

区域植被的宏观气象功能

Macroscale Meteorological Functions of Regional Vegetations

徐嵩龄

(中国社会科学院环境与发展研究中心, 北京 100732)

植被与气象的相互作用是一个古老的科学概念。普遍认为,区域植被不仅依附于特定的气象条件并对它的变化作出适应性反应,而且亦能作用于区域气象并导致其发生某种变化。前一方面内容可以称为“植被对气象的响应”,而后一方面内容可以称为“植被的气象功能”。植被气象学应当由这两部分内容组成。然而在传统生物气象学观念的影响下,在过去,前一部分研究一直占据主导地位。这一点可见证于1957年创刊的《国际生物气象学学报》长期以来论文主题的倾向性。有关区域植被宏观气象功能的研究仅散见于气象学、地理学,以及《自然》、《科学》等杂志中。原因看来不外乎两点:一是人们大多重视从直接经济价值角度研究植物和植被;二是前一方面的研究比起后一方面的研究相对容易,因为无论是野外观察还是实验室模拟,植被对气象响应的各种因果性都表现得更为直接和明显,具有较好的可观测性,而后一方面研究中的因果性往往具有较大的不定度。

区域植被的宏观气候功能自70年代以来逐步受到关注是与以下事实紧密相关的,即植被对地球生物圈至关重要的保护和支撑价值正日益广泛地被人类所认识和接受。特别是,当代人类从全球环境变化中越来越意识到这样一对不断发展着的现象:一方面地球上愈来愈多的植被因人类的开发活动而遭到大面积破坏;另一方面地球上一些与气象有关的灾变(如区域性干旱、荒漠化、厄尔尼诺现象等)也发生频仍。这样,科学界不能不由此思考,在影响气象的诸多错综复杂的因果链中,它与植被变化有无某些内在的相关性?如果答案是肯定的,那么人类能否通过科学地设计人工植被重建工程以达到改善区域气候的目的?对这些问题的回答只能来自对植被宏观气象功能的研究。

一、三种尺度植被,三种气象功能

植被的气象功能可以根据三种不同的空间尺

度加以描述。

小尺度植被的气象功能,如农田防护网的阻风作用及其保护带内的区域气象效应,林间和田间的微气候变化等。小尺度植被的气象功能基本上发生于近邻植株的空间。它对外部气象环境变化的响应较快,因而具有明显的可观测性。

区域性尺度的植被,通常指大面积森林、灌丛或草原。它们的存在既决定着一个区域的景观格局,又影响着该区域的水热条件,从而导致区域气象的可能变异。科学界对区域植被影响气象的机制大体认同,但对这些机制综合作用的实际效果则有分歧。森林气象学和森林水文学中长期论争的森林—降水—水资源的关系,即森林会增加降水,增加水资源量,抑或是会减少降水,减少水资源量,就是一个著名的例证。另外,在一定条件下(如植被面积相当大,或它的地理位置具有独特的气象重要性),区域植被可能产生跨区域的气象影响。科学界曾讨论过撒哈拉古植被的消失和美索不达利亚古植被变化对地中海和中亚地区的气候影响,以及亚马逊河流域热带雨林的消失可能引起的洲际气候变化。这意味着区域植被的气象影响可能超越植被所在区域本身。一般来说,由于区域植被的变化较慢,并且影响区域气象的因素更复杂,所以区域植被的气象功能对外部气象环境变化的响应远比小尺度植被为缓,且具有较大的不定性。这样,它的可观测性也相应困难,对于跨区域的气象效应难度更大些。

全球性尺度的植被气象功能表现为植被对温室气体和它们的生物地球化学循环,以及可能诱导的温室效应等方面的影响。植被既是释放温室气体之源,又是吸收温室气体之汇。由于大气环流的作用,植被的温室气体收支状况不可能仅产生局域性气象行为,它会归总表现为对全球温室气体平衡和分布的影响,以及最终对全球性温室效应的影响。它的可观测性需在几十年或上百年时间尺度上才能反映,而且,对其内在的因果性的确认甚至需要借助地质史尺度上的历史资料作为佐证。

对于上述三种功能,可以把小尺度的研究称为植被的微气象功能研究,而把后两种尺度的研究称为植被的宏观气象功能研究。植被的微气象功能研究得最早、最全面、最充分,其结论得到科学界普遍认可,并已在人类的实践活动中发挥指导作用。然而,对于植被的宏观气象功能,由于观测困难,导致了认证过程的困难,所以至今不能认为是充分的、精确的和全面的。在有的问题上,或许有倾向性大体一致的结论,但对机理的阐述仍有争议;在有的问题上,甚至连倾向性一致的结论也难达到。

现在,温室效应已成为全球环境变化研究的热点。精心设计的全球观测网络正对影响温室效应的诸元(包括植被系统)进行着周密的监测。全球性尺度的植被气象功能可望通过这一相当完善的数据系统得到验证和说明。鉴于此,本文把研究视角集中在区域性尺度植被的宏观气象功能。这至今仍是尚未得到应有重视,但对改善区域生态环境具有巨大的潜在重要性的问题。

二、区域植被影响气象的机制

区域植被是通过三条途径实现其宏观气象功能的。一是区域植被的地貌效应,二是植被与大气之间的水输运效应,三是植被与大气之间的能量输运效应。这些效应影响着植被与大气作用的边界层,进而影响着区域上空大气气流的运动方式和水热特征。

区域植被的地貌效应是指由于植被覆盖而形成的地貌变化。一是它改变了地表与大气之间接触面的高度和格局;二是它使这一接触面由原先的坚实致密的“硬界面”变为疏松的富有弹性的“软界面”。这些变化尤其后一种变化,使植被对其上空风场的影响比裸地为大,使近地大气运动更湍流化。

植被与大气之间的水输运效应可以通过与裸地的比较来说明。当水交换发生于裸地与大气之间时,在雨季,水蒸腾或许可以达到很高的强度,但在旱季,水蒸腾量则很低。然而,当水交换发生于植被与大气之间时,由于植被—土壤系统有着比裸地高得多的持水能力,所以它的水蒸腾的季节性波动比裸地要小,并在总体上保持着较高的强度。在年降水量相同的条件下,植被的年蒸腾总量比裸地大得多。后者会产生较大的地表径流而形成水流失。

植被与大气之间的能量输运效应表现为四个方面:植被在光合—呼吸过程中的能量收支,植被系统在水蒸腾过程中的能量损耗,植被的存在减少了地表对太阳辐射能的反射率,植被对大气湿度的影响也改变了整个区域的热容量。四个方面可统一地表为对反射率的影响。它们使植被与大气之间的能量输运强度远比裸地为大。

植被的这三种效应可以通过它们对植被上空的风速梯度场、湍流场、湿度场和温度场的影响来表现。现有国内外观测性研究都证明,区域植被对其上空一定高度下的大气有着增温、增湿、减弱风速和增强湍流化的作用。然而,这些观测结果尚未表现为理论形式。为形成说明区域植被影响气象的机制的理论,仍有若干重要问题亟待解决。

第一,观测数据应具有区域性比较意义。它应当建立在地理气象背景相似、区域面积相仿的条件下植被区与非植被区(如裸地)对比,或不同类型植被区(如森林与草原)对比的基础之上,而不能是森林与林中空地或林带与林带外缘的对比。这样数据才能真正表现区域植被的实际气象影响,才能具有广泛可比性,并便于进行规范的数学物理处理。

第二,对三种效应可以产生三种不同的作用高度。在一定意义上,作用高度的大小直接表明植被对区域气象干预能力的强弱。由于区域植被的三种效应在实际过程中不是独立地而是相互交织地发挥作用的,水输运过程和能量输运过程尤为如此。三种效应产生的复合性影响必然要在作用高度上反映出来。现有的观测资料尚不能说明它是怎样地增强或削减作用高度的。

第三,植被面积在说明植被对区域气象的影响时有关键性意义。现有的观测性研究中,植被面积尺度嫌小(多为10平方公里级)。理论上,植被面积对作用高度的影响,如同防风林带的树高对风速削弱区宽度的影响一样,作用高度应当是植被面积的某种函数(或许是对数型函数)。当植被面积增大(由10平方公里级增为100平方公里或1000平方公里级)时,其作用高度将相应增大。并可以预期:

1. 反映水输运效应和能量输运效应的作用高度将越来越超过反映地貌效应的作用高度。这就是说,对于大面积植被,它的水热效应在影响气象上起主要作用。

2. 大面积植被上空的作用高度应呈拱形或偏拱形(如在风场作用下)分布,即自植被边缘至植被中心,作用高度会逐渐上升。

有鉴于此,现有的观测结果很可能就是对区域植被的宏观效应的偏低估计。如果上述问题能在规范化、精确化和数学化方面取得相当进展,那么区域植被宏观气象功能的理论研究将有一个良好的实验基础。

三、森林与降水

植被—降水—水资源的关系,是区域植被宏观气象功能研究中最具科学吸引力和挑战性,也最重要应用价值的课题。植被包括森林、灌丛和草原,其中以森林的气象功能最为典型。森林—降水—水

资源的关系可以分为两个方面:森林对降水的影响和森林对水资源的影响。对于后者,森林生态系统改变了降水在陆地上的输运模式,因而在较大的降水强度时,它有助于增加水资源的可调控量。然而对于前者,尚未形成统一的结论。

在气象学上,有三种类型降水,即地形降水,对流降水和气旋降水。另外,根据说明降水机制的Bergron-Findeisen理论和碰撞理论,一个降水过程的形成需要区域上空的大气具备若干条件:一要有足够数量的冻核,二要有一定数量的水汽,三要有合适的云层结构和恰当的气流运动方式。这样,对于森林与降水的关系,并且面对大量的并非一致的观察和统计资料,人们需要厘清的问题是:前面论述的区域植被的三种效应是有助、或无助、或妨碍降水的形成?如果森林对降水有正面影响,那么这种影响的主要机制是什么?如何理解森林与降水关系的观测资料中的不定性?

首先,研究表明,森林生态系统是一个重要的冻核之源。由于细菌的作用,由生物凋落物微尘和花粉等构成的生物质气溶胶(biogenic aerosols)能在 $-2\sim-5^{\circ}\text{C}$ 下形成冻核,而一般由无机尘埃构成的冻核则需在 $-15\sim-25^{\circ}\text{C}$ 时形成。显然,森林与裸地相比,是一个有利于冻核形成的因素。其次,观察表明,在陆地降水中,约30%来自海洋的水汽,约70%来自陆地自身的蒸腾量。而在同一地理气象区,森林的年蒸腾强度远超过裸地和其它植被(如常绿林的年蒸腾强度超过草地10~15%)。可见,森林的蒸腾作用是大气降水的重要水源因素;第三,森林对地表景观的改变和对地—气之间热量输运的影响,强化了大气对流运动和湍流化。这两者都有助于促进云层的碰撞过程。因此,森林及其三种效应对降水形成应当是有益的。具体地说,森林是增强地形降水的因素,是增强对流降水的因素。森林对气旋型降水,虽还不能肯定有多大程度的增强作用,但可以确定地说,不会是一个破坏因素。

森林对对流降水的影响,应是森林—降水关系研究中最核心的内容。然而,无论是肯定这一机制还是否定这一机制,至今在理论上和实验上的进展都是有限的。本文试图根据区域性陆地—大气之间的水平衡概念,较为具体地提出这一机制的主要论点,以便为建立说明这一机制的理论和进行实验性验证提供一个概念性构架。

1. 一个区域的地—气水平衡关系,可以不失一般性地表为:

$$\text{对大气: } W_{in}^a + W_{ev} = W_{ou}^a + W_{pr}$$

$$\text{对大地: } W_{in}^g + W_{pr} = W_{ou}^g + W_{ev}$$

式中, W_{in}^a 和 W_{ou}^a 表示这一区域大气中水汽的年输入量和年输出量(上标a表大气,下标in和ou分别表输入和输出); W_{in}^g 和 W_{ou}^g 表示这一区域陆地的年来

水量和年出水量(上标g表陆地,余同上); W_{pr} 和 W_{ev} 表示这一区域的年降水量和年蒸腾量(下标pr和ev分别表降水和蒸腾)。由上式,可以假说性地提出森林—降水关系中的两种平衡:降水与蒸腾的平衡,以及径流输出与水汽输出的平衡。

2. 降水与蒸腾的平衡:在有林区域与无林区域的边界条件(W_{in}^a 、 W_{in}^g 、 W_{ou}^a 、 W_{ou}^g)相同的情况下*,有林区域的降水和水蒸腾量都大于无林区域,然而它们的这二项之差则相同。即

$$W_{pr}^f > W_{pr}^n, W_{ev}^f > W_{ev}^n$$

$$\text{且 } W_{pr}^f - W_{ev}^f = W_{pr}^n - W_{ev}^n$$

式中上标f为有林区域,n为无林区域。所谓“森林增加降水”实际是指这种平衡。

3. 径流输出与水汽输出的平衡:在有林区域与无林区域的输入条件(W_{in}^a 和 W_{in}^g)相同的情况下**,且在大强度降水后,无林地区的出水量大于有林地区,而有林地区持水量、持水时间以及最终转化成成的水汽输出量则大于无林地区。然而,它们的这二项之和则是相同的。即

$$W_{ou}^{a,n} > W_{ou}^{a,f}, W_{ou}^{g,n} > W_{ou}^{g,f}$$

$$\text{且 } W_{ou}^{a,n} + W_{ou}^{g,n} = W_{ou}^{a,f} + W_{ou}^{g,f}$$

这意味着森林的作用在于将无林地区过量的径流输出转化为有林地区过量的水汽输出。前者易导致下游方向的洪水,而后者则为水汽输出方向创造更好的降水条件。所谓的“森林水文效应”和“跨区域气象效应”,是指这种平衡。

4. 如果降水—蒸腾平衡成立,那么区域植被与气候之间有可能形成正反馈关系,即可以通过植被类型和格局的逐步更新,将区域气候引导到可能允许的最佳状态。如果径流输出—水汽输出平衡也成立,那么它们将共同构成促使干旱化和荒漠化地区逆转的有效的内外因素。

值得重视的是上述两个假说性平衡发生的具体条件。现有的关于森林与降水关系的观测资料表现出各种不定性。案例之间在结论上的不定性,说明它们受背景条件和现实条件差异的影响。这恰好说明论点成立的条件性。科学发展的进程总是这样,所谓的不定性只是标志人们对现象认识尚处于朴素的初级阶段。通过对影响不定性的各种因素及因素之间的相互作用(即条件性)的研究,所谓的不定性将逐步消失。这种关于条件性的研究,实质是一种机理研究。这正是目前森林—降水关系研究所企盼的。

四、检验方法

对于森林与降水的关系,有两类检验方法:一

* 数学推导过程表明,这一条件可以放宽为边界的净总通量相同。

** 这一条件可以放宽为净输入总量相同

类是观测法,一类是模型法。

尽管观察资料有着相当的不定性,但国内外观测结果都肯定了森林的地形降水效果和二次降水效果(年增水约1~3%)。然而,由中国林业部组织的对祁连山大尺度林区多年观察结果表明,森林增水约达100毫米左右。这一影响实际反映了森林对对流降水的影响。然而,总的说来,国内外对这样的大尺度长时期的观察报道尚不多见。

在模型法中,一种是立足于大气动力学理论进行模拟分析。比较引人注意的有美国苏拉(J. Shukla)和明茨(Y. Mintz)在80年代初的工作。他们利用戈达德大气实验室(GLAS)的环流模型,分别在两种地球表面(一是有植被覆盖,一是无植被覆盖)蒸腾率的假设条件下计算对地球6月15日至8月15日期间气候的影响。结果表明,所产生的降水、气温、气压分布的差异十分明显,并且其特征与概念性估测相似。此前,加州劳伦斯-利弗莫尔实验室的波特(G. L. Potter)等人等利用统计型动态模型对撒哈拉沙漠化和热带雨林消失的综合气象效应进行模拟。结论是,对全球气象影响很小,其中全球降水水汽仅减少1.6%。然而,这一结论的倾向性仍与概念性估测相同。另外,中国气象学家近年来也开始这方面的工作,如罗哲贤等以二维模型肯定了植被带宽度对区域环流和温度场的影响。上述模拟中的前二种表现的是全球植被或典型区域植被的变化对全球气候的影响,因此严格地说,都不能恰当地反映区域植被的区域气象功能。第三种虽然论题合适,但模拟的深度尚不够。一般来说,模拟的优点在于它以阐述气象作用机制的物理理论为依据,因而具有有说服力的逻辑结构。然而,这一模拟的成功与否取决于对这一机制的理解深度和表达的完善性。这方面的困难大概是至今尚未出现直接讨论区域植被对区域气象影响的模拟的一个原因。

模型法中另一项颇有创意的研究是中国社会科学院的计量经济学家王宏昌的工作。他的思路是,先使中国现有的可植林面积皆成为林地,再使由林地产生的蒸腾量全部用于中国境内的降水分配。据此,他计算出中国的总降水量将提高9.9%,而降水分布更有利于改善中国干旱地区的气候状况(如华北增雨20%,黄土高原增雨16%,其余西北地区增雨10.2%)。尽管这一工作的模型结构、假设条件和所用参数使其结论不乏商榷之处,然而这一工作有着启发性意义。

其实,森林—降水关系的验证,可以建立在历年的气象、水文资料和区域地—气水平衡关系的基础上。如以中国为例,其做法是,先根据气象、水文和植被地理特点,将中国划分为若干数目的区域;再对每一个区域建立地—气水平衡关系的统计模型,从而确认 $W_m^a, W_n^a, W_p, W_{ev}, W_{so}^a, W_{su}^a$;最后利用各

区域陆地和大气的水输运特征量从空间和时间两个角度全面检验森林(或植被)与降水的相关性,并进一步确认那些具有相关性的区域和那些不具有相关性的区域的具体气象、植被和地理特征。这样,我们可能对如下问题获得初步然而不是系统的答案。

1. 森林(或植被)是否具有增雨功能?具体地说,在我国哪些地区具有这一功能?这些地区的气象和植被的特征如何?

2. 森林(或植被)是否具有增强水汽输运的功能?在我国哪些地区具有这一功能?这些地区的气象和植被特征如何?

3. 森林(或植被)与气候之间是否存在某种正反馈?具体地说,在我国哪些地区尚存在进一步改善植被—气象系统的潜力?哪些地区已达到极限?

4. 根据区域植被与气象的各种相关性,估测我国各类植被在不同气象条件下的气象作用高度。

这些基于对实测数据的统计分析的答案,将不仅对建立说明植被宏观气象功能机制的理论起引导作用并具有理论验证价值,而且还能对我们的以改善区域气候为目的的植被工程有重大实践指导意义。

五、植被—气候工程:需要解决哪些问题

确认区域植被的宏观气象功能的目的,在于用来指导以植被方式改善区域气候。这项工作可以称为植被—气候工程。其实,它并不是一种新的思想和概念。人类历来在大面积重建植被时都怀有改善气候的愿望,只是这些愿望未能在植被重建工程的设计中得到明确和科学的表达。本质上,人工重建的植被应成为自然生态系统的一个组成部分。根据全球生态状况,它应具有由简单到复杂的一系列功能:林业经济功能,防风沙功能,水土保持功能,改善气候功能和重建生物多样性功能。就目前人类在实现这些目标方面的知识而言,对林业经济功能比较成熟,对防风沙功能和水土保持功能也取得显著进展,唯有对改善气候功能和重建生物多样性功能较为陌生,其中尤以改善气候为最。因此,迫切需要发展关于植被—气候工程的理论和方法。

发展植被—气候工程的理论和方法,不仅包括常规的关于植被重建的生态学课题(如区域气候变化史与区域植被变化史之间的相关性,被破坏的区域植被沿历史轨迹进行逆序恢复的条件,在不可能逆序恢复时寻找和创造重建植被的其它途径),而且包括处理植被与气象关系的特殊问题。如:在当地气候背景条件下,植被的气象作用高度能在多大程度上影响当地的降水机制?能否和怎样建立和开启一个具有正反馈效应的植被—气候系统,并使之

(下转第44页)

力、信息扩散能力和理解自然保护能力的程度;寿命反映了社会福利、保健措施和社会保障体系的完善程度;收入则反映了资源的分配状况和国内财富的平均水平。UNDP 认为,它在 HDI 中所使用的这三个分量是“最具决定性的分量”。换言之,持续发展就是“有长久而健康的寿命,受教育和享受相称的生活标准”。然而,一个国家人类发展尺度掩盖了各国内部不同人群之间的诸多相异性。UNDP 目前正在提炼这个基本指标,将其分解,以显示各区域、各种族的人群、女人和男人以及低收入人群和高收入人群之间差异的人类发展水平。另外,上述指标仅仅考虑了经济和社会因素,没有考虑环境因素。UNDP 已经认识到不能完全忽视环境因素,但迄今为止还没有把环境分量纳入 HDI 中。

2. 以满足人类需求为基点的持续发展指标体系

赵景柱(1992)认为,建立持续发展指标体系要从复合生态系统的角度出发,以持续发展的目标为核心,以人类需求的满足为基点,并体现持续发展的基础、途径及实现的程度。据此,他建立了包括人类基本需求、资源利用、经济发展、社会发展四大类指标在内的持续发展评价指标体系,利用赋权关联法构建了一个综合满意度函数,来反映系统整体的发展效果。该指标体系的缺点是缺少反映复合生态系统各子系统之间协调程度的指标和反映政府行为的指标。

3. PRED(人口、资源、环境、发展的英文缩写)系统持续发展指标体系

张志强(1994)认为,一定区域的人口、资源、环

境和发展问题之间相互作用、相互影响、相互制约而构成的紧密相联的统一体,可视为一个系统——区域 PRED 系统。他建立了从人口发展、资源数量与利用、生态与环境、经济发展四个截面评价区域可持续发展的指标体系。该指标体系的缺点是信息涵盖不全,因为它缺少社会发展指标。

三、持续发展评价模式评析

货币评价模式比较客观且通用性好,但也有其局限性。因为许多环境的和其它非经济影响的因素是难以定价的,不易完全纳入货币体系,这其中包括诸如人类健康、安全感、收入和财产分配中的公平程度,以及其它文化或精神方面的目标等社会价值。此外,持续发展是人类活动间的相互作用以及人类与环境间相互作用的结果,这种相互作用也很难用单一的货币体系加以描述。与货币评价模式相比,非货币评价模式的优越之处在于针对性强,处于不同空间位置、不同发展阶段的地区,可以有不同的评价指标体系。更重要的是,它把难以用货币术语描述的现象引入了环境和社会的总体结构中,在评价过程中即可标识制约系统发展的限制因子,因而更有利于持续发展战略的制定。其缺点是:(1)易出现指标间信息的重叠,或指标信息覆盖不全。(2)功能评价指标与结构评价指标不易区分。因此,在进行持续发展评价时,应将货币评价模式与非货币评价模式结合起来进行。

(责任编辑 孙立明)

(上接第 57 页)

在天然背景下逐步和谐地稳定下来?如何在宏观气候背景下确定一个区域植被—气候系统的最佳运行点?此外,还包括植被—气候工程的实施程序设计的一些问题如阶段性植被和气候目标的确立,最易诱发植被气象功能的地点的选择,植被—气候工程与其它植被功能的配合,等等。

中国现正从事着规模空前的防护林工程建设。如果能突破传统的防护林概念,全面而有区别地赋予区域性人工林地以五种功能,尤其是气候功能和生物多样性功能,那么这将为发展植被—气候工程学和生物多样性重建生态学提供极其宝贵而丰富的机会。我国有关部门应当组织森林气象学、森林水文学、大气物理学、植物地理学、植被生态学、生物多样性生态学和保护生物学等多学科专家,进行协同攻关,以期在植被—气候工程和生物多样性重建工程的理论和实践方面,取得突破。

(责任编辑 冷远猷)

(上接第 62 页)

SO₂,得不到控制,使得大部分区域成为酸雨区。随着 SO₂ 排放量继续增加,加上东南地区气象条件又适宜 SO₂ 转化为酸雨,中长期内势必愈益加剧。目前酸雨的危害已经十分严重。我国五大湖泊均分布在东南部地区,一旦这些湖泊酸化,水生生态也将遭到毁灭性破坏。华东、华中地区在防治大气中悬浮颗粒物同时,必须重点控制 SO₂ 排放量,否则会重蹈欧洲、北美当年之覆辙。

上述政策建议的核心,是坚持可持续发展观,即综合考虑社会、经济、资源与环境协调一致的效益,开发应用新技术,提高能源资源利用效率,把废物排放量减少到最低限度,积极控制农村人口增长,适时调整产业结构和布局。从而使社会经济发展不仅满足当代人民物质和文化的需要,而且对子孙后代的需求又构不成危害。坚持这条道路乃是实现 21 世纪中叶战略目标的基本保证。

(责任编辑 王宏章)