



面向 21 世纪 课 程 教 材
Textbook Series for 21st Century

气 象 学

北 方 本

刘 江 许秀娟 主编

非气象专业用

中 国 农 业 出 版 社

Textbook Series for 21st Century

气 象 学

北 方 本

刘 江 许秀娟 主编

非气象专业用

中 国 农 业 出 版 社

图书在版编目 (CIP) 数据

气象学：北方本/刘江，许秀娟主编. —北京：中国农业出版社，2002. 8

面向 21 世纪课程教材

ISBN 7-109-07542-7

I. 气... II. ①刘... ②许... III. 气象学-高等学校-教材 IV. P4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 050787 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100026)

出版人：傅玉祥

责任编辑 毛志强 刘存

北京忠信诚胶印厂印刷 新华书店北京发行所发行

2002 年 7 月第 1 版 2002 年 7 月北京第 1 次印刷

开本：787mm×960mm 1/16 印张：17.5

字数：305 千字

定价：23.50 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误，请向出版社发行部调换)

内 容 提 要

本教材被教育部列入高等教育“面向 21 世纪课程教材”，是为高等农业院校非农业气象专业所开设的专业基础课《农业气象学》而编写的，适合于农学、林学、植保、园艺、土壤等农学类各专业在教学中应用。

本教材内容包括辐射、温度、水分、气压与空气运动、天气和天气预报、气象灾害、气候与农业气候资源、农业小气候等共八章，在注重本学科基本原理、基本知识的同时，力求能反映学科发展的新知识、新成果。

主 编 刘 江 许秀娟
副 主 编 刘克长 殷 红
编 者 刘 江 (沈阳农业大学)
殷 红 (沈阳农业大学)
黄 杰 (山西农业大学)
刘克长 (山东农业大学)
许秀娟 (西北农林科技大学)
穆婉红 (西北农林科技大学)
李永宁 (甘肃农业大学)
王 谦 (河南农业大学)
高大翔 (天津农学院)
主 审 陶向新 (沈阳农业大学)

前 言

本教材被教育部列为高等教育“面向 21 世纪课程教材”，是为高等农业院校非农业气象专业所开设的专业基础课《气象学》而编写的，适合于农学、林学、植保、园艺、土壤等农学类各专业在教学中应用。

在编写过程中，以培养和造就“厚基础、强能力、高素质、广适应”的专门人才为指导思想，广泛收集并借鉴了国内外同类教材的优点，内容包括辐射、温度、水分、气压与空气运动、天气和天气预报、气象灾害、气候与农业气候资源以及农业小气候等共八章，在注重阐述本学科基本原理、基本知识的同时，力求能反映学科发展的新知识、新成果。

本教材各章节执笔人：刘江（绪论、第一章第一节、第七章第一节、第八章第一节）；殷红（第一章第二、三、四、五、六节）；黄杰（第二章）；刘克长（第三章）；许秀娟、穆婉红（第四章、第五章）；李永宁（第六章）；王谦（第七章第二、三、四、五节）；高大翔（第八章第二、三、四、五、六节）。

限于作者水平，书中不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

2002 年 6 月

目 录

前言

绪论	1
第一节 气象学与农业气象学	1
一、气象学的概念及其研究领域	1
二、农业气象学的概念、任务和研究方法	2
三、农业气象发展简史	5
第二节 大气的组成及垂直结构	6
一、大气的组成和大气污染	6
二、大气的垂直结构	10
第一章 辐射	13
第一节 日地关系及季节形成	13
一、日地关系	13
二、太阳高度角和方位角	14
三、昼夜形成与日照长短的变化	16
四、季节的形成	19
五、二十四节气	20
第二节 辐射的一般知识	21
一、辐射的概念	21
二、物体对辐射的吸收、反射和透射	24
三、辐射的基本定律	24
第三节 太阳辐射及其穿过大气层时的减弱	26
一、大气上界的太阳辐射	26
二、太阳辐射在大气中的减弱	28

第四节 到达地面的太阳辐射	32
一、太阳直接辐射 (S')	32
二、散射辐射 (D)	35
三、太阳总辐射 (Q)	37
四、太阳辐射总量	37
五、下垫面对太阳辐射的反射	39
第五节 地面、大气的辐射和地面净辐射	41
一、地面和大气的长波辐射	41
二、地面有效辐射	43
三、地面净辐射 (地面辐射差额)	44
第六节 太阳辐射与农业生产	45
一、太阳辐射光谱对植物的影响	45
二、光照强弱与作物生长发育	47
三、光照时间与作物生长发育	48
四、光能利用率及其提高途径	50
第二章 温度	52
第一节 热量交换方式	52
一、辐射热交换	52
二、分子传导	52
三、流体流动热交换	52
四、潜热交换	53
第二节 土壤温度	54
一、地表面的热量收支	54
二、土壤热特性	55
三、土壤温度的日变化和年变化	58
四、土壤温度的垂直分布	62
五、土壤的冻结和解冻	63
第三节 水层温度	64
一、影响水层温度变化的因子	65
二、水面温度的日变化和年变化	65
第四节 空气温度	65
一、空气温度随时间的变化	65
二、气温的垂直变化	67

三、空气的绝热变化和大气静力稳定度	70
第五节 温度与农业生产	73
一、植物生命活动的基本温度	74
二、周期性变温对植物的影响	75
三、农业界限温度	75
四、积温及其在农业生产上的应用	76
五、土温对植物的影响	78
第三章 水分	80
第一节 空气湿度	80
一、空气湿度的表示方法	80
二、空气湿度的变化	83
第二节 蒸发与蒸腾	85
一、水面蒸发	85
二、土壤蒸发	86
三、植物蒸腾	87
四、蒸散	88
第三节 水汽凝结	90
一、水汽凝结的条件	90
二、水汽凝结物	91
第四节 降水	94
一、降水的成因	94
二、降水的种类	95
三、降水的表示方法	96
四、人工降水	97
五、积雪	98
第五节 水分循环和水分平衡	98
一、水分循环	98
二、农田水分平衡	100
第六节 水分与农业生产	101
一、水分与植物	101
二、作物水分临界期和关键期	101
三、水分利用率及其提高途径	102

第四章 气压与空气运动	104
第一节 气压(大气压强)	104
一、气压及其单位	104
二、气压随高度的变化	104
三、气压的水平分布	106
四、气压系统随高度变化与温度的关系	109
第二节 空气的水平运动——风	110
一、作用于空气的力	111
二、自由大气中的风	114
三、摩擦层中的风	116
四、风的变化	117
五、风与农业生产的关系	119
第三节 大气环流	120
一、太阳辐射和单圈环流	120
二、地球自转和三圈环流	121
三、海陆热力差异和大气活动中心	123
第四节 季风和地方性风	124
一、季风	124
二、地方性风	126
第五节 近地面层空气的湍流运动	129
一、湍流的概念及成因	129
二、湍流交换过程	130
第五章 天气和天气预报	133
第一节 气团和锋	133
一、气团	134
二、锋	135
第二节 气旋与反气旋	140
一、气旋	140
二、反气旋	143
第三节 高空槽(脊)与切变线	147
一、高空槽(脊)	147
二、切变线	148

第四节 卫星云图分析	149
一、气象卫星和卫星云图	149
二、主要天气系统的云图特征	151
第五节 天气预报	153
一、天气图预报方法	154
二、数值天气预报	156
三、概率统计预报方法	157
第六章 气象灾害	159
第一节 低温灾害	159
一、寒潮	159
二、霜冻	161
三、冷害	163
四、冻害	164
第二节 干旱、雨涝与干热风	165
一、干旱	165
二、雨涝	167
三、干热风	168
第三节 冰雹	170
一、冰雹的形成	170
二、人工防雹	171
第四节 台风	172
一、台风的标准	172
二、台风的结构和天气	173
三、台风路径	174
第五节 大风、龙卷风和沙尘暴	175
一、大风	175
二、龙卷风	176
三、沙尘暴	176
第七章 气候与农业气候资源	178
第一节 气候形成的因素	179
一、太阳辐射因素	179
二、下垫面性质	181

三、大气环流	184
四、人类活动	186
第二节 气候带和气候型	187
一、气候带	188
二、气候型	192
第三节 气候变迁	195
一、地质时代气候变迁	195
二、历史时代气候变迁	196
三、近代气候变迁	197
四、气候异常的原因	199
第四节 中国气候的基本特征	201
一、季风气候显著	202
二、大陆性强	204
三、气候类型多样	208
第五节 农业气候资源	209
一、农业气候分析	209
二、农业气候区划	211
三、农业气候生产潜力分析	214
四、农业气候资源的合理利用	217
五、物候	220
第八章 农业小气候	221
第一节 农田小气候	221
一、农田小气候形成的物理基础	221
二、农田小气候的一般特征	224
第二节 农田小气候的改良	230
一、灌溉措施对农田小气候的影响	230
二、间作套种的气象效应	231
三、种植密度	232
四、种植行向的气象效应	233
五、耕翻与镇压的气象效应	234
第三节 地形和水域小气候	235
一、水域小气候	235
二、坡地小气候	236

三、谷地小气候	239
第四节 森林小气候	241
一、森林中的太阳辐射	241
二、森林中的温度	243
三、森林中的湿度和降水	246
四、森林中的风速	247
第五节 设施农业的小气候	248
一、地膜覆盖小气候	248
二、塑料大棚小气候	250
三、日光温室小气候	252
第六节 防护林带、林网小气候	256
一、林带的防风效应	256
二、林带的温度效应	258
三、林带的湿度效应	259
 附录 I	 260
附录 II	262
主要参考文献	263

绪 论

第一节 气象学与农业气象学

气象学在为农业生产服务和解决农业生产气象问题的过程中，逐渐形成和产生了农业气象学。它是应用气象学的一个重要组成部分，也是农学类各专业的基础学科之一。

一、气象学的概念及其研究领域

(一) 气象学的概念

地球表面被一层厚厚的气体包围着，这层气体通常称之为地球大气，简称大气。大气中不断地进行着各种各样的物理过程，如大气的增热与冷却、水分的蒸发与凝结等，伴随着各种物理过程便发生和出现了各种各样的物理现象，如：冷、热、干、湿、风、霜、雨、雪、雷、电等，大气中产生的这些自然现象，简称为气象。气象学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。

近年来，由于空间技术的发展，其研究领域已扩展到地球以外的行星和卫星大气。

用来表示大气中的物理过程、物理现象及大气状态的各种物理量统称为气象要素。主要的气象要素有气压、温度、湿度、降水、蒸发、风、云、能见度、日照、辐射以及各种天气现象。各种气象要素之间是相互联系、相互制约的。

研究气象学的目的，在于利用有利气象条件和防御有害气象条件，为人类社会经济活动的各方面服务。

(二) 气象学的研究领域

随着科学的发展、技术的进步以及应用的需求，气象学形成了许多分支学

科,主要有:天气学、气候学、大气物理学、动力气象学、应用气象学、大气探测学以及人工影响天气学等。

天气学是一门研究大气中各种天气现象发生发展的规律,并运用这些规律预报未来天气的学科。

气候学是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。

大气物理学是一门研究大气的物理现象、物理过程及其演变规律的科学,包括大气光学及辐射学、大气声学、大气电学、云雾物理学、微气象学等。

动力气象学(包括大气热力学)是一门应用物理学和流体力学定律,研究大气运动的动力过程、热力过程以及它们之间的相互关系。

应用气象学是将气象学的原理、方法和成果应用于人类社会经济活动的各方面,同各专业学科相结合而形成的边缘性学科,包括农业气象学、森林气象学、水文气象学、航空气象学、海洋气象学、医疗气象学以及污染气象学等。

大气探测学包括气象仪器学、卫星气象学、雷达气象学等。主要进行地面、高空和专业性气象观测。

气象学的各个分支学科不是孤立的,相互间存在着有机联系,并且在深入发展中呈现出又分又合的趋势。尽管现代气象学的分支增加了很多,但大气物理学、天气学、气候学仍是气象学科的主体部分。

二、农业气象学的概念、任务和研究方法

(一) 农业气象学的概念

农业气象学就是研究气象条件与农业生产相互关系及相互作用规律的一门学科,它是广义农学(含农、林、牧、渔、农经等)与气象学之间相互渗透的交叉学科。

气象要素中和农业生产密切相关的要素称为农业气象要素,重要的农业气象要素有辐射、温度、降水、湿度和风等,它们是影响农业生产的诸多环境因素中最活跃的因素。它们既为生物提供了基本的物质和能量,也是构成生物生育和产量形成的外界条件。所以农业气象学的研究对象包括两个方面,一是研究与农业生产有关的气象条件的发生、变化和分布规律;二是研究受气象条件影响和制约的有关农业问题及其解决途径。

(二) 农业气象学的任务

农业气象学的形成与发展是与农业生产密切相关的,它一方面研究农业生产对气象条件的要求和反应,研究气象条件对农业生产的影响,同时也研究农

业对象对气象条件的影响,从而不断地揭示和解决农业生产中存在的气象问题,以保障农业丰产、稳产、低耗、优质,谋求农业的持续发展。主要任务有以下几个方面:

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。由于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、利用与保护的观点出发,分析和说明一个地区农业气候资源的变化特点,为因地、因时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,由于大气中 CO_2 等温室气体的增加,引起了全球性气候变暖,这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

因为农业气象学的研究对象既有气象条件又有农业对象,所以其研究方法也必须从这两个方面考虑。在研究时,要求遵循平行观测(也称联合观测)的原则,即在进行各项气象要素观测的同时,也进行农作物生长、发育状况、农

业气象灾害的观测及田间管理工作的记载等。通过对平行观测资料的对照分析,就能确定天气、气候对农作物生长发育、产量和品质的影响规律,可对生长期期间的农业气象条件作出正确的评价。

为了在较短的时间内取得研究、分析时所需的资料,在平行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 5d 或 10d 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,进而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 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,在所有地段进行平行观测后,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