

全国高等学校农林规划教材

农业气象学

崔学明 主编



高等教育出版社
Higher Education Press

全国高等学校农林规划教材

农业气象学

崔学明 主编

高等教育出版社

内容简介

本教材是“全国高等农林院校出版规划教材”，是为高等农林院校农学、林学、园艺、草业、植保、土壤等专业所开设的专业基础课“气象学”而编写的。

本教材主要内容包括辐射交换、温度、水分、气压和风、天气和气象灾害，气候与农业气候资源和小气候与农业小气候共七章。书中重点讲述了本学科的基本理论、基本知识以及在农业生产中的应用和一些研究方法。本教材有关气象学和农业气象学基本概念、名词附有英文注释，每章后附有复习思考题。可供农林类专业师生参考学习。

本教材配有《农业气象学观测实习指导》，供开设气象学实习课程使用。《农业气象学观测实习指导》单独装订成册附于书后，以方便使用。

图书在版编目(CIP)数据

农业气象学/崔学明主编. —北京:高等教育出版社, 2006. 8

ISBN 7-04-018981-X

I. 农... II. 崔... III. 农业科学:气象学-高等学校-教材 IV. S16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 079286 号

策划编辑 李光跃 责任编辑 田军 封面设计 张楠 责任绘图 朱静
版式设计 王莹 责任校对 王效珍 责任印制 张泽业

出版发行 高等教育出版社
社址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总机 010-58581000

经销 蓝色畅想图书发行有限公司
印刷 中国农业出版社印刷厂

开本 787×1092 1/16
印张 17.75
字数 410 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版次 2006 年 8 月第 1 版
印次 2006 年 8 月第 1 次印刷
定价 25.30 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 18981-00

编 审 人 员

主 编 崔学明

副主编 王美莲 孟 平

编 者 崔学明(内蒙古农业大学)
王美莲(内蒙古农业大学)
孟 平(中国林业科学研究所)
杨恒山(内蒙古民族大学)
姜 才(内蒙古大学)
王春乙(中国气象学会)

主 审 夏武康(内蒙古农业大学)
王春乙(中国气象学会)

前 言

本书是“全国高等农林院校出版规划教材”，是为高等农林院校农学、林学、园艺、草业、植保、土壤等农、林类、环境资源类专业所开设的气象学课程而编写的。气象学是植物学、土壤学的后续课，属于专业基础课程。在农、林类专业基础课中占有相当重要的地位，本书重点讲述与农业生产关系最为密切的辐射交换、温度、水分、气压和风、天气和气象灾害、气候与农业气候资源和小气候与农业小气候等方面的基础理论、基础知识以及在农业生产上的应用和研究方法。

随着教学改革不断强化，教材的编写以注重提高质量，加强和拓宽学科基础，加强学生能力培养，培养高素质人才为教材编写的基本定位。鉴于此，编者在编写过程中以辩证唯物主义的观点组织、编写材料，以基本理论、基本知识为主，同时与生产实际相结合，做到基础知识宽泛、内容翔实，编者还广泛参阅了近年来出版的国内外有关优秀书籍和论文，力求汲取精华，取长补短。同时，每章后均附有复习思考题，有关专业名词均附英文对照。

我国地域辽阔，各地气象条件存在很大差异，农业生产的状况也不尽相同，再加上各专业对课程教学要求和侧重点不同，因此，在使用本教材时，可根据地区特点、专业要求及课时安排做适应调整。

编写过程中，承蒙中国气象学会秘书长王春乙同志（参加部分章节编写）、内蒙古农业大学夏武康教授对教材书稿做了细心、严格的审定，提出许多中肯意见。在此特表谢忱。

本书编写分工如下：崔学明、孟平（绪论，第一章，第二章，第七章第一、二节）；王美莲（第三章第一节，第四章，第五章）；杨恒山（第六章，第七章第三节）；姜才、王春乙（第三章第二、三、四、五、六、七节）；夏武康（全书名词英文注释）。

编者水平有限，书中难免谬误、疏漏之处，敬请广大读者不吝指正。

编者

2006年3月

目 录

绪论	1	第六节 太阳辐射与农业生产	33
第一节 气象学与农业气象学	1	一、太阳辐射光谱对植物的影响	34
一、气象学及其研究领域	1	二、光照度与植物生长发育	34
二、农业气象学任务及其研究方法	2	三、光照时间与植物生长发育	35
第二节 农业气象学发展简史	4	四、光能利用率及其提高途径	36
第三节 大气的一般特性	5	第二章 温度	39
一、大气的组成成分	5	第一节 地面层与空气的热量交换方式	39
二、大气的分层	8	一、分子热传导	39
第一章 辐射交换	10	二、辐射	39
第一节 辐射的基本知识	10	三、对流	39
一、辐射的概念	10	四、平流	40
二、物体对辐射的吸收、反射和透射	11	五、乱流（湍流）	40
三、辐射的基本定律	12	六、潜热	40
第二节 日地关系和季节形成	14	第二节 土壤温度	40
一、日地关系	14	一、地表层热量平衡	40
二、太阳高度角和方位角	14	二、土壤的热力学特性	42
三、昼夜的形成与日照长短的变化	16	三、土壤中热量的传递	44
四、二十四节气	18	四、土壤温度的日、年变化	45
第三节 太阳辐射	19	五、土壤温度的垂直分布类型	47
一、大气上界的太阳辐射	19	六、土壤的冻结和解冻	47
二、太阳辐射在大气中的削弱	20	七、土温对植物的影响	48
三、决定太阳辐射在大气中削弱程度的因子	22	第三节 水层的温度	48
第四节 到达地面的太阳辐射	23	一、影响水层温度变化的因子	49
一、太阳直接辐射 (S')	24	二、水面温度的变化特点	49
二、散射辐射 (D)	25	第四节 空气温度的变化	49
三、太阳总辐射 (Q)	26	一、气温的日变化、年变化	49
四、下垫面对太阳辐射的反射	28	二、空气的绝热变化与大气稳定度	53
第五节 地面净辐射	29	第五节 温度与农业生产	55
一、地面辐射和大气的长波辐射	29	一、温度强度与农作物的生长发育	56
二、大气对长波辐射的吸收	30	二、温度变化与农业生产	57
三、地面有效辐射 (F_0)	31	三、一定温度的持续时间与农作物的生长发育	57
四、地面净辐射 (R) (地面辐射差额)	32	第三章 大气中的水分	60

第一节 空气湿度·····	60	一、单圈环流·····	96
一、大气中的水汽含量及其表示方法·····	60	二、三圈环流·····	96
二、空气湿度的变化·····	62	三、大气活动中心·····	98
三、空气湿度的垂直分布·····	63	第四节 季风和地方性风·····	98
第二节 蒸发与蒸腾·····	63	一、季风·····	98
一、水面蒸发·····	64	二、地方性风·····	99
二、土壤蒸发·····	64	第五节 风与农业生产的关系·····	102
三、植物蒸腾·····	65	一、风可以调节农田小气候状况·····	102
四、农田蒸散·····	66	二、风能传播花粉、种子·····	102
第三节 水汽的凝结·····	67	三、风害·····	102
一、水汽凝结的条件·····	67	第五章 天气和气象灾害 ·····	104
二、水汽凝结物·····	68	第一节 天气学基础·····	104
第四节 降水·····	72	一、气团和锋·····	104
一、降水的成因·····	72	二、我国主要天气系统及其表现·····	110
二、降水的表示方式·····	73	第二节 天气预报·····	113
三、降水的种类·····	73	一、天气预报的内容和时效·····	113
四、人工降水·····	75	二、天气预报方法·····	113
第五节 积雪·····	76	第三节 主要灾害性天气·····	118
第六节 水分循环和水量平衡·····	77	一、寒潮·····	118
一、水分循环·····	77	二、冰雹·····	119
二、水量平衡方程·····	78	三、台风·····	122
第七节 水分与农业·····	79	四、干热风·····	124
一、水分对农作物的影响·····	79	五、旱涝·····	126
二、作物的水分临界期和关键期·····	80	第四节 低温灾害·····	128
三、水分利用率及其提高途径·····	81	一、霜冻·····	128
第四章 气压与风 ·····	83	二、冷害·····	131
第一节 气压·····	83	三、冻害·····	132
一、气压及其单位·····	83	第五节 高温热害·····	133
二、气压随高度的变化·····	83	一、高温害·····	133
三、气压随时间的变化·····	85	二、果树及林木日灼·····	133
四、气压的水平分布·····	86	第六节 大风、龙卷风、沙尘暴·····	134
五、气压系统垂直结构·····	88	一、大风·····	134
第二节 空气的水平运动——风·····	90	二、龙卷风·····	134
一、作用于空气的力·····	91	三、沙尘暴·····	135
二、自由大气中的风·····	93	第七节 草原上的黑灾、白灾·····	135
三、摩擦层中的风·····	94	一、黑灾·····	135
四、风的变化·····	95	二、白灾(雪灾)·····	136
第三节 大气环流模式概述·····	96	第八节 森林火灾·····	138

一、森林火灾的概念及其危害	138	二、历史时代气候变迁	163
二、森林火灾与气象条件的关系	138	三、近代气候变化	164
三、森林火险预报	139	第五节 农业气候资源及生产潜力	166
四、森林火灾的防御	140	一、农业气候分析	166
第六章 气候与农业气候资源	141	二、农业气候资源分析方法	167
第一节 气候形成要素	141	三、农业气候区划	168
一、太阳辐射在气候形成中的作用	141	四、农业气候生产潜力分析	170
二、大气环流在气候形成中的作用	143	第七章 小气候与农业小气候	176
三、下垫面状况对气候的影响	144	第一节 小气候形成的物理基础	176
四、人类经济活动对气候的影响	148	一、能量交换的层面	176
第二节 气候带和气候型	152	二、小气候形成的物理基础	177
一、气候带	152	第二节 不同类型小气候特征	179
二、气候型	155	一、农田小气候的一般特征	179
第三节 中国气候的基本特点	157	二、防护林带小气候	183
一、季风发达	157	三、坡地小气候	187
二、大陆性强	158	第三节 技术措施的小气候效应	189
三、温度差异大	159	一、耕作措施的小气候效应	189
四、降水复杂	161	二、栽培及管理措施的小气候效应	190
第四节 气候变迁	163	三、保护设施地的小气候效应	192
一、地质时代气候变迁	163	主要参考文献	197

绪 论

第一节 气象学与农业气象学

一、气象学及其研究领域

(一) 气象学与气象要素

地球表面被一层厚厚的大气包围着,这层气体通常称之为地球大气。在地球大气中,始终进行着辐射能的吸收和放射这一特殊的主要矛盾运动,因而造成大气内部的增热和冷却、升压和降压、蒸发和凝结等矛盾运动,这些矛盾运动统称大气物理过程。这些矛盾运动,引起了千变万化的大气物理现象:阴、晴、雨、雪、寒、暖、干、湿、风、云、雾、露、霜、雷、电、华、虹、晕等。气象学(meteorology)就是研究大气中所发生的各种物理现象和物理过程的形成原因、时空分布和变化规律的学科。

用来定性或定量地描述大气的状态和物理现象,所采用的特征量称气象要素(meteorological element)。主要的气象要素有:太阳辐射、地面和大气辐射、大气温度、湿度、气压、风、云、降水量、蒸发量、雷暴、能见度等。气象要素之间是相互联系、相互制约、相互影响的,在一定的时间地点下,反映一定的天气和气候特征。

(二) 气象学的研究领域

气象学的研究范围很广泛,随着科学技术的发展及研究与应用的不同,气象学在发展过程中形成了许多分支学科(这是学科发展的共性),主要有:天气学、气候学、大气物理学、动力气象学、应用气象学、大气探测学和人工影响天气学等。

1. 天气学

某一时间、某一地点各种气象要素综合所决定的大气状态称为天气。研究天气的形成、发生、发展的规律,并且运用这些规律预报未来天气的学科称为天气学(synoptic meteorology)。

2. 气候学

气候的概念是和天气的概念紧密相联的。气候是在太阳辐射、下垫面状况、大气环流和人类社会经济活动的影响下形成的大气的多年综合状况。大气圈、水圈、冰雪圈、陆地表面和生物圈等决定气候的形成和变化因子的统一体称为气候系统(climate system)。气候有别于天气,天气是短时间尺度(一天或数天)的大气现象和过程,气候则是长时间尺度(数年)的大气现象和过程,是多年天气的综合。包括多年大气的平均状态和极端状态。世界气象组织(World Meteorological Organization, WMO)认为,30年时段的天气平均状况具有一定的代表性,基本能反映出当地的气候特征。研究气候的特征及其形成和变化规律,综合分析评价各地气候资源及其与人类关系的学科便是气候学(climatology)。

3. 大气物理学

从物理学方面来研究大气的现象和过程及其演变规律的科学,称为大气物理学。包括大气热力学、大气动力学、大气光学及辐射学、大气声学、大气电学、云物理学、微气象学等。其中大气动力学发展较完善,形成了动力气象学。

4. 应用气象学

应用气象学是将气象学原理、方法和成果应用于人类社会经济活动的各个方面,与许多专业学科相结合而形成的边缘学科。包括农业气象学、森林气象学、畜牧气象学、水文气象学、航空气象学、海洋气象学、医疗气象学、工业及建筑气象学、污染气象学等。

二、农业气象学任务及其研究方法

(一) 农业气象学的概念

农业气象学(agrometeorology)是研究农业生产与气象条件间的相互关系及其规律,并服务于农业生产的科学。农业气象学是涉及农业和气象两个学科领域的边缘学科,研究气象条件和气候条件对农业生产对象及生产活动的影响规律,同时研究生产对象及生产活动的气象效应、生态效应和生产效率。

气象条件主要是指光、热、水、气等要素。研究农业生产对象在生长发育过程中对气象条件的要求和反应,为引种、改革种植制度、发展多种经营、提高经济效益、采取农业技术措施提供农业气象依据,保证农业生产稳产高产。

(二) 农业气象学的基本任务

农业气象学是应用科学,同时又含有相当的软科学内容。它是研究农业生产与气象条件的相互关系(互为影响),从而不断地揭示和解决农业生产中存在的气象问题和农业生产问题,用来保障农业丰产、稳产、低耗、优质、谋求农业的可持续发展。主要任务如下:

1. 农业气象基础理论的研究

重点研究农业生物生育及产量形成的农业气象理论、农业气候资源生产潜力的理论、农业小气候的调控理论、农业气象系统中物质传输与能量转化过程及其模式。

2. 农业气象情报和预报

农业气象情报包括农业气象灾害的情报和雨情、墒情、农情等情报。农业气象预报包括农用天气预报、农业气象灾害预报、作物发育期预报以及产量预报等。目前可根据资源卫星获取的作物生长状况及气象条件等资料估计大范围的某作物的产量。

3. 农业气候资源的开发利用与保护

光、热、水、气是重要的农业气候资源。各地农业气候资源分布并不均衡,且具有显著的季节与年际变化的特点,因此,人们应从合理开发、利用与保护的出发点,分析和说明一个地区农业气候资源的变化特点,为因时、因地制宜地确定生产的类型、结构、改善种植制度、调整作物布局、引种和搭配品种以及荒地的开发利用等提供科学依据。

4. 农业小气候的利用与调节

包括农田小气候、地形小气候、森林小气候、水域小气候、畜舍小气候以及各种人工影响措施的小气候效应研究,为农业小气候的调节与改良提供依据与措施。

5. 农业气象灾害规律的掌握及灾害防御

探讨各种农业气象灾害对农业生产对象的危害时期、危害指标与机制、危害规律以及各种防

御措施的气象效应与经济效益。

6. 农业气象监测

包括仪器的研制、站网设置和观测监测方法,是发展农业气象事业的基础工作。

未来气候变化对农业的影响是当今世界关注的问题,大气中 CO₂ 等温室气体的增加,引起了全球性气候变暖,对农业的影响最为直接和深远。因此,研究气候变化对我国农业尤其是对气候资源开发利用的影响与基本对策也应是农业气象学的任务。

从以上农业气象任务可以看出,农业气象学是一门应用性很强的学科,为国民经济服务(主要是为农业服务)是它的宗旨,生态效益、经济效益与社会效益是衡量其成绩的主要指标。

(三) 农业气象学的研究方法

农业气象学一方面研究农业对象即农业生物,另一方面研究对农业生物有重要意义的气象条件,所以,农业气象学研究方法必须从这两个方面实施。在平行观测(联合观测)的普遍原则指导下,经常采用下列具体方法:

1. 分期播种法

在同一地方,每隔 5 d 或 10 d 播种同一种作物,根据研究任务,可播 5~10 期,最少不少于 3 期。这样,在一年内就可获得各种不同气象条件对该作物生长发育影响的资料,经过分析即可得出该作物在各发育期对气象条件要求的数量指标。

2. 地理播种法

在气候条件不同的若干地点上,选择土壤条件尽可能相同的地段,采用相同的农业技术措施,于各地最适宜的播期,播种同一品种作物,并按照统一计划进行平行观测,这样就可可在一年内获得同一品种在若干不同气候条件下的生长发育资料,达到缩短研究年限的目的。

3. 地理分期播种法

这是将地理播种和分期播种结合起来的一种试验方法。它兼有地理播种法和分期播种法的优点,并弥补了单纯地理播种法很难取得地形、土壤、栽培技术完全一致与分期播种只在一个点上进行试验的不足,是一种比较完善的田间试验方法。20 世纪 70 年代末 80 年代初,全国杂交稻气象科研协作组在南方 13 省(市、自治区)的 17 个点上进行的“杂交水稻气候适应性的研究”,是应用地理分期播种法获得满意结果的一例。

4. 地理移置法或小气候栽种法

常用来研究作物生长发育与气象因子的关系。方法是,先将要研究的作物栽种在条件相同的地段上,待其长到一定的发育期,就将它们带土移栽到地形、方位及其他条件不同的几个地段上。选来移栽的地段应当相距较近,大气候背景相同,但在同一时间,在这些地段上,所要研究的气象因子,例如近地面最低气温和土温的强度及持续时间,都有显著差异。这样,在所有地段进地平行观测后,就能够在较短时间内,得出不同强度的低温对所研究作物的影响。在确定某些作物越冬性的农业气候指标时,经常应用这个方法。

5. 人工气候实验法

这是一种采用人工控制气象条件的试验方法。可采用人工气候室或人工气候箱模拟各种气象条件,以满足作物生长发育的需要,得出作物要求的定量指标,也可模拟极端气象条件对农作物生长发育和产量品质的影响,研究防御的气象效应;还可探索在自然情况下得不到的最优气候条件。

6. 气候分析法

把所需的农业资料和气象部门的气象观测资料进行统计分析,求得作物产量或品质与天气和气候之间的关系。

对于具体的研究项目,要根据研究目的、任务、要求的精确度和期限等来具体实施。随着科技的进步,农业气象研究方法和手段也同其他领域一样不断出新。农业气象学的观测正向着遥测化、自动化、精确化方向发展;作物气象研究突出特点是开展数值模拟和模型试验;农业气候则应用现代数学方法,使农业气候区划研究更加客观化、定量化,综合性得到了显著的提高。

第二节 农业气象学发展简史

我国劳动人民在长期的农业生产实践中积累了丰富的农业气象知识和经验。早在殷商时代,农业气象知识就开始萌芽。1936年在河南安阳出土的殷商时代甲骨卜辞中,就有许多天气现象的记载。战国时代,采用“土圭”测日影的方法,二分、二至日期的确定已相当的准确。西汉初年,二十四节气七十二候内容已初具完善。公元132年张衡发明的“相风铜乌”是世界上最早的风向器。西汉的《汜胜之书》,后魏的《齐民要术》以及明代的《农政全书》等,都把天时、气象条件放在相当重要的地位。《齐民要术》一书中把农作物的播期分为“上时”(最适播期)、“中时”(次时播期)、“下时”(不能再迟的日期)。已具有农时的概念。书中写道“凡五果花盛时遭霜则无子,常预于园中,往往贮恶草生粪,天雨新晴,北风寒彻,是夜必霜。此时放火作温少得烟气,则免于霜为矣。”这种“烟熏法”防御霜冻,至今我国农村还在使用。这些早期的农业气象知识和经验,对古代的农业发展和人类生存都起着重要的作用。

在国外,1597年意大利的伽利略发明了空气温度表以后,1735年法国的德列奥米尔提出了积温的概念。1854年俄国Д. Реутобии出版了《农业气象学》一书,1926年法国的德马东提出了干燥系数的指标,1930年苏联的谢良尼诺夫提出了水热系数,并于1937年出版了《世界农业气候手册》,1945年日本的大后美保出版了《日本作物气象的研究》,1948年美国的桑斯韦特以水分平衡为基础,用热量效应和降水的有效性为指标进行了气候分类,这些成果和专著,足以勾勒出国外农业气象学发展简史。

我国近代气象学和农业气象学的基础,是由竺可桢等老一辈学者奠定的,竺可桢在20世纪20年代创立了我国第一个气象机构,对物候学、东亚季风环流、我国气候变迁、气候区域的划分,尤其对我国气候特点与粮食作物生产的关系等做了精深的研究。新中国成立以来,我国的农业气象事业在科研、服务、教学等方面均取得了很大成就,在农业生产中发挥了一定的作用,在国际上也享有一定声誉。我国农业气象的发展大致分为以下几个时期:

新中国农业气象工作的创建时期(1958年以前)。1953年创建了全国第一个农业气象机构——华北农科所农业气象研究室。1956年中央气象局设立了农业气象业务单位并开展农业气象服务,同年全国第一个农业气象专业也于中国农业大学成立(至今已有多所农林高校设立农业气象专业,包括中国农业大学、沈阳农业大学、南京气象学院、广西农学院等),这一时期吕炯《作物引种和农业气象》(1957),《橡胶幼树和寒害问题》(1957),马世骏《昆虫活动与气象》(1957)等论著、论文都较早地提出我国的一些重要农业气象问题。

发展-调整-稳步发展时期(1959—1965年)。1959—1961年间农业气象站网不断扩大,全国

很多高等院校增加了农业气象专业,随后又进行调整。科研领域不断宽泛。这期间竺可桢发表《论我国气候的几个特点及其与粮食生产的关系》(1964),黄秉维发表《发展农业生产的途径与农业自然条件的研究》(1964,1965),殷宏章发表《小麦的群体结构与光能作用》(1959)等论文、论著,对我国农业气象研究工作有着重要的指导作用。1967—1976年间农业气象工作处于停滞时期。

新的发展时期(1977年以后)。在党的十一届三中全会后,在一系列方针政策鼓舞下,在现代化和改革开放的新形势下,农业气象工作发展很快,截至1982年底,全国开展各种农业气象预报、情报的台站达900个。这期间较大的农业气象课题研究从多方面展开,包括农业气候资源与区划;黄淮海农业开发;北方旱区农业综合开发;亚热带山区农业发展;多熟种植水稻和杂交水稻;热带作物;华北冷害;柑橘冻害、冬小麦冻害、植胶区寒害;北方小麦干热风;病虫害;产量预报;小麦遥感综合测产网络。科研领域的拓宽,国际交流的增加,卫星遥感、计算机等技术在农业气象中的普遍应用,有力地推动了农业气象工作的快速发展,取得了较好的经济和社会效益,很多科研成果得益于卫星遥感和模式技术的应用。农业气象学的研究在我国的农业发展中发挥着越来越重要的作用。

第三节 大气的一般特性

气象学是把大气作为一般物质来研究的,需要了解大气的范围、密度、组成等一般特性。

一、大气的组成成分

地球大气是由多种不同气体、水汽和固态、液态微粒组成。

(一) 干洁大气的组成

如果将大气中的水汽和固态、液态微粒除去,这样的气体称为理想的干洁空气,简称干洁空气。由地面伸展到25 km高的空气样品分析结果证明,干洁空气的主要成分是氮、氧、氩,此外还有少量二氧化碳、氢、氦、氖、氫、氙、臭氧等气体。干洁空气的成分除二氧化碳和臭氧稍有变动外,其他都是比较稳定,而且混合得相当均匀。干洁大气的组成,按容积百分比和质量百分比如表0-1所列。氮、氧和氩,约占大气总容积的99.97%,是低层大气的主要成分。二氧化碳等其他气体总共不到0.03%。而且组成干洁大气的各种气体的沸点都很低,在自然条件下永无液化的可能,所以干洁大气是永久气体。

表0-1 干洁大气的组成(25 km高度以下)

气体种类	体积分数/%	临界温度/℃	沸点温度/℃
氮气(N ₂)	78.00	-147.2	-195.0
氧气(O ₂)	20.95	-118.9	-183.1
氩气(Ar)	0.93	-122.0	-185.6
二氧化碳(CO ₂)	0.03	31.0	-78.2
臭氧(O ₃)	1.0×10 ⁻¹⁶	-5.0	-111.1
干洁空气	100	-140.7	-193.0

(二) 二氧化碳和臭氧在气象学上的意义

大气中二氧化碳主要来源于海洋和土壤中有有机质与碳酸盐的分解、矿物质燃烧以及动植物

的呼吸,这些作用都发生在大气底层,因此二氧化碳集中于大气底部 20 km 的气层内。

二氧化碳和水是绿色植物进行光合作用、制造有机物质不可缺少的原料。大气中二氧化碳浓度的增加,直接影响地面和大气的温度。由于二氧化碳等温室气体(如 CH_4 、 N_2O 、 O_3 等)强烈吸收长波辐射,同时又向外放射长波辐射,使空气和地面温度增加,具有温室效应(greenhouse effect)。

大气中二氧化碳的浓度随季节、天气、地区而变化很大,其变化与二氧化碳的产生与消耗(绿色植物的光合作用)有关。在一般情况下,冬季多,夏季少;阴天多,晴天少;城市多,农村少。由于人类活动的影响,工业化进程的加快,大气中二氧化碳含量与日俱增。据观测:大气中 CO_2 浓度 1800 年为 260~285 $\mu\text{L/L}$ 。1984 年上升至 345 $\mu\text{L/L}$ 。目前已达到 350 $\mu\text{L/L}$,大约 2025 年大气中 CO_2 浓度将上升至 425 $\mu\text{L/L}$ 。 CO_2 等温室气体浓度的增加将使气候变暖,近百年来全球平均气温升高已证明了这一点,全球气候变暖将对气候带、水资源、海平面、陆地生态系统等都会产生很大影响。

图瓦卢将成为全球第一个因海平面上升而进行全民迁移的国家

——50 年内图瓦卢九个小岛将在世界地图上永远消失

在美丽的南太平洋上镶嵌着许多风景绮丽的岛国,位于斐济以北的图瓦卢便是其中之一。图瓦卢总面积只有 26 km^2 ,总人口 1.1 万人,属于热带海洋气候,一年四季风景如画。人们将构成这个国家的九个环状珊瑚小岛称为太平洋上的“九颗闪亮明珠”。图瓦卢真的像一个世外桃源。然而,就在 2001 年 11 月 15 日,美国权威的华盛顿地球政策研究所发表了一份不仅令图瓦卢人民,也令所有关心人类命运的人闻之心焦的“讣告”:由于人类不注意保护地球环境、保持生态平衡,由此造成的温室效应导致海平面上升,太平洋岛国图瓦卢的 1.1 万国民将面临灭顶之灾。大约在 50 年以后,这个美丽的岛国将沉没于大洋之中,在世界地图上人们再也找不到这个国家的位置。惟一的解决办法就是全国大搬迁,永远离开这块他们世代居住、生活的土地。据悉,图瓦卢领导人宣布他们将放弃自己的家园,举国移民新西兰,移民从 2002 年起正式启动。图瓦卢将由此成为全球第一个因海平面上升而进行全民迁移的国家。事实上,最近三五年里,图瓦卢人民已经开始陆陆续续地告别自己的家园,有的去了美国,一些人迁往新西兰。据新西兰方面透露的数字,迄今,已有 5 000 多名图瓦卢人在新西兰安了家。

臭氧在大气中的含量很少。主要分布在 10~50 km 的气层中,形成臭氧层。另外,在城市上空,受污染的空气中也有极少量臭氧存在。大气中的臭氧对太阳辐射的紫外线部分有很强的吸收能力,这使得在 40~50 km 高度上的气温显著增高,同时也对地面生物起着保护作用。这些年来,科学家发现,高空臭氧层有不断减少趋势,在南极上空甚至出现“臭氧层空洞”,臭氧空洞其实不是真正的“洞”,而只是臭氧含量稀少的区域。臭氧空洞对地球上的生命是一种威胁,已引起人们的关注。

我国科学工作者发现青藏高原 6—9 月形成大气臭氧低值中心,拉萨地区上空臭氧总量比同纬度地区低 11%,且 1979—1991 年间臭氧总量平均年递减率达 0.35%。青藏高原上空夏季形

成的臭氧层低谷现象引起了世界关注。国际保护臭氧层专家警告:如果任其发展下去,世界屋脊的上空将继续南北两极之后,出现世界第3个臭氧层空洞,将给人类带来极大危害。

(三) 固态和液态微粒与大气污染

固态和液态微粒是低层大气的重要组成部分。微粒主要是指大气中的烟粒、尘埃、盐粒、花粉、细菌、孢子,以及水滴、冰晶等,这些大都集中在低层大气中。大气中这些微粒的增多,使空气的能见度降低;同时也使凝结核增多,对云、降水的形成起着重要的催化作用。

由于自然过程和人类活动的结果,直接或间接地把大气正常成分之外的一些物质和能量输入大气中,其数量和强度超出了大气的净化能力,以致造成伤害生物、影响人类健康的现象称大气污染(air pollution)。大气污染物中,对人类环境威胁较大的主要是煤粉尘、二氧化硫、一氧化氮、一氧化碳、碳化氢、氯化氢等。直径在 $10\ \mu\text{m}$ 以上的粉尘称落尘,直径在 $10\ \mu\text{m}$ 以下的称为飘尘。空气受到污染,对人类健康和动植物的生长发育将带来严重危害。随着工业的发展,这个问题在近代气象科学中已占有不可忽视的地位,许多工业发达国家的大气污染已成为公害。1930年比利时马斯河谷事件、1948年美国多诺拉事件、1952年英国伦敦烟雾事件、1955年日本的四日市事件、1984年印度博帕尔事件……这些大气污染事件的发生造成生命财产的严重损失。

喷毒的“妖精”

在古代传说中,有这样一个故事:有一座山洞,山洞里藏着无数珍宝,同时居住着能放出毒气的妖精。山洞的大门紧闭着,谁能找到大门的金钥匙,便可以打开大门,取出珍宝,那妖怪见到金钥匙,也会化为珠光宝气。可是,金钥匙藏在高山之巅,只有勇于攀登的人才能拿到它。倘若有人想走捷径,撬开山门,那妖精便会喷出毒气,而珍宝也会在一瞬间化为粪土……世界上并没有妖精,却有比妖精破坏力还大的污染!

我国西南某地的山峦之中蕴藏着宝贵的硫、煤资源,已探明的硫铁矿储量 $45\times 10^8\ \text{t}$,煤 $65\times 10^8\ \text{t}$ 。近几年来,乡镇、个体和联户兴办了一大批土法炼磺厂,建了1500余座土炼磺炉,撬开了这座山门。土法每炼1t硫磺,就要排放 $10\ 000\ \text{m}^3$ 的有害气体,其中含 SO_2 和硫化氢达1.8t。在土法炼磺地区,毒气遮天,终日不散,真如同山中妖精在喷毒。炼磺厂区寸草不生,挖地3尺找不到蚯蚓和蚂蚁,树木、庄稼枯死,山上的岩石变成白色。土法炼磺区的山体遭到严重腐蚀形成危岩,不断发生崩塌、滑坡和泥石流。土法炼磺还排放大量废水和废渣,造成污染。最终在土法炼磺区造成了居民家破人亡的局面。

大气污染物大体上分为两大类:第一类是固态或液态微粒,统称气溶胶粒子;第二类是气态化合物,统称化学污染物。空气污染物在气象条件的影响下在大气中扩散和运送,会发生合成、分解、冲洗、吸收等一系列物理、化学过程。例如,汽车尾气中的氮氧化物、碳氢化物,在强烈阳光作用下,发生光化学反应,生成光化学烟雾。大气中的二氧化硫及氮氧化物等遇到水可转化为酸类,若有降水可能会形成酸雨。

由于大气污染物的增加,还会使大气辐射性质发生改变,从而影响大气热状况和相应的运动状况,从长远看,也会影响到天气和气候的变化。所以大气污染问题正引起气象专家和环保专家

的密切注意。目前各国家、地区已对大气污染展开监测,以便采取相应的防治措施。

二、大气的分层

大气的底界是地球表面,也称为下垫面(under laying surface),大气的上界是过渡的、模糊的,地球大气和宇宙星际气体之间不存在一个截然的界面。为了实际研究与应用的需要,仍可将大气划定一个大致の上界。一是根据大气中极光出现的最大高度,作为大气的物理上界,约为1 000~1 200 km;二是按人造卫星探测资料,大气上界约为2 000~3 000 km。世界气象组织(WMO)根据大气温度和水汽的铅直分布、大气的扰动程度和电离现象,把大气分为五层:对流层、平流层、中间层、热层和散逸层(图0-1)。现将各层的特点分述如下:

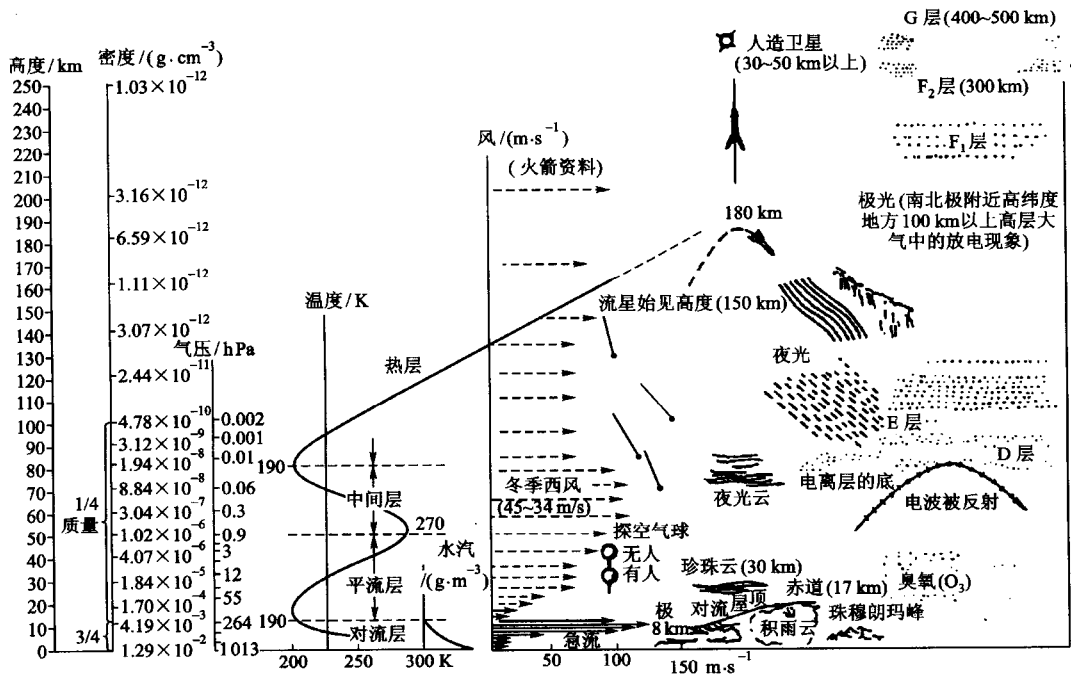


图0-1 大气的垂直结构

(一) 对流层

该层是地球大气的最底层,其下界和地球表面相接,上界随纬度和季节而变化。在低纬度地区平均约17~18 km;中纬度地区平均约10~12 km;高纬度地区和两极只有8~9 km。就季节而言,夏季对流层的上界高于冬季。

对流层虽然很薄,但却集中了整个大气质量的3/4和90%以上的水汽;主要的天气现象都发生在这一层内,是天气变化最激烈、最复杂的层次,是对人类活动影响最大的层次,也是气象学研究的主要层次。

对流层有以下三个特征:

- (1) 气温随高度的增加而降低。平均每升高100 m,气温约下降 $0.65\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- (2) 空气具有强烈的对流运动。由于对流运动,低层和高层空气产生质量交换和混合,使近

地面的热量、水汽、固体杂质向上输送,对成云致雨有着重要的作用。

(3) 气象要素,特别是温度和湿度的水平分布不均匀。主要是该层底部和地面接触,受地面的影响所致。

对流层大气按离地面高度又可分为贴地气层、近地面层、摩擦层及自由大气层等四个层次。分述如下:

贴地层是从地面到离地约 2 m 以下的气层,它受地面影响最大,温度随高度和时间的变化最为剧烈,温度水平分布也受地面强烈影响。

近地面层是从地面到 100 m 高度左右的气层,此层在下垫面影响下,气象要素及其梯度有明显的变化,空气流动也有明显的湍流特点。

摩擦层又称行星边界层,是从地面到约高 500~2 000 m 的气层。地面摩擦影响及热力影响已减弱。

自由大气层是摩擦层以上至对流层顶部的气层,该层已基本不受摩擦影响。在中高纬度地区,风已遵循地转风或梯度风法则。地面温度日变化对该层影响很小,但温度的年变化仍有影响。

(二) 平流层

平流层的厚度,是自对流层顶到 55 km 高度左右。其主要特点是:气温随高度的增加而升高,到平流层顶可达 $-3\sim-17\text{ }^{\circ}\text{C}$,这主要是因臭氧强烈吸收紫外线的缘故;该层没有明显的对流运动,空气垂直混合极弱,以水平流动为主,气流平稳;由于受地面影响很小,所以水汽、尘埃都很少,基本无云出现,大气透明度高。

(三) 中间层

从平流层顶到 85 km 高度左右的气层称中间层,其显著特点是:温度随高度的增加而迅速降低,到其顶部可降至 $-83\text{ }^{\circ}\text{C}$;具有较强的对流运动,垂直混合较明显,故有高空对流层之称。

(四) 热层(暖层)

自中间层顶到 800 km 高空左右为热层。它具有两个特点:一是随高度的增加温度迅速升高。据卫星探测资料,在 300 km 高度上气温可达 $1\ 000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上;到 500 km 处气温升至 $1\ 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。二是该层空气在强烈的太阳紫外线和宇宙射线的作用下,空气分子处于高度的电离状态,形成电离层。具有反射无线电波的能力,是无线电正常通讯的一个重要因素。

(五) 散逸层

自 800 km 高度以上的整个大气层为散逸层。它是地球大气的最外层,是地球大气圈向星际空间的过渡带。由于该层空气极其稀薄,加之地球引力减少,一些高速运动的空气分子,易脱离地球的引力而不断地逃逸到宇宙空间去,但同时也有宇宙空间的气体分子闯入大气,二者保持着动态平衡。

复习思考题

1. 什么是气象学、天气学、气候学及气候系统?
2. 什么是农业气象学?它的基本任务是什么?
3. 根据大气的垂直结构,共分为哪五层?对流层有什么特点?
4. 名词解释:气象要素 温室效应 大气污染