

Climate Change Adaptive Technology System for
Typical Vulnerable Terrestrial Ecosystems

典型脆弱生态系统的 适应技术体系研究

吕宪国 等 著



科学出版社

典型脆弱生态系统的 适应技术体系研究

吕宪国 等 著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是全球变化研究国家重大科学研究计划“全球变化影响下我国主要陆地生态系统的脆弱性与适应性研究”课题“典型脆弱生态系统的适应技术体系研究”的成果。著者在对脆弱农田、沙地、高寒草地和湿地生态系统的长期研究和应用实践的基础上,确立了全球变化影响下我国典型脆弱生态系统的适应技术体系,提出了典型脆弱生态系统气候变化适应技术流程和技术标准。本书为国家适应气候变化战略、规划和工程提供了相关科学基础,对我国积极适应气候变化,提高应对能力具有重要意义。

本书可供生态、地理、环境、湿地、农业、草业、水资源、气象、气候等领域的科研与教学人员参考,也可供相关行业管理部门使用。

图书在版编目(CIP)数据

典型脆弱生态系统的适应技术体系研究 / 吕宪国等著. —北京: 科学出版社, 2016. 1

ISBN 978-7-03-046752-2

I. ①典… II. ①吕… III. ①生态系-适应性-技术体系-研究
IV. ①Q147

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第302359号

责任编辑: 李秀伟 田明霞 / 责任校对: 郑金红
责任印制: 肖 兴 / 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.sciencep.com>

北京通州皇家印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年1月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2016年1月第一次印刷 印张: 19 1/4

字数: 450 000

定价: 180.00元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

著者名单

(按姓氏拼音排序)

常 亮	董 鸣	高树琴	郭跃东
韩丛海	韩丽娟	黄振英	李祎君
梁 宏	刘志兰	吕宪国	尚占环
沈国强	王 强	王培娟	吴东辉
闫修民	杨白洁	叶学华	张更新
张新时	郑海峰	朱雅娟	邹元春

序

全球气候变化正日渐显著地影响着地球的自然过程、社会经济发展和人类的生存环境。根据我国实际情况,分析气候变化对自然生态系统和社会经济系统产生的可能影响,正确理解气候变化对我国各个方面影响的深度和广度,提出相应的适应及减缓对策,是在可持续发展道路中面临的和必须要认真对待并加以解决的重大课题之一。

气候变化对自然生态系统及社会经济系统的影响表现为正负两方面,从目前的认知水平和人们的关注点来看,负面影响可能更为突出。我国地大物博,主要陆地生态系统在分布范围、结构与功能、系统稳定性等方面有显著的差异,对 CO_2 浓度倍增、气候变化及水热与 CO_2 协同作用会产生不同的反应,主要的植被类型会在物种和群落水平上发生适应性变化,进而又引发生态系统功能的改变。气候变暖和 CO_2 浓度的上升,可能造成作物生长加快,生长期普遍缩短,减少物质积累和籽粒产量,加上气候资源时空分布格局的变化,相应的种植制度也必须进行调整。如此种种都说明全球变化的影响与适应研究将成为今后一个时期内科学研究的重点。

联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)第三次气候变化评估报告曾指出,应提高对气候变化的影响和系统脆弱性及适应能力的评价水平;定量评价自然和人类系统对气候变化的敏感性、脆弱性及适应能力,尤其要将重点放在气候变异范围的变化和极端气候事件的频率和强度的变化上;评价系统对预测的气候变化可能存在的强烈不连续的反应情况,从而采取其他措施予以避免;理解生态系统对多重压力(包括气候的全球变化、区域变化和更小尺度的变化)的动态反应;发展各种适应变化的方法,评估各种适应方法的有效性,认识不同区域、国家和居住区所用方法效果的差异;评价预测的气候变化可能造成的各种影响;改进综合评估(包括风险评估)的手段,研究自然和人类系统各组成部分与不同决策结果之间的相互作用;评价包括关于影响、脆弱性和适应的科学知识在决策过程、风险管理及可持续发展中的可能应用;改进长期监测气候变化结果的系统和方法,进一步理解气候变化对人类和自然系统的其他影响。

近年来,我国对全球变化的适应性问题给予了高度重视。国际地圈生物圈计划(IGBP)中国全国委员会也已把对全球变化的适应研究作为未来全球变化研究的主要方向,强调对全球变化影响的研究应与中国国情结合,针对中国迫切而切实的土地资源、水资源利用等问题进一步拓展。对适应问题的重视反映了人类响应全球变化策略的明智选择,是目前人类应对环境变化所采取的一种态度积极的行为。发展各种适应变化的方法,评估各种适应方法的有效性,而科学地适应未来环境变化是人类社会保持可

持续发展的首要准则。就人类的主观目的而言,所有响应行为的出发点都是趋利避害,实现人类社会的可持续发展。进行适应研究的关键是对全球变化影响的利弊进行综合分析,区分有利和不利的变化,认识直接影响和间接影响。特别值得注意的是,全球变化影响的发生及其影响程度不仅与全球变化本身有关,而且与人类社会、生态系统的脆弱性密切相关。

采取减缓措施,控制和减少污染物及温室气体的排放,可在源头上减缓气候与环境变化的速率和程度,采取适应性措施可以减轻气候与环境变化造成的后果。在可持续发展的框架下应对气候变化,需要综合考虑减缓与适应之间的协同作用,以权衡取舍,采取积极措施,趋利避害。重要的是需要根据温度、水资源、生物等气候与环境因子的空间格局与演化趋势,调整生产结构与生活方式。

科技部于2010年启动了“全球变化研究国家重大科学研究计划”,首批设立了19个项目。《典型脆弱生态系统的适应技术体系研究》是首批启动的“全球变化影响下我国主要陆地生态系统的脆弱性与适应性研究”项目的课题之一“典型脆弱生态系统的适应技术体系研究(课题编号:2010CB951304)”的研究成果。该书论述了我国主要陆地生态系统(沙地、草地、湿地与农田)在气候变化影响下的适应技术体系,评价了不同典型脆弱生态系统对气候变化适应性的试验示范效果,提出了适应技术流程和技术标准,建立了中国典型脆弱生态系统适应技术示范平台,提出在气候变化背景下的典型脆弱生态系统适应性管理对策,为应对全球气候变化提供了技术方法。该书是我国第一部基于典型脆弱生态系统适应性技术的研究专著,为适应全球气候变化、生态系统管理及环境资源保护等方面提供了理论与技术支撑。

全球变化的适应性问题已不再是一个遥远的科学问题,而是一个亟待解决的社会政治经济问题。适应技术研发是目前人类应对环境变化所采取的一种积极的行为。希望该书能引起全球变化研究、教学与管理人员的关注,进而推动相关工作的开展。



2015年6月6日

前 言

全球变化是人类共同面临的巨大挑战,给自然生态系统和社会经济系统带来了深刻影响。以气候变暖为标志的全球变化已经发生,并将持续到可预见的将来。我国地处季风气候区,幅员辽阔,地形结构特别复杂,具有从寒温带到热带、从湿润到干旱的不同气候带区。伴随着气候变暖和降水变异的加剧,气象灾害频发,已经对我国的生态系统造成了严重影响,威胁着我国的生态环境及粮食安全。据统计,我国每年因气象灾害造成的损失占整个自然灾害损失的 70% 左右,造成的直接经济损失占国民生产总值的 3%~6%,制约着我国经济社会的可持续发展。生态系统提供多种多样的服务,支撑着人类的生产、生活,开展气候变化影响下陆地生态系统适应技术体系的研究,对减缓气候变化对我国主要陆地生态系统的不利影响,遏制我国生态环境恶化,制订我国陆地生态系统应对气候变化的措施和行动,实现经济社会的可持续发展,具有重大的理论和实践意义。

减轻人类压力是降低气候变化脆弱性的关键策略。建立生态系统适应性技术体系,有利于提高生态系统对气候变化的适应能力,减缓气候变化对人类社会带来的灾难。“典型脆弱生态系统的适应技术体系研究(课题编号:2010CB951304)”是科技部于 2010 年启动的“全球变化研究国家重大科学研究计划”中“全球变化影响下我国主要陆地生态系统的脆弱性与适应性研究”项目的课题之一,以我国主要陆地生态系统(沙地、草地、湿地与农田)为研究对象,深入开展气候变化影响下生态系统适应技术体系的研究,确立了我国脆弱陆地生态系统适应气候变化的技术体系,并进行示范,最终形成了创新性中国陆地生态系统适应气候变化的可持续性原理与范式。课题针对区域特点,选取我国气候变化敏感区的典型脆弱生态系统:水分胁迫下的鄂尔多斯高原沙地生态系统、气候变暖胁迫下的三江平原湿地生态系统、气候变暖影响下的青藏高原高寒草地生态系统、气候变暖影响下的华北地区与东北地区主要农田生态系统,以及中高纬平原地区草地、农田和湿地等典型生态系统地下功能组分,对全球变化的响应特征及其适应性,开展适应技术与示范研究;研发气候变化影响下典型脆弱生态系统的适应技术,并建立示范基地;建立气候变化背景下我国脆弱生态系统的适应技术体系。

本课题由中国科学院东北地理与农业生态研究所、中国气象科学研究院、中国科学院植物研究所和中国科学院青藏高原研究所共同承担。在项目的总体框架下,课题组成员在原有扎实工作基础上,通过 4 年的努力,圆满完成了课题既定目标。确立了全球变化影响下我国典型脆弱生态系统的适应技术体系。针对脆弱农田、沙地、高寒

草地和湿地生态系统,建立了9个适应性示范基地,示范面积达20 076hm²。验证了全球变化影响下中国主要陆地生态系统的脆弱性与适应性评价指标:①针对人为干扰(放牧、过伐和农业用水)和气候变化(温度升高、降水变化)影响导致的典型脆弱生态系统,提出了适应技术流程和技术标准,建立了生态系统适应性技术体系;②建立了中国典型脆弱生态系统适应技术示范平台,包括播种期调整和种植熟性调整的农业适应技术;水分管理、种植密度、沙埋和风蚀坑修复等沙地适应技术;接种、牧草间作、围栏等高寒草地适应技术;水位调控与人工筑巢的湿地适应技术,提出在气候变化背景下的典型脆弱生态系统适应性管理对策,为中国粮食安全、生物多样性保护和生态文明建设提供了技术方法。期望本书的出版,对于国家与地方有关决策部门,以及从事适应气候变化战略、规划与管理与工程技术的生态、地理、环境、湿地、农业、草业、水资源、气象、气候等领域的科研人员与高等院校师生,以及政府相关部门管理人员有所帮助。

本书各章作者名单如下:第一章适应全球气候变化:从原理到实践,吕宪国、邹元春;第二章典型农田生态系统脆弱性的适应技术,王培娟、梁宏、李祎君、韩丽娟;第三章沙地生态系统的适应性技术与示范,黄振英、叶学华、朱雅娟、刘志兰、高树琴、董鸣、张新时;第四章高寒草地生态系统的适应性技术与示范,尚占环、杨白洁、韩丛海、张更新;第五章气候变化情势下沼泽湿地植被适应技术与示范,郭跃东;第六章水鸟生境的适应性技术与示范,王强;第七章土壤动物对全球变化的响应与适应,吴东辉、常亮、闫修民;第八章气候变化情境下水鸟栖息地潜在分布及应对策略,郑海峰、沈国强。邹元春对全书体例进行了统一修订。

感谢科技部“全球变化研究国家重大科学研究计划”的经费支持,感谢项目专家咨询组在课题执行过程中对课题的指导,感谢项目首席科学家周广胜研究员对课题的指导与帮助,感谢本课题所有研究人员与本书所有作者,以及为本课题提供资料与文献的所有人员。

由于生态系统的复杂性和作者学识水平所限,不足之处在所难免,衷心期望广大读者批评指正。

吕宪国

2014年12月

目 录

序 前言

第一章 适应全球气候变化：从原理到实践	1
第一节 适应气候变化的概念	1
第二节 生态系统适应气候变化的理论基础	2
一、自然地理环境地域分异规律	2
二、生态系统演替理论	3
三、生态系统稳定性理论	5
四、生态系统复杂性理论	6
五、耐受性定律	7
六、健康适应原则	7
第三节 适应气候变化的实践原则	8
一、生态系统管理原则	8
二、宏观决策原则	9
三、优先适应性原则	9
第四节 适应气候变化的技术流程	9
第五节 适应气候变化的研发趋势	10
参考文献	12
第二章 典型农田生态系统脆弱性的适应技术	15
第一节 气候变暖影响下典型农田生态系统的脆弱性	15
一、农田生态系统对气候变化的脆弱性研究进展	15
二、农田生态系统对气候变化的适应性研究进展	16
第二节 气候变暖影响下东北春玉米品种布局调整技术	17
一、研究区概况	17
二、东三省热量资源时空变化特征	17
三、东三省春玉米关键发育期与气象条件的关系	34
四、东三省春玉米品种熟性时空变化特征及其脆弱性	36
五、基于时空播种法的东三省春玉米适应气候变暖的品种布局调整技术及示范	38

第三节 气候变暖影响下华北冬小麦最佳播种期的选择技术	50
一、研究区概况	50
二、我国冬小麦种植界限的时空变化特征	50
三、华北冬小麦关键发育期与气象条件的关系	55
四、气候变暖对华北冬小麦发育期的影响	61
参考文献	66
第三章 沙地生态系统的适应性技术与示范	69
第一节 气候变化影响下沙地生态系统的脆弱性	69
一、沙地生态系统及其分布	69
二、沙地生态系统的特殊性	71
三、沙地生态系统研究概况	74
四、沙地生态系统的退化机制	77
第二节 鄂尔多斯沙化草地生态适应的优化生态生产范式	79
一、沙地生态系统的保护与恢复的原理	79
二、沙地生态系统的保护与恢复的模式	80
三、“三圈”范式概念的提出	80
四、鄂尔多斯高原“三圈”范式概念下的研究	83
第三节 鄂尔多斯高原植物群落对沙埋和降水的适应与响应	85
一、研究背景	85
二、实验材料与方法	86
三、结果分析	89
四、讨论	107
五、结论	109
第四节 全球变化背景下降水变化对毛乌素重要植物的影响	110
一、研究背景	110
二、实验材料与方法	111
三、结果分析	112
四、讨论	116
参考文献	120
第四章 高寒草地生态系统的适应性技术与示范	130
第一节 气候变暖影响下高寒草地生态系统的脆弱性	130
一、气候变化与脆弱性	130
二、气候变暖影响下高寒草地生态系统脆弱性特征	134
三、降低脆弱性的适应技术	136
第二节 野外围栏技术与效果	137
一、气候变化与高寒草地脆弱性	137
二、围栏的普遍性	138

三、草地围栏的原则与方法	139
四、围栏封育的效果	140
五、总结	166
第三节 野外科接种技术与效果	167
一、高寒气候下植被生长的限制性及脆弱性	167
二、豆科植物的特点及作用	168
三、野外黄花苜蓿接种根瘤菌的方法与作用	171
四、总结	176
参考文献	176
第五章 气候变化情势下沼泽湿地植被适应技术与示范	181
第一节 气候变化情势下沼泽湿地植被脆弱性特征	181
一、气候条件和湿地植被基本特征	181
二、气候变化与湿地植被脆弱性表征	183
第二节 沼泽湿地植被适应性技术理论	189
一、沼泽植被适应性技术建立目标	189
二、沼泽植被萌芽期适应技术	189
三、沼泽植被繁殖期适应技术	193
四、沼泽植被种群竞争调节适应技术	197
第三节 适应性技术基础与示范	201
一、适应性技术集成	201
二、适应性技术小区示范	202
参考文献	208
第六章 水鸟生境的适应性技术与示范	209
第一节 东方白鹳生境及环境特征	209
一、东方白鹳分布与生境特征	209
二、东方白鹳生境气候变化特征	213
三、三江平原农田开垦变化特征	216
四、东方白鹳适宜生境变化	224
第二节 三江平原东方白鹳繁殖生境恢复技术试验示范	227
一、东方白鹳人工巢招引技术标准	228
二、人工巢选址与适宜密度	228
第三节 东方白鹳繁殖生境利用中适应性生境管理	229
参考文献	231
第七章 土壤动物对全球变化的响应与适应	232
第一节 东北平原区域土壤动物概况	232
一、三江平原湿地土壤动物概况	232
二、松嫩草原土壤动物多样性概况	233

第二节 区域土壤动物对全球环境变化的响应	234
一、三江平原土地利用方式对土壤跳虫多样性的影响	234
二、气候变化对不同农田土地利用方式下土壤跳虫多样性的影响	236
三、松嫩平原草地土地利用方式对土壤跳虫的影响	240
四、气候变化对松嫩草地不同利用方式下土壤跳虫多样性的影响	248
第三节 区域土壤动物对全球环境变化的适应性机制	256
一、跳虫对不同土地利用方式的适应性	256
二、气候变化下跳虫对不同农田土地利用方式的适应性	257
三、松嫩平原草地土壤动物地下功能群对全球环境变化的适应性	259
第四节 区域土壤动物对全球环境变化的适应技术体系	264
一、一种基于原位土柱移位的土壤动物响应气候变化技术体系	264
二、一种基于开顶箱土壤增温的土壤动物响应气候变化和草地利用方式的 技术体系	265
参考文献	267
第八章 气候变化情境下水鸟栖息地潜在分布及应对策略	270
第一节 东北地区三江平原气候变化空间分布特征	270
一、当今气候变化空间分布特征	270
二、未来 A1B 情景和线性情景下气候变化的空间分布格局	274
第二节 气候变化影响下三江平原东方白鹳栖息地的分布	280
一、当今气候变化影响下栖息地的空间分布	280
二、未来气候变化影响下栖息地的空间分布	284
第三节 东方白鹳栖息地适应气候变化的策略分析	285
一、保护区建立及其空间适应性效益	285
二、退田还湿及其空间适应性效益	286
三、人工筑巢及其空间适应性效益	289
四、组合适应对策及其空间适应性效益	290
参考文献	291

第一章 适应全球气候变化：从原理到实践

全球气候变化是人类共同面临的巨大挑战，给自然生态系统和社会经济系统带来了深刻影响。气候变化是指气候平均状态随时间的变化，即气候平均状态和离差（距平）两者中的一个或两个一起出现了统计意义上的显著变化。现有的人类活动压力（如资源需求与污染等）比气候变化对自然生态系统影响更直接。但是，气候变化往往“放大了”这些影响，使这些影响带来的后果更加严重。应对气候变化一般包括两个方面：减缓和适应。减缓主要是通过减少温室气体的排放，从气候变化的源头解决问题；适应则是采取措施适应气候变化或降低气候变化带来的影响。应对气候变化，不仅要减少温室气体排放，还要采取积极主动的适应行动，通过加强管理和调整人类活动，充分利用有利因素，减轻气候变化对自然生态系统和社会经济系统的不利影响（国家发展和改革委员会，2013）。在全球气候变化影响日益突出、气候变化减缓难以很快奏效且国际一致行动进展缓慢的情形下，适应气候变化已经成为世界各国更为紧迫的重要选择。

第一节 适应气候变化的概念

适应（adaptation）一词起源于自然科学。自然科学中适应的研究尺度包含了从有机个体到单个种群乃至整个生态系统。尽管适应性在自然科学中的定义有很多争议，但泛指组织或系统为了生存、繁殖而增强应对环境变化的基因和行为特征，是该主体在生存竞争中适合环境条件而形成一定性状的现象，是长期自然选择的结果（方一平等，2009；潘志华和郑大玮，2013）。适应这一概念扩展到文化和社会经济等领域，并开始被气候变化领域所引入。目前，适应气候变化还没有统一的概念。近年来，由于适应气候变化工作本身的艰巨性、复杂性，目前提出的气候变化适应措施的针对性还不是很强，问题所在就是对适应气候变化的科学认识不足，亟待适应理论上的突破以支撑适应气候变化的行动。许吟隆等（2013）基于系统论观点提出了“边缘适应”的概念；吴绍洪等（2014）在总结前人研究的基础上提出了“有序适应”、“定量适应”等观点。尽管各种定义各有侧重，但大都强调需要调整系统以削减其脆弱性和改善对气候变化的适应能力，而适应的内容涉及自然的和突发灾害的影响评估过程，针对气候变化所采取的对策可以增强可持续的区域发展的措施设计和完善过程（殷永元，2002）。

联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）报告认为，适应是指针对现实和预期的气候变化驱动及其作用和影响，对生态、社会和经济系统的调整，为趋利避害在过程、实践和结构上进行的改变。适应所针对的主体是人类社会，是在承认全球变化不

可避免的前提下,通过改变人类社会的脆弱性而规避全球变化带来的风险(陈宜瑜, 2004)。适应者既包括人类社会,也包括为人类社会提供服务的自然生态系统等。IPCC 经过历次报告的演进,对适应的定义更全面,涵盖了自然系统和社会经济系统,系统性更强,更受到国际社会的认可。自 1990 年 IPCC 发布首部气候变化影响评估报告(FAR)以来,每一次报告都在不断丰富和深化国际社会对气候变化影响和适应的认识,并对国际和各国气候适应政策和行动产生了重要的推动作用。1995 年,第二次评估报告(SAR)只强调了自然系统的“被动”适应,而 2007 年的第四次评估报告(AR4)和 2014 年的第五次评估报告(AR5)则增加了人类系统的主动适应,强调“恢复能力”(resilience)建设。AR5 在此前 3 种适应(自发适应、预期适应和计划适应)划分的基础上,进一步将适应划分为增量适应(incremental adaptation)和转型适应(transformational adaptation)(巢清尘等, 2014)。AR5 把适应定义为“对实际或预期气候及其效应的调整过程”。对于人类系统,适应寻求缓解危害或利用有利机会;对于自然系统,人为干预有助于对预期气候及其效应的调整(IPCC, 2014)。

从社会科学的角度看,适应气候变化可以划分为 3 个思想流派,即“限制适应论”、“自然适应论”和“现实适应论”。“限制适应论”主张减少温室气体的排放,即减缓策略才是气候变化制度的核心内容;“自然适应论”则认为没有必要通过任何特殊的途径去学习适应,市场这只“无形之手”就可以鼓励和实现适应。以《联合国气候变化公约》为代表的早期国际气候变化制度都是深受“限制适应论”和“自然适应论”影响的产物。“现实适应论”目前刚刚兴起,认可气候变化的事实及气候变化影响的不确定性,并认为与减缓一样,适应也是一项关键和现实的响应气候变化的选择。2001 年 IPCC 第 7 次缔约方大会马拉喀什协议下发展中国家适应行动可以获得资助的 3 项资金机制的建立就是这种“现实适应论”的产物(陶蕾, 2014)。然而,从自然科学的角度看,生物本身在各自的耐受范围内即具备“趋利避害”的适应性。从个体通过调整生理过程以适应短期的天气变化,到物种通过漫长的进化以适应长期的气候变化,整个生态系统赖以存在的生命基础是可适应的(李振基等, 2004),且这种本性并不以人的视角的演变而更改。

第二节 生态系统适应气候变化的理论基础

生态系统对气候变化适应可以理解为:生态系统对温度、降水平均值、极端事件变化的忍耐和自我调整过程。虽然目前缺少适应气候变化的理论体系,但已有的相关学科理论与方法为研究适应气候变化提供了知识,可以为研究气候变化适应提供借鉴。

一、自然地理环境地域分异规律

自然地理环境地域分异规律最初是解释地球上自然地理现象分布特征的学说。地球上生物群落在环境因子的作用下,呈现有规律的分布,具有明显的地域分异特征。

太阳辐射能在地表分布不均,由低纬度地区向高纬度地区逐渐减少,在不同的气候带内又有不同的生物和土壤分布,形成了自然带沿纬向分布的规律。在同一纬度带中,受海陆分布和山脉的南北走向控制,而在大气湿度、降水等水的因素引起的自然地理特征方面表现为东西差异。在高山地区,从山麓到山顶的温度、湿度和降水随着高度的增加而变化,生物、土壤等受气候的影响也相应地有垂直分带的分布规律。

生态系统是生物和环境相互作用形成的有机整体。生物生命活动中每一生理生化过程都会受到热量条件和水分条件的影响,通过长期的自然选择,生物在形态、生理和行为等方面表现出对热量条件和水分条件的适应,热量条件和水分条件是决定某种生物分布区的重要生态因子之一,不同地区发育着与之气候特征相适应的生态系统。

二、生态系统演替理论

演替是生态学中最重要的概念之一,关于群落变化的规律性和方向性一直是生态学家争论的焦点。演替的定义有广义和狭义之分,广义上讲是指植物群落随时间变化的生态过程,狭义上讲是指在一定地段上群落由一个类型变为另一类型的质变且有顺序的演变过程。目前关于演替的理论有9个基本学说,从深层次看演替研究历史可知,主要是两种哲学观或尺度的问题。Clements 等有机体论学派把群落视为超有机体,而把演替过程视为有机体个体发育,是经过几个离散阶段发育到顶极期的有顺序的过程,是生物群落与环境相互作用导致生境变化的结果。在确定的气候背景下,群落构建是一个确定性过程,群落之间有着可分辨的边界,群落在受干扰后能够逐渐演变到原来的状态,即群落演替;在群落组分的相互作用下,演替从一个方向有规律地向另一个方向变化,演替的最后阶段是稳定的单元顶极或多元顶极。Gleason 等个体论学派认为植被是由大量植物个体组成的,植被的发展和维持是植物个体的发展和维持的后果,从而应把演替看作群落中各物种个体替代个体进行的变化过程,而群落只是一些物种的随机组合,群落之间并没有明显的界限,群落结构变化也没有明确的方向性,各物种以其独特的方式响应着环境的时空变化。后来 Odum 和 Margalef 强调群落或生态系统具有超特征,并提出了演替的一般性规律和趋势(任海等,2001)。

传统的演替理论大多是基于地带性模式的研究成果。一些学者提出了连续统一体的观点,认为植物分布仅简单地表明了单个物种对环境变化的响应。分布的显著差异是由于环境变化剧烈,物种的分布由它们对环境的适应能力来控制,导致具有相似承受能力的物种在相同的环境中形成群落。每个物种在最合适生存的环境中才能生存。由于每个物种对环境的响应不同,没有两个物种占据绝对相同的位置,这导致了物种重叠的连续统一体。这种观点更加强调了环境的作用。

目前,虽然演替理论经过了近一个世纪的发展,但其依然不完善。与许多宇宙现象和生命现象本身一样,随机作用和确定性因素相互依存,共同决定了生命和生态系统的多样性。越来越多的研究者倾向于将演替视为气候等外部环境的不确定性因素和遗传等生命内在的不确定性因素共同作用的结果(牛克昌等,2009)。

演替研究除了对生态学本身的发展意义重大外,由于其与人类社会经济活动紧密

相连,是合理利用自然资源并适应环境变化的理论基础,因此,演替理论有助于对气候变化背景下自然生态系统和人工生态系统进行有效地控制和管理,并且指导退化生态系统的恢复和重建(林勇等,2001)。

中国是农业大国,从历史上看,我国古代农业充分尊重生态系统演替的规律,强调“天人合一”,发展演化出了“三宜”原则,指因地、因时、因物制宜的耕作思想。《管子》一书中写到,“天时不祥,则有水旱;地道不宜,则有饥谨”,“五谷不宜其地,国之贫也”。贾思勰在《齐民要术》中指出:“顺天时,量地利,则用力少而成功多,任情返道,劳而无获。”中国很早就懂得根据不同土壤、地貌、气候与作物,采取不同的经营方式。2000多年前的《淮南子》一书就对“三宜”的经营思想作了系统总结,指出“水处者渔,山处者木,谷处者牧,陆处者农”,又提出用24节气指导农事活动,西汉时的《汜胜之书》明确提出:“得时之和,适地之宜,田虽薄恶,收可亩十石。”在《王祯农书》中亦有如下记载,“九州之内,田各有等,土各有差,山川阻隔,风气不同,凡物之种,各有所宜,故宜于冀兖者,不可以青徐论,宜于荆扬者,不可以雍豫拟。此圣人所谓‘分地之利’者也”(张壬午等,1996)。中国古代农业生产中气候资源光、热、水、气条件的选择,主要反映在对农时的关注和选择方面。农时季节不同,其反映的光、热、水、气等气候因子也不同。传统农业一贯重视与天争时,不违农时。《吕氏春秋·审时》中说:“凡农之道,厚(候)之为宝”,视农时为农业生产之根本保证。该书中还详细讨论了禾、黍、稻、麻、菽、麦6种主要农作物的“先时”、“后时”和“得时”的利弊,指出“先时”、“后时”对作物生长发育、结实和收获等都有不利,只有“得时”才是最佳选择。“得时”的环境,光、热、水、气等自然地理气候因子的组合对于农作物生长发育来说是最优化的(胡火金,2002)。

当前,在我国经济持续高速发展的同时,部分地区退化生态系统由于长期外来干扰的影响,其结构和各种生物依赖的生境发生了变化,导致某些物种的种群数量连锁性变化甚至消失。一些成功的生态恢复工程案例都体现了生态演替理论的指导价值:太行山低山丘陵区由于长期放牧或林木砍伐,顶极群落类型已由橡栎阔叶混交林退化为荆条灌丛和酸枣灌丛,多年的水土流失和各种生物资源过度开发使现有的群落结构和立地条件不再适于橡栎阔叶混交林生存,在这种条件下直接营造橡栎林已很难成功。生态恢复需要根据退化生态系统的现状,结合生态系统演替规律循序渐进进行。因此,原中国科学院石家庄农业现代化研究所根据生态系统演替规律和生态位理论引进了大量的经济植物材料,通过嫁接技术发展了枣树经济林,取得了较好的成效,成功加速了该地区退化生态系统的恢复(林勇等,2001)。由于长期的水质污染,太湖富营养化治理进展缓慢,近年来蓝藻持续爆发。为了避免蓝藻水华的堆积遮蔽水生植物生长所需的光照,中国科学院南京地理与湖泊研究所在太湖梅梁湾水源地设计了软围隔挡藻、鱼牧食、贝类滤食、机械除藻和絮凝除藻等措施来控制示范区内的蓝藻浓度,通过围隔、消浪、综合控藻等工程,结合水生植物的恢复,可以有效促进示范区的沉积物淤积,进一步为水生植物的生长创造条件,从而引导水体生态系统向草型湖泊转变,达到净化水质、恢复生态的目的(秦伯强等,2005)。

对于气候变化而言,地理学中的三向地带性使地形因素,特别是海拔和坡向形成

了特殊的小气候，这些小气候常常与区域大气候有较大差异。因此，气候顶极的出现或表现必须依赖于一定的条件，即基于一定的前提：稳定的区域气候条件、相对一致的地理环境、较长时间无大的干扰发生。在这样的条件下，气候顶极将出现并稳定地存在。相反，若是区域气候不稳定（如气候变化）、地理环境多变、干扰频繁发生而且范围大，则稳定的气候顶极将很难表现并长期存在（江洪等，2013）。不同气候区生态系统现存的空间分布格局代表了长时间尺度和大空间尺度进化的结果，体现了各生态系统对所在环境的长期适应过程及方向。

三、生态系统稳定性理论

生态系统稳定性自 20 世纪 50 年代初先后由植物生态学家 MacArthur（1955）和动物生态学家 Elton（1958）提出以来，许多关于稳定性的概念、方法和假设被相继提出并引起了广泛的争论（Holling, 1973；何芳良，1988；马风云，2002；柳新伟等，2004）。据统计，目前有 70 多种不同的稳定性概念，相关术语超过 40 个（Ives and Carpenter, 2007）。生态系统稳定性是一个很复杂的概念。稳定性与敏感性、阈值、恢复力密切相关。一般来说，生态系统的物种多样性越高、系统成分和营养结构越复杂、生产力越高，其稳定性就越大，对气候扰动的抵抗能力也越强，生态阈值也就越高。相反，某些自然生态系统和部分人工生态系统，由于组分单调、结构简单、稳定性较低，生态阈值也就较低（柳新伟等，2004）。

根据稳定性的一般表述，生态系统稳定性也包含两方面内容：一是生态系统因受外界干扰而产生的抵抗力；二是生态系统受到干扰后恢复到初始状态的恢复力。当生态系统受到自然、人为因素干扰超过阈值而不能通过自身调节功能消除影响时，原有的稳定性被破坏，发生演替，进而形成新的稳定性。决定一个生态系统稳定性的主要因素包括内部特征因素（如形态、结构、功能和发育阶段等）与外部胁迫因素（气候变化、水文改变和土地利用等）两大类。

从系统论的角度看，生态系统都是耗散系统，其稳定性正是通过连续不断的来自外界的负熵流来实现熵的最小化过程维持的。当生态系统从环境中不断吸取能量和物质时，系统的总熵减小，信息量增加，结构复杂性也随之而增加。当生态系统达到顶极状态时，负熵和有序性达到最大值。在自然生态系统中，来自植物光合作用的高质量、低熵产生率的能量一部分以热量形式在呼吸及其他代谢过程中耗散，另一部分则进入景观生物量中。生态系统的组织有序化和信息量将随着食物网络中结构和种类多样性的增加而增加，同时景观系统的熵产生率不断减小；对于半自然或人工生态系统，其稳定性更依赖于与外界环境永久性的能量、物质和熵交换。中度干扰促进的光合作用可以源源不断地输入负熵流，而且系统可以利用自由能增加其结构复杂性和多样性，以达到再建系统之目的，从而实现对扰动环境的主动适应。然而，如果干扰强度太大，超过了这些生态系统的自组织能力和恢复力，那么该生态系统的稳定性将崩溃，整个生态系统发生演替或者消失（邬建国，1991）。

对于气候变化，生态系统稳定性的高低都是相对而言的，它只是一个生态系统