



全球变化背景下生态气象监测、评价及预警若干问题

摘要

IPCC 发布的气候变化报告表明,全球变暖是不争的事实,中国气候变化的总体效应为弊大于利;人类必须通过共同努力,应对气候变化的负面效应。在全球变化背景下,生态系统中的生物与环境要素如何变化,相关生态现象与生态过程机制如何,生态问题及其机制如何,均需要全面监测及综合评价才可能通过构建模型、建立基准进行风险预警。这也是目前生态环境损害赔偿及维护生态稳定性的客观需要。生态要素影响并制约着区域气候特征,而特定气候也不同程度地反馈于生态过程,产生不同的生态效果,这些问题的本质就是生态气象耦合关系问题。生态气象就是在生态学及气象学交叉与融合的背景下产生的新学科,并结合相关学科及遥感等信息技术,极大地丰富了学科内涵。未来生态气象监测评估及预警将全面展开,生态科学研究与气象业务服务也将紧密融合,生态气象评估方法趋于规范化与标准化,“互联网+”理念将促进“生态物联网”与生态气象的不断创新与发展。本研究对于美丽中国及生态文明建设(ECC)具有重要现实意义。

关键词

全球变化;生态气象;气象业务服务;生态物联网;生态文明;耦合关系

中图分类号 Q14;P49

文献标志码 A

收稿日期 2018-03-09

资助项目 中科院科技先导项目(XDA2003010 1-02);国家发改委中国清洁发展机制基金(2013013);国家科技支撑计划(2012BAD16B 0305,2012BAC23B01)

作者简介

王让会,男,博士,教授,博士生导师,主要从事生态学及地理学等领域研究。rhwang@nuist.edu.cn

0 引言

全球变化背景下,地球系统出现了一系列客观现象^[1-2]。工业化以来,大气 CO₂ 浓度持续升高,导致气候变暖、冰川融化、海平面上升、灾害频发及环境劣变。在许多区域,生态系统的脆弱性加剧。如何更为科学地判定与评价生态现象与生态问题,有赖于多学科的理论研究与实践探索^[3]。

目前,人们已经从 IPCC AR4^[4] 获知,全球变暖是不争的事实,人类活动是主要驱动要素。IPCC AR5WG1 进一步关注气候变化的科学基础以及事实、归因和未来变化趋势,强调近百年全球气候变暖毋庸置疑^[5]。同时,WG2 更多地关注气候变化影响、适应和脆弱性,聚焦气候变化风险的评估与管理;WG3 则侧重于气候变化减缓、气候变化理论基础、概念框架、目标、路径及政策机制等。随着全球气候持续变暖与灾害性天气气候事件的频繁发生^[6],中国气候变化及其对生态系统的影响亦表现出了一系列复杂变化。我国科技部等《第三次气候变化国家评估报告》(2015年)指出,1909年以来,中国变暖速率高于全球平均值,沿海海平面上升高于全球平均速率,区域未来气温将继续上升。气候变化对中国影响利弊共存,总体上弊大于利^[7]。联合国于2000年启动的“千年生态系统评估计划”(MA计划),全面地开始了对不同生态系统监测、评估及预警的研究工作。大量研究表明:陆地生态系统(TES)对气候有重要的影响,TES影响着微气候、气候过程、区域气候和全球气候;自然条件及土地覆盖的人为干扰将改变气候;同时,气候也影响着 TES 类型、覆盖度及功能,气候影响 TES 的演变过程,而这在一定程度上促进了生态气象学(Ecometeorology)的发展。

在气候变化背景下,生态系统的脆弱性、稳定性、安全性出现了一系列不确定性。天气气候条件作为影响生态系统最活跃、最直接的因子,对环境保护和生态文明建设(ECC)具有重要影响。目前,ECC是贯穿于各项事业发展的关键,如何统筹“山水林田湖草系统”,实现绿色低碳发展,是可持续发展的重要问题。因此,如何运用生态科学、环境科学、大气科学、地理科学等学科的原理与方法,研究与探索气候变化原因、气候演变过程、气候变化规律、气候预估模型、未来变化情景,就成为分析不同 TES 生态特征、生态过程及生态机制的重要出发点。而上述内容很大程度上依赖于目前人们关注的生态气象学的发展。

¹ 南京信息工程大学 应用气象学院/大气环境与装备技术协同创新中心/气象灾害预报预警与评估协同创新中心/江苏省农业气象重点实验室,南京,210044

科学技术发展日新月异,全球变化研究及全球变化科学的不断完善为生态气象学提供了可供借鉴的方法与途径^[8].研究特定生态背景下的气象问题,特别是研究各类生态要素与气象要素的耦合关系,探究 TES 结构、功能及动态变化对气候的影响,如小气候效应、热岛效应、气象灾害等,是生态气象学重点考虑的问题.同时,研究气象要素与其他生态因子的关系,探讨气象要素与生态系统生产力的关系,以及气象要素特征又如何反馈或者影响 TES 则丰富与发展了生态气象学的内涵.随着学科的交叉与融合以及技术的快速发展,人们对于全球变化背景下,生态气象的内涵特征,以及监测评估及预警相关问题认识的必要性与迫切性不断加强,而学科的发展又不断促进人们对生态气象问题的深化.与此同时,生态气象服务(Ecometeorological Service, EMS)通过对生态因子的监测,研究气象条件与生态系统、环境之间的相互关系和作用机理,发布监测和评估报告,为气象行业、环保产业以及 ECC 提供科学支撑.

1 生态气象的理论基础及主要特征

开展全球变化背景下的生态气象监测、评价及预警研究,离不开生态气象学的支撑,而要系统地把握上述研究的内涵,有必要了解生态学及气象学的特征及其对生态气象学学科体系的支撑作用.

1.1 生态气象的生态学基础

生态气象学是研究生态问题的气象学分支,它有别于侧重于生态学领域的另外一种概念——气象生态(学).那么,生态学的原理与方法,以及生态学的研究对象、内容以及学科特点,就必然与生态气象学具有密切的联系,在一定程度上对生态气象学的学科结构、学科地位以及学科特色等方面,均具有重要的支撑作用.

生态学是研究生物与环境相互关系及其反馈作用的科学.生物的等级组织可以由生物大分子—基因—细胞—个体—种群—群落—生态系统—景观直到生物圈,从分子到生物圈都是生态学研究的对象,生态学基于不同的等级组织尺度,形成了一系列的生态学分支学科.与此同时,生态学涉及的环境要素及对象也非常复杂,从无机环境(岩石圈、大气圈、水圈)、生物环境(植物、动物、微生物生境)到人与人类社会环境,还包括由于人类活动所导致的环境等.这些无疑也成为生态气象学需要吸收与借鉴的重要研究方面.而生态学的诸多原理,如生态系统耦合原

理(包括子系统耦合、水汽耦合、水碳耦合、水肥耦合、水盐耦合、水热耦合等)、温室效应原理、生物地球化学循环原理(C、N、S、P 循环, SPAC, SVAT 等)、全球变化的区域响应原理(包括要素响应以及气候效应、水文效应、土壤效应、植被效应)等^[9-10],在构建生态气象学理论体系中,也具有重要的作用.而被生态学所借鉴的系统论、控制论、信息论以及非平衡自组织理论、混沌理论、耗散结构理论的原理,也拓展了生态气象学的理论研究.

生态学涉及理论研究、应用研究及工程技术研究等方面^[11-12].应用领域涉及各类行业及专业,如农业、林业、水利、交通等行业(产业生态学)以及农学、林学、土壤学、气象学、水文水资源学等专业领域,还涉及诸多复杂的生态工程,需要不同的技术配合来实现.从这个意义上而言,针对生态现象及生态问题的普遍性与复杂性,探讨其气象驱动要素及其变化规律,以及生态对气象的影响与气象对于生态的反馈效应等问题,都应属于生态气象学的范畴.

1.2 生态气象的气象学基础

同样道理,我们重点探讨的问题是与气象有关的生态问题,或者侧重生态如何影响气象的问题,而且在纷繁复杂的水、土、气、生等生态要素中,重点研究气象因子特征及其变化规律,那就必然需要进一步了解与把握气象学的科学内涵.

气象学(Meteorology)是研究大气中物理现象和物理过程及其变化规律的科学,它集中研究大气的天气情况、变化规律和天气预报.气象学包括天气学、动力气象学、气候学、大气物理学等分支学科.随着技术的发展以及应用领域的不断拓展,气象学应用日益广泛,相继出现海洋气象学、航空气象学、农业气象学、森林气象学、污染气象学等应用学科.针对气象学的方法论问题,有学者认为,气象学主要通过观测研究、理论研究、数值模式研究及实验研究等方法,探索诸多现实问题.特别要提及的是应用气象学是将气象学的原理、方法和成果应用于农业、林业、水文、航海、航空、军事、医疗等方面^[13],同各个专业学科相结合而形成的边缘性学科,可以形成诸多产业气象学分支,并在气象行业及相关行业应用与 EMS 中具有重要的地位与作用.

众所周知,气象是大气的各种物理、化学状态和现象——冷、热、干、湿、风、云、雨、雪、霜、雷、电等的统称^[14-16].据此,气象学也就是研究上述大气现象变化特征和规律的学科.而限定了“生态”背景的气象

学,理所当然地要把相关生态信息、生态现象、生态过程等与上述气象信息、气象现象、气象过程及其变化规律联系起来,分析两者之间相互影响的机制,才能更有效地把握生态气象的综合性问题,为全面理解与把握生态气象学的内涵提供又一科学支撑,促进生态气象学的完善与发展,也为生态气象监测、评价及预警提供理论指导。

2 生态气象的一般特点

如前所述,生态学和气象学作为生态气象学的重要理论支撑,无论是其学科性质、核心还是研究本质,都是有区别的,逐步发展所形成的交叉学科“Ecometeorology”,其学科内涵、学科地位、学科特点及发展趋势等问题,仍然处于研究及探索之中。生态学者、气象专家以及行业管理者与工程技术人员对其都有不同的认识。但无论如何生态气象的概念已经逐渐地被人们所关注,并且由不认同、不理解,到被赋予一系列新内涵之后,得到了更多专业人士及技术人员的逐渐认同。当然,要达到共识,特别是从生态气象学意义上得以认同,仍然需要不断地研究与探索。但目前国家应对气候变化、开展生态监测与评价、推进 ECC 及美丽中国建设的客观需求,对于促进 Ecometeorology 的发展,特别是在新时代建立具有中国特色的 Ecometeorology 学科体系无疑是一次重大机遇;而环保行业以及气象行业等对于现实环境及生态问题治理的客观需求,特别是 2018 年 1 月 1 日开始实施的生态环境损害赔偿制度,则极大地提供了生态气象学与相关行业创新发展的行业基础。

2.1 生态气象学是快速发展的一门交叉学科

生态气象学的学科发展具有一定的阶段性,生态学及气象学各自的学科体系及其学科发展,为生态气象学的形成与发展提供了重要支撑。在一定意义上而言,生态学及气象学是生态气象学最为重要的两门基础性学科。

目前,许多新学科都是在已有学科研究发展的过程中,吸收了相关学科的理念与方法,在现实应用中逐渐凝练创新而成的,生态气象学的发展也不例外。2009 年,戈登提出“Ecological Climatology”^[17]的概念,认为该学科是理解气候系统内 TES 功能的交叉学科,主要研究景观与气候之间相互影响的物理、化学和生物过程。在诸多生态要素中,气象条件作为 TES 最重要的组成部分之一,不仅影响其组成、结构

和功能,也是短时间尺度上 TES 变化最重要的驱动要素之一。有学者认为,生态气候(Ecoclimate)就是一个生境所有气候因素的综合, Ecological Climatology 是研究动植物生理生态的气候适应性,以及气候条件对动植物的地理分布影响等的学科。基于以上认识,有学者认为,生态气象学是以 TES 为中心,主要研究天气与气候过程对其结构与功能的影响及其反馈作用的科学。显然,生态气象学侧重于 TES 影响气候及被气候影响的物理、化学和生物过程的基本气候学、水文学和生态学现象及机理,探索 TES 通过生物地球化学循环过程如何成为决定气候的重要组成部分;同时,可以从不同时空尺度揭示气候与生态之间的耦合关系。

在上述认识的基础上,我们也可以认为生态气象学是应用生态学及气象学的原理与方法,研究天气气候条件与 TES 其他诸因子间相互作用关系与规律及其反馈机制的一门科学,它强调 TES 是影响气候的重要因素,气候对 TES 具有反馈效应。或者说,该学科是研究生态影响气候和气候影响生态的一门交叉科学,是气象学、生态学、环境科学等学科交叉形成的一门边缘科学,也是一门新兴的专业气象科学。

2.2 生态气象学是应用性较强的一门气象科学领域新学科

近年来,气候变化是人们所关注的最为重要的全球变化问题,而气候又与气象等密切关联。气象事务在许多国家属于政府部门或者事业性机构管理,WMO 就是协调全球范围气象与气候领域相关问题的国际性组织。从这个意义上而言,行业应用极大地促进了生态气象学的发展,而行业的发展又需要生态气象学的指导。

目前,气候变化、低碳发展、景观格局与生态过程耦合关系研究,丰富了生态气象的理论体系,而快速发展的卫星技术及信息技术,也为人们认识气象问题提供了支撑^[18]。各类生态模型(如水文模型、土壤模型、植被模型等以及 BEPS 模型、Biome-BGC 模型、FOREST-BGC 模型等)、气象模型(辐射模型、温度模型、降水模型、洪涝模型、干旱模型等)的构建及应用,成为探索气象生态规律,促进生态气象学发展的重要动力。随着数字化、网络化、智能化的快速发展,基于“智慧气象”理念的未来行业特色及应用领域还将不断地得以拓展。

3 生态气象监测评估及预警主要特点

3.1 新时代 ECC 的客观需求

目前,相关国际研究计划及国家战略力图帮助人们探索气候是否变暖、如何变暖,又如何演变的规律,以及生态安全的相关问题.

全球气候观测系统(GCOS)、国际长期生态学网络(ILTER)、生物多样性计划(DIVERSITAS)、欧亚地球科学伙伴计划(NEESPI)、国际生物气象研究(BIOMETEOROLOGY)、TES与大气过程集成研究、MA计划等,对于全面认识与保护人类赖以生存的地球,具有积极意义.同时,国家“一带一路”沿线、中国西部生态系统综合评估系统(MAWEC)、泛第三极地区、长三角、珠三角、京津冀、成渝经济区以及雄安新区快速城市化建设,对于生态气象提出了客观要求.“两个一百年”及建设“美丽中国”目标,都需要全面了解与把握全球变化的客观现实以及相关学科研究的背景,并科学制定中国的行动方案.《国家应对气候变化规划2014—2020》、乡村振兴战略以及ECC是需要长期坚持的行动纲领,这就为生态气象监测、评估及预警,以及生态气象的理论研究与行业应用,提供了新要求与新机遇,成为促进相关方面快速发展的直接动力.

3.2 监测与评估及预警主要内容

3.2.1 生态气象要素

生态气象监测、评估及预警是环环相扣、彼此紧密相关的工作.生态气象要素从不同角度有不同的特点.从要素而言,涉及地形、土壤、水文、气象、植被等;从行业而言,涉及农业、林业、交通、水利等生态及气象要素等;从天气特征及灾害类型而言,包括台风、雨涝、干旱、沙尘暴、高温、寒潮、大风、低温冷害、雪灾、冰雹、霜冻、雾霾、酸雨等^[19-20];从智慧气象需求而言,包括各类气象资源、灾害等信息获取、处理、储存与共享,以及生态气象信息化、网络化、智能化,即生态物联网(EIOT)建设等方面.它们无一例外地属于监测的范畴,在生态大数据及云计算等理念与技术指导下,可以逐步建立评价指标体系,构建评价模型,进行特征评价^[21],并进一步根据相关标准或者准则进行预警.

3.2.2 生态气象问题

生态信息与生态问题众多,从生态环境方面而言,有生态质量评价、环境风险评价(预警)、环境危机管理、生态系统服务价值(ESS)评估、生态脆弱性评价、生态健康评价(预警)、生态安全评价(预警)、

生态承载力评价、生态恢复能力评价、气象灾害预警、气象效应评价等^[22-25].从生态水文方面而言,有生态需水、生态用水、生态耗水评价估算等.从景观生态角度而言,有生态景观结构、功能、动态、尺度、过程、格局及异质性等综合监测与评价分析.从生态经济角度而言,有生态资产、生态补偿、环境损害赔偿、绿色GDP核算、能值分析等,均是至关重要的方面.上述内容均属于生态气象现象及生态问题监测、评价及预警的范畴.

一般的环境监测、评估及预警,侧重于对大气污染、水体污染及土壤污染问题的监测、分析、建模以及效应评价,揭示污染形成的驱动要素、污染演变过程、污染危害及效果,并探索环境污染的机制及控制污染的途径等.显然,这与生态气象监测、评估及预警的对象、内容及策略有明显的不同.

4 生态气象未来发展趋势

全球变化背景下,生态气象监测评估及预警问题繁多.针对理论研究与行业需求,生态气象未来将得以快速发展.

4.1 生态气象监测评估及预警全面展开

目前,生态气象顶层设计尚不到位,EMS流程尚未建立,人才队伍还不能适应业务需求,部门合作还需要探索新的机制.随着人们对生态问题的日益重视以及ECC的大力推进,各个行业都力图把参与ECC作为重要的行业创新发展切入点;同时,应对气候变化及低碳发展也使得气象与生态结合更加紧密,国家层面的顶层设计及战略谋划就显得十分重要.

生态气象学学科体系将不断完善,基础研究和技术开发协同并重.在理论指导下,生态气象监测评估及预警全面展开,并不断服务于生态建设、环境保护与国民经济及社会发展.

4.2 生态科学研究与气象业务服务紧密融合

全球变化背景下的生态问题、环境问题以及发展问题众多^[26-29],科学研究机构更多地关注生态研究、综合监测评估预警,特别是效应评估、生态足迹及水碳足迹、生态功能区划、生态红线(预警)等,这与气象部门关注生态气象的概念和内涵均有关联性,但各有不同点.为此,围绕生态气象及其服务,拓展遥感等技术应用,扩大协作与信息共享,有望逐步实现相关方面的协同创新,为行业发展提供更为有效的支撑.

随着社会的发展,大气资源开发利用服务、决策气象服务、公众气象服务以及专用气象服务,已经成为 EMS 的重要组成部分,共享着生态监测、评价及预警研究的成果.我们必须通过加强生态气象影响预报服务,重点关注气象要素及气象现象(灾害性、关键性天气等),推动 EMS 产品整合,逐步建立多元化生态气象服务体系,提高 EMS 能力与水平,才能更好地适应现代气象发展以及 ECC 的战略需求.

4.3 生态气象评估方法趋于规范化与标准化

方法论直接影响着人们对事物研究的途径及模式,无论是生态问题,还是气象问题,把握科学合理的标准化方法,对于监测、评价及预警的基准制定,以及质量评判至关重要,也成为未来生态气象研究的重要方向.

4.4 “互联网+”理念促进生态气象创新发展

在经济全球化背景下,国际间交流与合作全面拓展并得以加强,各类信息技术促进了生态监测、评估及预警的进展.特别是在“互联网+”理念下,“互联网+生态”以及“生态物联网”将得以发展,必将极大地促进生态气象学全面发展.

参考文献

References

- [1] Kirchoff C J, Esselman R, Brown D. Boundary organizations to boundary chains: prospects for advancing climate science application[J]. *Climate Risk Management*, 2015, 9(C): 20-29
- [2] 王让会. 全球变化的区域响应[M]. 北京: 气象出版社, 2008
WANG Ranghui. Regional responses to global change [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2008
- [3] Salisbury E J. Ecological aspects of meteorology[J]. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 1939, 65(281): 337-358
- [4] IPCC. Contribution of working groups I, II and III to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[R]. IPCC AR4, 2007: 104
- [5] IPCC. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[R]. IPCC AR5, 2014: 151
- [6] Mase A S, Gramig B, Prokopy L S. Climate change beliefs, risk perceptions, and adaptation behavior among midwestern U.S. crop farmers[J]. *Climate Risk Management*, 2017, 15: 8-17
- [7] 丁一汇. 中国的气候变化与气候影响研究[M]. 北京: 气象出版社, 1997
DING Yihui. China's climate change and climate impact research[M]. Beijing: China Meteorological Press, 1997
- [8] 陈怀亮. 国内外生态气象现状及其发展趋势[J]. 气象与环境科学, 2008, 31(1): 75-79
CHEN Huailiang. Domestic and overseas actualities and development trends of ecometeorology[J]. *Meteorological and Environmental Sciences*, 2008, 31(1): 75-79
- [9] Fath B D, Patten B C, Choi J S. Complementarity of ecological goal functions[J]. *Journal of Theoretical Biology*, 2001, 208(4): 493-506
- [10] Pettorelli N. Applied ecology in the 21st century[J]. *Ecology*, 2018, 99(4): 996-997
- [11] Johnson D S, Conn P B, Hooten M B, et al. Spatial occupancy models for large data sets[J]. *Ecology*, 2013, 94(4): 801-808
- [12] Dickinson J L, Zuckerberg B, Bonter D N. Citizen science as an ecological research tool: challenges and benefits[J]. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 2010, 41: 149-172
- [13] Nayak P C, Sudheer K P, Jain S K. River flow forecasting through nonlinear local approximation in a fuzzy model[J]. *Neural Computer and Application*, 2014, 25(7/8): 1951-1965
- [14] Soares M B, Dessai S. Barriers and enablers to the use of seasonal climate forecasts amongst organizations in Europe[J]. *Climatic Change*, 2016, 137(1/2): 89-103
- [15] Wolf K M, Torbert E E, Bryant D, et al. The century experiment: the first twenty years of UC Davis' Mediterranean agroecological experiment[J]. *Ecology*, 2018, 99(2): 503
- [16] Badr H S, Zaitchik B F, Guikema S D. Application of statistical models to the prediction of seasonal rainfall anomalies over the Sahel[J]. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 2014, 53(3): 614-636
- [17] 戈登·B·伯南. 生态气候学: 概念与应用[M]. 延晓冬, 毛留喜, 李朝生, 等译. 北京: 气象出版社, 2009
Gordon B Bonan. Ecological climatology: concept and applications [M]. Translated by YAN Xiaodong, MAO Liuxi, LI Chaosheng, et al. Beijing: China Meteorological Press, 2009
- [18] Pineda N, Jorba O, Jorge J, et al. Using NOAA-AVHRR and SPOT-VGT data to estimate surface parameters: application to a mesoscale meteorological model[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2002, 25(1): 129-143
- [19] Cannon D J, Brayshaw D J, Methven J, et al. Using reanalysis data to quantify extreme wind power generation statistics: a 33 year case study in Great Britain[J]. *Renewable Energy*, 2014, 75: 767-778
- [20] Dai A G. Drought under global warming: a review[J]. *Wiley Interdisciplinary Reviews Climate Change*, 2011, 2(1): 45-65
- [21] 王让会. 基于北斗导航卫星与位置服务技术的生态物联网应用模式[C]//中国卫星导航定位协会. 卫星导航定位与北斗系统应用. 北京: 测绘出版社, 2017: 96-98
WANG Ranghui. Application mode of ecological Internet of things based on Beidou navigation satellite and location service technology [C] // GNSS & LBS Association of China. Satellite navigation & positioning and Beidou system application. Beijing: China Surveying and Mapping

- Press, 2017: 96-98
- [22] May R M. Simple mathematical models with very complicated dynamics [J]. *Nature*, 1976, 261(5560): 459-467
- [23] 王让会. 生态科学研究的新进展 [J]. *南京信息工程大学学报(自然科学版)*, 2012, 4(4): 301-306
WANG Ranghui. The advance of ecological science research [J]. *Journal of Nanjing University of Information Science and Technology (Natural Science Edition)*, 2012, 4(4): 301-306
- [24] Buchholz S, Kossmann M. Visualization of summer heat intensity for different settlement types and varying surface fraction partitioning [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2015, 144: 59-64
- [25] Jay S, Jones C, Slinn P, et al. Environmental impact assessment: retrospect and prospect [J]. *Environmental Impact Assessment Review*, 2007, 27(4): 289-300
- [26] Dilling L, Daley M E, Travis W R, et al. The dynamics of vulnerability: why adapting to climate variability will not always prepare us for climate change [J]. *Wiley Interdisciplinary Reviews Climate Change*, 2015, 6(4): 413-425
- [27] Kiparsky M, Milman A, Vicuña S. Climate and water: knowledge of impacts to action on adaptation [J]. *Annual Review of Environment and Resources*, 2012, 37(1): 163-194
- [28] Kalafatis S E, Lemos M C, Lo Y J, et al. Increasing information usability for climate adaptation: the role of knowledge networks and communities of practice [J]. *Global Environmental Change*, 2015, 32: 30-39
- [29] Bedsworth L W, Hanak E. Adaptation to climate change: a review of challenges and tradeoffs in six areas [J]. *Journal of the American Planning Association*, 2010, 76(4): 477-495

Several problems in eco-meteorological monitoring, evaluation and early warning under background of global change

WANG Ranghui¹

¹ School of Applied Meteorology/Collaborative Innovation Center of Atmospheric Environment and Equipment Technology/
Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters/Jiangsu Key Laboratory of
Agricultural Meteorology, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

Abstract In the context of global change, a series of changes have taken place in the ecosystem. The IPCC's report on climate change shows that global warming is an indisputable fact that the overall effect of China's climate change is doing more harm than good. We must work together to address the negative effects of climate change. How biological and environmental elements of ecosystem change, and the relevant ecological phenomena and ecological processes, ecological problems and its mechanism, all need comprehensive monitoring and integrated evaluation, based on which the risk early-warning is possible through building models and establishing benchmarks. This is also the objective need of ecological damage compensation and ecological stability. Ecological factors influence and restrict regional climate characteristics, and the specific climate is reflected in the ecological process to varying degrees, resulting in different ecological effects. The nature of related problems naturally becomes the problem of coupling ecology with meteorology. Ecometeorology is a new subject which is produced under the background of the intersection and fusion of ecology and meteorology, and combines relevant disciplines and remote sensing information technology, which greatly enriches the subject connotation. Ecological meteorological monitoring and evaluation and early warning will be developing in the near future. Meanwhile, ecological research and the meteorological services will also be closely integrated. Furthermore, ecological meteorology evaluation methods tend to be more standardized. Especially, the "Internet+" concept will promote the continuous innovation and development in ecometeorology and the ecological "Internet of Things". This study has great practical significance for the "beautiful China" development and China's ecological civilization construction.

Key words global change; ecological meteorology; meteorological services; ecological internet of things; ecological civilization; coupling relation