

高等农业院校教材

# 热带作物气象学

何春生 主编

REDAlZUOWUQIXIANGXUE



中国农业大学出版社

高等农业院校教材

# 热带作物气象学

何春生 主编

中国农业大学出版社

**图书在版编目(CIP)数据**

热带作物气象学/何春生主编. —北京:中国农业大学出版社,2006.12

ISBN 7-81117-120-1

I. 热… II. 何… III. 热带作物-气象学 IV. S16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 134998 号

**书 名** 热带作物气象学

**作 者** 何春生 主编

**策划编辑** 潘晓丽 司建新

**封面设计** 郑 川

**出版发行** 中国农业大学出版社

**社 址** 北京市海淀区圆明园西路 2 号

**电 话** 发行部 010-62731190,2620

编辑部 010-62732617,2618

**网 址** <http://www.cau.edu.cn/caup>

**经 销** 新华书店

**印 刷** 涿州市星河印刷有限公司

**版 次** 2006 年 12 月第 1 版 2006 年 12 月第 1 次印刷

**规 格** 787×1 092 16 开本 15.5 印张 382 千字

**印 数** 1~1 000

**定 价** 27.00 元

**责任编辑** 孟 梅

**责任校对** 王晓凤 陈 莹

**邮政编码** 100094

**读者服务部** 010-62732336

**出 版 部** 010-62733440

**e-mail** cbsszs @ cau.edu.cn

图书如有质量问题本社发行部负责调换

# 前 言

农业气象学为农学类专业(农学、植保、园艺、草业等)的一门专业基础课,在农业生产过程中,会遇到种种气象问题,也涉及到环境(其中主要涉及到大气环境)的调控,因此,学习农业气象学、掌握和了解农业气象要素的变化规律及观测方法、手段等对未来从事农业生产和研究的农学类专业学生来说是非常必要的。目前,关于农业气象的教材还是比较丰富,但主要面向北方地区农业,针对我国热带、南亚热带地区的热带作物生产方面的教材鲜见,现只有由施健同志 1993 年编写、于 1995 年农业出版社出版的《热带作物气象学》,随着时间的推移,热带农业的发展,已渐渐不适应热区农业气象教学的需要,同时,其范围也主要局限于橡胶等少数热带作物的生产过程,为此,我们重新编写了这本《热带作物气象学》,以适应当前热带农学、热带作物植物保护、热带园艺等专业的热带农业气象的教学需求。

本教材在注重讲授系统的农业气象基础知识的同时,主要针对广义的热带农业生产过程中涉及到的农业气象问题进行分析讲解,为进一步的专业课程学习打下基础,学习本课程的要求是:①掌握农学气象学的基本概念、基本原理,了解基本农业气象要素的变化规律以及热带作物生长发育对其要求;②了解我国热带(包括南亚热带)地区气候概况及各地的气候资源,为科学合理地利用气候资源进行农业产业规划调整等及引种国内外优良农作物品种等创造基础条件;③初步了解环境(地形、植被、栽培模式等)与小气候的相互关系,能在生产过程中积极创造合适的小气候环境,提高作物的品质和产量;④熟练掌握农业气象要素监测的基本技能及气候资料的使用方法。

本教材编写注重科学性与实用性的结合,系统地阐述了农业气象的基本理论和基础知识,并结合热带农业生产过程中出现的实际农业气象问题进行分析讲解,力求反映国内外热带农业气象的最近研究成果,增加其现实针对性。

本书由何春生主编。有关章节的编写人员是:第一章由周兆德编写,第九章、第十章由吴志祥编写,其余章节由何春生编写,最后由何春生统稿。编写过程中得到中国热带农业科学院橡胶研究所陶忠良同志的帮助。

全书承蒙中国气象学会农业气象学委员会副主任、原中国农业大学资源与环境学院副院长郑大玮教授主审,在此,编者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,时间仓促,书中错讹和不妥之处难免,恳请使用本教材的师生及广大读者批评指正。

何春生

2006 年 9 月于华南热带农业大学

# 目 录

|                                      |        |
|--------------------------------------|--------|
| 第一章 绪论                               | ( 1 )  |
| 一、气象与气象学                             | ( 1 )  |
| 二、农业气象学                              | ( 1 )  |
| 三、农业气象学的研究对象、任务和方法                   | ( 2 )  |
| 四、农业气象学的发展简史                         | ( 4 )  |
| 五、热带及热带作物气象                          | ( 6 )  |
| 第二章 大气                               | ( 8 )  |
| 第一节 大气的组成                            | ( 8 )  |
| 一、干洁大气的组成                            | ( 8 )  |
| 二、大气中的水汽                             | ( 10 ) |
| 三、大气中的固体杂质和液体微粒                      | ( 10 ) |
| 四、大气中的污染物                            | ( 11 ) |
| 第二节 大气的结构和垂直分层                       | ( 12 ) |
| 一、大气的高度                              | ( 12 ) |
| 二、大气的垂直分层                            | ( 13 ) |
| 第三节 二氧化碳与农业生产                        | ( 15 ) |
| 一、大气中 $\text{CO}_2$ 浓度的变化            | ( 16 ) |
| 二、田间 $\text{CO}_2$ 浓度的变化             | ( 17 ) |
| 三、高浓度 $\text{CO}_2$ 对作物栽培的影响         | ( 18 ) |
| 四、 $\text{CO}_2$ 增加后对农业生产计划与措施的影响与调整 | ( 20 ) |
| 第三章 太阳辐射                             | ( 22 ) |
| 第一节 辐射的基本知识                          | ( 22 ) |
| 一、什么是辐射                              | ( 22 ) |
| 二、物体对辐射的吸收、透射与反射                     | ( 23 ) |
| 三、辐射能                                | ( 23 ) |
| 四、有关辐射的基本定律                          | ( 24 ) |
| 第二节 太阳与地球                            | ( 26 ) |
| 一、太阳、太阳系与公转                          | ( 26 ) |
| 二、地球的经纬度,地方时、时区、区时                   | ( 28 ) |
| 第三节 太阳辐射                             | ( 29 ) |
| 一、太阳辐射光谱和太阳常数                        | ( 29 ) |
| 二、有关太阳辐射的几个概念                        | ( 29 ) |
| 三、太阳辐射在大气中的减弱                        | ( 32 ) |
| 四、到达地面的太阳辐射                          | ( 34 ) |
| 五、地面对太阳辐射的反射                         | ( 39 ) |

|                      |      |
|----------------------|------|
| 第四节 地面和大气的长波辐射       | (39) |
| 一、地面、大气的辐射和地面有效辐射    | (39) |
| 二、地面及地-气系统的辐射差额      | (41) |
| 三、地面热量平衡             | (41) |
| 四、地-气系统辐射平衡          | (42) |
| 第五节 太阳辐射和热带作物生长发育    | (43) |
| 一、太阳辐射光谱与热带作物        | (43) |
| 二、光照强度与热带作物的生长发育     | (45) |
| 三、光照时间长短与作物的生长发育     | (46) |
| 四、提高作物光能利用率的途径       | (48) |
| 第四章 大气热状况            | (50) |
| 第一节 表示热量条件的物理量       | (50) |
| 一、气温、土温、水温和体温        | (50) |
| 二、有关温度的统计量           | (51) |
| 第二节 土壤温度变化           | (52) |
| 一、土壤热特性              | (52) |
| 二、地面热量收支和影响土表温度变化的因素 | (55) |
| 三、土壤温度的变化            | (56) |
| 第三节 土壤-大气系统热交换       | (58) |
| 一、土-气系统热传递方式         | (58) |
| 二、空气温度的绝热变化          | (59) |
| 第四节 空气温度的变化          | (60) |
| 一、气温的日变化             | (60) |
| 二、气温的年变化             | (62) |
| 三、气温的非周期性变化          | (62) |
| 四、气温的垂直变化            | (63) |
| 第五节 温度与作物            | (65) |
| 一、3 基点温度             | (65) |
| 二、周期性变温对作物的影响        | (67) |
| 三、农业指标温度             | (67) |
| 四、积温                 | (68) |
| 第五章 大气中的水分           | (71) |
| 第一节 空气湿度             | (71) |
| 一、空气湿度的表示方法          | (71) |
| 二、空气湿度的变化            | (74) |
| 第二节 蒸发与蒸腾            | (76) |
| 一、水面蒸发               | (76) |

|                       |         |
|-----------------------|---------|
| 二、土壤蒸发 .....          | ( 77 )  |
| 三、植物蒸腾 .....          | ( 78 )  |
| 四、农田蒸散 .....          | ( 79 )  |
| 第三节 水汽的凝结与大气降水 .....  | ( 82 )  |
| 一、水汽凝结的条件 .....       | ( 82 )  |
| 二、水汽的凝结物 .....        | ( 83 )  |
| 三、大气降水 .....          | ( 86 )  |
| 第四节 水分条件与热带作物生产 ..... | ( 89 )  |
| 第六章 气压与风 .....        | ( 91 )  |
| 第一节 气压及气压系统 .....     | ( 91 )  |
| 一、气压和气压系统 .....       | ( 91 )  |
| 二、气压场 .....           | ( 93 )  |
| 三、基本气压系统 .....        | ( 95 )  |
| 第二节 空气的水平运动 .....     | ( 96 )  |
| 一、作用于空气质点的力 .....     | ( 97 )  |
| 二、自由大气中空气的水平运动 .....  | ( 99 )  |
| 三、摩擦层中空气的水平运动 .....   | ( 100 ) |
| 第三节 大气环流 .....        | ( 101 ) |
| 一、概念及原因 .....         | ( 101 ) |
| 二、单圈环流 .....          | ( 102 ) |
| 三、三圈环流 .....          | ( 102 ) |
| 第四节 季风及地方性风 .....     | ( 104 ) |
| 一、季风 .....            | ( 104 ) |
| 二、地方性风 .....          | ( 106 ) |
| 第五节 风与农业生产 .....      | ( 109 ) |
| 一、风对作物生理活动的影响 .....   | ( 109 ) |
| 二、风对作物的生态作用 .....     | ( 109 ) |
| 三、常风对橡胶栽培的影响 .....    | ( 110 ) |
| 第七章 天气学的基本知识 .....    | ( 111 ) |
| 第一节 天气与天气学 .....      | ( 111 ) |
| 第二节 气团和锋 .....        | ( 112 ) |
| 一、气团 .....            | ( 112 ) |
| 二、锋 .....             | ( 113 ) |
| 第三节 气旋和反气旋 .....      | ( 118 ) |
| 一、气旋 .....            | ( 118 ) |
| 二、反气旋 .....           | ( 120 ) |
| 第四节 常见高空天气系统 .....    | ( 122 ) |
| 一、西风槽和东风波 .....       | ( 123 ) |

|                          |       |
|--------------------------|-------|
| 二、高空切变线和西南低涡 .....       | (124) |
| 第五节 天气预报方法简介 .....       | (125) |
| 第六节 群众看天经验 .....         | (127) |
| 一、看云预测天气 .....           | (127) |
| 二、看雷、雾、露、霜预测天气 .....     | (128) |
| 三、看日、月、星、光、虹等预测天气 .....  | (129) |
| 四、看风预测天气 .....           | (130) |
| 五、看物象预测天气 .....          | (130) |
| 第八章 热带地区主要灾害性农业天气 .....  | (132) |
| 第一节 寒潮 .....             | (132) |
| 一、寒潮概念 .....             | (132) |
| 二、寒潮天气及降温类型 .....        | (134) |
| 三、地形环境与寒害 .....          | (136) |
| 四、主要防寒农业生产措施 .....       | (138) |
| 第二节 台风 .....             | (138) |
| 一、有关台风的基本概念 .....        | (138) |
| 二、西北太平洋台风的源地及移动路径 .....  | (142) |
| 三、台风活动的时间变化 .....        | (143) |
| 四、台风移动过程中风向风速的变化规律 ..... | (143) |
| 五、台风的危害及抗风栽培农业生产措施 ..... | (145) |
| 第九章 气候概论 .....           | (147) |
| 第一节 气候和气候系统 .....        | (147) |
| 第二节 气候的形成因素 .....        | (147) |
| 一、太阳辐射 .....             | (148) |
| 二、大气环流 .....             | (149) |
| 三、下垫面 .....              | (152) |
| 四、人类活动 .....             | (154) |
| 第三节 气候带和气候型 .....        | (157) |
| 一、气候分类方法 .....           | (157) |
| 二、世界气候类型 .....           | (157) |
| 第四节 气候变迁 .....           | (161) |
| 一、气候变迁的史实 .....          | (161) |
| 二、气候变化的可能原因 .....        | (165) |
| 三、气候变化的应变对策 .....        | (166) |
| 第十章 我国热带地区气候 .....       | (169) |
| 第一节 中国农业气候资源 .....       | (169) |
| 一、辐射资源 .....             | (169) |

|                                |       |
|--------------------------------|-------|
| 二、热量资源 .....                   | (171) |
| 三、降水资源 .....                   | (173) |
| 第二节 海南岛气候 .....                | (175) |
| 一、光热资源丰富 .....                 | (175) |
| 二、水湿特点 .....                   | (179) |
| 三、台风频繁,常风大 .....               | (182) |
| 四、山地气候资源丰富多样 .....             | (183) |
| 五、海南岛热带气候的特殊地位 .....           | (184) |
| 第三节 云南南部气候 .....               | (184) |
| 一、云南气候概述 .....                 | (184) |
| 二、云南南部热带气候 .....               | (186) |
| 第四节 广东南部气候 .....               | (191) |
| 一、广东省气候概述 .....                | (191) |
| 二、广东省南部气候概述 .....              | (193) |
| 第五节 广西南部气候 .....               | (198) |
| 一、广西气候概述 .....                 | (198) |
| 二、广西南部气候概述 .....               | (201) |
| 第六节 台湾岛气候 .....                | (202) |
| 一、台湾岛气候概述 .....                | (202) |
| 二、台湾南部气候概述 .....               | (204) |
| 第七节 南海诸岛气候 .....               | (205) |
| 一、南海诸岛简介 .....                 | (205) |
| 二、南海诸岛气候 .....                 | (206) |
| 三、南海诸岛植物资源 .....               | (208) |
| 第十一章 农田小气候 .....               | (209) |
| 第一节 农田小气候形成的物理基础 .....         | (209) |
| 一、农田辐射状况 .....                 | (209) |
| 二、活动面和活动层 .....                | (209) |
| 三、活动面上湍流交换 .....               | (210) |
| 第二节 农田气象要素分布特征 .....           | (210) |
| 一 农田中光的分布 .....                | (210) |
| 二 农田中温度分布 .....                | (212) |
| 三 农田中空气湿度的分布 .....             | (212) |
| 四 农田 CO <sub>2</sub> 的分布 ..... | (215) |
| 五 农田中风的分布 .....                | (215) |
| 第三节 地形因素对小气候形成的影响 .....        | (216) |
| 一、坡地小气候 .....                  | (217) |

---

|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| 二、山地小气候 .....                 | (220) |
| 第四节 农业生产措施对小气候的影响 .....       | (223) |
| 一、防护林的小气候效应 .....             | (223) |
| 二、荫棚的小气候效应 .....              | (226) |
| 三、地膜覆盖的小气候效应 .....            | (228) |
| 附录 1 不同纬度的日照时数表 .....         | (231) |
| 附录 2 太阳赤纬( $^{\circ}$ ) ..... | (232) |
| 附录 3 纯水平液面饱和水汽压(hPa) .....    | (233) |
| 参考文献 .....                    | (235) |

# 第一章 绪 论

## 一、气象与气象学

包围着地球厚厚的空气层称为大气层,在大气层中,不断地进行着各种物理过程,例如大气的增热和冷却过程、蒸发和凝结过程等。在各种大气物理过程中,经常发生着风、云、雨、雪、寒、暖、干、湿、光、声、电等各种物理现象,这些物理现象及物理过程称为气象。这些物理现象和物理过程的发生、发展和变化,首先决定于其能量来源——太阳辐射,同时也与大气本身的物理特性和地球表面状况有关。研究大气中所发生的各种物理现象和物理过程的科学就称为气象学。因此,气象学是人们用于了解大气层中各种现象的形成原因、变化规律及时空分布的一门科学。

气象学的任务,不仅要研究和掌握大气变化规律,而且更重要的是根据所掌握的大气变化规律,预测大气的变化和发展过程,使人们在生产实践中能充分利用气象和气候资料,克服不利的气象和气候条件,进而达到控制局部天气和改造气候的目的。

气象学的范围很广,涉及的问题很多,在解决问题的方法上差异也很大,随着科学技术的发展,气象学逐渐分离出了许多分支学科。归纳起来大致有:

### (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。

### (二)天气学

某地短时间内各种气象要素的综合表现称为天气。研究天气过程发生发展的规律,并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。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人类关系的学科,就是气候学。

## 二、农业气象学

气象学在发展过程中逐渐与其他学科相融合交叉形成各种应用气象学,如海洋气象学、建筑气象学、经济气象学、医疗气象学、航空气象学、水产气象学、军事气象学等,其中,农业气象学是目前研究最深入、历史最悠久、也是最为重要的一个分支。根据研究对象不同,农业气象也分成若干个分支(领域),如作物气象、林业气象、果树气象、蔬菜气象、畜牧气象等。

农业气象学是研究气象条件与农业生产相互作用及其规律的一门科学。它是把农业生产对象与天气气候联系的规律、研究方法和概念综合起来的特殊的科学知识体系;是农业科学和气象科学相互渗透而形成的边缘科学,既是应用气象学的一个重要分支,也属农业基础学科之一。

所谓气象条件是指表示大气状况的基本特征量和某些重要的大气现象,也称为气象要素。主要的气象要素有:空气温度、气压、空气湿度、风向及风速、云量和云状、降水、能见度、太阳辐射、地球和大气的热辐射、土壤温度、蒸发量和各种大气现象(如雾、雷暴、雨淞等)。各种气象要素间互相联系,互相制约,关系极为复杂。

气象要素和气象过程在某种程度上直接或间接地对农业生物的生长、发育及产品的数量和质量产生影响;同时对农业生产活动也有明显影响。我们把与农业生产有关的气象要素称之为农业气象要素。在一定时期内各种农业气象要素的某种组合叫做农业气象条件。它包括影响农业生产对象(植物、动物和微生物)生长、发育、产量形成和农业生产活动(如播种、栽插、中耕、施肥、灌溉、喷药、收获、运输、贮藏等)的气象条件。一个地区短时间内的农业气象条件的综合,叫做农业天气条件。它是指那些与农业生产有关的天气条件。而一个地区多年的农业气象条件的特征则称之为农业气候条件。

农业生产与气象因子之间是密不可分的。农业生产的对象——无论是植物、动物还是微生物,都是生存于大气中,大气为其提供生长必需的物质与能量,同时气象条件对其生长发育、产量形成、产品品质等都产生极大的影响,当然这些生产对象及生产过程、措施反过来也在一定范围和程度上影响着大气环境。对农业生产来说,研究它们之间的相互关系,通过农业生产措施来调整、改善农田(保护地)气象因子以利于充分发挥作物等的生产力是农业生产面对的最主要问题之一。

### 三、农业气象学的研究对象、任务和方法

#### (一)农业气象学研究的对象

农业气象学的研究对象包括农业生产对象(包括作物、牲畜、林草、花卉、水生生物、微生物等农业生物)的生长发育、产量形成及产品品质等与气象因子之间的相互关系,也包括各种农业设施、农事活动及农产品加工储运等农业生产各环节对气象条件的要求。

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。总之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。

#### (二)农业气象学的任务

一般来说,在农林渔牧、加工储运和农业生产的全过程中,研究影响农业生产的气象问题,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、水分与农业生物及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。而这些也就是农业气象学的主要内容。

### (三)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。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录等,称为平行观测或联合观测法。这是不同于一般的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品质产量的影响,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。

#### 1. 地理播种法

在气象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。

#### 2. 地理移植法或小气候栽种法

常用来研究植物生长发育与环境气候因子的关系。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。

#### 3. 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 期或更多种不同的天气条件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。

#### 4. 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。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的结果的例子。

#### 5. 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出近似太阳光谱的人工光源,调控到需要的温度、湿度,并根据研究的需要,增设人工降雨、CO<sub>2</sub> 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,得出农作物对气象要素要求的定量

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,研究防御措施的气象效应;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。

#### 6. 气候分析法

在具有适当和充分的农业资料和气象资料时,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。

### 四、农业气象学的发展简史

#### (一)气象学的起源与发展

一直以来,人们的生产活动在很大程度上依赖自然条件,所以气象变化也很早就为人们所关注。但由于人们对自然的认识及科技水平的低下,气象学一直没有得到大的发展。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,以1643年托里拆利(Torricelli)发明气压表为这一时期的开端。到19世纪后半叶,气象站在世界各地纷纷建立,各种观测仪器灿然大备,便捷的有线、无线电通讯,催生出天气图,所有这些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,气象学进入了高空探测时期。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的提高。

自1957年10月人造地球卫星发射成功后,气象仪器被带到300~800 km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气象卫星进行全球天气状况及外层空间的观测,气象卫星的发射成功标志着一个新的历史时期的开始。

#### (二)农业气象学的发展与成就

农业气象学作为一门交叉科学,其历史并不长。但人类自古就十分重视探讨农业与气象的关系,积累了不少农业气象的知识与经验。自1593年温度表被发明以后,1753年法国的德列奥米尔提出了积温的概念,1750年瑞典就建立了18个物候观测站,1754年俄国的Д. Реутой出版了《农业气象学》一书,1885年俄国建立了世界上第一个有12个点的农业气象观测站,1901年俄国出版了《农业气象》期刊,1920年美国的加纳尔与阿拉德发现了光周期现象,1926年法国的德马东提出了干燥系数的指标,1927年德国的盖格尔出版了《近地面气候》一书,1930年前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》,1939年意大利的阿齐进行了小麦自然地理区划,1945年日本大后美保出版了《日本作物气象的研究》,1948年美国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,1950年世界气象组织(WMO)成立,下设农业气象委员会,协调与指导各国的农业气象工作。1964年起荷兰埃塞维尔公司编辑出版发行《农业气象学》和《生物气象学》

期刊,对农业气象的发展起到了积极作用。1977年前苏联成立了农业气象研究所,1978年美国农业部和国家海洋大气局联合成立了农业气象办公室,负责编制每周天气和作物公报以及农业气象简报。此后,世界农业气象学得到了快速的发展。

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,经过数千年的不断积累和丰富,逐渐建立了农业气象学科和农业气象业务,今天农业气象已成为现代农业科学的一个重要组成部分。

### 1. 中国古代农业气象知识的萌芽阶段

秦代以前是农业气象开始萌芽时期。劳动人民在长期的农业生产实践中,逐渐形成了农时的概念,提出了唯物的气象与气象灾害的观点。早在殷商时代的甲骨卜辞中,在春秋时代的《左传》、《吕氏春秋》等有关农业的著作中,均有记载和论述。

### 2. 农业气象知识的不断积累和丰富阶段

这一阶段大体上是自秦代到清代。在这一阶段里,二十四节气和七十二候日臻完善,并广泛应用于全国,因地制宜的农业气候概念逐渐形成,对农作物与气象条件关系的认识和小气候利用、调节方面的知识更为丰富,出现了防御气象灾害和预测农业丰歉的技术方法。这许多知识和经验,有的载于书简,有的是以歌谣和谚语的形式流传民间,不胜枚举。

### 3. 农业气象学科和农业气象业务的建立和发展阶段

近代气象科学理论和气象观测技术传入中国后,开始应用于农业。1911年辛亥革命以后,以气象观测资料为基础的现代气象学在中国发展起来。1912年中国政府开始建立气象台,同时一些农业实验场也开始设农业测候所,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发展。但总的来说,1949年以前农业气象科学的发展较为迟缓。

中华人民共和国成立以后,农业气象事业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,有组织、有计划地进行农业气象研究、服务和人才培养,农业气象科学技术水平迅速提高。1953年由中国科学院地球物理研究所与华北农业科学研究所合作,建立了中国第一个农业气象研究机构——华北农业科学研究所农业气象组。1957年改为中国农业科学院农业气象研究室,由中国农业科学院、中国科学院和中央气象局联合组建。1954年中央气象局在台站处农业气象组的基础上成立了农业气象科,1956年改为农业气象处,1957年在全国建立了10个农业气象实验站,1958年成立农业气象研究室,1983年扩充成立农业气象研究所。1950年以来,全国各地农业科研和气象系统陆续设立农业气象研究和业务机构。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农业气象专业,以后沈阳农学院、广西农学院、南京气象学院、安徽农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发展起了积极作用。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,后改称农业气象分会。20世纪80年代初以来,中国气象学会农业气象专业委员会和中国农学会农业气象分会多次召开了各种专题学术讨论会,并召开了数次国际学术研讨

会。与此同时,先后创办了《农业气象》、《国外农学-农业气象》等刊物,出版了不少论文集,译文集和专著,对总结交流研究成果、提高学术水平起到了推动作用。20世纪90年代以来,气象部门应用计算机、遥感和地理信息系统等现代信息技术,使中国农业气象业务的现代化水平有了显著提高,已跃居世界较先进水平。

## 五、热带及热带作物气象

热带(Tropical Belt)这个概念起源于古希腊,当时人们认为地球上气候的差异主要来源于得到的太阳辐射的不同,即一年中最大太阳高度决定了其气候状况。根据最大太阳高度的不同按纬度将地球表面划分为不同气候类型,即热带、温带、寒带。以一年中太阳能直射的地区称为热带,即南北回归线之间的广大区域;以一年中能出现极夜的区域为寒带,分南寒带和北寒带,位置在极圈内;将回归线与极圈之间的区域称为温带,分为北温带和南温带,意思为适宜人类居住生活的地带。

以上划分气候的方法虽然简单、容易理解,也基本反映了气候形成的主导因素,但影响气候形成的因素很多,太阳辐射并不是唯一的因素,下垫面对太阳辐射能还存在再分配效应,所以这样的划分显得很粗糙,现在更多的只是一种地理而非气候的概念。

从气候角度来讨论热带这个概念,牵涉到的指标与因子较多,不同的分类方法得到的结果也不尽相同。20世纪60年代,中国气象局(原国家气象局)根据气象资料,以热量和越冬条件为主要指标,对全国进行气候区划。根据这个区划,我国属于热带的地区有:海南省全部(包括海南岛和南海)、台湾岛南部、雷州半岛及云南西双版纳州中南部等,总面积约10万 $\text{km}^2$ 。

相比热带,南亚热带的热量条件和越冬条件要差一些。我国南亚热带地区包括台湾省的大部,福建省福州以南沿海地区,广东省英德以南的大片地区,云南省的文山、红河、西双版纳北部、思茅、临沧、保山、德宏等地(州)的大片地区,以及川南和滇北交界的金沙江干热河谷(华坪、元谋、永仁及攀枝花、西昌地区)和广西梧州-河池-百色一线以南的广大地区。热带和南亚热带地区总面积约40万 $\text{km}^2$ 。

广大热带-南亚热带地区是我国热带作物种植的主要区域。这里所指的热带作物包括典型的热带作物如橡胶、胡椒、可可、咖啡、油棕、椰子、剑麻、香草兰等,也包括可以在南亚热带栽培种植的香蕉、龙眼、荔枝、菠萝、木薯等,更广泛点也包括种植在热带-南亚热带地区的其他作物,如水稻、甘蔗、烟草、茶叶、甘薯、花生以及各种蔬菜、花卉等。我国热带地区的面积虽然不大,但地位非常重要,其种植的热带作物是我国农业的一个重要组成部分,使得我国农产品品种较为齐全,而其中的橡胶更为重要的工业原材料和战略物资,其他如香蕉、咖啡、芒果等也是重要的经济作物,市场发展潜力非常大。

热带作物气象学是研究气象条件与热带农作物生长发育、生产、加工、储运、销售等各环节相互关系及其规律的一门学科。我国热带地区处于世界热带的边缘,背靠亚欧大陆,面对最大的大洋——太平洋,环境十分独特,常受到来自大陆和海洋的气团影响,气象灾害频繁,严重影响和制约了热带作物的生产。20世纪50年代,为考察研究橡胶栽培的环境等,逐渐开始了热带作物气象的研究,主要研究领域为热带作物与气象的关系、热带作物生长发育的农业气象指标、热带作物寒害与风害的防御、热带作物气候区划等,为我国热带作物产业的发展做出了重

要的贡献。

进入 21 世纪后,热带作物气象研究随着时代而发展,其研究领域更宽更广,与其他学科如经济学、生态学、生物学等交叉融合更深,研究对象逐步从单一的热带作物生产与气象的研究方面拓展到热带园艺、花卉、畜牧、海产养殖等热带农业的方方面面,正逐渐形成热带农业气象学,它将为合理利用农业气候资源,保护环境,发展经济等做出新的贡献。