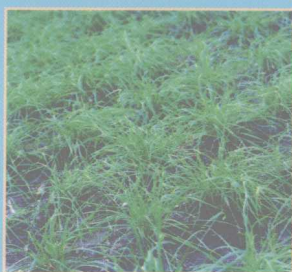




普通高等教育“十一五”国家级规划教材



农业气象学

第二版

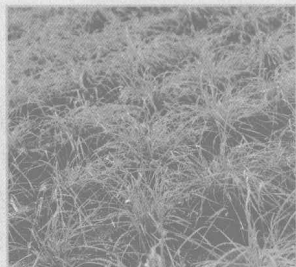
肖金香 穆 彪 胡 飞 编著



高等教育出版社
Higher Education Press



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



农业气象学

第二版

肖金香 穆 彪 胡 飞 编著



高等教育出版社
Higher Education Press

内容提要

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。本书以国内外现代农业气象学发展思路,结合经典的农业气象学理论与20世纪80年代以来国内外的最新研究成果,详细介绍了与农业生物密切相关的农业气象五大要素——光、热、水、气、风的概念、形成过程、变化规律及与农业生物的关系。阐述了天气学基本知识,不同天气系统对应的不同天气特点及天气系统反常引起的各种灾害性天气,论述了温度异常、水分异常、气流异常、高温热害、阴雨低温、干旱、洪涝、大风、冰雹、龙卷风等灾害性天气的形成过程、危害机理、危害特征及防御对策。介绍了气候、农业气候、林业气候和小气候的形成、变化规律及各种气候与农业生物的关系。

本书内容丰富,知识结构完整,可读性强,为农林高等院校大农学类专业的本科生教材,也可作为水利、环境、生态等相关专业的教材或教学参考书,也可供农业气象科研和业务工作者参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

农业气象学/肖金香,穆彪,胡飞编著. —2版. —北京:
高等教育出版社,2009.2

ISBN 978-7-04-025529-4

I. 农… II. ①肖…②穆…③胡… III 农业气象—
高等学校—教材 IV. S16

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第008068号

策划编辑 李光跃 责任编辑 孟丽 封面设计 张楠 责任绘图 尹莉
版式设计 王莹 责任校对 张颖 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 100120
总机 010-58581000

经销 蓝色畅想图书发行有限公司
印刷 三河市春园印装有限公司

开本 787×1092 1/16
印张 17.75
字数 430 000

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 2009年2月第2版
印次 2009年2月第1次印刷
定价 21.20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 25529-00

序 言

“农业气象学”是高等学校农林、生物、环境类涉农学科的本科学生必修的一门十分重要的专业基础课。

肖金香、穆彪等教授主编的《农业气象学》教材,是在她(他)们积累了30多年农业气象学教学科研经验,分别主编出版过省级关于农业气象方面的优秀教材,综合构建成了“农业气象学”省级精品课程基础上,教学理论与实践的升华和结晶。

该教材适应了培养学生面向国家需求、面向未来、面向现代化的要求,运用辩证唯物主义方法阐述农业气象科学规律。既重视了农业气象学经典理论的讲述,又注重介绍了国内外农业气象学先进研究成果和发展动向;既重视了农业气象学理论与观测技能的结合,又注重了农业气象学理论与农林、生物、环境类涉农学科生产实践的关系。

该教材逻辑思路清晰,章节结构合理,选材精练、由浅入深、循序渐进,文字流畅,概念准确,图文并茂,述问结合,是一部适应高等学校农林、生物、环境类涉农学科需要的出色的专业基础课教材。

中国工程院院士
国家气象中心研究员

李泽椿

2008年8月26日

前言

农业气象学是农业科学和气象科学之间的交叉科学,也是气象学、农学、农业生物学和农业生态学的边缘学科,与现代地理科学、生物科学、环境科学等均有密切联系,因而具有综合学科的特点。天气的变化,气候的异常与农业生产和人类活动息息相关。由 IPCC 第四次调查报告指出,我国近 50 年的气候变化是由人类活动引起的。尤其是近 10 多年来农业气象灾害的频繁发生,使得农业结构有了很大的调整。随着计算机网络化的发展,信息技术与传感技术相结合,迅速改变了农业气象学的面貌,使农业气象学展示出丰富的内涵。2000 年,笔者曾编著出版了《农业气象学》地方教材,该书 2004 年获得省级首届普通高校优秀教材一等奖。2006 年,笔者萌发了再编一本全国教材的想法。因为农业气象学在农业中的作用越来越重要,地位也越来越高。农业气象学在为“三农”服务中发挥了巨大作用。因此,2006 年申请编写普通高等教育“十一五”国家级规划教材《农业气象学》,当年获得教育部批准。年底着手编写教材大纲,分发到各个编写院校。2007 年 8 月在贵州大学召开了第一次教材编写会议,讨论了教材编写思想、教材内容体系和统稿事宜。2008 年 5 月在华南农业大学召开了第二次教材审稿会议,再次统一了教材内容。本书保留了原有的经典理论,且又增改更新,这得益于书中所附参考书刊,以及国内外 20 世纪 80 年代以来的新成果。教学过程可根据不同专业取舍内容。

各章的编写分工如下:绪论、第一章、第四章、第六章、第七章、第十章肖金香(江西农业大学),第二章和第五章穆彪(贵州大学),第三章陈国惠(西南大学),第八章和第九章胡飞(华南农业大学),第十一章黄寿波(浙江大学)。第一章以段若溪、姜会飞主编 2002 年出版的《农业气象学》为蓝本,第十章第一节和第二节以韩湘玲教授主编 1999 年出版的《农业气候学》中刘乃壮教授主写的为蓝本。全书由肖金香教授统稿,中国农业大学郑大玮教授主审,插图由江西农业大学叶清修改。

本书的出版得到了高等教育出版社、江西农业大学、贵州大学、华南农业大学等院、校、教务处和有关领导的大力支持,得到了中国工程院院士、国家气象研究中心李泽椿研究员的肯定,还得到了中国农业大学郑大玮教授和韩湘玲教授的鼓励,更赖于有关高等院校同仁的热情赐稿。在此,向关心、支持本书出版的单位和领导及付出辛勤劳动的撰稿同仁、所有参考书刊的著者表示衷心的感谢。

编者竭尽全力,力求完善,但仍感有不足之处。敬请读者批评指正,有待今后进一步充实完善。

肖金香

2008 年 6 月

第一版前言

概率论与数理统计都是研究随机现象数量规律性的学科。在药学、医学和卫生科技工作中有着广泛的应用。同时，它也是药理学、毒理学、药物动力学等课程的前期基础理论课。

本书以概率为基础、统计推断为中心，重点介绍常用的统计分析方法，包括随机事件及其概率、随机变量及其分布、随机变量的数字特征、随机抽样及抽样分布、抽样估计、假设检验、方差分析、正交试验设计与分析、相关与回归分析共九章内容，书后附有统计软件应用介绍。讲授本书全部内容约需72学时。考虑到我国现有的多种教育层次和医教研卫战线上大量的卫生统计工作者的需求，本书内容涵盖广泛、论理深入浅出，既坚持了传统数理统计的内容，又扩充了一些实用的统计方法，在数理统计与卫生统计的沟通与衔接方面做了有益的尝试。

本书可供高等医药院校药学本科（含专升本）作教材使用，也可供非药学专业本科生及研究生选用，从事医药卫生工作的科技人员也可学习参考。

本书由浙江大学周怀梧教授和第二军医大学谈祥柏教授主审。他们提出了许多中肯而宝贵的意见，在此谨表感谢。第二军医大学高慕勤、徐玲玲两位老师参与了教材的策划、整理、校对等工作，谨致谢忱。在编辑出版过程中，本书还得到高等教育出版社的热情支持，在此一并致谢。

在编写过程中，本书参考了大量的同类书刊并借鉴了同行们的经验，在此深表谢意。限于编者的水平，书中定有不少缺点、错误，热切希望使用本书的师生和广大读者提出宝贵的批评和建议。

编 者

二〇〇三年十月

目 录

绪论	1	五、太阳辐射光谱	36
第一节 气象学研究的对象和任务	1	第三节 地面有效辐射和辐射差额	38
第二节 农业气象学研究的对象、任务和方法	2	一、地面辐射	38
一、农业气象学的研究对象	2	二、大气辐射	39
二、农业气象学的任务	2	三、地面有效辐射	39
三、农业气象学的研究方法	2	四、大气温室效应和阳伞效应	39
第三节 气象学与农业气象学发展简史	4	五、地面辐射差额	40
一、气象学发展简史	4	第四节 太阳辐射与农业生产	40
二、农业气象学发展简史	6	一、辐射波谱与农业生产	40
第一章 大气	9	二、光照与农业生产	42
第一节 大气的组成和垂直结构	9	三、光能利用与农业生产	44
一、大气的组成	9	思考题	45
二、大气的垂直结构	11	推荐阅读文献	46
第二节 大气污染	14	第三章 温度	47
一、大气污染的人工源	14	第一节 下垫面和近地层温度变化的因素	47
二、大气污染物	15	一、物质热特性	47
三、大气污染的影响	18	二、物质热传递的方式	49
四、大气污染的防治	20	三、下垫面的热量收支差额	51
第三节 大气与农业	21	第二节 土壤温度及其变化	53
一、CO ₂ 浓度变化对农作物的影响	21	一、地面温度变化和地面热量收支的关系	53
二、CO ₂ 浓度增加后对农业计划与措施		二、土壤温度的日变化	53
的调整	23	三、土壤温度的年变化	54
思考题	23	四、土壤温度的垂直变化	54
推荐阅读文献	23	五、土壤温度垂直传递规律	55
第二章 辐射	24	第三节 水体温度及其变化	56
第一节 辐射的基础知识	24	一、水体中热量传播的特点	56
一、辐射及其特性	24	二、水体温度的日变化和年变化	57
二、辐射的基本定律	26	三、水体温度的垂直变化	58
第二节 太阳辐射	27	第四节 空气温度及其变化	58
一、太阳辐射强度和太阳常数	27	一、空气温度的日变化	58
二、太阳高度角、太阳方位角和昼长	28	二、空气温度的年变化	59
三、大气对太阳辐射的减弱	31	三、空气温度的非周期性变化	59
四、到达地面的太阳辐射强度	34	四、空气温度的垂直变化	60

第五节 空气温度的绝热变化与大气 稳定度	60	一、气压的定义、测定原理及单位	99
一、空气温度的绝热变化	60	二、气压的时间变化	99
二、大气静力稳定度	62	三、气压的水平分布	100
第六节 温度与生物生命活动	63	四、气压的垂直变化	102
一、土壤温度与生物生命活动	63	第二节 风及其变化	106
二、生物生命活动的基本温度	64	一、风的概念	106
三、周期性变温对植物的影响	64	二、作用于空气的力	107
四、三基点温度和界限温度与生物生命 活动	64	三、自由大气中的风——地转风和 梯度风	110
五、积温及其应用	66	四、近地气层的风——摩擦风	112
思考题	68	五、风的变化	112
推荐阅读文献	69	第三节 大气环流	113
第四章 水分	70	一、三圈环流模式	113
第一节 空气湿度	70	二、大气活动中心	115
一、空气湿度的表示方法	70	三、季风	116
二、空气湿度的变化	73	第四节 地方性风	117
第二节 蒸发、蒸腾和蒸散	75	一、海陆风	117
一、水面蒸发	75	二、山谷风	118
二、影响蒸发的因素	75	三、峡谷风	119
三、植物的蒸腾	77	四、焚风	119
四、农田蒸散	78	第五节 风和乱流与生物生命活动	120
第三节 凝结物	82	一、风和乱流对生物生命活动的 有利方面	120
一、凝结的概念	82	二、风和乱流对生物生命活动的不利 方面	120
二、大气中水汽凝结的条件	82	思考题	120
三、地面上的凝结物	83	推荐阅读文献	120
四、近地气层的凝结物	84	第六章 天气学基础知识	122
五、自由大气中的凝结物	85	第一节 天气系统和天气过程	122
第四节 降水	89	一、天气和天气学	122
一、降水的形成	89	二、天气系统	122
二、降水的种类	92	三、天气过程	122
三、降水的特性	92	四、天气变化	123
四、大气中的水分循环	94	第二节 气团	123
第五节 水分与植物	96	一、气团的概念	123
思考题	97	二、气团的形成和变性	123
推荐阅读文献	98	三、气团的分类	124
第五章 气压与大气运动	99	四、气团天气	124
第一节 气压及其变化	99		

五、影响我国的气团	125	一、大风及其危害	164
第三节 锋面	125	二、台风	166
一、锋面的概念	125	三、龙卷风	169
二、锋的意义	126	四、风沙	170
三、锋的分类	126	思考题	172
四、锋面天气	127	推荐阅读文献	172
第四节 气旋及其天气	130	第八章 气候	174
一、气旋的概念	130	第一节 气候和气候系统	174
二、锋面气旋	131	一、气候	174
第五节 反气旋及其天气	133	二、气候系统	174
一、反气旋的概念	133	第二节 气候形成的因素	175
二、影响我国的反气旋	133	一、辐射因素	175
第六节 高空天气系统	136	二、下垫面因素	176
一、高空冷涡	136	三、环流因素	182
二、高空槽	136	四、人类活动对气候的影响	182
三、高空阻塞高压和切断低压	137	第三节 气候带与气候型	183
四、高空切变线	137	一、气候带	183
第七节 天气预报简介	138	二、气候型	185
一、天气图方法	139	第四节 世界主要气候带内的农业	187
二、数值天气预报方法	141	一、热带雨林带与农业	187
三、统计预报方法	141	二、热带稀树草原气候带与农业	188
四、先进技术的综合应用	141	三、热带、亚热带的半荒漠、荒漠气候带与农业	188
思考题	142	四、热带草原带、温带草原带与农业	188
推荐阅读文献	142	五、亚热带森林气候带与农业	188
第七章 气象灾害及防御对策	143	六、温带阔叶林气候带与农业	189
第一节 温度异常造成的气象灾害	143	七、亚寒带针叶林气候带与农业	189
一、寒潮	143	第五节 气候变化	189
二、霜冻	146	一、气候变化的原因	189
三、冷害	149	二、气候变化的研究方法	191
四、冻害	152	三、气候变化事实	194
五、热害	153	四、气候预测的方法	196
第二节 水分异常造成的气象灾害	155	五、中国应对气候变化的策略	197
一、干旱	155	思考题	198
二、洪涝和湿害	157	推荐阅读文献	198
三、连阴雨	160	第九章 中国农业气候	199
四、冰雪灾害	161	第一节 影响中国气候的主要因素	199
五、冰雹	162	一、地理环境	199
第三节 气流异常造成的气象灾害	164		

二、太阳辐射	200	第一节 小气候的概念及形成的物理基础 ...	242
三、环流因素	200	一、小气候的概念	242
第二节 中国气候特征	202	二、小气候的特点	242
一、季风显著	202	三、小气候和农田小气候形成的物理基础	243
二、大陆性强	202	第二节 农田小气候的一般特征	245
三、温度变化大	203	一、农田活动层的热平衡状况	245
四、降水复杂化	207	二、农田中光的分布	246
第三节 中国农业气候	209	三、农田中温度的分布	247
一、光能资源	209	四、农田中湿度的分布	248
二、热量资源	211	五、农田中风的分布	248
三、水资源	215	六、农田中二氧化碳的日变化和垂直变化	249
第四节 中国农业气候区划	215	第三节 地形和水域小气候	250
一、东部季风农业气候大区	216	一、地形小气候 (topo-microclimate)	250
二、西北干旱农业气候大区	217	二、水域小气候 (microclimate of water area)	255
三、青藏高原农业气候大区	218	第四节 果园和茶园小气候	257
四、我国农业气候区划工作的新进展	219	一、果园小气候 (orchard microclimate) ...	257
思考题	219	二、茶园小气候 (microclimate in tea plantation)	259
推荐阅读文献	219	第五节 农业措施小气候	262
第十章 林业气候	220	一、耕作措施的小气候效应 (microclimatic effects of ploughing) ...	262
第一节 林业与气候的关系	220	二、栽培措施的小气候效应 (microclimatic effects of planting)	264
一、森林分布与气候	220	三、灌溉措施的小气候效应 (microclimatic effects of irrigation) ...	265
二、树木的气候适应性原理	224	四、护田林的小气候效应 (microclimatic effects of farm shelterbelt)	267
第二节 林木的气候生产力	228	第六节 温室和覆盖地小气候	268
一、产量与气候	228	一、温室小气候 (microclimate in greenhouse)	269
二、品质与气候	232	二、覆盖地小气候 (microclimate in covered field)	270
第三节 森林小气候	233	思考题	271
一、森林的活动面和活动层	233	推荐阅读文献	271
二、森林内的辐射和光照	234		
三、森林内的温度	236		
四、森林内的湿度	238		
五、森林对降水的影响	239		
六、森林对风的影响	240		
思考题	240		
推荐阅读文献	241		
第十一章 农业小气候	242		

绪 论

第一节 气象学研究的对象和任务

在地球周围包围着一层厚厚的大气层,在这层大气层里发生着各种各样的物理过程,如辐射能的收入与支出、热量的传递和水分的蒸发与凝结等。这些物理过程在一定的物理条件下转化为物理现象,如风、云、雨、雪、虹、晕、雷、电以及冷、暖、干、湿等。气象学就是研究发生在大气层中的物理过程和物理现象的本质及其变化规律的一门科学。

气象学在发展的过程中,逐步分出天气学、气候学、大气污染学和大气化学等分支学科。

天气学:某地短时间内由各种气象要素综合所决定的大气状态称为天气。为了定量地描述天气变化,常采用一些特征量,如温度、湿度、气压、风、云、能见度、降水、日照等。这些特征量就称为气象要素。研究天气的变化规律和预告未来天气变化的一门科学称为天气学。

气候学:某地长时间的大气物理状况,包括正常年份和特殊年份出现的天气状况称为气候。例如,江西省历年平均气温为 $16.4 \sim 19.8^{\circ}\text{C}$ (正常情况),1953 年 2 月 6 日彭泽县出现了 -18.9°C 的低温(特殊情况)。研究气候的形成和变化规律,综合分析和描述一地气候特征的一门科学称为气候学。

大气污染学:自然界及人类活动向大气排放各种污染物,当污染物超过环境所能允许的极限时,大气质量发生恶化,使人们的生活、工作、健康状况以及生态环境等遭到恶劣影响和破坏,此类现象称为大气污染。研究大气中污染物质的来源、时空分布、迁移、扩散和化学转化过程及其规律和防治的一门科学称为大气污染学。

大气化学:大气化学主要研究对流层和平流层大气中主要成分和微量成分的组成和大气化学过程的大气科学分支学科。它涉及大气各成分的性质和变化、源和汇、化学循环,以及发生在大气中、大气同陆地或海洋之间的化学过程。研究的对象包括大气微量气体、气溶胶、大气放射性物质和降水化学等。研究的范围涉及对流层和平流层,即约 50 km 高度以下的整个大气层。研究的地区范围包括全球、大区域和局部地区。

气象学研究的任务:

- (1) 把大气当做研究的物质客体,从定性和定量两方面来说明大气的特征。
- (2) 研究导致大气现象发生和发展的能量来源、性质及其变化。
- (3) 研究大气现象的本质,进而解释大气现象,寻求其发生、发展的规律。
- (4) 应用上述规律,控制自然和改造自然,造福人类。

第二节 农业气象学研究的对象、任务和方法

一、农业气象学的研究对象

农业气象学是应用气象的一门学科,是农业与气象的边缘学科。到目前为止,没有统一的定义。常见的有以下几种描述:

世界气象组织农业气象委员会编写的《农业辞典》提出,农业气象学是指研究气象条件与农业生产相互关系的一门科学。

英国的 L. P. 史密斯提出,农业气象学是将气象科学技术应用于农业高产的科学。

苏联的 B. B. 西涅里席柯夫提出,农业气象学是研究对农业有意义的气象、气候和水文条件的一门科学。

日本的内岛善兵卫提出,农业气象学是研究农业生产中气象、水文条件的规律和改造这些条件的一门科学。

日本的太后美保提出,农业气象学是研究农业生产中所有气象问题及其解决途径的一门科学。

我国的农业气象学者认为,农业气象学是研究生产与气象条件的相互关系及规律,并根据农业生产的需要,应用气象科学技术,充分合理地利用农业气候资源,战胜不利的气象条件,促进农业高产、稳产、优质、低耗、高效的一门科学。

二、农业气象学的任务

农业气象学的任务包括:

- (1) 对农业气候资源进行分析、利用和区划。
- (2) 确定农业气象指标,根据指标鉴定气象条件对农业生物生长发育和产量的影响。
- (3) 研究农业气象灾害发生规律及防御措施。
- (4) 开展农业气象测报、预报和情报的服务工作。
- (5) 对农业小气候的调节、利用和改造研究。

三、农业气象学的研究方法

1. 平行观测法

平行观测法即同时观测气象要素和农作物生长发育状况。

2. 地理播种法

在气候条件不同的地区,选择土壤条件尽可能相同的地段,采用同一农业技术措施,于各地最适宜的播种期播种同一品种,按统一研究方案进行平行观测。这样,在一年里便可得到同一品种在不同气象条件下生长发育和产量的资料。

3. 分期播种法

在同一地区,每隔 5 d 或 10 d 播种同一作物,根据研究任务,可播 5 ~ 10 期或更多。一年中可以得到 5 ~ 10 期或更多不同天气过程对该作物发育期影响的资料,经统计分析,取得所需的数

量指标。

4. 地理分期播种法

该研究方法是将地理播种法和分期播种法结合起来,它兼有地理播种法和分期播种法的优点,且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法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。

5. 人工气候实验法

利用人工气候室或人工气候箱群,模拟近似太阳光谱的人工光源,控制到需要的温度、湿度;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;模拟作物生长发育所需的各种气象条件,从而得到某一作物对光、热、水要求的定量指标;或定量考查几种气象要素对该作物的综合影响。同时,还可以模拟极端气象条件对作物发育和产量品质的影响,研究预防措施的气象效应;进一步探索在自然情况下得不到的最优气象条件,为农业工厂化提供重要的数据资料。

6. 气候分析法

根据栽培作物生长发育资料和气象资料,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。

7. 统计分析和图解分析法

在对比分析农业对象与气象资料相互关系时,除采用一般的对比分析外,还可以采用统计分析法,得到我们所需要的结果。常用的统计分析法有:① 相关分析,② 概率、频率及保证率分析,③ 方差分析,④ 回归分析,⑤ 其他统计方法等。在农业气候研究中,也可以通过制作农业气候图,反映农业气候要素之间及气候要素与农业对象之间的定量关系,如列线图、相关图、散布图、点聚图以及表示要素在地域分布规律的等值线图等。

由于计算机的广泛应用,聚类分析、通径分析、线性规划、模糊数学、系统论、决策论等直接应用到农业气象研究工作中,使农业气象定量化研究更向前推进一步。

8. 遥感与地理信息系统技术的应用

随着卫星遥感技术的发展,利用遥感影像及通过卫星影像解译技术,对开展农业气候资源,尤其是为山地农业气候资源、区域分布界限及旱涝等灾害的时空分布规律的研究提供了有利条件,在很大程度上克服了常规站网和山区气候资料不足的缺点,并大大提高了农业气候地域规律研究的准确性。因此,使农业气候资源和灾害分布规律及农业气候区划地域界限研究更加符合自然客观规律。

地理信息系统是对地理环境有关问题进行分析和研究的重要手段。它利用计算机建立地理数据库,将地理环境的各要素,包括它们的地理空间分布状况和所具有的属性数据,进行数字存储,发展各种分析和处理功能,建立有效的数据管理系统。通过对多要素的综合分析,方便快速地获取信息,满足应用或研究的需要,并能用图形和数字的方式表示结果。农业气候要素的地域分布规律与下垫面的地理环境要素有密切的关系,因此,应用地理信息系统技术进行农业气候资源、灾害、生物生态适应性、生产力等区域分布规律的研究,能够快速、准确地处理大量数据,并能同空间位置联系在一起,迅速而客观地给出我们所需要的图形。

第三节 气象学与农业气象学发展简史

一、气象学发展简史

(一) 萌芽时期

这个时期是从公元前 26 世纪我国的黄帝时期开始,传说他委派羲仲、羲叔、和仲、和叔 4 人专门掌握天象、物候,确定春分、秋分、夏至、冬至和季节,并依次安排农业活动。

公元前 1217 年,我国殷代的甲骨文中已经有了关于雨、雪、雷、雾、冰雹和降水强弱等的文字记载。

公元前 9 世纪到公元前 3 世纪,我国的《逸周书》中记载着从战国到秦朝时代的物候,并将全年分为 72 候,逐候记载着气候变化和生物活动的特点。

公元前 8 世纪到公元前 5 世纪,我国最早的诗歌总集《诗经》中已经出现了关于天气谚语和气候谚语的记载。几乎是同一时期出现的《夏小正》中按农历 12 个月的顺序,逐月记述了自然现象和物候知识,它成为最早的物候学著作。

公元前 3 世纪出现的《吕氏春秋》中,已经对空中出现的云进行了简单的分类,按云的形状分为山云、水云、旱云和雨云 4 种。

公元前 3 世纪到公元前 2 世纪,我国的秦代到汉代期间确定了每年的 24 个节气,成为农事活动的主要依据,并且一直沿用到今天。

公元前 2 世纪,我国能够应用木炭质量的变化和琴弦伸缩的程度来测量空气的湿度。

公元前 2 世纪到公元 1 世纪,我国西汉时期的《淮南子》中已经提到一种叫做“籥”的风向器。

公元前 2 世纪,古希腊的托勒玫发现大气折射现象。同一时期,我国东汉的张衡发明了可以被风转动的相风铜鸟。

公元 7 世纪,我国唐代的李淳风在《乙巳占》中对风力进行了分级,共分为 10 级。

公元 11 世纪,我国宋代的沈括在《梦溪笔谈》中提出了海陆风变迁、流水侵蚀地形的原理,揭示了化石的形成,利用化石推断古气候的方法,还指出了磁偏角现象。

公元 13 世纪,我国南宋的秦九韶在《数书九章》卷四中记载有计算雨量器容积的内容:“天地测雨”和“圆罍测雨”,这是我国雨量器的前身。同一时期,意大利的维塔罗指出虹霓是由日光的反射和折射作用所造成的。

公元 14 世纪,我国元代的娄元礼在《田家五行》中共记载了 500 多条看天经验,包括有短期、中期、长期天气预报。

我国是文明古国,在这个时期我国气象领域的成就处于世界领先地位。

(二) 初建时期

这个时期是指从公元 16 世纪中叶到 19 世纪末的阶段。

公元 16 世纪中叶,意大利的丹蒂发明了定量测量风速的摆式风力计。

1643 年,意大利的托利拆利发明了水银气压表,可以定量观测大气压力。

1644 年,英国的虎克发明了风压器。

1653 年,意大利建立了世界上第一个气象观测站,开始对气象要素进行系统的、定量的观测。

1686 年,英国的哈雷利用气压说明了测高公式和季风。

1687 年,英国的丹皮尔提出了台风理论。

1695 年,我国清代的刘献庭在《广阳杂记》卷三中记载了甘肃等地用火炮消除冰雹的方法。

1709 年,德国的华伦海特首次创立了温标,后来确定为华氏温标。

1742 年,瑞典的摄尔西斯制定出百分温标,后来确定为摄氏温标。

1783 年,瑞士的霍·索修尔发明了毛发湿度表。

1805 年,英国的蒲福确定了风级标准。

1806 年,德国的洪堡发现了气温随高度升高而降低的规律,并在 1817 年提出了等值线的概念,绘制了世界范围的年平均气温分布图。

1820 年,正式用于气象观测的精确温度表问世。同年,德国的勃伦特斯制成了气压图,这就是现在天气图的雏形。

1825 年,发明了用干湿球温度表测温度的方法。

1857 年,德国的克芬修斯提出了理想气体的定义。

1860 年,荷兰的巴罗特创立了风与气压梯度关系的巴罗特定律。

1869 年,英国的布汉首次绘制了全球范围的等压线图。

1874 年,丹麦的霍夫迈尔首次绘制了北半球天气图。

1877 年,美国的费雷尔提出了大气环流理论。

1879 年,德国的苏潘按温度指标首次进行了气候分类。

1884 年,德国的柯本根据气温和降水两个气象要素以及重要的指标植物,进行了全球的气候带划分。

1887 年,奥地利的汉恩发表了《气象图集》,内容包括全世界等温线图、等压线图和年总雨量图等。同年,瑞典的希尔德勃兰德逊和英国的阿勃克罗培提出了 10 种国际云型。后来希尔德勃兰德逊发表了《国际云图》。

1980 年,瑞士的布吕肯纳提出了气候变化的 35 年周期学说。

在初建时期,我国的气象事业停滞不前,落后于西方国家。

(三) 发展时期

这个时期是从 20 世纪初开始的,至今仍处在快速发展的阶段。

1902 年,法国的德·波尔特和德国的阿斯曼发现了大气平流层。

1909 年,英国的辛普生提出雷雨的电荷生成学说。

1913 年,德国的埃姆顿提出了大气热辐射平衡理论。同年,我国在北京建立了自己的第一个观象台。

1918 年,挪威的杰·皮叶克尼斯提出了锋面和气旋学说,奠定了预报短期天气的理论基础。

1921 年,法国的勃莱和布衣生发现了存在于大气层中的臭氧层。

1926 年,法国的德马东提出了干燥指数,并绘制出全球干燥指数分布图。同年,我国的竺可桢提出了中国地质历史时期的气候脉动说并于次年创立了气象研究所。竺可桢是我国气象学的奠基人。

1928年,瑞典的贝吉隆提出了气团理论,并于1933年提出降水的冰核说。

1946年,美国的夏弗和冯乃高发现干冰和碘化银可作为人工冰核。同年,美国的兰格缪尔进行了人工降水试验。美国的贝斯特用火箭进行离地面120 km高处的超高层观测。

1950年,英国的恰普曼发现了存在于大气平流层与电离层之间的中间层。

1960年,美国成功发射世界上第一颗气象卫星。

1973年,美国和苏联开始发射宇宙飞行器,探测行星大气。

1977年12月至1979年11月,进行了第一次全球天气试验,这次试验动用了五个地球同步气象卫星、两个近地轨道卫星、众多的气象火箭和世界各地的地面气象观测站、自动气象站、飞机、船舶、浮标站和高空气球等,进行了较完整的立体观测。

在这一时期,特别是新中国成立以来,我国气象事业的成就引人注目,先后建起了数以千计的地面气象观测台站,在大气环流、动力气象、高原气象、卫星气象、探测原理、人工降雨和人工消雹等方面取得了显著进展。

进入20世纪80年代后,我国的气象科技更是突飞猛进。

1988年9月7日,我国发射了第一颗试验性气象卫星,进入太阳同步轨道。同年的12月25日,又发射了大气探测火箭。

1990年9月3日,我国成功发射名为“风云一号”的试验气象卫星,进入离地900 km高空的太阳同步轨道。

1997年6月10日,我国在四川的西昌用“长征三号”运载火箭成功地将第二代气象卫星“风云二号”发射升空,进入地球同步轨道,该卫星质量为1 380 kg,视野广阔,能覆盖以我国为中心的约 $1.0 \times 10^8 \text{ km}^2$ 的地球表面,可以观测和提供我国及邻国的大气云图、温度、水汽、风场等气象动态,对准确地进行中、长期天气预报及灾害预报具有重要作用。

二、农业气象学发展简史

农业气象学大致经历了古代、近代和现代发展时期。农业与气象条件关系的朴素见解散布于古代的哲学、历史、史诗的丛书与农业传说中,在古代中国、希腊、罗马、埃及、印度诸国,已有相当规模的农业气象经验的积累。中世纪宗教与神学垄断了欧洲学术讲坛,窒息了科学思维;但从公元2世纪至15世纪,发达的中国古代文明孕育着农业气象观念的雏形,在古农书中有大量农业气象知识的汇集。

人类在古代朴素唯物观的引导下,迎来了以牛顿力学为标志的第一次科学综合发展时期;19世纪初叶,受自然科学三大发现的“引爆”和工业化大生产的强力推动,导致了第二次科学大综合的壮观发展,为众多的科学奠定了基础,农业气象学也应运而生。

1854年,L.布洛森杰在美国政府的农业报告中论述了农业气象相似理论,同年,俄国学者鲁托维奇出版了世界上第一本《农业气象学》,其可视为近代农业气象学理论形成的标志。著名日本气象学家太田美保认为,德国慕尼黑工业大学附设农科教授瓦路耐(E. Wollny)于1879年至1898年间写成《农业物理研究》一书,可看做近代农业气象学的开端。在美国,金(F. H. King)于1898年开始在威斯康星大学讲授农业气象学,这可看做是农业综合教育的启蒙。大气科学在物理学基础上的创建时期为17世纪至19世纪初,是农业气象学发展的重要时期。

19世纪初以爱因斯坦相对论提出所触发的物理学革命,标志着第三次科学大综合浪潮的真

正到来,农业气象学经过曲折的发展,也取得了长足的进步,跨入了现代科学行列。早在1912年,我国一些农业试验场开始设立农业测候所,积累气象资料为农业服务,为农业气象学在中国的发展打下了初步基础。之后,在一些农业气象先驱者的倡导下,现代农业气象学在中国得到了发展。但总的说来,1949年以前农业气象学的发展较为迟缓。

新中国成立后,农业气象学随着中国农业的复苏而迅速发展,全国成立了专门的农业气象研究、业务和教学机构,农业气象学技术水平迅速提高。1954年中央气象局成立了农业气象科,1956年改为农业气象处,1957年在全国建立了10个农业气象试验站,1958年成立农业气象研究室,1983年扩充成立农业气象研究所。在专业人才培养方面,1953年在江苏丹阳,1954年在南京、北京先后举办了农业气象讲习班。1956年在北京农业大学创办了农业气象专业,以后沈阳农学院、广西农学院、南京气象学院等相继成立了农业气象系(专业),开始有计划地培养农业气象人才。1958年10月,在南京召开了第一届全国农业气象工作会议,对推动全国农业气象科学技术的发展起到了积极作用。为了适应中国农业气象学的发展,1962年中国气象学会成立了农业气象专业委员会。1981年,中国农学会成立了农业气象研究会,2006年改为农业气象分会。

在农业气象研究方面,20世纪50年代主要是基础理论研究。如作物生育对温度、光照、水分的要求,农业气象观测和研究方法的探讨,农业措施的农田小气候效应,土壤水分和土壤蒸发,农业气候资源的分析,农业气象灾害和林火气象等。50年代末到60年代初,加强了对农业气象灾害发生规律、预报和防御措施的研究。1964年,竺可桢发表了《论我国气候的几个特点及其与粮食作物生产关系》一文,系统地论述了按各地气候特点进行粮食作物合理布局的问题。同年,中国气象学会召开了全国农业气候区划会议,推动了农业气候资源的调查和分析研究。70年代以来,随着中国农业现代化事业的迅速发展和学科间的相互渗透,农业气象事业也有了新的进展。人工气候箱、人工气候室、电子计算机、遥感技术逐渐在农业气象研究中得到应用,运筹学、系统工程、模糊数学等用来进行农业气象研究,使这门学科从定性分析向定量研究发展,并建立了多种农业气象数学模式,在农业气象预报、气候生产力鉴定等方面得到了应用;并开始注意用生态学观点研究天气、气候与农业的相互关系。全国开展了农业气候资源的区划和作物产量的气象预报研究,并开展了对农田小气候、农业地形小气候、作物气候生产潜力、林业气象及畜牧气象等的研究和应用。80年代以来,由于植物生理学研究的深入,微气象测试方法与仪器的改进,以及作物模拟研究的发展和作物各生育期生长发育、产量模型的建立,使作物生长发育、光合、呼吸、氮素吸收、器官构造、产量形成等一系列生理生态过程研究的深度和广度大大超过以往作物气象研究水平。在农业气候资源的评价、分析、利用方面,利用地理信息系统(GIS)。GIS把地理、环境、气候、土壤等因素结合起来,对各种资源的合理利用提出决策意见。运用信息技术建立农业气象灾害的发生模型和危害模型,将这些模型与作物模拟结合,使得对气象灾害的发生规律有了更透彻全面的了解。不仅能模拟出不同区域历年的受灾面积和受灾作物,完成对农业气象灾害模型的验证、修改和完善,还能对农作物的危害程度进行分析。将经过验证的农业气象灾害模型与决策系统、专家系统相结合,提出正确的综合防御措施,指导大面积农业生产。由于传感器技术和计算机技术的发展,使得测试手段大大加强,丰富与发展了小气候的理论研究。例如,在湍流运动中,对空气微粒轨迹的跟踪可实现1 s采样1 000~1 500个数据,从而搞清湍流微粒运动的规律。在农田小气候研究中,将小气候与作物模拟相结合,利用传感器技术与计算机连接,不仅可以测出植被冠层内温、光、水等气象要素分布规律,而且能分析出各种气象因素对农作