



易明晖 编著
农业出版社

气象学 与 农业气象学

气象学与农业气象学

易明晖 编著

农业出版社

气象学与农业气象学

易明暉 编著

• • •

责任编辑 刘存

农业出版社出版（北京朝阳区枣营路）

新华书店北京发行所发行 农业出版社印刷厂印刷

787×1092mm¹⁶开本 15.25印张 350千字

1990年6月第1版 1990年6月北京第1次印刷

印数 1—1,300册 定价 7.15 元

ISBN 7-109-01439-8/P·3

内 容 简 介

本书从现代农业工作者对气象科学知识的需要出发，包括了气象学、气候学和农业气象学的主要内容。第1—6章讲述主要气象要素及天气的时间空间变化，说明它对作物生长发育和农事活动的影响。第8、9两章为气候和中国气候，着眼于阐释气候形成和变化的规律与了解世界气候的类型和我国气候的特点。其余，主要农业气象灾害及其御防，农业气候，农田小气候，农业气象情报预报等章，是密切联系农业生产的重要内容。

本书可作农、林、水利、生态、环境等各方面工作者的参考用书，也可作高等农业院校气象学课程的教学用书。

前 言

本书是为现代农业工作者及高等农业院校农学类专业提供气象学、气候学与农业气象学的系统知识而编写的。对于一个现代农业工作者需要的气象科学知识，如一、认识主要气象要素光、温、水分与农业生产的关系及其调节；二、了解天气变化的原理，要求能理解气象台站的天气形势预报，提高栽培、管理水平；三、了解灾害性天气的发生规律，从事防灾增产；四、了解气候、农业小气候形成和变化的规律，要求能从理论上认识改善气候和农业小气候的措施；五、了解我国及世界的气候情况，明了农作物分布与要求的气候条件，更好地进行育种引种，充分合理地利用气候资源；六、了解农业气候分析、区划、情报、预报等的重要内容，从而能利用农业气象部门的报道来解决生产和试验研究中的问题，等等。而这些实即本书介绍的气象学、气候学和农业气象学的主要内容。

本书第五章第四节中的冷径流与第七章第二节的热作寒害系由海南热带作物研究所李师融执笔；第十二章农业气象情报预报系由江苏农学院束文学执笔。其余章节由易明暉编写并对全书总校定稿。

本书是在编者历经使用的气象学及农业气象学教材的基础上写成的。内容多有取材于1959、1964、1980年等全国高等农业院校农业气象学统编教材的，而增改更新，得益于书中所附参考书刊者亦多，谨对参加历次统编教材的同志，以及所有参考书刊的著者表示衷心的感谢。

本书的写成还有赖于我校有关领导同志和教研组全体同志的鼓励与支持，所有附图均系庞江春同志细心描绘的，在此一併致感谢之忱。

易明暉

1988年4月 于西南农业大学

目 录

绪 论	1
第一节 气象学的领域	1
第二节 农业气象学研究的对象	1
第三节 气象学和农业气象学发展简史	3
第一章 大气	6
第一节 大气的组成	6
第二节 大气的结构	8
第三节 大气的基本性状	11
第四节 空气密度与气压随高度的变化	13
第二章 辐射	16
第一节 辐射的一般知识	16
第二节 太阳辐射	20
第三节 太阳辐射在大气中的减弱	23
第四节 到达地面的太阳辐射	25
第五节 地面辐射、大气辐射、地面有效辐射	31
第六节 地面辐射差额	33
第七节 太阳辐射与植物生活	34
第三章 温度	40
第一节 土壤的升温 and 降温	40
第二节 水的升温 and 降温	48
第三节 空气的升温 and 降温	49
第四节 大气稳定度	53
第五节 气温与农业生产的关系	56
第四章 大气中的水分	62
第一节 空气湿度与农业生产	62
第二节 蒸发与凝结	63
第三节 大气中的凝结物	74
第四节 降水	77
第五节 大气中的水分循环	79
第五章 空气的运动	81
第一节 作用于运动空气的力	81
第二节 地转风、梯度风、摩擦风	85
第三节 大气环流	86
第四节 地方性风	89
第五节 近地面层空气的乱流	93

第六节	风对农业生产的影响	98
第六章	天气	99
第一节	气压场	99
第二节	气团和锋	101
第三节	温带气旋和反气旋	106
第四节	中高纬度高空主要天气系统	110
第五节	副热带高压	111
第六节	台风	114
第七节	中小尺度天气系统	116
第八节	天气预报	120
第七章	主要农业气象灾害及其御防	122
第一节	霜冻	122
第二节	寒害	127
第三节	冷害	130
第四节	干旱	132
第五节	暴雨和连阴雨	136
第六节	大风	137
第七节	冰雹	139
第八章	气候	142
第一节	气候的形成因素	142
第二节	气候带与气候型	146
第三节	世界气候概述	147
第四节	气候变化和人类对气候的影响	155
第九章	中国气候	161
第一节	中国气候的形成因素	161
第二节	中国气候的特征	165
第三节	中国气候区划	168
第十章	农业气候	178
第一节	农业气候的概念	178
第二节	农业气候分析	179
第三节	农业气候区划	189
第四节	中国农业气候生产潜力及其分区	192
第五节	农业气象观测概述	194
第十一章	农田小气候	198
第一节	农田小气候形成的环境基础	198
第二节	农田小气候的一般特征	201
第三节	果园、茶园和森林小气候	205
第四节	地形和水域的小气候	209
第五节	农田小气候的改善	214
第六节	温室小气候	220
第七节	保护地小气候	225
第十二章	农业气象情报预报	229

第一节 概说.....	229
第二节 农业气象情报.....	230
第三节 农业气象预报.....	231
主要参考文献.....	234

绪 论

气象学原亦称大气物理学。近20多年来，由于大气污染与大气化学的研究，发展甚速，因而有更概括地称做大气科学的趋势。

由气象学为农业生产服务，解决农业生产中的气象问题发展起来的农业气象学，是应用气象学的一个重要分支，也是农学的基础学科之一。农业工作者必须了解其所从事的农业对象在全生产过程中的气象问题及其解决途径，才能合理地利用气候资源，达到高产优质低耗损的目的。

第一节 气象学的领域

现代气象科学的研究，可概略地分为大气物理学和大气化学两大分支。传统的气象学则分有下列几个主要部门：

一、物理气象学

它从物理学方面来研究大气中的过程和现象，揭露这些过程和现象发展的物理定律。内容包括大气动力学、大气热力学、大气光学、大气声学、大气电学，等等。

二、天气学

在一定地区和一定时间内，由各项气象要素一定的结合所决定的大气状态，称为天气。研究天气过程发生发展的规律，並运用这些规律预报未来天气的学科，就是天气学。

三、气候学

气候是在一较长时间阶段中大气的统计状态，它一般用气候要素的统计量表示。但是，这种统计量往往随着阶段的转换而发生明显的变化，这就是气候变化。研究气候形成和变化的规律、综合分析、评价各地气候资源及其与人类关系的学科，就是气候学。

以上只是上世纪以来，气象学最早分出的三个主要部门，现代气象学的分支虽大大增多了，但上三者仍不失为气象科学的主体部分，本书並將只概述其重要内容。

第二节 农业气象学研究的对象

目前，在许多生产领域，形成了各种应用气象学，例如有农业气象学、林业气象学、畜牧气象学、海洋气象学、水文气象学、工业及建筑气象学、空气污染气象学，等等。而且，这还没有包括气象学所有的应用方面。

农业气象学研究的对象，一方面是有机体生活在其中的、对农业具有重要意义的那些气象条件；一方面是栽培植物、饲养动物在气象条件影响下的生长发育状况和产品的数量与质量。总的是研究现实农业生产（农林牧副渔广义的农业）与气象条件的关系，为农业生产解决与气象条件有关的问题。

一、农业气象学的任务

一般说，在农林渔牧、加工储运，发展农业生产的过程中，有什么气象问题就研究什么气象问题，寻求解决问题的最佳方案，也就是农业气象学的任务。而为了解决农业生产中的气象问题，就必须进行一系列的农业气象基础研究。如：①光温水分与农业生产关系的定量研究；②农业气象灾害发生规律和抗、避、防方法的研究；③农业气候资源的分析、区划与开发利用的研究；④调节、利用和改造农业小气候的研究；⑤农业气象情报、预报服务的研究，等等。而这些也就是农业气象学的主要内容。

二、农业气象学的研究方法

农业气象学的任务是通过调查、观测、试验等的结合来完成的。它除应用一般的科学方法外，对栽培作物而言，须在进行生长发育状况和产量构成观测的同时，在同地进行主要气象要素、农田小气候要素、农业气象灾害的观测和田间管理工作的记载等，称为平行观测或联合观测法。这是不同于农业研究和气象研究的主要特点之一。通过对平行观测资料的对照分析，我们就能确定天气气候对栽培作物生长发育和产量质量的影响，就能对生长期间的农业气象条件作出正确的评价。

为了缩短观测年限，迅速取得作出结论所需要的资料，在平行观测的普遍原则下，农业气象学还常常采用下列方法：

（一）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，采用同一种农业技术措施，于各地最适宜的时期播种同一品种作物，并按照统一计划进行平行观测。这样，在一年里便可得到同一品种在若干处不同气候条件下的生长发育资料，达到缩短观测年限的目的。

（二）地理移置法或小气候栽种法 常用来研究植物生长发育与环境气象因子的关系。这种方法是先将我们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，然后将它们带土移栽到地形、方位及其它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，在所有地段进行平行观测后，就能够在比较短的时间内，得出不同强度的低温对于所研究植物的影响，在确定某些作物越冬性的农业气候指标时，常应用这个方法。

（三）分期播种法 在同一地方，每隔5或10天播种同一种作物，根据研究的任务，可以播5—10期或更多一些。这样，在一年内就可获得5—10或更多种不同的天气对该种作物某发育期影响的资料，从而可以应用数理统计的方法求出该种作物在各个发育时期对于气象条件要求的数量指标。

（四）地理分期播种法 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，却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。七十年代末八十年代初，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的结果的例子。

（五）人工气候实验法 现在人工气候室或人工气候箱群已能模拟得近似太阳光谱的人工光源，控调到需要的温度、湿度，并根据研究的需要，增设人工降雨、CO₂浓度增减及风速变化等附属装置。这样，我们就可模拟各种气象条件，以满足农作物生长发育的需要，得出农作物要求的定量指标；也可模拟极端气象条件对作物生育和产量质量的影响，研究御防措施的气象效应；还可探索在自然情况下得不到的最优气象条件，为未来农业工厂化提供不可缺少的数据资料。

（六）气候分析法 在具有适当的农业资料和气候资料时，可以采用统计学中广泛使用的图解法或分析法来求得作物产量与天气和气候之间的关系。在这里，我们普遍地采用逐年产量和天气条件的对比分析以及作物自然分布界限的气候分析法。

至于应用哪种方法最好，则决定于研究的目的和任务，要求的精确程度和期限等。

此外，卫星遥感和计算分析的一些新方法，如聚类分析、线性规划、模糊数学、系统论、决策论等，亦已广泛地应用于农业气象研究中。

第三节 气象学和农业气象学发展简史

一、气象学发展的几个主要阶段

在古代，因为人们的生产活动在很大程度上依赖自然条件，所以气象现象也最早就为人们所注意。但由于生产水平的低下，科学不可能得到大的发展。在欧洲，直至17世纪手工业发达以后，气象学才进入定量的仪器观测时期，我们可以1643年托里拆利发明气压表为这一时期的开始。到19世纪后半期，气象台站纷纷建立，各种观测仪器灿然大备，有线无线电通讯的便捷，使天气图方法的预报也普遍起来，这才奠定了近代气象学的基础。

20世纪30年代广泛地使用无线电探空仪后，气象学进入了高空仪器时期。由于高空观测网的逐渐建立，人们能了解整个三度空间大气的情况，预报准确率得到了显著提高。

1957年10月，人造地球卫星发射成功后，气象仪器被带到三、四百千米到800千米的高空，获得有关太阳紫外线和微粒辐射等许多前所未有的资料，为长期气候变迁及短、中、长期天气预报等方面的研究创造了新的条件。此后，不少国家相继使用气象火箭及卫星进行外层空间的观测，所以我们可以人造地球卫星的发射成功作为一个新的历史时期的开始。

二、我国古代在气象学及农业气象学上的成就

我国气象学及农业气象学的研究，较之其它国家实属独早。近来在商朝故都河南安阳出土的、远在三千年以前的甲骨文上，即有许多关于天气的记载。其后在东周列国时代，对于一年四季的分配，以及春分、夏至、秋分、冬至的日期，已能定得相当准确。

到了西汉初年，24气72候的内容已完全确定。而公历132年，张衡制造的“相风铜鸟”是世界上最早的风向器，较之西方各国的“候风鸡”约早一千年。雨量器也是我国最先发明的。宋时秦九韶即从事雨量器面积的计算，到了明初（1424年），由中央颁发标准的雨量器令各州县普遍测报雨量，借以了解年景的丰歉，实为近代建立气象站网的开端。

农业气象学方面，约在5世纪40年代，后魏贾思勰曾总结前人的农业生产经验，成《齐民要术》一书，书中提出有各种农作物播种的最适日期（所谓上时），次适日期（中时），和不能再迟的日期（下时）。又写道：“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、北风寒切，是夜必霜。此时放火作温，少得烟气，则免于霜矣。”寥寥数十字，竟将霜冻的为害与预测预防方法均已备述无遗，即到现在，它仍是可供我们取法的。

虽明初以后，专制淫威，变本加利，用八股文取士的科举制度，严重地束缚着学术思想的发展，以致对各种科学都很少贡献。但这个皇朝的末期，徐光启的各项科学工作，包括在农业气象上的卓越见解，还是值得称道的。徐光启毕生致力于农作物种类和各地生长情况的调查，收集整理历代农业、水利、农业气象等文献，纂辑成《农政全书》，内容分农本、田制、农事（包括营治、开垦、授时、占候）、水利、农器、树艺、蚕桑广（包括木棉、苧麻）、种植（经济作物）、牧养、制造、荒政等十二部分，计七十余万言。其在农业气象上的贡献可举一、二例：徐光启在“农本”中说，凡一处地方没有的作物，总是原来本无此物，或原有之而偶然绝灭，若果然能够尽力栽培，几乎没有不可生长的作物。即使不适宜，也是寒暖相违，受天气的限制，和地利无关。好象荔枝、龙眼不能逾岭；橘柚柑橙不能过淮一样。这是很有栽培、土壤及农业气候依据的。徐光启亟力提倡引种驯化。万历年间甘薯从拉丁美洲经南洋移植到中国还不久，他主张在黄河流域大量推广。有人问他“甘薯是南方天热地方的作物，若移到京师附近以及边塞诸地，可以种得活吗？”他回答说“可以”。他认识到甘薯要求的气候条件在我国河北、山东是具备的。实践证明，徐光启引种甘薯的主张，是完全正确的，迄今甘薯在河北、山东成功地栽培着。这就是我们日常引述的俄国学者沃耶伊柯夫的“农业气候相似”理论。徐光启卒于1633年，享年72岁。较沃耶伊柯夫要早两百多年。

三、我国近代气象学的建立情况

从1743年法国哥比神甫在我国北京作气象观测开始，直到反动国民党统治时代，是帝国主义假手教士和种种掩护，在我国搜集科学情报，从事文化侵略时期。著名的上海徐家汇气象台和青岛气象台都是由外人设立的。全国解放后，人民政府接管了所有外人的侵略性事业，才使它完全成为历史的陈述。

我国近代气象学的基础，是由竺可桢教授奠定的。竺教授不但在20年代末创立了我国第一个气象研究机构；倡导物候学的研究不遗余力；对东亚季风环流、我国历史上气候的变迁、我国气候区域的划分、以及我国气候特点与粮食作物生产的关系等有精深的研究，还在极困难的情况下，建立了一些气象站和指导协助各省建立了一些气象站，对我国气象事业有卓越的贡献。但在反动统治对于科学事业只是以装饰品而存在的情况下，截至解放时，由中央及省市设立的气象站还不到一百所，22年间全国作出的论文总

共不过400余篇，气象科学还只是萌芽的状态。农业气象学方面更完全是空白。

四、解放后我国气象科学迅速发展的情况

解放后，所有科学事业都得到了党和政府的密切关怀。1954年3月，中央人民政府政务院发布了“关于加强灾害性天气预报、警报和预防工作的指示”，普遍引起各方面的重视，从而为扩大天气预报为生产服务创造了良好的条件。1955年到1956年，在《全国农业发展纲要草案》和《12年远景规划》中，分别确定了我国气象事业的基本任务，加速了气象工作的开展。

农业气象方面，前中央气象局于1956年开始在全国开展农业气象观测。1958年2月，国务院批转中央气象局《一九五八年全国气象工作提要》，指出：“今后气象工作的建设重点应放在农业气象方面”。自后农业气象站网不断扩大，观测项目不断增加，农业气象研究及农业气象服务工作，也逐步开展起来了。

十年动乱使所有科学事业都受到了严重的破坏，气象科学研究停滞了多时。到70年代才在台风路径、特别是异常路径的活动规律及其所带来的天气现象的研究方面，以及在高空气候、山区气候等方面的研究，取得了一些具有实用价值的成果。此外，卫星气象、自动气象站、大气污染等新领域的科学研究工作，也由于科学发展和社会的需要，于此时开始了。

党的十一届三中全会以后，气象科学重新走上健康发展的轨道，各分支学科的研究工作都取得了前所未有的进展。如在气候变迁、暴雨、寒潮、台风形成及移动路径，天气演变的动力学规律，各种数值预报模式，以及旱涝、低温、霜冻、干热风等农业气象灾害，全国农业气候资源的分析、区划与利用，农业产量预报，农田小气候及人工设施的气象效应等方面的研究，都取得了显著的社会效益和经济效益。

70年代以来，由于农林生产、环境保护及人们对生态问题的重视，林业气象开始获得了较快的发展。林业气象工作者对防护林气象效应、森林气候、森林水分和热量平衡、城市绿化及林火气象等，都作了大量的工作。与此同时，畜牧气象的研究工作也得到了恢复和发展。1982年全国畜牧气候区划科研协作组编写的《中国牧区畜牧气候》（初稿）对我国牧区气候的概况、草场退化等方面进行了较系统的研究。

1982年1月，在总结建国以来气象工作经验的基础上，提出了“积极推进气象科学技术现代化，提高灾害性天气的监测预报能力，准确及时地为经济建设和国防建设服务，以农业服务为重点，不断提高服务经济效益”的气象工作方针。1982年4月经国务院批准，中央气象局改名为国家气象局。1984年1月提出了气象现代化发展纲要。这个纲要的奋斗目标是：到本世纪末，力争建成适合我国特点、布局合理、协调发展、比较现代化的气象业务技术体系。这个体系包括大气综合探测，综合气象电信网，气象资料自动处理及信息检索，天气预报业务及气候诊断、分析、预测业务，气象服务等5个分系统。这5个分系统都必须尽量采用现代电子技术、自动化手段和系统工程方法，使之构成有机联系、协调发展的整体。预计到本世纪末，各项远景规划实现时，我国气象业务技术水平在总体上将达到世界发达国家70年代末或80年代初的水平，某些项目或领域则可达到或接近当时世界先进水平，屹立于世界气象科学技术之林。

第一章 大 气

气象学既为研究大气的科学，又须对大气的组成成分、垂直结构、重要物理性状等有所了解。本章于介绍在气象学和生物学上有重要意义的各种成分后，将着重说明大气的基本物理性质、空气密度及大气压力随高度的变化等，为学习以后各章打下基础。

第一节 大气的组成

一、各成分的比例

大气是由一些永久气体、水汽、雾滴状液体微粒及冰晶、尘埃等固体微粒组成的。

干洁的空气是气体的混合物。对由地面伸达20—25千米高度的空气样品分析，证明了组成空气的基本气体都是氮（ N_2 ，容积为78.09%，质量为75.52%）、氧（ O_2 ，容积20.95%，质量23.15%）和氩（Ar，容积0.93%，质量1.28%）。在这些主要气体中参加着为量不定的二氧化碳（ CO_2 ，容积平均0.03%，质量为0.05%）、臭氧（ O_3 ）和各种氮的氧化物。此外，还含有很少量的氟、氦、氙、氪、氢等。从20千米以上伸达100千米或更高的高度，由于空气湍流及水平运动混合的结果，大气各成分的比例仍是不变的，仅 O_2 及 N_2 有微弱的减少，而Ar及 CO_2 则显著减少。

二、在气象学和生物学上有重要意义的几种气体

水汽是大气的重要组成部分，它的含量随时间、空间而有大的变化。在湿热地方的温暖季节能高达总容积的4%，而在冬季干燥严寒的地方则可低到0.01%。水汽对于人类及植物的生活，以及在大气能量学中都起着重大的作用，也是扮演天气变化的主要角色，所以是气象学研究的重要对象。

臭氧主要集中在20—30千米高的气层中，它的含量虽然很少（1—3ppm）^①对于生物却有极为重要的意义。因为太阳辐射中波长短于0.29微米（ μm ， $1\mu m = 10^{-4}$ 厘米）的紫外线，对于动物和植物有机体的组织有很大的危害作用，幸赖臭氧吸收了这部分紫外线，生物有机体才得免遭伤害。

高层大气臭氧浓度的变化，是太阳紫外辐射变动的结果。因为臭氧吸收太阳辐射和地面辐射，已有人提出它可能是气候变化的一种机制。但这还不是定论。

氮、氧和二氧化碳对于生物的巨大意义，是很明显的。大气中的氮植物不能吸收，但是豆科植物能借其根瘤菌的作用，直接利用自由大气中的氮素，而氮的氧化物也可随降水进入土壤，供给植物的需要。氧不但为生物呼吸所必需，并且还决定着有机物质的燃烧、腐败及分解等过程。

^① ppm表示百万分之一。

二氧化碳是植物进行光合作用不可缺少的原料。光合作用产物构成植物体95%的组成成分。近来在高产农田中的研究表明,无论氮、磷、钾、微量元素、光、温、水分等如何充分,碳的供应不足,就成为进一步提高产量的障碍因素。如有的研究得出,大豆田CO₂浓度为300ppm时,其光合作用在光照度21,000勒克斯(1x)时,便达到了饱和,最大光合强度为20毫克·分米⁻²·小时⁻¹;而当空气中CO₂提高到1600ppm时,光饱和点可达到75,000勒克斯以上,最大光合强度可达80毫克·分米⁻²·小时⁻¹。因此,增加空气中CO₂浓度,比改善任何其它条件更能明显地提高农作物产量。例如,在田间条件下,维持空气中CO₂浓度达1000ppm,可使大豆增产达570%。番茄、黄瓜、莴苣在正常的CO₂浓度下的光合作用强度为20—25毫克·分米⁻²·小时⁻¹,如增加CO₂浓度,则光合作用强度可增长50%。

在大面积农田上采用在空气中增施CO₂肥方法,效果是肯定的。但在目前技术水平下,要保持住农田上较高的CO₂浓度,是困难的。在人工控制的小面积栽培地,如温室及各种塑料棚内,采用CO₂施肥法,则是切实可行的,而且也显得格外重要。在温室或塑料棚内,为了保温的目的,经常要阻止室内外的空气交换,这时,室内空气中的CO₂被植物光合作用消耗而得不到补充,常使CO₂浓度降到最低,以至限制了正常光合作用的进行。开始通风以后作物层内的CO₂可以提高到250ppm,但仍不能满足植物的要求。据研究,作物生长要求的最适CO₂浓度为1000—1500ppm,为大气中平均浓度的3—5倍,所以除温室中CO₂施肥已能实行外,对大田施CO₂肥的问题,正系研究中的课题。

除CO₂浓度及光强、温度、水分的充分适宜与否影响植物的光合作用强度外,不同作物(如有C₄作物与C₃作物之分),作物的不同发育期以及栽培情况(通风透光良好与否)等,也都影响植物对CO₂的固定能力。

气候学家和生态学家都很重视自然界的碳素循环,因为CO₂对太阳辐射吸收很少,但却能强烈地吸收地面辐射,同时它又向周围空气和地面放射长波辐射,具有“温室效应”,浓度增加,对地球气候有增暖的影响;而净化空气,保护环境,建立合理的生态平衡又是我们必须密切注意的。

三、大气污染问题

由于近代化学工业及交通运输业的发展,在废气不加回收利用的情况下,大量污染物进入大气。已经引起危害,须加注意的有粉尘微粒、各种硫化物、氮化物、氧化物、卤化物、有机化合物等,达一百种左右。污染空气和自然状态下清洁空气中的浓度对比如表1.1。

表1.1 清洁空气与污染空气的浓度对比

成 分	清洁空气 (ppm)	污染空气 (ppm)
SO ₂	0.001—0.01	0.02—2
CO ₂	310—330	350—700
CO	<1	5—200
NOX	0.001—0.01	0.01—0.5
碳氢物	1	1—20
颗粒物	10—20 微克/米 ³	70—700 微克/米 ³

有资料指出,汽车排出的 NO_2 在紫外线作用下,经过复杂的化学反应过程,可形成光化学烟雾。 HF 和严重的 NO_2 污染后,柑桔的叶片会全部脱落,须萌芽重长新叶。 SO_2 污染后,落叶松嫩枝皱裂,会有一部分落叶;杨属植物则通过连续地抽发新枝而再生新叶。^①

目前解决大气污染问题的措施有:建立监测网,进行污染预报;通过集尘器和清洗器在排气前清除污染物质;发展无烟工厂的闭合工艺过程以及合理布局工业等。

四、固体微粒在气象上的作用

大气中的固体微粒除煤粉尘外,还有许多来源:有来自陨星在大气中燃烧所产生的宇宙尘;有来自地面或火山喷发所产生的灰尘;有由森林火灾产生的烟粒;还有的是微生物、细菌的孢子、植物的花粉以及各种有机质点等。

尘埃对于生物没有直接的作用。但它对于大气中的物理过程和物理现象有很大的作用:①吸收太阳辐射,使空气温度增高,但削弱了到达地面的太阳辐射;②阻挡地面辐射,减缓地面的辐射冷却;③产生霞光等光学现象;④减低大气的透明度,影响能见度;⑤为云雾的凝结核,对降水的形成有重要的意义等等。

含有浮悬质点的实际大气,与胶体溶液很相似。纯洁的空气可视为溶剂,而所有浮悬于其中的微小质点可视为被溶解的胶体质点,称为气溶胶。把大气看作是胶体,是有实际意义的,因为云和降水的许多现象是和大气胶体性质有关的。

第二节 大气的结构

一、大气的垂直范围

由于地球的引力作用,使空气聚集在地球周围,形成所谓的大气圈。登山的经验说明,随着高度的增加,空气变得稀薄起来,越往上越稀薄,最后地球大气就和弥漫在星际空间、密度极小的“星际气体”联接起来了。在地球大气和星际气体之间并不存在一个截然的界限。不过,我们还是可以通过物理分析,给大气划定一个大致の上界。

对大气上界的划定,通常有以下两种划法:

一种是着眼于大气中出现的某些物理现象来估计大气的上界。根据观测资料,极光出现高度最高的物理现象,它可以出现在1200千米的高度上,因此,可以把大气的上界定为1200千米。这样确定的大气上界称为大气的物理上界。

另一种是着眼于大气密度接近于星际气体密度的高度来估计大气的上界。按照人造卫星探测到的资料推算,这个上界大约在2000—3000千米的高度上。

二、大气的垂直分层

观测证明,大气中各项气象要素的分布,无论是沿垂直方向还是水平方向,都是不均匀的。根据温度、成分、荷电等物理性质及大气的垂直运动情况等,可以把大气圈划分为对流层、平流层、中间层、暖层和散逸层5个大的层次,每层又可细分出若干副层,

^① 见J.R.Schelai,植物对污染的抗性,《国外农学—农业气象》1986年第1期。

分述如下：

(一) **对流层** 对流层是大气最低的一层，它的底界就是地面。根据观测，对流层的厚度，在低纬度地区平均为17—18千米，在中纬度地区平均为10—12千米，在高纬度地区平均为8—9千米。从这些数值看来，对流层的厚度还不及整个大气厚度的1%，但是，由于地球引力的作用，这一层却集中了整个大气四分之三的质量和几乎全部的水汽，是天气变化最复杂的层次，雷暴、云雾雨雪等都发生在这一层中，所以是气象学研究的重点层次。

对流层有以下三个主要特征：

第一个特征是气温随高度的增高而降低。高山常年积雪，高空的云多为冰晶组成，都是证明。对流层中气温随高度而降低的数值，在不同地区、不同季节、不同高度是不一致的。平均说，每上升100米，气温约下降 0.65°C 。

第二个特征是空气具有强烈的垂直混合。这种垂直混合，主要表现为空气的对流运动和乱流运动，结果是高层和低层的空气得以进行交换，使近地面的热量、水汽、杂质等向上输送；这对于成云致雨有重要作用。

第三个特征是温度、湿度的水平分布不均匀。这是因为地表性质差异很大，而对流层受地表影响最大的缘故。比如：在寒带大陆上的空气，因缺水源和受热较少，就显得干燥、寒冷，在热带海洋上的空气，因水汽充分，受热较多，就比较潮湿、温暖。

在对流层内，按气温和天气现象分布的特点，又可分为下层、中层、上层三个层次。

下层（又叫摩擦层）它的范围是自地面到2千米高度。但随季节和昼夜的不同，下层的范围也有一些变动：一般是夏季高于冬季，白天高于夜间。在这层中，气流受地面的摩擦和阻滞的作用很大，空气有经常的扰动和铅直交换。这层本身也不均匀，在接近地面约30—50米高的一层称为近地面层，而2米以下贴近地面的薄层称为贴地气层，是小气候研究的对象。

中层 是指2—6千米高的一层。在这层中，气流受地表摩擦的影响已很小，空气的垂直扰动也比下层为小。本层中气流的运动可表征整个对流层气流运动的趋势，它是天气演变的主要场所。

上层 它的范围是从6千米高度伸展到对流层的顶部。这一层的气温常年都在 0°C 以下，水汽含量较少，各种云都由冰晶和过冷水滴组成。在中纬度和热带地区，这一层中常出现风速等于或大于30米/秒的强风带，即所谓的急流。

此外，在对流层和平流层之间，还有一个厚度为数百米到1—2千米的过渡层，称为对流层顶。对流层顶气温分布的特征是随高度不变或变化很少，就平均情况说，在低纬度地区它的气温约为 -83°C ，在高纬度地区约为 -53°C ，对流层顶对垂直气流有很大的阻挡作用，上升的水汽、尘粒等多聚集其下，使得那里的能见度往往较坏。

(二) **平流层** 平流层位于对流层顶之上，顶界约伸展到50—55千米，在平流层内，随着高度的增高，气温最初保持不变或微有上升；到25—30千米以上，气温升高较快；到了平流层顶，气温可升至 -3°C 左右。平流层的这种气温分布特征，是和它受地面温度影响很小，并且存在大量臭氧能够直接吸收太阳辐射有关。

在平流层中，空气的垂直运动远比对流层弱，水汽和尘粒含量也较少，因而气流比