



高职高专“十一五”规划教材



农业气象

李亚敏 主编 陈瑞修 主审



化学工业出版社

内 容 提 要

本教材包括理论内容和实训指导两大部分。

理论部分,其中绪论主要介绍气象学、农业气象学的概念,农业气象学研究的对象、任务和方法,大气的组成和结构;第一章~第四章主要介绍与农业生产关系密切的光、温、水、气等气象要素的变化规律、相互关系以及对农业生产的影响;第五章~第九章主要介绍天气与灾害性天气、气候与农业气候的基本知识;第十章、第十一章主要介绍农田小气候、设施小气候及其调节措施。

实训指导分为两部分:引言和气象要素观测。引言主要介绍气象观测的意义、原则、要求以及农业气象观测的概念,为进行气象要素观测做好准备。气象要素观测部分包括气象观测场的建立、仪器的布置和各气象要素具体的观测方法、农田小气候的观测以及气象、气候资料的整理、统计、分析和利用。

本课程的学习重点是:光、温、水、气、风等农业气象要素的变化规律以及与农业生物的关系;对农业生产有重要影响的天气系统和天气过程的变化规律;气候的形成因素;中国农业气候的特征和气候要素的时空分布规律;小气候与农田小气候的形成、变化规律及调节原理。

本课程的难点内容是:光、温、水、风等农业气象要素的变化规律;主要天气系统的结构与变化规律;气候的形成因素;小气候与农业小气候的形成、变化规律及调节原理。

本教材适合高职高专农艺类、园林类、畜牧类、林学类专业学生使用,也可作为农业生产技术人员、农业推广管理人员的科普读物。

图书在版编目(CIP)数据

农业气象/李亚敏主编. —北京:化学工业出版社, 2007.6

高职高专“十一五”规划教材

ISBN 978-7-122-00378-2

I. 农… II. 李… III. 农业气象-高等学校:技术学校-教材 IV. S16

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 059978 号

责任编辑:蔡洪伟 于 卉

责任校对:徐贞珍

装帧设计:尹琳琳

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 刷:大厂聚鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市延风装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张11¼ 字数278千字 2007年6月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519680) 售后服务:010-64519661

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:19.00 元

版权所有 违者必究

前 言

本教材内容以教学改革为核心,注重提高教学质量,宽基础、强能力。内容的组织、编写是在保证基本理论、基础知识够用的前提下,力求反映学科发展的新知识、新成果,以农业气象在农业生产及实践中的应用为实例,以培养适应社会市场需求人才为目标,进而培养高等技术应用型、适用型、综合型、先进型的专门人才。

农业气象学是气象学、农学以及农业生态学的交叉学科,是大农业类(包括种植业、园艺业、畜牧业等)的专业基础课,主要研究与农业生产密切相关的气象条件,并服务于农业生产的应用气象学科。

为方便教学工作和学生实训参考,本书既有理论教学内容,又有实训指导内容。全书分为绪论、第1章~第11章和实训指导。绪论主要介绍气象学与农业气象学研究对象、任务和方法,大气组成和结构;第1章~第4章主要介绍与农业生产关系密切的光、温、水、气等气象要素的变化规律、相互关系以及对农业生产的影响;第5章、第6章介绍天气学基本知识、灾害性天气的发生规律以及防御措施;第7章~第9章主要介绍气候的形成、中国气候特征以及农业气候资源的开发利用;第10章、第11章主要介绍农田小气候特点、设施小气候特点及调节措施。实训指导部分主要介绍气象仪器的结构特点、安置方法、气象要素的观测方法、农田小气候的观测及气象资料的统计方法等。

编写内容分工:绪论、第8章(其中8.1节)由张玉珍编写;第1章~第4章、第6章、第10章(其中10.1节~10.3节)、农业气象实训指导(其中第一部分、第二部分实训一~实训六)由李亚敏编写;第5章、第11章(其中11.2节~11.4节)由赵斌涛编写;第7章由周红编写;第8章(其中8.2节)、第9章由张吉海编写;第10章(其中10.4节)、第11章(其中11.1节)、农业气象实训指导(第二部分实训七、实训八)由王秋涛编写;第10章(其中10.5节~10.7节)由卢伟红编写。全书由保定职业技术学院陈瑞修教授审稿。

本教材兼顾理论教学内容与实践教学内容,注重理论与实践相结合。适合高职高专农艺类、园林类、畜牧类、林学类专业学生使用,也可作为农业生产技术人员、农业推广管理人员的科普读物。

本书选材较宽,主要是考虑我国地域广阔,各地农业生产情况差异较大,同时专业不同,对本课程教学内容及侧重点有所不同。所以,在使用本教材时,可以根据本地具体情况作适当调整。

由于作者水平所限,书中疏漏和不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编者

2007年3月

目 录

■ 绪论	1
0.1 气象学与农业气象学	1
0.2 大气概论	4
复习思考题	6
■ 第 1 章 太阳辐射	7
1.1 昼夜、季节和二十四节气	7
1.2 太阳辐射	11
1.3 地面辐射和大气辐射	16
1.4 太阳辐射与农业生产的关系	18
复习思考题	22
■ 第 2 章 土壤温度	24
2.1 土壤温度	24
2.2 空气温度	29
2.3 温度对农业生产的意义	33
复习思考题	39
■ 第 3 章 大气水分	40
3.1 空气湿度	40
3.2 蒸发与凝结	43
3.3 降水	48
3.4 水分与农业	50
复习思考题	52
■ 第 4 章 气压和风	53
4.1 气压及其变化	53
4.2 风及其变化	56
4.3 大气环流和地方风	59
4.4 风与农业生产	62
复习思考题	63

■第5章 天气系统	65
5.1 气团和锋	65
5.2 气旋和反气旋	69
复习思考题	76
■第6章 灾害性天气及其防御	77
6.1 寒潮和霜冻	77
6.2 低温冷害	81
6.3 干热风	83
6.4 干旱和水涝	85
6.5 梅雨	89
6.6 大风、台风和龙卷风	90
6.7 冰雹	93
复习思考题	94
■第7章 气候概论	95
7.1 气候的形成	95
7.2 气候带和气候型	98
复习思考题	102
■第8章 中国气候	103
8.1 中国气候的形成原因	103
8.2 中国气候的主要特征	105
复习思考题	108
■第9章 农业气候资源	109
9.1 农业气候资源的特征	109
9.2 农业气候资源的分析与利用	110
复习思考题	112
■第10章 小气候和农田小气候	113
10.1 小气候的基本概念	113
10.2 农田小气候形成的物理基础	114
10.3 农田小气候的一般特征	116
10.4 农田小气候环境的改造	118
10.5 地形和水域小气候	120
10.6 果园小气候	122
10.7 防护林带的小气候效应	124
复习思考题	126

■第 11 章 设施小气候	127
11.1 地膜覆盖小气候	127
11.2 改良阳畦	129
11.3 塑料大棚	129
11.4 温室小气候	132
复习思考题	135
■农业气象实训指导	136
第一部分 引言	136
第二部分 气象要素观测	138
实训一 气象观测场设置	138
实训二 太阳辐射的测定	140
实训三 地温和气温的观测	143
实训四 积温的计算和应用	148
实训五 空气湿度的观测	152
实训六 降水和蒸发的观测	155
实训七 气压和风的观测	157
实训八 农田小气候观测	161
■附录	167
附录 1 天气预报用语和符号摘要	167
附录 2 单位换算及相关常数	169
附录 3 法定计量单位选编	170
附录 4 气象观测记录表	171
附录 5 饱和水汽压表 (hPa)	172
■参考文献	174

绪 论

学习目标

了解有关气象学的基本知识，掌握气象、天气、气候、气象要素等基本概念；了解农业气象学的发展过程；熟悉农业气象学及其研究对象、任务和方法；掌握大气的组成及各组成成分的作用；了解大气的分层情况，掌握对流层的特征。

0.1 气象学与农业气象学

0.1.1 气象学基本概念

地球周围包围着一层深厚的空气，称之为地球大气，简称大气。大气和其他物质一样，时刻不停地运动、变化并发展着，在大气运动变化过程中，经常进行着各种物理过程，如大气的增温与冷却、水分的蒸发与凝结等。伴随这些物理过程出现的风、云、雨、雪、雾、霜、雷、电光等物理现象称为气象。研究大气中所发生的各种物理过程和物理现象的形成原因及其变化规律的科学，称为气象学。

大气中发生各种的物理过程和物理现象，常用一些定性或定量的物理量来描述，如太阳辐射、温度、湿度、气压、风、云、蒸发和降水等，这些物理量统称为气象要素。各个气象要素之间相互联系，相互制约，在不同的地方和不同的时间综合作用的结果，就表现为不同的天气和气候。

天气是指一个地方瞬时或短时间内各种气象要素综合所决定的大气状态。它是短时间的、不稳定的、瞬息多变的现象；气候是指一个地区多年的综合的天气特征，是长时期内大气的统计状态，它既包括多年来正常的天气情况，也包括个别年份出现的极端天气特征。气候一旦形成，既具有一定的区域性，又具有相对的稳定性。研究天气的形成及其演变规律，并进行天气预报的科学，称为天气学。研究气候的形成、特征及其变化规律的科学，称为气候学。天气和气候既有联系又有区别，天气是气候的基础，气候是天气的综合。天气是短时间内的大气过程，而气候是对长时期内大气的统计状况。气象学研究的范围很广，广义的气象学包括天气学和气候学。

大气中所发生的各种物理现象（气象）与人民生活、经济建设、国防事业等多方面均有密切关系，并得到了广泛应用，由此形成了不同的应用气象学科，如农业气象学、林业气象学、海洋气象学、医疗气象学等。而农业气象学是一门最广泛、最直接的应用气象学。

0.1.2 农业气象学

0.1.2.1 农业气象学的概念

研究气象与农业之间的相互关系，并利用气象科学技术为农业生产服务，使农业生产能



够充分利用有利的天气和气候条件,避开灾害性天气的危害,从而使农业生产达到高产、稳产、优质、低耗的一门应用气象学科。

0.1.2.2 农业气象学的研究对象和任务

农业气象学的研究对象一方面是研究对农业具有重要意义的气象、天气和气候条件(称之为农业气象条件),如空气温度、空气湿度、气压、风、日照、太阳辐射、降水、二氧化碳、土壤温度、土壤湿度、土壤蒸发、农田蒸散、水温等;另一方面是研究农作物(饲养动物等)在农业气象条件影响下的生长发育状况和产量,广义地讲包括种植业、林业、畜牧业、水产业、农业建筑与设施、农业生产过程等。农业气象研究可以针对单项气象要素与农业的关系,也可以是多种气象要素对农业的综合影响。其主要目的在于揭示农业与气象环境相互关系的规律,为农业生产服务。

农业气象学的主要目的是帮助农业充分合理利用有利的气象条件和气候资源,抗御和避免不利的气象灾害,以便经济有效的获得高额而稳定的农产品。因此,农业气象学的基本任务:一是研究农业气象条件的形成和变化规律;二是研究农作物在各个生育时期对气象条件的具体要求,确定农作物生长发育的农业气象指标;三是根据农业气象指标鉴定气象条件对农作物生长发育和产量的影响,并进一步为农业生产扬长避短、趋利避害,寻求有效途径。

0.1.2.3 农业气象学的研究方法

由农业气象学研究的对象和研究的任务可知,在研究过程中,应遵循平行观测(联合观测)的原则。即在进行各种气象要素观测的同时,还必须在同一地点、同一时间内对作物生长发育状况进行观测研究,通过两方面观测资料的对比分析,确定气象条件对作物生长发育和产量的影响,从而对作物生育期间的气象条件做出正确的评价与分析。

在实际工作中,为了缩短观测年限,迅速取得作出结论所需要的大量资料,在平行观测的原则下,农业气象的研究还常采用以下方法作为补充。

(1) 农业物候观测法 观测作物的物候期与自然条件的关系,从而研究农业物候规律。

(2) 农业气象试验法

① 地理播种法。在同一季节里,同种作物在不同地方进行播种。由于不同地理环境中的农业气象条件不同,即可实现在较短时间进行平行观测,达到试验设计的目的。

② 分期播种法。同一种作物在同一地区分不同时期播种,这样既可找出气象条件对不同生育期的影响以及同一生育期对不同气象条件的反应。

③ 人工气候试验法。利用人工控制气象条件的设施进行农业气象试验。可进行温度、光照、降雨强度等单因子模拟试验,也可进行温湿、温光、温气等复因子试验。

(3) 气候分析法 运用数理统计的方法,借助于计算机,统计并分析多年的历史气候资料。

(4) 农业气象遥感 利用遥感技术进行作物产量估测、草地资源监测、旱涝灾害监测预报等。

(5) 作物气象模拟法 运用数学方法建立能够描述作物生长发育、光合作用的进程、器官的形成、产量的形成等生理生态过程与气象条件之间关系的数学模型,在此基础上再按照一定的规则用程序软件将有关模型“装配”在一起,形成可模拟作物生长全过程的软件系统,即所谓的“电脑上种庄稼”。

0.1.3 中国农业气象的发展

0.1.3.1 中国古代的农业气象成就

中国古代农业气象科学技术在世界农业气象发展史中占有重要地位。早在旧石器时代,人们在采集植物果实、种子和狩猎过程中就注意到周围的环境有随季节而变化的现象,从而产生了物候农时的概念。先秦时期,形成了“春播、夏耘、秋收、冬藏”的概念。春秋时期已知用圭表测日影的方法来确定节气的日期。秦汉时期,从秦统一中国到汉末,农业气象科学技术的主要成就是二十四节气、七十二候的形成,它基本反映了黄河中下游的农业气候,为中国古代农业气象科学技术的发展奠定了基础。

公元前 26 世纪,《尚书·尧典》中有帝尧让羲氏与和氏出掌四时之官,观天象,授农时。《诗经·七月》和《夏小正》等著作都涉及以物候定农时的内容。

公元前 3 世纪出现的《吕氏春秋》、公元 1 世纪的《汜胜之书》、公元 6 世纪贾思勰的《齐民要术》、公元 11 世纪沈括的《梦溪笔谈》、公元 16 世纪徐光启的《农政全书》等书中对作物与农时(农业气象条件)的关系作了论述。

0.1.3.2 中国近代农业气象科技的发展

明、清时期西方气象科学技术开始传入中国。

从 1840 年到中华人民共和国成立,近代中国农业气象事业的发展是很缓慢的。

1922 年竺可桢在《科学》第 7 卷第 9 期上发表《气象与农业之关系》一文,倡导农业气象学,成为中国近代农业气象的奠基人。

0.1.3.3 中国现代农业气象学的发展

中国现代农业气象学的建立,并取得突飞猛进的进展是 20 世纪 50 年代以后。其特点是,成立了专门的农业气象研究、教学和服务管理机构,有组织、有计划地开展农业气象研究、教学和服务活动,培养出了大批的专业人才,农业气象科技水平得到迅速提高,成为世界上农业气象事业较为发达的国家之一。

20 世纪 50 年代农业气象事业是中国农业气象事业开创之际,农业气象观测、研究所使用的仪器设备多采用气象台站观测仪器,物候观测主要靠目测。开展了农业气象仪器的研究,如土钻、冻土器、辐射计等。另外,于 1953 年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。

20 世纪 60 年代以后,开始研究、设计适用于农业气象研究的温、湿、风、光等要素的多点观测仪器。

20 世纪 70 年代以后,引进了一些较为先进的农业气象仪器设备,如农业气象综合测定仪、人工气候箱、分波段太阳辐射仪等。在测定方法上向隔测、遥测、数据自记或自动采集的方向发展。

20 世纪 80 年代以来,电子计算机和遥感技术在农业气象中的应用,特别是微机在农业气象研究中的逐渐普及,给农业气象研究带来新的活力。在各农业气象要素自动巡回测定、数据处理、数值模拟、数据库等方面都发挥了巨大的作用。而卫星遥感系统在农业气象研究和业务中的应用如资源普查、作物产量预报、气象灾害监测等方面都发挥着独特的作用,为农业气象研究和业务服务提供了有力的手段。另外,各类专业气象工作,专题的与综合的农业气候分析和区划、作物冷害和干热风等农业气象灾害的研究,农业小气候的利用与改良等已广泛展开。新技术、新方法逐渐在农业气象中得到应用,系统工程、运筹学及其他相邻学



科也正向农业气象学渗透。

0.2 大气概论

要正确认识大气中经常出现的各种物理现象和物理过程的本质及变化规律,首先就要了解大气的一般特性,即大气的成分和分层。

0.2.1 大气的组成

低层大气(离地面 25km 以下)的成分由于洁空气、水汽和悬浮在大气中的杂质混合组成。

0.2.1.1 干洁空气

大气中除水汽和杂质外的多种混合气体称为干洁空气。其主要成分有氮、氧、氩,此外还有少量的二氧化碳及氦、氖、氪、氢、臭氧等气体(见表 0-1)。

表 0-1 干洁空气的组成

气 体	容积/%	气 体	容积/%
氮	78.084	氦	5.24×10^{-4}
氧	20.946	氖	1.14×10^{-4}
氩	0.934	氢	5.0×10^{-6}
二氧化碳	0.0325	臭氧	8.0×10^{-6}
氦	1.8×10^{-3}	氪	1.0×10^{-5}

(1) 氮和氧 氮是大气中含量最多的气体成分,而且几乎是不变的。除豆科植物外,其他绝大多数植物不能直接吸收利用氮。但当有雷雨时,闪电可以使少量的氮氧化,这些氮的氧化物,随降水进入土壤,可以被植物吸收利用。

氧气是生物呼吸所必需的气体。大气中氧的含量很高,可以满足植物需要。在土壤中,植物根部的呼吸、细菌和真菌的活动都消耗氧气,而氧的补充过程却十分缓慢,常使氧含量不足。尤其在土壤水分过多和土壤板结情况下,会出现缺氧中毒现象。所以氧不但是动植物呼吸所必需的,而且还决定着土壤中有机的腐败和分解,对改良土壤有重要作用。

(2) 臭氧 臭氧是由氧分子离解为氧原子,而后氧原子又和氧分子化和而成的。但在低层大气中,这些过程并不经常出现,所以低层大气中臭氧含量很少,而且也不固定。在上层大气中,臭氧的形成主要靠太阳紫外线的作用,所以在离地面 10~50km 的大气层中经常有臭氧存在。一般是自 5~10km 高度起臭氧含量开始增加,至 20~25km 高度处臭氧的含量达到最大值,称之为臭氧层,再往上,臭氧的含量又逐渐减少,到 55~60km 高度处就很少了。

臭氧具有强烈地吸收太阳紫外线的的能力,致使离地面 40~50km 气层中的温度迅速增高;同时也保护了地球上生物免受过多紫外线照射而受到伤害。而透射过来的少量的紫外线,对人们又可以起到杀菌治病的作用。

(3) 二氧化碳(CO_2) 大气中的 CO_2 主要来源于矿物燃料的燃烧、有机物质的腐化分解以及动植物的呼吸。因而在人烟稠密的工业区, CO_2 的含量高,可占空气容积的 0.05%

以上,在农村含量大为减少,平均含量约为 0.03%。一般来说,CO₂ 的含量分布规律为:室内比室外多,夏季比冬季多,阴天比晴天多,城市比农村多。此外,在垂直方向上,CO₂ 主要集中在 20km 以下的大气层,往上含量显著减少。

CO₂ 善于吸收和放射长波辐射,能影响地面和空气温度的变化;同时它又是植物进行光合作用制造有机物质不可缺少的原料。一般作物的光合速率随 CO₂ 浓度增加而增大。CO₂ 浓度增加,水分利用率提高,也可使作物某些器官的产生及形成的物候期提前。近年来,由于大气中 CO₂ 含量逐渐增多,对全球气候变迁产生了一定影响。

0.2.1.2 水汽

大气中的水汽主要来源于江、河、湖、海等水面蒸发、土壤蒸发以及植物蒸腾。因此,大气中的水汽主要集中在 3km 以下的大气层,随高度的增加,水汽含量会逐渐减少。

大气中的水汽含量不多且极不稳定,变动在 0.1%~4% 之间。水汽是常温、常压下,唯一能发生相变的气体(即固、液、汽三态相互转变),在相变过程中,会出现云、雾、雨、雪等一系列天气现象,所以说水汽是扮演天气变化的主要角色。在相变的过程中同时还伴随潜热的转移,水汽本身也能强烈吸收和放射长波辐射,所以水汽对地面和空气温度的分布有很大影响。

0.2.1.3 杂质

大气中悬浮着各式各样的固态和液态的微粒,这些微粒称为杂质。杂质包括植物花粉、微生物、细菌等有机物和尘埃、烟粒等无机物。它们主要集中在 3km 以下的大气层中,而且含量变化也很大。一般城市多于农村,陆地多于海洋,晚间多于白天,冬季多于夏季。

这些微粒中,有些(如盐粒等)易溶于水,有些虽不溶于水,但能为水所湿润,它们都能成为水汽凝结的核心物质,促进水汽的凝结。

杂质能吸收一部分太阳辐射,使到达地面的太阳辐射有所减弱,又能阻挡地面辐射放热,因而影响地面温度和空气温度的分布。

杂质浮游在空间,使能见度变坏。杂质过多,污染大气,影响人类健康,甚至危及生命。而绿色植物对粉尘具有阻挡和过滤吸收作用。因此,植树造林,可以净化空气,保护环境。

0.2.2 大气的垂直结构

大气的最底层是地面,即下垫面。大气上界的高度,在气象学上是大气中出现高度最高的物理现象“极光”来确定的。根据观测资料,极光出现的最大高度是 1000~1200km,所以此数值作为大气的物理上界。但是,现代气象卫星探测资料证明,在 2000~3000km 的高度,仍有极其稀薄的空气存在,不过那里已接近星际空间了。

观测结果表明,大气在垂直方向上的物理性质并不是均一的,世界气象组织(WMO)规定,主要按气温垂直分布,将大气分为五层,分别为对流层、平流层、中间层、热层和散逸层。其中与人类生活和农业生产关系最密切的是对流层。

对流层是紧靠地面的一层,其厚度随纬度不同而变化,在高纬度地区约为 8~9km,中纬度地区约为 10~12km,高纬度约为 17~18km,平均厚度为 11 km。就季节而言,夏季对流层厚度大于冬季。由于地球引力作用,对流层中大约集中了 3/4 的大气质量和几乎全部的水汽与杂质,因此,对流层是发生天气变化最重要的层次。



对流层有三个特征：①对流层的气温随高度的升高而降低，平均每上升 100m 气温下降 0.65°C 。高山上常年积雪，就是因为高空气温低的缘故。②空气具有强烈的对流运动。通过对流运动，可使近地面层的热量、水汽、杂质向高层输送，对成云致雨起着重要作用，主要天气现象（如云、雾、雨、雪、雷、电等）都发生在这一层。③温度、湿度等气象要素水平分布不均匀，常形成大规模空气的水平运动，从而引起各地天气的变化。

在对流层中，距地面 30~50m 这一气层，称为近地气层。近地气层主要特征是温度、湿度、风速等气象要素的垂直变化梯度特别大。其中 0~2m 间的贴地气层气象要素变化更为剧烈。近地气层和贴地气层是受地面强烈影响的层次，也是人类生活和生物生存的重要环境，对它的研究有着很大的意义。

复习思考题

1. 解释气象和气象要素，天气和气候的概念。
2. 什么是气象学、天气学和气候学？
3. 农业气象学？农业气象学的研究对象和方法是什么？
4. 低层大气是由哪些成分组成的？其中哪些成分能影响天气变化？如何影响？
5. 整个大气层按气温垂直分布，可分为哪几层？
6. 对流层有哪些重要特征？为什么说该层与人类关系最密切？
7. 近地气层有什么特征？

第 1 章

太 阳 辐 射

学习目标

了解昼夜与四季的形成、二十四节气与农业生产、赤纬和方位角等概念、光谱成分对植物的影响。熟悉太阳高度角及其变化规律、辐射的基本知识、太阳辐射在大气中的减弱及其影响因子。掌握温室效应、大气逆辐射、地面有效辐射、地面辐射差额、光照强度、太阳常数、散射、光饱和点、光补偿点、光周期现象等概念；掌握光照时间在农业上的应用、光能利用率及其提高途径。

太阳与人们朝夕相处，它给大地带来温暖，哺育万物的生长。太阳投射给地球的巨大能量——太阳辐射，是地球和大气最主要的能量源泉，地球从太阳能中获取的热量为 $5.338 \times 10^{24} \text{J/a}$ ，占地球上总能量的 99%。太阳辐射也是引起各地天气变化和气候差异的重要因子，是大气运动和产生各种物理现象的基本动力。太阳辐射是绿色植物进行光合作用制造有机物质的唯一能量来源，此外，太阳辐射还具有光效应，在地球上形成昼夜长短的变化和季节的循环往复。

1.1 昼夜、季节和二十四节气

1.1.1 昼夜

1.1.1.1 地球自转与昼夜

地球有两种基本运动：自转和公转。地球自转一周 360° ，约需 24h，在其自转过程中，地球和太阳的相对位置经常发生变化，但在某一时刻，地球和太阳的相对位置是确定的。其中，总是有半个球面向着太阳，处于白昼，称之为昼半球；半个球面背着太阳，处于黑夜，称之为夜半球。昼半球和夜半球的分界线称为晨昏线，如图 1-1 所示。

地球不断自西向东转动，昼半球东边的区域逐渐进入黑夜，夜半球东边的区域逐渐进入白昼，地球如此不停地自转，就形成了地球上各地昼夜的交替现象。

1.1.1.2 昼夜长短的变化

地球在自转和公转过程中，地轴和地球公转轨道面始终保持 $66^\circ 33'$ 角度不变，所以晨昏线和地轴不在一个平面上（春、秋分除外）。因此，晨昏线和地球上的纬线相交割，把同一纬线分为两部分，一部分在昼半球，称为昼弧；另一部分在夜半球，称为夜弧。由于地球和太阳的相对位置经常发生变化，所以晨昏线也经常变化，晨昏线分割所形成的昼弧和夜弧长短也经常发生变化（赤道地区昼弧和夜弧相等），这就形成了各地昼夜长短的变化。

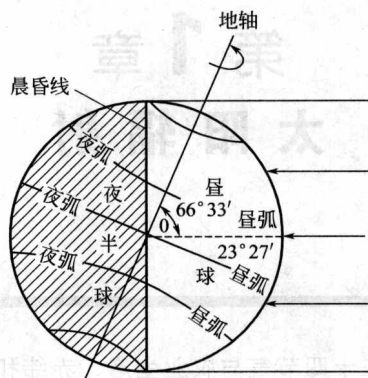


图 1-1 地球自转

1.1.1.3 赤纬、太阳高度角和方位角

(1) 赤纬 (δ) 太阳光线垂直照射地球的位置, 称为赤纬, 它与直射地球的地理纬度一致, 所以用当地地理纬度表示。太阳直射点在北半球, 赤纬取正值, 太阳直射点在南半球, 赤纬取负值。在一年中, 赤纬变动在 $[+23.5^\circ, -23.5^\circ]$ 范围。春分日和秋分日, 太阳直射赤道, $\delta=0$; 夏至日太阳直射北回归线, $\delta=23.5^\circ$; 冬至日太阳直射南回归线, $\delta=-23.5^\circ$, 如图 1-2 所示。

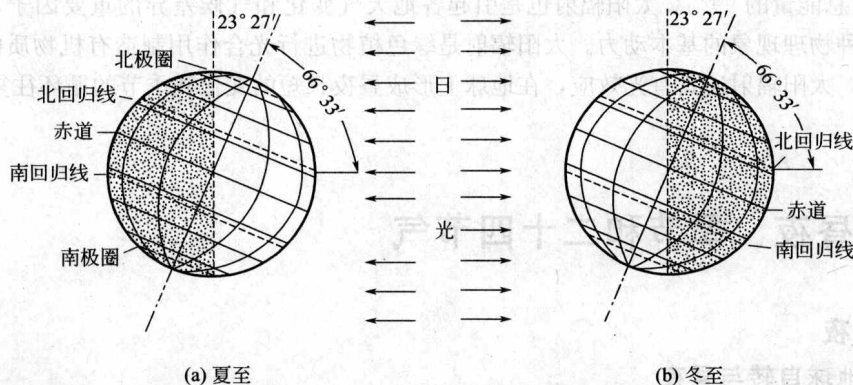


图 1-2 夏至和冬至

(2) 太阳高度角和方位角 在地球上观察, 太阳在天空中的位置随时、随地而变化。太阳在天空中的位置可以用太阳高度角和太阳方位角表示。

① 太阳高度角。是指投射到地面上的太阳平行光线与水平面的夹角, 简称太阳高度, 用 h 表示。

② 太阳方位角。是指太阳光线在水平面上的投影和当地子午线的夹角, 用 A 表示。正北为零度, 上午为正, 下午为负。

太阳高度角 (h)、太阳方位角 (A) 与该地的地理纬度 (φ)、该日太阳直射地球上的位置 (δ) 以及当时的时刻 (用时角 t 表示) 有关。

求算太阳高度角和方位角的公式可分别写成:

$$\sin h = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos t \quad (1-1)$$

$$\cos A = \frac{\sinh \cdot \sin \varphi - \sin \delta}{\cosh \cdot \cos \varphi} \quad (1-2)$$

在公式(1-1)中, t 为所求时间的时角, 地球自转一周约需 24h, 即每小时转 15° , 以当地真太阳时正午为 0, 下午为正, 上午为负, 每小时为 15° 。

由公式(1-1)可以求出 $t=0$ 时, 即正午时刻的太阳高度角的公式为:

$$h = 90^\circ - \varphi + \delta \quad (1-3)$$

一天中, 正午时刻的太阳高度角是太阳高度角的最大值, 它是反映一个地方太阳辐射状况的重要特征值。在南北回归线上, 太阳高度角每年有一次最大值和一次最小值; 在赤道上每年有两次最大值和两次最小值。

1.1.1.4 日照时间

(1) 可照时数与实照时数 太阳中心从出现在一地的东方地平线到进入西方地平线之间的时数, 称为可照时数。可照时数随季节和纬度的变化规律如下。

① 春分日、秋分日 ($\delta=0$) 地球各地昼夜平分, 昼长不随纬度变化而变化。

② 从春分到秋分的夏半年 ($\delta>0$), 北半球各地白昼长于黑夜, 而且纬度越高白昼越长, 夏至日达一年中的最长, 北极圈内出现极昼现象。

③ 从秋分到春分的冬半年 ($\delta<0$), 北半球各地白昼短于黑夜, 而且纬度越高白昼越短, 冬至日达一年中的最短, 北极圈内出现极夜现象。

④ 赤道地区, 终年昼夜平分, 中、高纬度地区, 纬度越高, 一年中昼长变化越大; 低纬度地区终年昼长变化较小。南半球和北半球冬夏相反, 春秋相反, 昼长随纬度的变化规律是一样的。

在实际研究中, 考虑到云、雾、地物遮蔽等影响, 太阳直接照射的实际时数会短于可照时数。把一天中太阳的直接辐射实际照射到地面的时数称为实照时数 (日照时数)。观测日照时数的仪器, 称为日照计。日照计只能观测太阳直接辐射。有云、地物遮挡时, 则观测不到。

实照时数与可照时数的百分比称为日照百分率。

(2) 光照时间和曙暮光时间 在日出之前和日没之后, 虽然没有太阳直接辐射投射到地面上, 但天空散射辐射投射到地面上, 使地面仍能获得一部分散射光, 使昼夜更替不是突然的。习惯上把这种光分别称之为曙光和暮光, 天文学上称之为晨光和昏影。曙暮光对作物的生长发育有着不同程度的影响, 所以在民用上 (农业生产上), 把包括曙暮光在内的日长时间叫做光照时间。

$$\text{光照时间} = \text{可照时间} + \text{曙暮光时间}$$

民用曙暮光的界限是指太阳高度在地平线以下 $6^\circ \sim 0^\circ$ 的一段时间。曙暮光时间的长短随纬度和季节而异, 全年以夏季最长, 冬季最短; 就纬度而言, 高纬度要长于低纬度, 夏半年更为明显。例如在赤道上, 各季曙暮光时间只有 40 多分钟, 在纬度 30° 处, 就增长到 1h, 而到 60° 的高纬度, 夏季曙暮光时间长达 3.5h, 冬季也有 1.5h。

1.1.2 季节

地球自转的同时, 还按着椭圆形轨道围绕太阳公转。太阳位于椭圆轨道 (公转轨道) 的一



个焦点上,地球离太阳最远的时候大约在每年的7月4日,相距约 $152 \times 10^6 \text{ km}$,此时地球在轨道上的位置叫做远日点;地球离太阳最近的时候大约在每年的1月3日,相距约 $147 \times 10^6 \text{ km}$,这时地球在轨道上的位置叫做近日点。

由于地球在公转过程中,地轴与公转轨道平面之间始终保持 $66^\circ 33'$ 倾斜角,地轴所指的方向也始终不变(指向北极星附近),使得太阳直射点一年中只能在南北回归线之间移动,从而使太阳高度角在各地不同,这是形成各地四季变化的根本原因,如图1-3所示。

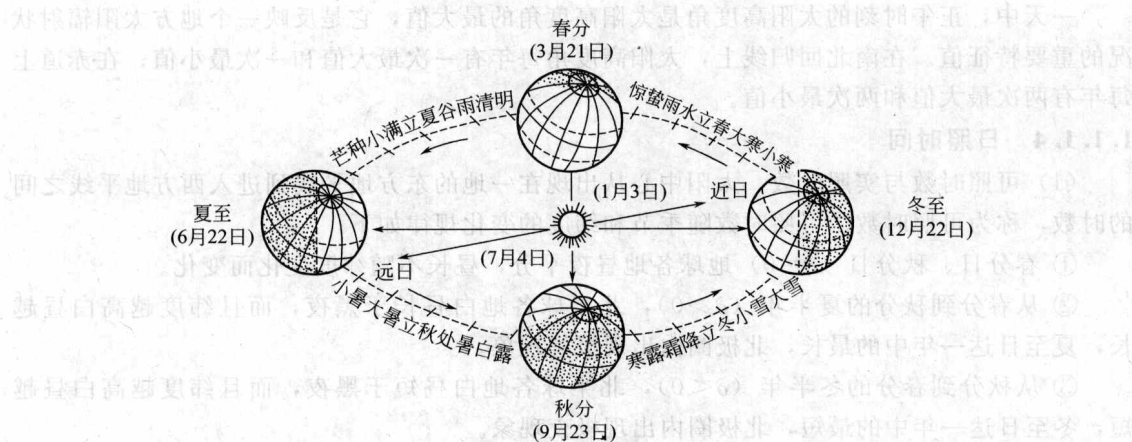


图 1-3 日地关系

关于四季的划分,不同学科划分标准不同,因此各地四季的起始和终止的时间也有较大的差别(见表1-1)。

表 1-1 四季的划分

四 季	天 文 学	气候学(月份)	农业科学(候均温 $^{\circ}\text{C}$)	古代民间
春季	春分~夏至	3~5	$10.0 \sim 22.0$	立春~谷雨
夏季	夏至~秋分	6~8	> 22.0	立夏~大暑
秋季	秋分~冬至	9~11	$22.0 \sim 10.0$	立秋~霜降
冬季	冬至~春分	12~次年2	< 10.0	立冬~大寒

从农业生产的角度来看,主要的研究对象是农作物,以候均温(连续五天的平均温度)为标准划分的四季最具有指导意义。从气候学角度来分析各季的气候状况,又以各季的中间月份(1月、4月、7月、10月)为代表来表述。

1.1.3 二十四节气与农业生产

二十四节气,是根据地球在公转轨道上所处的位置而确定的。把地球公转轨道一周(360°)等分成二十四段,每段根据当时的天文、气候特征和物候反映给以命名,就是二十四节气。每年春分地球在轨道上的位置定为 0° ,以后地球每转过 15° 即为一个节气,每个节气大约经历 15 天。如图 1-3 所示。

二十四节气起源两千多年前的黄河流域,是我国劳动人民独创的科学文化遗产,它能反映当地季节的变化,并指导农事活动。由于我国幅员辽阔,地形多变,故二十四节气对于其

他地区来讲,要灵活运用,不要生搬硬套。记住二十四节气歌诀,就可以推算出每个节气的大致日期,对日常生活和农业生产具有一定的指导意义(见表1-2)。

表1-2 二十四节气的含义及农业指导意义

节气	月份	日期	节气含义及农业意义
立春	2	4或5	春季开始,冬去春来,万象更新,气候回暖,土壤开始解冻
雨水	2	19或20	降雨开始,雨量逐步增多
惊蛰	3	6或5	气温、地温逐渐升高。蛰伏地下的昆虫、小动物开始活动,开始打雷。春耕开始
春分	3	20或21	各地昼夜等长,其后北半球进入昼长夜短季节,古称日夜分
清明	4	5或6	天气晴朗,气候温暖,草木开始返青,万物欣欣向荣,景象清澈明洁
谷雨	4	21或22	雨水增多,大大有利于谷类作物的生长
立夏	5	6或7	夏季开始。草木旺盛生长
小满	5	21或22	大麦、小麦等夏季作物籽粒开始灌浆膨大,趋于乳熟
芒种	6	6或7	大麦、小麦等穗部有芒的夏熟作物成熟,夏播作物忙于播种
夏至	6	22或21	北半球白昼最长,夜晚最短的一天,古称日长至或日北至。盛夏季节到来
小暑	7	7或8	进入一年中酷暑季节,但还没达到最热时期
大暑	7	23或24	进入一年中最炎热的季节
立秋	8	8或7	秋季开始。“立秋十八日,草木都结籽”,标志大秋作物趋于成熟
处暑	8	23或24	“处”有隐居躲藏的意思。炎热的季节即将过去。处暑以后气温明显下降
白露	9	8或9	气温渐低,空气湿度大,夜间露多而重,呈现白露
秋分	9	23或24	各地再次昼夜等长,古代统称日夜分。此后北半球逐渐昼短夜长
寒露	10	8或9	气温降低,露重而寒
霜降	10	24或23	开始下霜。作物可能遭受短时间的低温危害
立冬	11	8或7	冬季开始。气候渐冷,地面开始结冰
小雪	11	23或22	开始下雪。但降雪量不大,地表开始冻结
大雪	12	7或8	田间开始积雪。天寒地冻,降雪不融
冬至	12	22或23	是北半球一年中白昼最短,黑夜最长的一天。古称日短至或日南至。进入严寒季节
小寒	1	6或5	严寒季节,但还没到最冷的时候
大寒	1	20或21	一年中最寒冷的季节

为便于记忆,人们把二十四节气编成歌诀,在民间广泛流传。

春雨惊春清谷天,夏满芒夏暑相连。

秋处露秋寒霜降,冬雪雪冬小大寒。

每月两节日期定,至多相差一两天。

上半年逢六、二十一,下半年逢八、二十三。

1.2 太阳辐射

1.2.1 辐射的基本知识

宇宙中任何物体,只要它表面的温度高于绝对零度(即 $t > 0\text{K}$, $0\text{K} = -273^\circ\text{C}$),都不停的以电磁波的形式向四周空间放射能量,这种传递能量的方式称为辐射,以这种方式传递的能量称为辐射能。辐射波长的单位常用微米或埃来表示。 $1\text{cm} = 10^4\mu\text{m}$, $1\text{cm} = 10^8\text{\AA}$ 。辐射的波长范围很广,从波长数千米的无线电波直到 $10^{-10}\mu\text{m}$ 以下的宇宙射线。气象学上主