

植被与大气

——原理

〔英〕J. L. 蒙特思主编

卢其尧 江广恒 高亮之等译

农业出版社

植 被 与 大 气

——原 理

〔英〕J. L. 蒙特思主编

卢其尧 江广恒 高亮之等译

农 业 出 版 社

Vegetation and the Atmosphere
Volume 1 Principles
edited by J. L. Monteith
Academic Press (London) 1975

植 被 与 大 气
——原 理

〔英〕J. L. 蒙特恩主编
卢其尧 江广恒 高亮之等译

农业出版社出版 (北京朝内大街130号)
新华书店北京发行所发行 觅子店 印刷厂印刷

787×1092 毫米 32 开本 11.25 印张 249 千字
1985 年 3 月第 1 版 1985 年 3 月北京第 1 次印刷
印数 1—5,100 册

* 统一书号 13144·266 定价 2.30 元

内 容 简 介

本书（上卷）总结了二十多年来有关植被层的气象环境——群落微气象环境的研究成果。全书共分七章，论述了植被层中辐射、热量、水分、 CO_2 等能量与物质的输送、交换及其模式；阐述了涉及大气污染物、花粉和植物病害在植被层中传播的微粒运动问题；介绍了研究植被层微气象环境所使用的仪器。

本书对提高我国农田微气象研究的理论水平、促进农田微气象研究成果在农业生产中的实际应用以及开发新的有关研究领域，都是一本很有价值的参考书。

本书可供农业气象、气候、农业、林业、植物、地理等方面的科研、教学、生产部门的专业工作者参考。

译者前言

植物与周围环境不断进行着能量与物质交换，其间的交换强度又随外界的气象条件而有很大的变化，直接影响到植物的生长、发育、产量和产品质量。

农田微气象研究，以边界层理论和热量平衡的处理方法为基础，弄清了对农田环境形成起着重要作用的能量与物质的输送、交换的许多物理规律性。为了保护农业生产的自然环境，达到高产、稳产，对土壤—植物—大气所构成的复杂系统进行科学管理显得日益重要。因此，随着农田微气象研究重点从单纯了解近地层的气象环境转移到以土壤—植物—大气系统为对象，从能量与物质的输送、交换的角度弄清该系统的动态，阐明光合作用、蒸腾作用等植物生理机能与气象条件的相互作用，开发能对这一系统对气象条件与管理技术的反应进行预测的生物物理学模式，大多数研究者的注意力已放在揭示植被层的气象环境——群落微气象环境上。二十多年来，在这方面发表了大量的研究成果，内容也非常广泛，涉及到农业气象学、植物生理学、作物学、林学等学科范畴。所取得的研究成果大大推进了对物质基本场——植被层的微气象环境的了解，为植被层微气象环境的模拟与调控打下了坚实的理论与实验基础。

为了发展上述研究，需要不断收集农田生态系统的大量数据，并进行有目的的加工整理，因而，与此同时也对农田

微气象研究用的测量与数据处理的装置和技术进行了开发。

本书在这些方面做了很好的总结。该书共分七章，由有关的专家分章执笔。除论述植被层中辐射、热量、水分、 CO_2 等能量与物质的输送、交换及其模式以外，还专列一章阐述涉及大气污染物、花粉和植物病害在植被层中传播的微粒运动问题。最后一章专门介绍了植被层微气象环境研究所使用的仪器，虽然英国的仪器谈得较多，但因通常缺乏这方面的系统介绍，所以也是很有参考价值的。

译者相信，该书的出版，对我国农田微气象研究理论水平的提高、农田微气象学在农业生产中的实际应用以及针对我国的实际需要开发新的有关研究领域，均有所裨益，而且也有现实意义。

由于译者水平有限，译文错漏之处在所难免，敬希读者批评指正。

中译本各章的译者和校者分别见各章的文末。

最后还应该提到两点：

1. J. L. Monteith为原书各章的编写曾拟定了一套统一使用的符号，中译本因限于条件未能完全采用，但各章所用的符号是统一的。

2. 贵州农学院易家苓同志热情惠借原书，供中译本复制插图和照片，在此致以衷心感谢。

卢其尧执笔

1982年6月于南京大学

序 言

在生态学中，植被看成是植物生长着、繁殖着、为动物与人提供食物与隐蔽所，并通过截留雨水与养分再循环稳定土壤的植物群落。在地球物理学中，植被是一个把土壤与大气隔离开来的物质活动层，并且在以下两方面呈现出一个与土壤明显不同的表面：它的吸收与储藏碳的能力；以及当土壤表面完全干燥时，它向大气释放水分的能力。

研究植被与土壤条件的关系，是多世纪以来一个活跃的研究领域，而这一重要方面在农业科学中是与人造肥料的发展和利用密切联系在一起的。植被与大气状态的关系的研究进展得较慢，这可能是由于与土壤水分或养分的可用性相比，天气的变化更大，因此更难加以定量化或进行预测。在以往约25年内，已经作出了认真的努力，使天气与土壤的研究之间取得了较好的平衡。许多研究小组，已经关心到借助能量与物质交换过程来测定与分析植被与大气的相互作用。这项工作受到几个方面的推动：农业科学家渴望知道天气对产量的影响；生态学家关心生态平衡受到破坏时微气候的变化；水文学家试图估算一个集水域中土地利用与蒸发量的关系；而气象学家最近则探讨行星边界层模式的实际表面条件。

为了写出《植被与大气》一书，要求许多微气象学家与生态学家对他们学科的知识状况进行评价，并且对那些物理

学与生物学概念在实用上已经结合起来的广度进行评价。他们所提供的原始材料可分为两卷：上卷主要论述基本原理；而下卷则是作物、森林与生态系统的专题研究。上卷的第一章是一个简单的一般性介绍，它回顾和对比了生态学与微气象学的各种概念与方法。以下四章论及各种交换过程：Ross讨论了植物群落中辐射能的输送；Thom把热量、物质与动量输送看成是密切相关的过程；Rutter讨论了植被对雨水的截留以及植物从根系列叶片的水分传送；Chamberlain描述了微粒如花粉、孢子和空气动力学。第六章中Waggoner说明了怎样把前几章中建立起来的一些概念在植被生长、植被的水分利用或病害散布的数学模式中结合在一起。最后Szeicz讨论了测定作物环境及其对环境因子的反应的一些仪器的检定和使用范围。

这个学科的迅速发展，可以这样来衡量：第一卷中引用的出版物中80%以上是1955年后发表的，而60%以上是前十年发表的。近十年来的进步不象那么快，至少在辐射能、热量平衡与动量输送方面是如此。植物生态学已经达到这样一个水平，即当有关的环境因子确定时，经常有可能推导出植物器官的自然状态。但这些自然状态，例如植物分生组织的温度怎样决定分化与发育的速度与方式，则相对说来知道得很少。这是目前一个需要付出很大努力的领域：在生物学赶上物理学的发展以前，生态学家与农学家还不能从植物与大气的研究中得到充分的教益。在气象学方面，边界层模式发展面临的主要问题是低层大气中空间与时间变量要有一个满意的处理方法。当地球表面为植被覆盖时，边界条件能足够精确地用本卷作者熟悉的各种概念加以描述，例如用阻抗来表示表面的湿润度。

这两卷的单位和符号的选择，给编者提出了若干问题。首先从微气象学的严格物理学方面来看，并没有大家都同意的一套符号，更不用说在这个学科与生态学的联系方面了。鉴于有必要在各章之间取得一致，我在作者们写作前，向他们提出一份符号的清单，我很高兴得到他们的合作。我们最后的清单与我在《环境物理学原理》（Edward Arnold出版）与《动物与人的热量散失》（Butterworths出版）中所用的很接近，但并非绝对一致。这些符号尽可能选择得与实际应用的相一致，例如粗糙长度用 z_0 、密度用 ρ 。对于那些还没有建立符号的量，只要可能，我用显而易见的方法选择与这个量有关的一个字母，例如，太阳辐照用S。世界气象组织推荐以K表示太阳辐照，但至少在英文中，K与辐射之间并无文字上的联系。再说，许多年来，K已被用来表示湍流输送系数，用它表示辐射看来特别不合适。我争取少用下标与上标，并只将它们固定地放在主要符号的后面。将下标放在一个符号前面容易引起混淆，因为这样符号本身可能被当成上标。鉴于这个原因，我避免使用由国际生物学计划专门委员会（Special Committee of the International Biological Programme简称为SCIBP）的一个工作小组提供的十分广泛的清单中的若干符号。可是，许多符号在《植被与大气》以及SCIBP清单中是共用的，都是根据英国皇家学会符号委员会在“量、单位与符号”中所拟订的通用惯例。我特别力图采取这样的原则，即有明确规定范围的那些量的符号，应当尽可能以属于相同的字母、铅字与字体。

在选择一套符号中的主要问题之一是罗马字母与希腊字母的数目有限，总共50个字母，利用大写体和小写体则有100个。我将这些字母的范围扩大了，办法是使用了少量的手

写体大写字母。对于所有代表通量密度（单位时间单位面积的量）的符号都采用粗铅字。这是数学物理学中的一个通用惯例的变通办法，即所有的向量都用粗铅字表示。R. O. Slatyer在《植物—水分关系》（Academic Press出版）一书中成功地应用了这个办法，该书是这个主张的开端。

单位的选择在作者与编者之间也产生了一些争论。一般公认应当采用国际单位制（Systeme International，即SI），但人们也承认SI（千克·米·秒）的基本单位在实用中并不总是方便的。特别是在微气象学中，按每秒钟观测或报告的现象是很少的，而更适合需要的时间单位是小时与日。一个例外是瓦特（焦耳·秒⁻¹），它常是一个比每小时或每日焦耳更为适合需要的功率单位。看来对时间与其它量纲采用适合需要的单位是合适的，但在数值计算中将这些量进行综合时，必需保持清醒的头脑。作为一个折衷办法，在本书第X页的清单中*，大多数符号都有两套单位：基本的国际单位以及本书中采用的适合需要的尺度单位。所谓“适合需要的”单位是属于国际单位体系的，只有毫巴是例外，因其仍受气象学家的忠实支持，尽管现在已被Pascal代替了。

J. L. Monteith

1975年7月于塞顿波灵顿

高亮之译，江广恒、卢其尧校

* 中译本省略。

目 录

译者前言

序言

第一章 微气象学与生态学 (J. Elston 和 J. L. Monteith)	1
I. 历史	1
II. 微气象学	3
III. 生理学	5
IV. 生态学	7
V. 成就与展望	8
参考文献	13
第二章 植物群落中的辐射输送 (J. Ross)	15
I. 引言	15
II. 入射辐射	19
A. 辐照	19
B. 光谱分布	20
III. 植被的光学特性	23
IV. 植物群落的结构	27
V. 直接太阳辐射和散射太阳辐射在植物群落中的穿透	33
VI. 植物群落中的太阳总辐射	40
VII. 反射辐射	46
VIII. 植物群丛中的辐射状况	50
A. 光谱组成	50
B. 角度分布	53

C. 变化性	55
IX. 植物群丛中的长波辐射	58
X. 植物群丛中的净辐射	60
参考文献	61
第三章 植物群落动量、物质与热量的交换 (A. S. Thom)	68
I. 空气动力学方法: 作为基本过程的动量输送	68
A. 对数的风速廓线 方程式	68
B. 输送系数与阻抗	75
C. 涡动扩散率	80
II. 物质与热量输送的空气动力学处理	86
A. 完全强迫对流	86
B. 垂直温度梯度的影响	92
C. 含有表面条件的关系式	100
III. 能量平衡法	108
A. 总热能与有效能	109
B. 能量的分配	115
C. Penman综合方程式	117
参考文献	127
第四章 植被中的水分循环 (A. J. Rutter)	130
I. 引言	130
II. 截留	132
A. 过程描述	132
B. 截留损失的量	133
C. 影响截留损失的因子	135
D. 截留是“损失”吗?	141
E. 雾和霪的截留: 看不见的降水	142
III. 露	144
IV. 叶片的吸水和吐水作用	145

V. 土壤—植物—大气连续统一体	147
VI. 植被含水量的多少和变率	149
VII. 蒸腾	150
A. 叶片的结构	150
B. 气孔的习性	154
C. 蒸腾阻抗, 气孔扩散	156
D. 扩散阻抗的大小及其在蒸腾中的相互作用	160
VIII. 土壤水分及其对蒸腾的影响	165
A. 有效水分	166
B. 土壤—植物—大气连续统一体的进一步讨论	169
C. 实验证据和实际预测	172
IX. 植被下的土壤蒸发	177
参考文献	178
第五章 植物群落中的微粒运动 (A. C. Chamberlain)	188
I. 引言	188
II. 微粒物理学	189
A. 作用于微粒上的力	189
B. 终止距离	191
C. 表面碰撞	194
III. 大气中的微粒	198
A. 孢子和花粉的空气浮游散播	198
B. 飞沫的散播	201
C. 无机微粒的散播	202
IV. 微粒的沉积	205
A. 在叶和茎上的沉积	205
B. 在风洞中向植物冠层上的沉积	211
V. 在农田中的移动和沉积	216
A. 理论分析	216
B. 大田试验	225

VI. 沉积对空气传播浓度的影响	234
A. 浓度随距离的变化	234
B. 垂直梯度	238
VII. 微粒湍流沉积的推论	240
A. 孢子、花粉和微滴	240
B. 小微粒	241
C. 今后的工作	242
参考文献	243
第六章 微气象模式 (P. E. Waggoner)	249
I. 引言	249
II. 热量与水分	250
A. 单叶	251
B. 在与空气进行特定热通量和水分通量交换的土壤上方的空 气与叶丛	253
C. 在已知温度和湿度或已知热通量和水分通量的上方的空气 层与叶层	254
D. 空气、叶丛与下方土壤	261
E. 平流	262
F. 微气象模式与蒸发公式的关系	263
G. 某些用途与未解决的问题	264
III. 光合作用与二氧化碳	265
A. 单叶	265
B. 叶丛的冠层	266
C. 微气象的光合作用模式与其它测量和模式的关系	267
D. 某些用途与未解决的问题	268
IV. 其它气体的交换	270
A. 臭氧	270
B. 二氧化硫	271
V. 植物病害	272

参考文献	275
第七章 仪器及其安置 (G. Szeicz)	279
I. 仪器的一般要求和安置	279
A. 牢靠与防水	279
B. 实验场地和仪器安置	281
II. 仪器	283
A. 辐射	284
B. 气流	296
C. 温度	299
D. 湿度	308
E. 二氧化碳含量	313
F. 液态水	318
G. 其他仪器	325
III. 记录	326
A. 记录器	327
B. 数据记录器	328
参考文献	330
英汉名词对照表	334

第一章 微气象学与生态学

J. Elston 和 J. L. Monteith

(英国雷丁, 雷丁大学) (英国诺丁汉, 诺丁汉大学)

I. 历史

在植被内部, 植株生长在一起, 利用周围环境资源并对环境的状态作出反应。本书涉及植物的大气环境, 它是生物圈的一个组成部分, 从植物生态学的系统研究开始时起就强调了它的重要性。最早在1911年, 例如Kraus就注意到在靠近卡尔斯塔特的乡村中相邻两地之间的气候变化的生态影响; Clements (1916年) 则在个别物种的定居生长、发育及植被结构方面强调了天气的作用。

1939年Tansley写过:

“很遗憾, 气候虽是主要的生态综合因子, 目前还不能弄清它与植被更密切的和更详细的关系……但必须承认, 几乎还没有开始对这些关系进行认真的研究”。

经过三十多年来在田间、气候箱及实验室的研究, 现在已经可以得到关于植物对天气及土壤因子的反应的许多复杂途径的丰富知识。以Kraus为榜样, 生态学家们已经关心到“微气候”的性质, 以及植株、灌木与树木周围环境的温度、湿度、辐射以及其它各种量的时空变化。微气候学的发展可以Geiger的经典教科书《近地面的气候》一书的连续版

本中引用的出版物的数量来衡量。初版(1927)有 253 篇参考文献,第二版(1941)有 821 篇参考文献,第三版(1965)则有1218篇参考文献。

微气候研究的主要任务是描述活的有机体所处的大气状态。另一方面,微气象学是度量和分析近地面的大气状态,不管有生命存在还是不存在。微气象学的主要任务是以辐射交换、湍流扩散及土壤热传导这样一些机制来定量描述热量与物质交换过程。虽然植被性质决定许多地面以上大气的边界条件,但微气象学家却很少考虑边界的物理状态受生理因子支配的途径。1953年出版的Sutton著的《微气象学》一书,在这个领域内的评论仍然是最全面的。

虽然 Geiger 的《近地面的气候》和 Sutton 的《微气象学》包含了一般的资料,但植物环境的一些重要方面作者并未涉及。Sutton的许多方程只有当大气的低层边界是一个包括均匀的植被在内的广阔平面时才适用。即使在此限制下,Sutton关于输送过程的处理对普遍的生态分析还是太复杂了。另一方面,在Geiger的书中有的一些小气候的内容,只用表面联系很简单地加以描述而不管预测,然而在最近的20年内,由于有关植被与大气相互作用的研究,微气象学与生态学之间的中间地带至少已部分地被涉及到。这一工作的大部分都是实验性的,这是受到五十年代中为气象学使用而发展起来的仪器如净辐射表及红外气体分析器等仪器的可用性所推动。最近,由于电子计算机的应用,鼓励大批研究工作者去模拟植物的物理环境及相关联的生物学反应。

大气状态可以比较简单地用辐射平衡与能量平衡、温度、水汽、二氧化碳以及风速的各种廓线来定义与测量。尽管这些物理量是相互作用并且是连续变化的,但物理学的定