的发生与发展规律进行了探索研究，研究结论不仅对认识气候变化背景下区域干旱时空演化规律有重要的科学价值，而且可为区域地方政府制定水资源调配决策和农、林、牧等行业的可持续发展提供参考价值，该书出版后将为我国遥感干旱监测与实践应用研究注入新鲜血液。

该书是杜灵通博士长期从事遥感干旱监测研究工作的总结，从南京大学求学到宁夏大学工作，历经风雨数载，坚持不懈地将这一研究做到今天。我希望该书的出版能够作为其继续坚持生态环境遥感研究工作的新起点，今后不断拓展和深化干旱半干旱地区生态环境遥感应用的新领域，更好地服务于宁夏地区的经济社会发展。



中国农业科学院农业资源与农业区划研究所

2016年11月10日

前 言

干旱是一种由降水异常短缺引发,进而导致土壤水分下降,水分供需平衡被破坏,自然和农业植被生长遭受胁迫的一种自然过程,其最终影响人类的经济社会活动。由于干旱的复杂特性,传统的气象和农业干旱监测手段很难全面获取干旱过程的全部信息,而遥感技术则可以弥补传统干旱监测手段的这一缺陷。这主要体现在两方面,一是遥感可以快速、高效、连续地获取监测区的空间信息,弥补站点观测以点带面的不足;二是遥感技术往往获取的是土壤、植被等陆表水分平衡载体对于干旱过程综合响应的信息,其更能体现出地表水分平衡系统失衡的真实情况。然而,由于遥感干旱监测理论尚不完善,遥感干旱监测技术尚未形成统一标准,不同传感器和不同遥感监测指标获取的干旱监测结果存在差异,从而导致遥感干旱监测工作多停留在科学研究阶段,尚未形成如气象干旱监测一样完善的理论与指标体系。在气候变化背景下,我国西北干旱半干旱地区的干旱现象愈加复杂,同时随着经济社会的发展,人类对于干旱发生、发展规律的认知需求日趋显著。为此,笔者在国家自然科学基金等项目的支持下,从干旱致灾因子分析到遥感光谱监测机制模拟,再到综合干旱监测模型构建与改进,系统地梳理了区域干旱监测的理论基础与机制模型。由于宁夏地处西北干旱地区,常态化的干旱现象近些年来一直困扰着当地群众的生产与生活,特别是在宁夏中南部地区,民间流传着“十年九旱”的说法。因此,本书以宁夏为研究区开展干旱时空演化特征研究,以期揭示气候变化背景下区域干旱的时空发生、发展规律,进而为地方政府制定适宜的抗旱救灾行动提供科学依据。

本书分上下两篇共 13 章,各章内容如下。

第 1 章为干旱监测技术国内外发展现状,主要综述了气象干旱监测、遥感干旱监测及干旱时空演化研究等方面的进展,指出了当前研究的不足。

第 2 章为宁夏自然概况及数据资料,主要介绍了宁夏的地理、气候、植被及干旱等概况和研究所用遥感、气象及地理信息等数据。

第 3 章为气象干旱监测指标与方法,主要介绍了标准化降水指数、标准化降水蒸散指数和帕默尔干旱指数的原理,并计算了宁夏各典型气象站近 50 年的各气象干旱监测指标。

第 4 章为干旱致灾因子分析及遥感监测机制,主要从大气降水亏缺、土壤水分胁迫和地表植被响应等方面介绍了干旱致灾因子和遥感监测机制。

第5章为植被结构特征对光谱干旱指数的影响,主要介绍了植被叶面积变化和生理生长周期等植被结构特征对多种光谱干旱指数的影响。

第6章为遥感干旱监测模型及方法,主要介绍了指示植被干旱响应的植被异常指数、指示土壤水分胁迫状况的地表温度异常指数、指示大气降水亏缺的降水异常指数和综合反映土壤植被干旱胁迫强度的温度植被干旱指数,建立针对不同监测需求的区域遥感干旱监测模型与指标体系。

第7章为时间序列干旱指标时空分析理论与方法,主要介绍了多种可应用于干旱时空演化特征及趋势研究的时间序列数据分析方法的理论基础与实现技术。

第8章为宁夏近50年气象干旱时空变化特征,主要介绍了气候变化背景下宁夏气象干旱变化的趋势及突变特征等。

第9章为中部干旱带气象干旱多尺度变化特征,重点以宁夏中部干旱带为例,介绍了该区域气象干旱的多尺度变化特征、发生周期及未来趋势等。

第10章为宁夏近10年植被干旱变化特征,主要介绍了基于温度植被干旱指数监测宁夏近10年植被干旱情况,分析了其与气象因子、农业灾情的关系。

第11章为不同生态功能区植被干旱特征及驱动分析,从宁夏三个生态功能区的空间角度,介绍了各生态功能区植被干旱的基本特征、波动规律、内在趋势及驱动因素。

第12章为宁夏植被干旱时空演化特征,利用多种时空分析手段,从时间和空间两个维度,分析了宁夏近10年4个季节的植被干旱时空信息演化特征,揭示了气候变化背景下宁夏植被干旱的发生、发展规律。

第13章为近30年气候暖干化对植被的影响,主要介绍了近30年宁夏地表辐射亮温和植被指数的变化特征及它们之间的关系,探索了气候变暖对宁夏植被活动的影响,并分析了其原因。

本书的学术思想由杜灵通博士、田庆久教授共同提出,杜灵通博士完成写作框架,并负责全书的内容写作和统稿工作,田庆久教授在框架思路给予了指导和帮助,胡悦撰写第9章文稿,刘可、候静和朱玉果在数据处理、图表清绘及文字校对等方面做了部分工作。

本书出版得到了国家自然科学基金项目“干旱半干旱地区农业干旱时空信息演化规律及其对气候变化的响应研究——以宁夏为例”(41201438)、“荒漠草原多时空尺度蒸散演变特征及驱动机制研究——以宁夏盐池县为例”(41661003),宁夏高等学校科学研究优秀青年教师培育基金项目“气候变化背景下区域干旱监测理论与实践——以宁夏为例”(NGY2016074)和宁夏教育厅“恢复生态学”优势特色学科建设项目等的资助。研究工作得到了宁夏大学西北土地退化与生态恢复省部共建国家重点实验室培育基地(西北退化生态系统恢复与重建教育

部重点实验室)、南京大学国际地球系统科学研究所、中国科学院遥感与数字地球研究所等单位的大力支持,同时感谢中国科学院计算机网络信息中心 GSCloud 平台、美国海洋与大气管理局卫星应用与研究中心、美国戈达德航空航天中心、北京师范大学全球变化与地球系统科学研究院、气象数据共享网、农业部自然灾害数据库等提供研究基础数据,感谢美国内布拉斯加林肯大学、西班牙比利牛斯生态研究所等提供气候干旱指数的计算程序。

由于本书是项目研究成果的汇总与集成,鉴于对内容完整性和结构合理性的考虑,对部分已在国内外期刊发表的内容也进行了整编。限于作者水平,书中不妥、纰漏之处在所难免,恳请广大读者不吝赐教。

杜灵通

2016 年 10 月于宁夏大学

目 录

上篇 基础理论

第 1 章 干旱监测技术国内外发展现状	3
1.1 干旱定义及研究意义	3
1.2 气象干旱监测研究进展	7
1.3 遥感干旱监测研究进展	7
1.4 干旱时空演化研究进展	12
1.5 遥感时序数据分析方法研究进展	13
1.6 目前存在的问题和不足	14
第 2 章 宁夏自然概况及数据资料	15
2.1 宁夏自然概况	15
2.2 数据资料	19
第 3 章 气象干旱监测指标与方法	28
3.1 标准化降水指数	28
3.2 标准化降水蒸散指数	31
3.3 帕默尔干旱指数	34
第 4 章 干旱致灾因子分析及遥感监测原理	39
4.1 大气水汽环流异常造成的降水亏缺	39
4.2 土壤水分胁迫	41
4.3 植被对干旱的响应	43
4.4 影响干旱过程的其他因素	46
4.5 遥感综合干旱监测的理论基础	47
第 5 章 植被结构特征对光谱干旱指数的影响	48
5.1 光谱干旱指数构建原理	48
5.2 PROSAIL 模型及光谱干旱指数模拟	49
5.3 植被结构对光谱及波段反射率的影响	50
5.4 植被结构对光谱干旱指数的影响	51
5.5 植被生理生长周期对光谱干旱指数的影响	53
第 6 章 遥感干旱监测模型及方法	56
6.1 植被异常指数	56

6.2	地表温度异常指数	62
6.3	降水异常指数	67
6.4	温度植被干旱模型及改进	70
第 7 章	时间序列干旱指标时空分析理论与方法	88
7.1	变异系数分析	88
7.2	线性变化趋势分析	89
7.3	相关系数分析	90
7.4	重新标度极差 (R/S) 分析	92
7.5	Sen 趋势度分析和 Mann-Kendall 检验	93
7.6	集合经验模态分解	95
7.7	功率谱分析	96
7.8	灰色关联度分析	97

下篇 实践应用

第 8 章	宁夏近 50 年气象干旱时空变化特征	101
8.1	研究资料与方法	101
8.2	宁夏近 50 年气温、降水特征及气候变化事实	102
8.3	宁夏气象干旱时间变化特征	103
8.4	宁夏气象干旱空间变化特征	104
8.5	宁夏近 50 年气象干旱变化趋势及突变分析	105
8.6	小结与讨论	107
第 9 章	中部干旱带气象干旱多尺度变化特征	108
9.1	研究资料与方法	108
9.2	干旱强度及频次变化	108
9.3	干旱灾害多尺度变化特征	109
9.4	基于功率谱的年际干旱周期分析	111
9.5	干旱趋势分析	113
9.6	小结与讨论	115
第 10 章	宁夏近 10 年植被干旱变化特征	116
10.1	研究资料与方法	116
10.2	旱情监测结果	117
10.3	宁夏近 10 年旱情变化趋势	119
10.4	引起温度植被干旱指数变化的气象因素分析	121
10.5	温度植被干旱指数变化与农业灾情的关系	122

10.6	小结与讨论	124
第 11 章	不同生态功能区植被干旱特征及驱动分析	125
11.1	研究资料与方法	125
11.2	不同生态功能区植被干旱基本特征	125
11.3	不同生态功能区植被干旱波动特征及内在趋势	126
11.4	宁夏植被干旱的分区和季节驱动因素	128
11.5	植被干旱的气象驱动分析	129
11.6	小结与讨论	131
第 12 章	宁夏植被干旱时空演化特征	132
12.1	基于变异系数的植被干旱波动特征分析	132
12.2	基于线性回归的植被干旱空间变化趋势分析	134
12.3	基于相关系数的植被干旱时间变化特征分析	137
12.4	基于 R/S 的植被干旱时间变化趋势分析	140
12.5	基于 Sen 趋势度的植被干旱变化趋势分析及检验	142
12.6	小结与讨论	144
第 13 章	近 30 年气候暖干化对宁夏植被活动的影响	146
13.1	研究资料与方法	146
13.2	气候变化与植被活动关系研究存在的问题	147
13.3	宁夏近 30 年气候暖干化特征	148
13.4	宁夏近 30 年植被活动特征	150
13.5	气候变化与宁夏植被活动的波动及非线性趋势分析	151
13.6	气候变暖对宁夏植被活动的影响	152
13.7	宁夏植被活动与气候变暖关系发生变化的原因分析	154
13.8	小结与讨论	155
	参考文献	157
	附录 1 缩略词	171
	附录 2 算法程序	174

上篇 基础理论

第 1 章 干旱监测技术国内外发展现状

1.1 干旱定义及研究意义

1.1.1 干旱定义

干旱是一种复杂的过程,20 世纪 80 年代世界气象组织(World Meteorological Organization, WMO)将干旱定义为一种持续的、异常的降水亏缺^[1]。然而随着人们对干旱过程的理解,单纯利用降水的异常短缺来研究干旱已经不能反映这一自然过程的全部特征,需要从水资源供需平衡的角度来认识干旱,即干旱是供水不能满足正常需水的一种地表水分不平衡状态,不同的供需关系会产生不同类型的干旱^[2]。因此,一些学者将干旱重新划分为气象干旱、农业干旱、水文干旱和社会经济干旱四大类^[3]。气象干旱是指某时段由降水和蒸发的收支不平衡造成的异常水分短缺现象,由于降水是主要的收入项,因此通常以降水的短缺程度作为监测指标,如连续无降水日数、降水量距平等;农业干旱则是指生长季节内农作物生长发育受到水分亏缺抑制,进而导致明显减产甚至绝收的现象,常以土壤含水量和植物生长状态为特征,农业干旱主要由大气干旱或土壤干旱导致作物生理干旱而引发,涉及土壤、作物、大气和人类水资源利用等多方面因素,是一个相当复杂的自然过程;水文干旱是指河川径流等储水体储水量低于其正常值或地下含水层水位降低的现象,其特点是持续时间长,通常利用某段时间内径流量、河流平均日流量等地表径流指标或水文干湿指数、供需比指数、水资源总量短缺指数等地表径流与其他因子组合的指数来监测其强度;而经济社会干旱则是指由于经济社会的发展,需水量增加,影响到生产、消费等活动,其往往与气象干旱、水文干旱和农业干旱密切相关。目前大多数的干旱研究都集中在气象、农业或水文等某一种干旱类型上,然而单一的气象干旱、农业干旱或水文干旱指标又很难综合衡量干旱这一自然过程。因为干旱是地表水分平衡系统失衡的一种综合现象和过程,在进行干旱监测时必须综合考虑大气降水、植被生长和土壤水分供需平衡等因素,只有通过研究这些致旱因素的综合耦合过程,才能准确描述干旱的真实情景(图 1.1)。为此,本书将综合干旱过程定义为因气象、水文等供水不足,造成土壤水分降低,地表水分供需不平衡,进而影响到地表植被生长的一种复杂自然过程。

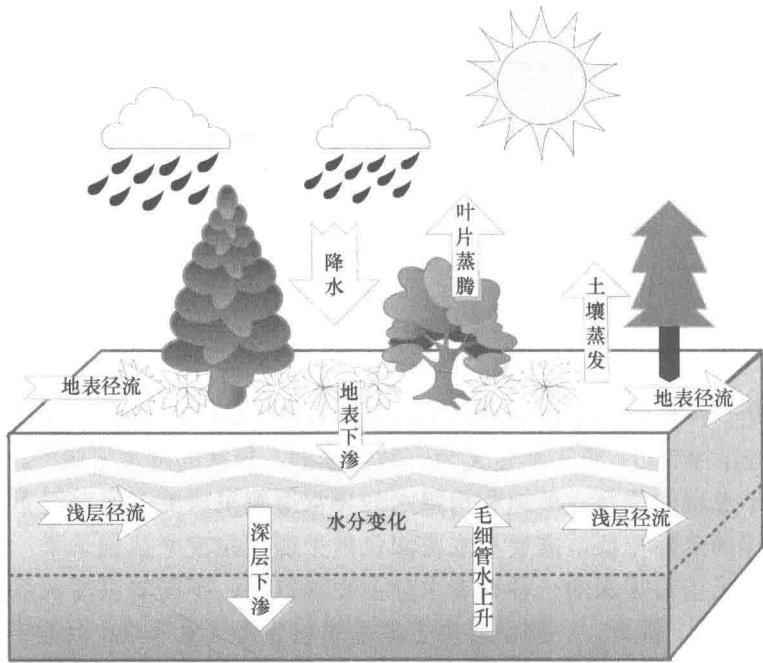


图 1.1 地表水分供需平衡系统示意图（彩图请扫封底二维码）

1.1.2 研究意义

干旱是全球气候变化研究中的一个热点科学问题^[3,4]，气候变化会影响厄尔尼诺-南方涛动（El Niño-Southern Oscillation, ENSO），造成西太平洋暖池海水热力、青藏高原上空热力、亚洲季风环境和西太平洋副热带高压出现异常，从而引发旱灾的发生^[5]。李克让的研究表明，东亚夏季风、副热带高压、西风带环流和热带高空环流等大气环流异常与中国东部干旱成因有关，而西北干旱气候的形成则与青藏高原隆升关系密切^[6]。当 ENSO 事件处于发展阶段时，我国黄河流域和华北地区的降水往往偏少；当东太平洋海温处于下降阶段时，我国淮河流域易发生干旱^[7]。由此可见，全球气候变化是造成我国区域干旱的重要原因。而干旱又是各类自然灾害中最易造成经济损失的灾害之一，据统计，在各类自然灾害造成的总损失中，气象灾害引起的损失约占 85%，而旱灾又占气象灾害损失的 50%左右^[8]；每年因旱灾造成的全球经济损失高达 60 亿~80 亿美元，远远超过了其他灾害^[9,10]。我国是一个农业旱灾频发的国家，据 1950~2008 年的统计资料，平均每年受旱面积 $21.57 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ，成灾面积 $9.56 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ，因旱损失粮食 $15.8 \times 10^6 \text{ t}$ ^[11]，特别是近几年接连不断地发生的西南（2009~2010 年）、山东（2010~2011 年）和长江中下游（2011 年）等特大干旱，给当地的农业生产和经济发展带来巨大损失，受到党和国家的高度重视。然而，当前我国由于缺乏对全球气候变化背景下干旱

时空演化特征的认识,面对一次次干旱灾害,各级政府部门只能被动应对,无法作出预见性的防范措施,从而使国家和人民一次次遭受严重损失。

我国北方地区是历年干旱灾害的主要受灾区,而且一些研究表明,在过去的几十年中,因受全球气候变化的影响,华北地区的干旱在逐年加剧。朴世龙等在 *Nature* 杂志上撰文指出^[12],在过去 45 年中除了西北西部和西南部分地区外,中国大部地区的干旱呈逐年增加的态势(图 1.2)。统计数据显示,20 世纪 50~90 年代中各年代全国平均受旱面积依次为 $11.62 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 、 $18.73 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 、 $25.35 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 、 $24.14 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 、 $26.33 \times 10^6 \text{ hm}^2$,成灾面积分别为 $3.74 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 、 $8.85 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 、 $7.36 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 、 $11.93 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 、 $13.29 \times 10^6 \text{ hm}^2$,无论是受旱面积还是成灾面积,都有增加趋势^[13]。邓振镛等研究表明,20 世纪后 50 年河北、山西、山东和西北地区东部等地的干旱化趋势很明显,特别是 90 年代频繁发生的干旱灾害给我国造成了巨大的经济损失^[14]。这些研究表明,干旱作为一种频发的自然灾害,已经严重威胁到我国北方粮食主产区的安全,而突发的重大干旱自然灾害常常给地方政府的防旱抗旱提出难题。

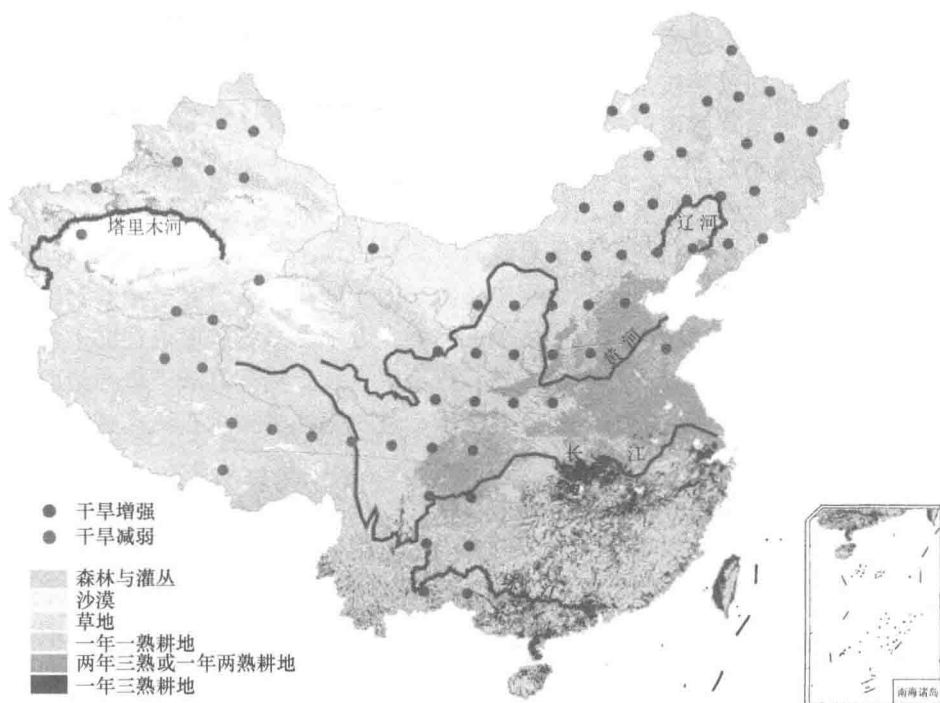


图 1.2 中国 1960~2005 年干旱演变趋势图^[12] (彩图请扫封底二维码)

因受东亚季风气候系统的影响,我国北方干旱灾害的发生成因非常复杂,并且没有一个很有效的方法来定量预测预报干旱的发生与发展,要提高对于干旱灾害

的预测、预警水平,就要搞清干旱的发生、发展及其演化过程特征。区域干旱事件的发生,既有全球变化的大背景影响,又有区域小气候的波动,还有一些人为活动与自然过程的耦合。当前众多学者将精力放在监测干旱的发生时间、强度和范围上,忽视了对干旱发生、发展过程特征与规律的研究,而研究干旱时空演化规律不仅对认识干旱发生机制有重要科学意义,而且有助于人类预测、预报干旱灾害。

卫星遥感(remote sensing, RS)技术是20世纪60年代兴起的一种新型空间探测技术,具有高时空连续获取地表信息的能力。近年来,随着对地观测能力的大力提升,搭载于不同卫星平台上的不同空间及光谱分辨率的传感器,在不同的轨道高度进行实时和连续的观测,形成了一个可获取多源空间数据的完整观测体系。遥感器的类型涉及多光谱扫描仪、微波辐射和散射计、侧视雷达、专题成像仪、成像光谱仪等几十余种,并逐渐向高光谱、多极化、微型化和高分辨率的方向发展。卫星遥感技术获取的大量对地观测数据已广泛用于地球资源普查、植被分类、土地利用规划、环境污染及农业灾害监测等方面,其中干旱监测便是遥感对地观测技术应用的一个重要领域。

由于干旱的复杂特性,传统的气象和农业干旱监测手段很难全面获取干旱过程的全部信息,而遥感技术则可以弥补传统干旱监测手段的这一缺陷。这主要体现在两方面,一是遥感可以快速、高效连续地获取监测区的空间信息,弥补站点观测以点带面的不足;二是遥感技术往往获取的是地表土壤、植被等水分平衡载体对于干旱过程综合响应的信息,其更能体现出地表水分平衡系统失衡的真实情况。鉴于遥感技术在监测和获取干旱信息时具有其他技术不可替代的优势,因此,利用多源遥感技术获取的地面干旱过程中各致旱因子信息,通过对多源数据的空间挖掘,建立一种半经验半机制型的、表征地表水分平衡系统失衡过程的干旱信息提取指标,用来定量提取干旱时空信息。这不仅有利于提高复杂下垫面情况下干旱遥感监测与信息提取的能力,而且有利于推进我国遥感技术在防灾减灾领域中的应用与实践。

然而,当前的遥感干旱监测研究中还存在一些未解的科学问题,如遥感常常获取的是地表植被、土壤等载体受干旱影响后的变化信息。因此,如何构建综合干旱监测模型并从多源遥感数据中定量提取评估干旱的指标,是当前遥感干旱研究领域中的一个难题。此外,当前对于干旱演化趋势的研究还主要基于气象或农业统计数据,很少有学者利用高时空连续性的遥感观测数据去研究干旱的时空演化规律,随着对地观测卫星数据的长期积累及近年来空间分析技术的快速发展,从空间上获取干旱信息并分析其时空演化特征已不再困难,特别是一些应用于植被变化研究的时空分析技术,完全可以借鉴到干旱信息的时空变化研究中来。

综上所述,基于多源数据的干旱监测理论研究与实践将有助于提高综合干旱信息的提取精度,解决遥感干旱监测中的一些不确定性问题,提高当前海量遥感