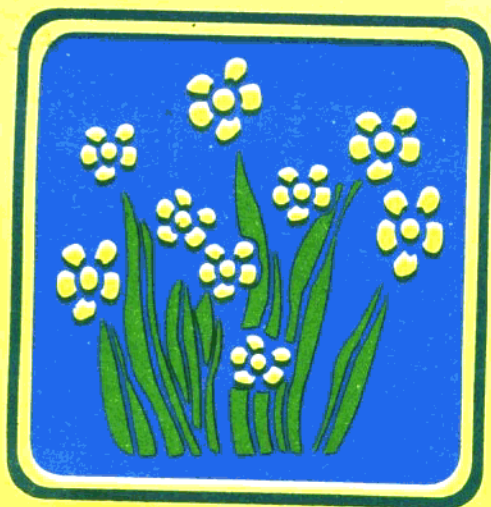


农业气象

毛军需 张金良 李留相 主编



气象出版社

前 言

农业生产是露天作业的大工厂化生产过程。大气候环境、小气候条件以及变幻不定的天气演变对农业的巨大影响是不言而喻的。农业气象知识已成为广大现代农业工作者和农业院校师生所必须掌握的基础知识。为此,洛阳农业高等专科学校联合洛阳气象局、邯郸农业高等专科学校、张家口农业高等专科学校等单位共同编写了此书。

编写本书时,十分注重理论与实际的密切结合,叙述基本理论力求深入浅出,介绍应用技术则尽量突出其实用性,语言通俗易懂,但又不失较强的专业性,体现了农业气象边缘科学和应用性科学的特点。

本书首先由主编拟定提纲,初稿由集体讨论修改,最后由主编统一定稿;河南农大董中强教授、佛山农牧专科学校丁勇新副教授对书稿作了审校,并提出许多宝贵意见。

本书在编写过程中,承蒙洛阳农业高等专科学校、洛阳气象局、河南农业大学、邯郸农业高等专科学校、张家口农业高等专科学校等单位领导和有关同志的大力支持和协助,在此一并致以诚挚谢意。

由于编者水平所限,加之时间仓促,书中难免有不少错误,请广大读者及同行专家批评斧正。

编者

1996 年元月

1-1-7/59

主 编:毛军需 张金良 李留相

副主编:张国海 董廷猷 张秀娟

王青立

编委成员:(按姓氏笔划为序)

王卫民 王青立 毛军需 刘子英

李留相 李惠颖 张少本 张金良

张国海 张秀娟 赵爱玲 袁卉馥

董廷猷

绪 言

地球周围的空气称大气层或简称大气。大气层中时刻都产生和发展着各种各样的物理现象和物理过程,如冷、暖、干、湿等的变化过程和风、云、雨、雪、雷、电、虹、晕等的物理现象,气象学就是研究大气中物理过程和现象的本质及其变化规律的科学。大气中的这些物理现象和物理过程,常用各种定量或定性的因子来描述,这些因子即气象要素。主要的气象要素有气压、风、太阳辐射、温度、湿度、云和降水等。

气象学研究的范围很广泛,研究问题的方法也很多。所以,气象学在不断发展的过程中,逐步形成了许多相对独立的分支学科,如天气学、气候学和应用气象学等。

在一定地区和一定时间内,由各项气象要素的一定结合所决定的大气状态称为天气。研究天气过程发生、发展规律,并运用这些规律预报或影响未来天气的科学就是天气学;气候是指较长时间内的天气状态的统计结果,它一般用气候要素的统计量表示。这些统计量往往随统计时段的转换而发生一定的变化,即所谓的气候变化或气候变迁。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科学就是气候学。

一地的天气状况和气候条件是密不可分的。天气是气候的组成部分,气候则是天气的综合表述。

气象学的发展已经使其逐步进入了许多生产、生活领域,进而形成了各种应用气象学,例如农业气象学、水文气象学、航空气象学、海洋气象学、建筑气象学、医疗气象学等。农业气象学是其中较为普及和重要的一门。

一、农业气象学概念及其研究的主要内容和基本任务

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。农业生产不仅与农业生物本身的各种生物学特性有关系,而且与气象、土壤等环境因素也有密切关系,而气象因素在影响农业生产诸多因素中表现最为活跃。气象因素不仅为生物提供了必要的物质和能量,构成生物生长发育、形成产量的外部基本条件,而且光、热、水、气等气象条件的不同组合也强烈地影响着土壤的物理、化学特性,也不同程度地影响着农业生产;另一方面,农业生产活动以及农业生物生存状况反过来也会对气象条件产生一定的影响。所以,农业气象学是农业科学和气象科学相互渗透的边缘科学。农业气象学不仅要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的影响,同时也要研究农业生产对气象条件的影响。从而不断揭示和解决农业生产中存在的气象问题,使农业高产、稳产、优质、低消耗。所以,农业气象学是研究农业生产中的所有气象问题及其解决途径的科学。

根据当前国内外农业气象工作的开展情况以及农业现代化的要求,农业气象学的研究内容和基本任务可归纳为以下几个方面:

第一,从植物生态学方面研究作物生长发育、产量形成与气象条件的关系。通过研究,确定一系列的农业气象指标,为农业生产各方面都提供相应的理论、数据依据。在此基础上,利用一定的数学模式,开展作物生育期、年景和产量预报。

第二,开展常规农业气象观测,及时准确地获取气象条件和农业生产两方面的第一手资料。通过整理、加工、存贮、分析,得出结论,引导农民不失时机地采取相应的农技措施。农业气象观测是完成其它各项任务的基础性工作,是积累资料、

进一步进行深度研究的必要准备。

第三,进行农业气候资源分析及合理利用的研究。这是一项战略性的任务。太阳辐射能、热能、水分和大气中的 CO_2 等都是十分重要的农业气候资源,它们在各地的分布很不平衡,季节和年际间的变化十分复杂。农业气象应从开发、利用和保护的观点出发,分析和说明各地区气候资源的平均情况、分布规律和长期变化特点,为因地制宜地确定生产类型和结构、改善种植制度、调整作物布局、科学搭配品种、合理引种等提供科学依据。

我国的山区丘陵面积占全国土地面积的70%,对山地农业气候资源的开发、利用的研究是我国发展国民经济的重要组成部分。因此,进行山区农业气候资源的研究,也是农业气象十分重要和迫切的任务之一。

第四,进行农业气象灾害发生规律及防御方法的研究和应用。我国面积辽阔,地形复杂,各种农业气象灾害时有发生,这是农业生产产量波动的一大因素。因此,研究灾害的发生规律,准确发布灾害预报,研究作物受灾机制,确定受害指标,采取有效的防御措施等,也是农业气象的重要任务之一。

第五,目前,人们还不能大范围地控制天气和改变气候条件。因此,开展小气候研究是农业气象的重要工作。通过对各种农业小气候规律的认识,为创造农业生产过程中最优的小气候环境提供依据,最终达到高产、稳产。

二、农业气象学的研究方法

在农业气象研究工作中,有一个基本原则(或称方法)应当遵循,那就是平行观测、平行分析法(又称联合观测法)。就是一方面进行农业气象要素的观测,另一方面还必须在同一时间、同一地点进行田间农作物生长发育状况、灾害发生情况

的观测,同时还必须进行田间管理工作的详细记载,最后将三方面的资料进行综合分析。这是农业气象学与气象学、农学研究方法的根本区别。

由于农作物的生育周期长,若按照常规种植法去观测、获取资料时,要取得不同年型的气象条件与作物生长发育、产量形成等资料,必须进行连续多年的试验研究,需要较长时间和很多经费。为了缩短研究年限,在较短时间内取得更丰富的实验资料,农业气象研究中经常采用以下几种研究方法。

第一,分期播种法。这是农业气象研究者最常用的方法之一。该方法是把实验对象按不同时期播种在同一田块上。由于分期播种,可以使实验作物的同一发育期处在不同的气象条件下,也可使同一种气象条件同时作用于作物的不同生育期,从而获得十分丰富的实验材料,大大缩短了实验进行的年限。分期播种时,各期采用的土壤条件及对作物的一系列农田管理措施等应当尽量一致。

第二,地理播种法。地理播种法是在不同自然条件的地点,按照统一的设计方案进行实验的方法。它常利用不同纬度、不同海拔高度具有不同气象条件的特点,使同一作物品种在同一生育期遇到各不相同的气象条件。它比在单一地点进行的试验增加了更多的对比条件,使研究的年限缩短。地理试验法中各点的土壤、地形、农田管理也应当力求一致。

第三,自然与人工控制条件下的对比实验法。农业气象研究中,常常需要进行单项因子的对比实验,以便通过分析得出相应的结论。例如,在进行浇水试验时,可设计出浇水与不浇水 and 不同浇水时期、浇水量、浇水方式等方案;覆盖效果试验可设计覆盖与不覆盖、不同覆盖物、覆盖方式等方案。为了克服自然条件下对比因素不能随意控制的局限(如气温、地温、

CO₂ 浓度、风速、湿度等因子在大田条件下难以控制),当前一般采用人工气候室、人工气候箱进行这项工作。当然,人工气候室、箱中,作物一般都用盆栽,因而工作量小,实验周期可缩短,提高了工作效率。但它毕竟不同于大田条件,因而也有不足之处。

处理实验资料的方法包括对资料的审核、订正以及为了便于分析而对资料所进行的一些数学处理,如滑动平均、标准化、归一化、编码等。分析资料的方法一般有对比分析法、数理统计法、系统分析法等。近年来,数值模拟法也在农业气象研究工作中有了长足进展。计算分析的一些新方法,如聚类分析、线性归划、模糊数学、系统论、决策论等,也已广泛地应用于高层次的农业气象研究中。

三、农业气象学的发展

我国是一个古老、文明的农业大国,农业气象的研究可以追溯到二千年以前。远在东周列国时期,对一年中四季的分配,春分、夏至、秋分、冬至的日期等都已确定的相当准确;及至西汉,已经把二十四节气、七十二候的内容完全确定;公元 5 世纪 40 年代,后魏人贾思勰的《齐民要术》一书中写道:“……天雨新晴,北风寒切,是夜必霜,此时放火作煨,少得烟气,则免于霜矣。”竟把霜冻的发生、预测、预防方法备述无遗。即使今天看来,仍是具有相当水平的科技之作。

近代中国,农业气象的研究已经远远落在西方国家后边,长达数千年的封建桎梏,使农业气象工作几乎是一片空白。

新中国成立以后,由于党和人民政府的关怀重视,伴随着气象科学的迅速发展,1956 年开始在全国进行农业气象观测。1958 年以后,站网不断扩大,观测项目不断增加,并逐步开展了农业气象研究和服务。十一届三中全会以来,农业气象

借“科技就是生产力”的东风，无论在人员数量和素质、机构设置、设备仪器、研究成果及利用等方面都有了巨大变化，有些已经达到国际先进水平。目前，中国科学院、中国气象局、省级和不少地市级气象部门都设有专门的农业气象科研机构。南京气象学院、沈阳农学院、广西农学院及中国农业大学等院校开设有农业气象系或专业，其它农业高等院校、气象院校也都开展有农业气象方面的研究。已经开展的主要研究内容有：全国农业气候区划，农业气象预报，各种农业气象灾害如水稻烂秧、寒露风、干热风、低温冷害等，亚热带山区农业气候资源的分析利用，蔬菜温室栽培的气象问题等。

目前，农业的经济基础地位越来越得到重视，乘着这股东风，农业气象学必然进展更快。

学习本书时，应当随时注意天气变化，养成关心天气的习惯。特别要注意观察主要农业气象要素光、温、湿等的演变规律及农业气象灾害对作物的影响。对书中的基本概念、基本理论应当深入理解其物理、生物学方面的意义，并尽可能地与生产实际密切联系起来，以增强分析、解决实际问题的能力。

目 录

前言

绪言

第一章 地球大气..... (1)

第一节 近地气层的成分 (1)

第二节 大气的结构 (6)

第二章 太阳辐射与农业 (11)

第一节 辐射的基本知识 (11)

第二节 太阳辐射时间 (14)

第三节 大气上界的太阳辐射 (20)

第四节 太阳辐射在大气中的减弱 (23)

第五节 到达地面的太阳辐射 (27)

第六节 地面辐射差额 (34)

第七节 太阳辐射与农业的关系 (38)

第三章 农业环境温度 (49)

第一节 物质的热交换特性与地面热量差额 (49)

第二节 土壤和水体温度的变化 (53)

第三节 近地层气温的变化 (62)

第四节 环境温度与农业生产 (68)

第四章 水分与农业生产 (78)

第一节 大气中的水分变化 (78)

第二节 土壤水分的变化 (85)

第三节 蒸发和蒸散 (89)

第四节	水汽凝结和大气降水	(95)
第五节	水分与农业生产的关系	(102)
第五章	气压与风	(117)
第一节	气压场与风的形成	(117)
第二节	大气环流和地方性风	(129)
第三节	风与作物	(137)
第六章	农业与天气	(139)
第一节	主要天气系统和天气特征	(139)
第二节	天气预报简介	(157)
第三节	我国几种主要的农业灾害天气	(159)
第四节	人工影响天气基本知识	(179)
第七章	气候和农业气候	(185)
第一节	气候概述	(185)
第二节	气候带和气候型	(193)
第三节	中国气候的一般特征	(198)
第四节	山地农业气候	(208)
第五节	农业气候资源的分析和利用	(221)
第八章	农业小气候	(238)
第一节	农业小气候及其形成的物理基础	(238)
第二节	农田小气候	(249)
第三节	地形小气候和水域小气候	(268)
第四节	森林小气候	(274)
第五节	果园小气候	(276)
第六节	护田林带小气候	(282)
第七节	保护地小气候	(285)
附表		(289)
主要参考文献		(294)

第一章 地球大气

围绕在地球周围的空气称为地球大气,简称大气。大气是地球上一切有机体(嫌气性细菌除外)的生存环境。地球在漫长的进化演变过程中,自然地形成了大气与生物圈之间的动态平衡。植物生命活动依赖一定的大气条件,所以,大气状况的好坏影响着农业生产过程。

第一节 近地气层的成分

大气是一种混合气体,它由干洁大气、水汽和气溶胶粒子组成。

一、干洁大气

干洁大气是指大气中除了水汽和杂质以外的整个混合气体,亦称干洁空气。其主要成分是氮、氧、氩、二氧化碳等,还有微量的氦、氖、氫、氢、氙和臭氧等气体。各种气体的沸点都很低,在自然条件下永无液化的可能,所以,干洁大气是永久气体。表 1-1 是 25km 高度以下干洁大气的主要成分。

表 1-1 干洁空气的成分(在 25km 以下)

成分	按容积含量 (%)	临界温度(°C)(括号中数值为对应于临界温度的气压)	沸点温度(°C)(在 1013.25hPa 压强下)
氮	78.09	-147.2(33.5)	-195.8
氧	20.95	-118.9(49.7)	-183.1
氩	0.93	-122.0(48.0)	-185.6
二氧化碳	0.032 (变动)	31.0(73.0)	-78.2

续表

成分	按容积含量 (%)	临界温度(°C)(括号中数值 为对应于临界温度的气压)	沸点温度(°C)(在 1013.25hPa 压强下)
臭氧	1.0×10^{-6}	-5.0(92.3)	-111.1
氦及其它 稀有气体	微量	—	—
干洁空气	100	-140.7(37.2)	-193.0

据有关探测结果,在 90km 以下干洁大气成分的比例基本上是不变的。这是由于大气的运动及分子扩散,使空气进行充分混合的结果。在 90km 以上,大气的主要成分仍然是氮和氧,但从 80km 开始,由于太阳紫外线作用,氮和氧已有不同程度的离解,在 100km 以上,氧分子已几乎全部离解为氧原子,到 250km 以上,氮也基本上离解了。

在干洁空气的所有气体中,对地球生物作用最大的是氮、氧、二氧化碳和臭氧。

(一) 氮

氮是大气中含量最多的气体,占干洁大气总容积的 78.09%。氮是植物的主要营养元素之一,它包含在植物与动物的蛋白质中,是地球上生命体的基本成分。虽然空气中含氮很多,但却不能被利用。在自然条件下,大气的游离氮可被某些土壤细菌和根瘤菌固定,变成易被吸收的氮化物,而氮的氧化物也可随降水进入土壤,供给植物需要。现已发展空中固氮技术,把空中游离氮变为易被植物吸收的氮化物,为植物提供更多的氮素营养。

(二) 氧

氧是大气中次多气体,占干洁大气总容积的 20.95%,是地球上维持生命的气体。氧为植物呼吸、有机物质分解、燃烧

和腐烂所必需。在改善土壤通气性时,土壤获得大量氧气,能促使土壤细菌活动和根系生长,有助于改善植物的营养状况。

(三) 二氧化碳

二氧化碳是植物进行光合作用的主要原料,构成植物成分的 95% 是光合作用的产物。它约占干洁大气总容积的 0.032% (即 320ppm), 其浓度因时因地经常发生变化。大气中二氧化碳的来源主要靠植物呼吸、有机物质燃烧和腐烂分解及火山爆发等提供,其消耗主要是植物的光合作用、海水的溶解和微生物的固定。在工业地区二氧化碳来源较多、浓度较高,可达到 500ppm 以上,而农村因植物光合作用消耗,其浓度较低。另外,二氧化碳的浓度有明显的日变化和年变化,一般白天低,夜间高;夏天小,冬天大。

由于空气的垂直混合作用,二氧化碳可以扩散到 20km 的高度,再向上二氧化碳的含量就显著减少。在近地气层,二氧化碳随高度的分布,主要决定于近地面二氧化碳被固定和释放情况,其中主要影响因素是光合作用的固定和植物呼吸及燃烧释放二氧化碳。在夏季或白天的光合作用旺盛时期,二氧化碳垂直分布特点是近地面低而上层高,称为光合型。在冬季或夜间,近地面二氧化碳被固定较少,又有动植物呼吸、矿物质燃烧等释放二氧化碳,近地面浓度高,而上层低,这种分布形式称为呼吸型。

据有关观测研究表明,在过去的一百年间,由于工业发展和人口激增,使大气中二氧化碳浓度含量增加了 10%~12%,且增加的速度越来越快。预计到 2000 年二氧化碳浓度可达 400ppm,到 2020 年则达到 500~540ppm。由于二氧化碳能强烈吸收太阳长波辐射和放射长波辐射,造成的温室效应可使全球气候发生一系列变化,这对人类活动和农业生产

将产生深远的影响。

目前大气中的二氧化碳浓度并不能满足植物光合作用的需要。许多研究指出,当太阳辐照度是全太阳辐照度的三分之一时,大气中的 CO_2 浓度已成为提高光合作用强度的限制因素。因此,增加农田中二氧化碳浓度,可明显提高植物的产量。研究表明,植物生长最适的 CO_2 浓度为 $1000\sim 1500\text{ppm}$,几乎是大气中平均浓度的 $3\sim 5$ 倍,所以在农田中采用空气中二氧化碳施肥方法,效果是肯定的。但在目前技术水平下,要保持大田中有较高的 CO_2 浓度,尚有一定困难。在人工控制的小面积栽培地,如温室和各种塑料棚内,采用 CO_2 施肥是切实可行的,且显得格外重要。有关这方面已进行许多研究,且成果已实际应用。

(四) 臭氧

大气中的臭氧,主要集中在较高的一层大气中。自 $5\sim 10\text{km}$ 高度起含量逐渐增加,在 $20\sim 30\text{km}$ 处达到最大值,形成明显的臭氧层。此后含量又逐渐减少,到 $55\sim 60\text{km}$ 逐渐消失。

臭氧能强烈吸收太阳紫外线,使 $40\sim 50\text{km}$ 高度上大气温度迅速增高,对大气温度分布有较大影响,同时使地球上的动植物免受紫外线的伤害。

二、大气中的水汽

水汽是大气的重要组成部分,它主要来源于下垫面的蒸发和植物蒸腾,所以,大气中水汽含量随时间、空间而有很大变化。在湿热地方的温暖季节高达 4% ,而在冬季干燥严寒的地方可低到 0.01% 以下。观测表明,在 $1.5\sim 2\text{km}$ 高度上,水汽含量大约已减少至近地面的一半,到 $10\sim 15\text{km}$ 以上的大气层中,水汽几乎已不存在。故一般其含量随高度升高而减少。

大气中水汽含量虽少,但对人类及植物的生活以及天气变化起着重要作用。水的相变,会出现云、雾、雨、雪、霜、露等天气现象。由于水相变时能吸收和放出热量,且水汽能强烈吸收和放出长波辐射使空气增热。所以,水汽对地面和空气的温度变化及空气的运动起着重要作用。

三、大气中气溶胶粒子

气溶胶粒子是指悬浮在大气中的固体粒子,主要是水滴、冰晶、尘埃和悬浮在空气中的其它杂质。来源有宇宙尘埃、烟粒、尘土、盐粒子、火山爆发后留下的浮尘和花粉等。它们多集中在 3km 以下的大气层中,而且含量变化很大,一般城市多于农村,陆地多于海洋。

微尘杂质能削弱太阳辐射,又能阻碍地面热量的释放,因此可减少地温的日变化。同时,具有吸湿性的微尘杂质是水汽的凝结核,对成云致雨有重要作用。

四、大气污染物

由于人类活动使有害物质排入大气,破坏生态系统和人类正常生活,对人和植物造成危害的现象叫大气污染。

大气污染物的成分或品种很多,已产生危害或已受到注意的约有 100 种,其中影响范围广、对人类环境威胁较大的主要有:煤尘粉、 SO_2 、 CO 、 NO_2 、 HS 和碳氢化合物及氨等。氮氧化合物和碳化氢在太阳紫外线照射下,可产生毒性很大的化学烟雾。

污染物来源主要有燃料燃烧时从烟囱排出的废气和汽车的尾气以及工厂漏掉的毒气等。目前,防治大气污染的方法很多,但根本途径是通过集尘器和清洗器在排气前清除污染物、发展无烟工厂的闭合工艺过程以及合理布局工业等。

第二节 大气的结构

一、大气压力

(一) 气压的概念

在地球任何表面上,由于地球周围大气重量及分子撞击力所产生的压强称为大气压力,简称气压。其数值大小等于单位面积上空气柱的重量。

气压的单位为帕斯卡,简称帕(Pa),1帕定义为 $1\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$ 。一般用百帕(hPa)。

气象上规定 1013.25hPa 为一个“标准大气压”,简称一个大气压。

(二) 气压随高度的变化

空气层的厚度随高度增加而变薄,同时,空气密度也迅速减少。所以,气压随高度增高而迅速减小。当气柱平均温度为 0°C 、地面气压近似为 1000hPa 时,气压随高度降低情况如表 1-2。

表 1-2 气压随高度的变化

高度(km)	0.0	1.5	3.0	5.5	9.0	16.0
气压(hPa)	1000	850	700	500	300	100

表 1-2 给出了不同高度上大致的气压值,在海拔高度 5.5km 处的气压,约为海平面气压的一半,也即整个大气质量的一半集中在 5.5km 以下的大气层里。下面是气压和高度的关系公式(又称拉普拉斯压高公式)。

$$Z = 18400(1 + at) \lg \frac{P_1}{P_2} \quad (1-1)$$

式中 Z 为垂直方向上两位置的高度差; a 是气体膨胀系数,等于 $1/273$; t 为两地的平均温度($^{\circ}\text{C}$); P_2 为较高处气压; P_1 为