

小气候学

傅抱璞 翁笃鸣 编著
虞静明 陈万隆

气象出版社

小气候学

傅抱璞 翁笃鸣 编著
虞静明 陈万隆

气象出版社

(京) 新登字046号

内 容 简 介

本书是作者在长期教学、科研基础上,综合现代有关研究成果而编著的一本小气候学。全书共分十三章,第一章到第四章是小气候学的物理基础,主要讲述小气候形成的物理过程、影响因素及开旷平地近地层中小气候的主要特点和变化规律。第五章到第十章系统地阐述各种类型小气候的成因和特点及有关物理量的计算问题。第十一章着重介绍农田小气候的人工改造及人工防御霜冻的方法和物理基础。第十二章讲述超短期气候资料的延长和无观测地方气候要素值的推算。第十三章扼要介绍小气候的数值模拟问题。

本书可作高等院校气象与气候专业小气候学教材,也可供气象、气候、农业气象、森林气象、地理、水文以及农、林、牧业和环境保护、能源、交通等专业人员和大专院校有关专业师生参考。

小 气 候 学

傅抱璞 翁笃鸣
虞静明 陈万隆 编著

责任编辑:殷钰 终审:刘宏勋

封面设计:牛涛 责任技编:席大光 责任校对:吕影

*

气象出版社出版

(北京西郊白石桥路46号)

北京昌平环球印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行 全国各地新华书店经销

*

开本: 850×1168 1/32 印张: 20.375 字数: 526千字

1994年6月第一版 1994年6月第一次印刷

印数: 1—1200

ISBN 7-5029-1644-X/P·0661 (课)

定价: 11.50元

前 言

本书是在南京大学气象系气候专业与南京气象学院应用气象系多年教学与研科的基础上,根据四十多年来国内大量野外考察资料和部分必要的国外资料,综合现代有关研究成果而编著的一本小气候学教材,全书除绪论外共分十三章,第一章到第四章是小气候学的物理基础,主要研讨下垫面的辐射交换和水、热交换过程及计算方法、下垫面性质对各种交换过程的影响及其在小气候形成中的作用,以及近地面大气层和土壤层中的小气候特点。第五章到第十章是类型小气候,比较深入地分析探讨了地形、水体、雪被、森林、农田和城市小气候的成因、特点和时空变化及有关计算问题。第十一章人工措施的小气候效应,着重研讨密植、间套作、灌溉、防护林及塑料薄膜覆盖等人工措施的小气候效应和物理机制,以及人工防霜冻的方法和物理基础。第十二章超短期气候资料的延长和气候要素值的推算,着重论述超短期气候资料的延长、有短期观测和无观测地方气候要素值的推算及小地形影响的确定问题。第十三章中小气候数值模拟基础,着重介绍控制方程组闭合和求解方法及一些具体小气候的数值模拟问题。

参加本书编著工作的有:南京大学气象系傅抱璞(前言、绪论、第五、六、七章及第十二章)、虞静明(第一、二章和第十章)及南京气象学院翁笃鸣(第八、九章和第十一章)和陈万隆(第三、四章和第十三章)。最后由傅抱璞作全书的统编工作。

本书可作高等气象院校有关专业的小气候学教材和其它高校有关专业的教学参考书,也可供从事气象、气候、自然地理、水文气象及农业、林业、牧业、城市规划、环境保护和其它有关工作者参考。

由于我们水平有限,在内容与安排上,错误与不妥之处在所难免,欢迎大家批评指正。

绪 论

一、小气候的基本概况

通常把在较长时期内大气的统计状态或在较长时期内天气状态的综合情况称为气候，并把在较大地区范围内各地所具有的一般气候特点或带有共性的气候状况叫做大气候(Macroclimate)。但是任何一个地区的具体气候情况并不是在整个地区范围内都完全一样，而是各地由于局地相对高度、地形条件、坡地方位、土壤性质及地面被覆等不同，在近地面大气层和土壤层中可以具有与该地区的一般气候——大气候不同的自己的气候特点，例如草地温度白天比柏油马路高，而夜间比柏油马路低、城市内全年温度都比郊区高、室内温度比室外变化小、冬季朝南房间比朝北房间暖、山南冬季比山北暖、湖泊上和森林内与湖外和林外相比相对地是冬暖夏凉和昼凉夜暖等等，都是人们所能经常感受到的局部气候差异。这种在小范围内因各种局部因素影响而形成的与大气候不同的气候特点就是小气候。因此，所谓小气候就是由于下垫面条件或构造特性影响而形成的与大气候不同的小范围的气候，或由于下垫面条件不同在大气候背景下所表现的小尺度气候特点。这种小尺度的局部气候特点一般是表现在个别气象要素值或个别天气现象(例如雾、霜、雨淞和雷雨等)上，但不会改变决定于大过程(平流，锋面等)的天气特性。

有些学者，根据下垫面构造特性的广袤及其影响的铅直范围将小气候划分为微气候(microclimate)和局地气候(local climate)，并把尺度介于大气候和局地气候之间的气候称为中气候(mesoclimate)。按照吉野正敏的意见，微气候、局地气候、中气候

和大气候的水平尺度(米)分别是 10^{-2} — 10^2 , 10^2 — 10^4 , 10^3 — 2×10^5 , 2×10^5 — 5×10^7 , 而垂直尺度(米) 分别为 10^{-2} — 10^1 , 10^{-1} — 10^3 , 10^0 — 6×10^3 , 10^0 — 10^5 。我们认为这样细分气候尺度虽然表面上似乎是有一定数量标准, 但实际应用起来很难掌握, 且带有较大的主观任意性。例如, 一个水平尺度为500米的湖泊, 当水浅时其影响气候的垂直范围可能是几米到几十米, 当水深时其影响的垂直范围则可能达到几十米到一、二百米, 你说这个湖泊的气候究竟是小气候、局地气候, 还是中气候? 总不能说它有时是小气候、有时是局地气候, 有时还是中气候吧? 因此, 我们本着宜粗不宜细的划分原则, 在本书中把微气候、局地气候、以至部分中气候统称为小气候, 并统用英文“microclimate”一词来表示。

既然小气候是由下垫面条件或构造特性影响所形成的局部气候, 而愈接近下垫面的空气和土壤, 由于受下垫面影响愈大, 其小气候特点也愈显著, 随着离开下垫面愈远, 局部小气候的特点就逐渐减弱, 直到最后和该地区的大气候混同起来。在近地面大气层和土壤层中小气候的主要特点是温度、湿度和风速都具有显著的日变化和巨大的铅直梯度, 且铅直梯度也有明显的日变化。另外在下垫面局部变化较大的情况下(例如在起伏地形中、城市内以及湖岸河岸附近), 温、湿、风等气象要素还有明显的昼夜变化的水平梯度。

二、小气候学的任务及其与其它学科的关系

研究小气候的学科叫做小气候学。小气候学的主要任务是用理论与实际相结合的方法研究小气候形成的物理过程和变化规律, 确定小气候要素的数量指标, 以便人们合理利用局部气候的有利用方面, 避免其不利方面, 并找出按照人们需要的人工改造小气候的途径和有效措施, 为国民经济建设和创造人们更优越的小气候环境服务。

因为在一定下垫面条件下的小气候是通过大气和土壤中的各种物理过程而形成的，所以研究这些物理过程的大气物理学（特别是近地面大气物理学）和土壤物理学是小气候的物理基础。

小气候是在一定大气候背景下由于某些小范围的下垫面构造特性所引起的局部气候，它既有当地大气候的一般特点，又在某些方面与大气候很不一样，既与大气候存在着密切的联系，又与大气候存在很大差异。大气候与小气候的关系是共性与个性，一般与特殊、宏观与微观的关系，大气候是小气候的背景，小气候是在大气候各种具体条件下的具体表现。因此，我们在研究大气候时，除着重分析其一般情况外，应该注意还有小气候的特殊性，在研究各种下垫面的小气候时，首先必须了解当地大气候的一般特点。否则就会见林而不见树或见树而不见林，不能全面深刻地了解和揭露错综复杂的气候变化特点与规律。由此可见小气候与大气候是相辅为助的兄弟学科。

此外，地理条件，土壤特性，植物被覆与水文状况都是影响小气候的自然因素，而小气候反过来又影响土壤的形成与肥力、植物的生长和发育以及蒸发、降水和积雪等水文现象，所以小气候学与地理学、土壤学、植物学和水文学都有密切联系。

三、小气候对国民经济的意义

因为人类和各种动植物都是生活、生长在近地面大气层和靠近地面的土壤层中，各种人类活动也主要都在近地层中进行，而这里正是受下垫面影响最大、小气候特点最明显的空间范围，所以小气候与人们的生活、生产和各种国民经济建设都有密切关系，而人们也比较最容易按照自己的需要改变它（因为只要改变下垫面的性质或结构就可改变小气候），通常所谓人工改造气候，主要就是改造小气候。因此，小气候学是一门理论性和实用性很强的学科，它在许多国民经济建设和生产活动中都有重要应用价值，

其中尤以与农业、林业、畜牧业以及工程设计，城市规划、环境保护、物资贮藏、和医疗保健事业等关系最密切。例如在大农业方面如何因地制宜设计作物和果林布局，如何调节和改良田间和林中的小气候条件，使其更有利于植物的生长发育，提高单位面积产量，以及如何利用当地地形和水体特点栽培某些特殊作物或果树；在城市建设方面如何合理设计城市平面配置、主要街道走向和相对宽度，房屋建筑结构和工厂烟囱高度等；在电力建设方面如何根据各地局地气候特点合理设计架空输电线路和高耸铁塔等等，其中很多问题都与小气候有关，需要利用小气候学知识和小气候资料去解决。所谓应用气候，其中很多实际上就是小气候在一些具体问题的具体应用。下面我们略举几个例子，足以看出小气候在国民经济建设中的重要意义：

1) 我国华南地区按其大气候来说是属于亚热带区，一般不能生长热带植物，但现在很多地方利用局部地形气候特点结合一些小气候人工改造措施成功地种植了诸如橡胶、咖啡、芒果等热带作物，增加了我国热带植物资源。我国华北地区一般一年只一熟或二年三熟，但采取套间作后可增至一年二熟三熟或更多，大大提高了农田复种指数，增加了农业产量，提高了土地和气候资源的利用率。又如我国长江中下游地区冬季低温易使柑桔受冻，然而各地利用大水体沿岸及湖岛、海岛发展柑桔，取得了明显的经济效益。至于利用塑料大棚栽种瓜果蔬菜，营造防护林保护农田，则是人所共知的具有明显经济效益的人工改造小气候的有效措施。

2) 武汉钢铁公司原来根据大气候资料，厂房设计的风压是按 60公斤/米^2 计算，后来根据当地小气候情况，经过仔细研究，将设计风压改为 30公斤/米^2 ，仅这一项在武汉钢铁厂的基建投资中就节省了3700多万元。

3) 新安江电厂的高压输电线路从电厂到杭州约300公里，原来电厂按照一般大气候的风速资料搞了一个设计方案，后来浙江省气象局根据山区小气候特点，建设把原方案中的设计风速减少

5米/秒,结果也使这项工程的总投资节省了50万元。

四、小气候学的发展概况

人类自发地应用小气候远比自觉地认识小气候早得多。远在原始人,出自求生的本能,就自发地利用树叶、兽皮遮裹身体来调节人体小气候,利用可以避免雨、露、风、霜,具有与外界大气候不同的较好的局部小气候环境的巢穴作为栖身居住之地。以后进而穿衣盖被、营造房屋,也是自发地在避免外界大气候的剧烈变化,创造自己更好的比较稳定的适宜的小气候环境。但是人类自觉地认识和研究小气候,则为期较晚,大概在19世纪前半期或者更早一些人们已自觉地注意地表附近的气候特点以及地形、植物和水体对气候的影响,到19世纪后半期才开始对近地面大气层中的小气候进行有系统的研究。这时俄国地理学家和气候学家А.И.Воейков(沃耶伊科夫)总结许多实际观测资料,得出作用面的概念及地形对温度振幅影响的规律,并对近地大气层中温度层结的特点、雪被和植被对气候形成的作用有所认识。德国学者G.Kraus(克乐斯)和芬兰学者T.Homen(荷孟)首先注意到土壤条件对局地气候的影响,并且前者在1911年出版了《小范围内的土壤与气候》一书。同时俄国学者В.Дукуцаев、杜库查耶夫、Г.А.Люболовский(柳鲍拉夫斯基)和В.Н.Оболенский(奥鲍林斯基)等人进行了一系列森林小气候的研究工作。

从20世纪20年代开始,由于生产发展的需要,小气候的研究在许多国家得到广泛发展,特别是在德国、奥地利和前苏联所做的工作最多,起初比较着重于森林小气候、农田小气候和林带小气候效应的研究,以后逐渐发展到地形小气候、水域小气候、城市小气候及其它各种类型小气候的研究,进而发展到对近地层大气物理和土壤物理的研究。1930年德国R.Geiger(盖格尔)完成了世界上最早的一本小气候专著《近地层的气候》,包含了有关低层大

气的大量材料,对各种类型小气候作了概括的叙述。1945年T.B Franklin (弗兰克林)所著《小地区的气候》一书提供了关于自然形成和遮蔽处所小气候的资料,1949年Д.А.Лапхатман (拉依赫曼)和А.Ф.Цудновский(楚德诺夫斯基)完成了第一本《近地面大气物理学》专著,书中比较注意探讨近地层气象的物理过程以及确定其可能变化的定量指标。1950年С.А.Саножникова(萨波日尼科娃)的综合性专著《小气候与局地气候》总结了前苏联小气候的研究成果。1953年O.G.Sutton(萨顿)的专著《微气象学》系统而扼要地阐述了近地层大气物理的各个重要方面,包括了当时很多科学成就,不但有充分的理论发挥,也在一定程度上注意到理论联系实际的问题。1956年P.A.克拉兹(Krazer)第一次发表了《城市气候》专著,总结了除前苏联以外新旧世界城市小气候的许多资料,他把各种城市的实际情况进行对比,并用图表加以说明,从而揭示了城市气候形成的一般规律性。以后随着观测仪器的进步,社会需要的增长和新科学技术的迅速发展,小气候学的观测研究和理论研究也愈来愈面广量多,愈来愈深入细致,愈来愈注意从定性分析走向定量计算,也愈来愈重视在生产实际中的应用,先后出版了一系列有关小气候方面的专著,特别是山地气候或地形小气候、城市气候、森林气候和水域气候研究最多。到80年代,由于电子计算机的高度发展及各种新数学方法和遥感技术的引入,小气候的观测和资料处理方法已开始有了革命性的转变,并开始用数学分析和数值模拟来研究小气候,把小气候学推向到一个新阶段。

我国对小气候的研究起步较晚,1954年南京大学气象系气候专业在国内第一次开设小气候学课,并建立了我国第一个小气候实验室和小气候观测场,开始系统地进行小气候研究。1956年夏,为配合中国科学院西北黄土高原水土保持综合考察,南京大学气象系与华北农业科学研究所合作,对西北地区黄土高原的不同地形、植被和各种水土保持措施的气候效应进行了国内第一

次小气候考察，并于1959年出版了我国第一本小气候专著《西北黄土高原的小气候》。接着1957—1958年冬季南京大学气象系又在南京方山进行坡地方位和地形对小气候影响的考察，获得了至今还是国内外最全面、最系统的坡地小气候资料。1959年南京大学气象系组织80余名师生到长江三峡地区的巴东、奉节、万县和涪陵选择四个河谷剖面于2、4、7月进行大规模的河谷小气候和地形小气候考察，取得了世界上至今少有的大量河谷小气候资料。次年春季又组织几十人到云南东南部进行山地小气候观测。1962年中国科学院冻土冰川研究所、新疆科学院和南京大学气象系合作，在天山乌鲁木齐河源一号冰川进行冰川消融期辐射平衡、热量平衡和冰川小气候考察，同时沿高山河谷进行了垂直剖面观测。1954—1957年中国科学院华北农业科学研究所和华南进行了系统的防护林带气象效应考察。同时还有其它很多单位在全国各地进行了农田小气候、森林和防护林小气候、城市小气候观测。通过以上这些工作发表了一系列考察报告和研究论文，并于1959年在成都召开了第一次全国森林防火和森林气象学术讨论会议。

1964年以后，由于受文化大革命的影响，我国小气候研究和其它学科一样差不多有10年之久全部都停顿下来，直到70年代后半期才进入逐渐恢复阶段，到80年代我国小气候研究又开始蓬勃发展，特别是山地气候、森林气候及湖泊与水库气候研究最多，并于1981年在南京召开了我国第一次“全国山地气候学术会”，1992年在厦门召开了我国第一次“全国城市气候学术会议”，对我国小气候学的发展起了促进作用。从1978年以来，我国不仅继续做了大量的野外气候考察（其中规模最大的是青藏高原气候考察，亚热带山区气候考察和秦岭山区气候考察），而且对小气候的资料处理方法、小气候的理论研究，小气候资源（尤其山地气候资源）的开发利用以及小气候要素值的推算方法都做了大量工作，取得了重要成果。我们已经研究出一套推算无观测地方山地气候资源的行之有效的办法，并在全中国推广应用，加快了我国农业气候区划的

进程，在一定程度上解决了在山区生产建设中缺少气候资料的困难。更可喜的是近年来我国已开始对各种类型小气候进行数值模拟，并注意理论联系实际，这对推动我国小气候学进一步向前发展无疑是很重要的。

目 录

前言

绪论	(i)
----	-------

第一章 作用面的辐射交换过程	(1)
----------------	-------

第一节 下垫面的总辐射	(1)
-------------	-------

第二节 下垫面的反射特征	(6)
--------------	-------

第三节 下垫面的有效辐射	(15)
--------------	--------

第四节 下垫面的净辐射	(26)
-------------	--------

第二章 土壤中热量交换和土壤温湿状况	(38)
--------------------	--------

第一节 土壤结构与土壤的热力特性	(38)
------------------	--------

第二节 土壤导温率的确定方法	(46)
----------------	--------

第三节 土壤热通量的确定	(56)
--------------	--------

第四节 土壤热交换的日变化和年变化	(67)
-------------------	--------

第五节 土壤的温度状况	(70)
-------------	--------

第六节 土壤湿度状况	(77)
------------	--------

第三章 近地层中热量和水汽的湍流交换	(83)
--------------------	--------

第一节 近地层中湍流的一般概念	(83)
-----------------	--------

第二节 湍流扩散的基本知识	(88)
---------------	--------

第三节 湍流交换系数及热量和水汽通量的计 算方法 (一)	(103)
---------------------------------	---------

第四节 湍流交换系数及热量和水汽通量的计 算方法 (二)	(125)
---------------------------------	---------

第五节 湍流交换系数、感热和潜热通量的某 些变化特征	(132)
-------------------------------	---------

第四章 近地层中气象要素的分布	(138)
-----------------	---------

第一节	近地层中的空气温度·····	(138)
第二节	近地层中的空气湿度·····	(153)
第三节	近地层中的风状况·····	(162)
第五章	地形小气候·····	(181)
第一节	地形对日照的影响·····	(181)
第二节	地形对辐射收支的影响·····	(197)
第三节	地形对热量收支的影响·····	(228)
第四节	地形对温度的影响·····	(233)
第五节	地形对湿度的影响·····	(242)
第六节	地形对风的影响·····	(246)
第七节	地形对降水和云雾的影响·····	(253)
第六章	水域小气候·····	(263)
第一节	水域上的辐射收支和热量收支·····	(263)
第二节	水域的温度状况·····	(271)
第三节	水域上的湿度状况·····	(277)
第四节	水域上的风状况·····	(278)
第五节	水域与周围陆地的相互影响·····	(283)
第七章	雪被小气候·····	(299)
第一节	雪被的辐射和热平衡状况·····	(299)
第二节	雪被上的空气温度和湿度·····	(307)
第三节	雪被上的风速和湍流交换·····	(310)
第四节	雪被对土壤小气候的影响·····	(312)
第八章	森林小气候·····	(318)
第一节	森林中的辐射和热平衡状况·····	(318)
第二节	林中的温度状况·····	(328)
第三节	林中湿度状况和蒸发条件·····	(333)
第四节	林中的风状况·····	(338)
第五节	森林对降水的影响·····	(339)
第六节	林中空地和林缘的小气候·····	(343)

第九章 农田小气候	(347)
第一节 太阳光能在农田植被中的传播.....	(347)
第二节 农田中的净辐射状况和热平衡状况.....	(366)
第三节 农田中的温度状况.....	(374)
第四节 农田的蒸发和湿度.....	(381)
第五节 农田中的风状况.....	(385)
第六节 农田中的二氧化碳状况.....	(392)
第十章 城市小气候	(400)
第一节 城市的空气污染.....	(400)
第二节 城市的日照和辐射.....	(421)
第三节 城市的温度状况.....	(428)
第四节 城市的湿度、云、雾和降水.....	(441)
第五节 城市的风状况.....	(444)
第十一章 人工措施的农田小气候效应	(447)
第一节 密植的农田小气候效应.....	(447)
第二节 间套作的农田小气候效应.....	(451)
第三节 灌溉的农田小气候效应.....	(470)
第四节 防护林的小气候效应.....	(479)
第五节 霜冻的防御.....	(498)
第六节 塑料薄膜覆盖的小气候效应.....	(503)
第十二章 超短期气候资料的延长与气候要素值的推算	(514)
第一节 超短期气候资料的延长.....	(515)
第二节 有短期观测地方气候要素值的推算.....	(517)
第三节 无观测地方气候要素值的推算.....	(530)
第四节 小地形影响的确定.....	(544)
第十三章 中、小气候数值模拟基础	(550)
第一节 控制方程组及其闭合和求解方法.....	(551)
第二节 作物冠层小气候的数值模拟.....	(573)

第三节	坡风与山谷风的数值模拟·····	(597)
第四节	城市热岛环流和小气候的数值模拟·····	(612)
第五节	林带和森林气候效应的数值模拟·····	(629)
主要参考书	·····	(633)

第一章 作用面的辐射交换过程

第一节 下垫面的总辐射

一、作用面和作用层

自然界有各种暴露的表面，如土壤、水体、植被和雪被表面等等。它们都具有不断吸收外来辐射和向外发射辐射的本领，从而使邻近的空气和表面下层产生各种温热变化和其他现象。于是，人们把能借辐射作用吸收和放出热量从而调节邻近空气层和表面下层物质的温度的表面称为作用面。这种吸收和放出辐射并伴随其它现象的物理过程并不只是发生在下垫面表面上，经常要涉及到下垫面一定的深度层。因此，人们就把能全部吸收射入辐射的整个深度层叫做作用层。

二、作用面和作用层吸收和放出辐射的物理过程

投射到作用面上的外来辐射量，一部分被吸收，一部分被反射掉，其余部分穿过作用面到达作用面的下面层中，直到完全被吸收为止。由于作用面的性质不同（比如岩石、土壤、水体、雪被、植被和沙漠等），外来辐射在其表面被反射、吸收和穿透的能力也不相同，且随辐射的波长而变。入射辐射，被作用面物质分子反射、吸收后，余额就透射下去，其透射能力制约着作用层的厚度。例如土壤，对于太阳短波辐射，作用层厚度只有十分之几毫米，表明太阳短波辐射到达土壤表面，除反射一部分外，几乎全部被吸收，不易穿透。土壤对长波辐射的吸收率比短波的小得多，因此长波辐射到达土壤表面穿透性强，其作用层厚度大，可达几厘米。但是对于水体，其作用层厚度短波可达几米到几十米，长波只有十分之几毫米。这是因为水分子对长波辐射吸收能力