

# 农业气象学

北京农业大学农业气象专业 编

科学出版社

# 农业气象学

北京农业大学农业气象专业 编

科学出版社

1982

## 内 容 简 介

本书从理论上讨论了光、热、水、气等主要农业气象要素与农业生产的关系,稻、麦、棉、玉米等主要农作物与典型病虫害的有关农业气象问题,以及干旱、干热风、低温冷害、霜冻与冬作物越冬灾害的指标、规律与防御措施等;扼要地评介了国内外主要的农业气象研究方法、农业气象预报方法及农业气候分析和区划方法。可供农业、气象,特别是农业气象工作者与高等学校有关专业师生参考。

2R05/06

## 农 业 气 象 学

北京农业大学农业气象专业 编

责任编辑 郑秀灵

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街 137 号

中 国 科 学 院 印 刷 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

\*

1982年12月第 一 版 开本:787×1092 1/32  
1982年12月第一次印刷 印张:15 3/8  
印数:0001—5,700 字数:352,000

统一书号:13031·2095

本社书号:2859·13—12

定 价: 2.40 元

## 编 者 的 话

农业气象学是一门新的重要的学科，但近年来这方面新书不多，很不适应我国农业与气象工作发展的需要。我们编写这本书，希望能对农业气象工作起到一点促进作用，从而为四个现代化做出贡献。

本书重点讲述光、热、水、气与农业的关系，主要作物的农业气象问题，以及主要的气象灾害与防御方法。为了直接对农业气象研究与服务工作有所裨益，并使读者对农业气象学有较全面的了解，还简单扼要地介绍了农业气象研究与预报方法，农业气候分析与区划方法等。

书中不少内容反映了北京农业大学<sup>1)</sup>农业气象专业师生多年科学试验与观测的成果和体会，反映了师生在生产第一线长期蹲点与在全国许多地区广泛调查研究、总结群众经验的结果。有些内容综合评述了国内农业气象工作的先进成果与经验，并重点根据联合国与美、日、英、苏等许多国家近十余年出版的十几本有关书籍和十几种有关杂志的一百多篇论文，对国外农业气象工作的先进成果做了简要的介绍。此外，还根据对专业学生和干部训练班十几次较系统授课的经验与学员的反映，对内容做了适当取舍，对表达方式做了一定推敲。但总的说来，限于作者水平、资料来源与时间，涉猎不广不深，提炼不高不精，难免有不少错误。

---

1) 北京农业大学曾一度改名为华北农业大学，为了避免名称混乱，除参考文献作者单位原为华北农业大学者保持原名不变外，书中文字叙述一律采用北京农业大学名称。

过去的有些农业气象书籍，以较多的篇幅讲述气象学基本知识，只有部分内容真正与农业有直接联系，本书与此不同，因估计读者有一定数理化、气象学、生物学及农学的基础，故对有关基础理论，一般直接引用，不加解释，而侧重讨论农业气象问题。但考虑到读者的广泛性，在某些重点问题上，对有关基础理论也略加叙述。书中对各类问题，特别是方法性问题(如农业气象研究、预报、区划方法)，一般只做扼要评述，以启发思路，读者如需深究，可阅有关参考文献。本书初稿成于1979年7月，故引用国内文献一般止于1979上半年，引用国外文献止于1978年底。

本书作者：绪论、第一章为刘汉中，第二章小麦、水稻气象为龚绍先，玉米气象为赵明斋、曲力，棉花气象为郑剑非，病虫害与气象为马秀玲，第三章为龚绍先，第四章为赵明斋、曲力、龚绍先，第五章为张宏名，第六章农业气候分析为韩湘玲、农业气候区划为郑剑非。上述作者以及张理同志为编委，刘汉中为主编。

书稿承中国农业科学院农业气象研究室全面审阅，并蒙杨昌业教授，阎龙飞、廉平湖、王敏华、曾士迈、赵珍美、苏宝琳、魏淑秋等同志对有关章节做了重点审阅，提出了许多宝贵意见；中国科学院地理研究所郑战军同志，本校鹿洁忠、李小燕、管秀莲、曾席全、孔杨庄、刘仁俊等同志在提供资料、制图、抄写等方面做了大量工作，特此致谢。

编 者

# 目 录

绪论 .....	1
第一章 光、热、水与农业生产的关系 .....	4
第一节 太阳辐射与农业生产的关系 .....	4
第二节 温度与农业生产的关系 .....	49
第三节 水分与农业生产的关系 .....	100
参考文献 .....	146
第二章 作物气象及病虫害与气象 .....	154
第一节 小麦气象 .....	154
第二节 水稻气象 .....	175
第三节 玉米气象 .....	192
第四节 棉花气象 .....	210
第五节 病虫害与气象 .....	242
参考文献 .....	259
第三章 农业气象灾害及其防御 .....	262
第一节 干旱 .....	262
第二节 干热风 .....	279
第三节 低温冷害 .....	291
第四节 霜冻 .....	305
第五节 冬作物越冬灾害 .....	319
参考文献 .....	332
第四章 农业气象研究方法 .....	334
第一节 概述 .....	334
第二节 农业气象研究方法 .....	339
参考文献 .....	365

第五章 农业气象预报 .....	367
第一节 农业气象预报概述 .....	367
第二节 农业气象预报方法 .....	380
参考文献 .....	399
第六章 农业气候分析和区划 .....	400
第一节 农业气候分析 .....	402
第二节 农业气候区划 .....	451
参考文献 .....	482

## 绪 论

气象条件对农业生产有重大影响。光、热、水、气是农业气象的基本要素。这些要素及其配合之适宜与否，在很大程度上决定农业收成之丰歉，品质之优劣和成本之高低。故研究与调节气象条件与农业生产的相互关系，以趋利避害，夺取丰收，是一项十分迫切的工作。农业气象学就是在研究与解决上述问题的过程中发展形成的一门新的学科。

农业气象学研究农业(包括作物、牲畜与农业措施等)与气象条件的相互关系，研究各地农业气象条件的利弊程度及其时空分布规律，还侧重从农业气象效应角度，研究改善农田小气候的农业措施。当然，对某一工作部门与课题而言，可能只侧重其中一两个方面，但对农业气象工作整体规划与指导思想来说，各方面的研究不应偏废。

掌握农作物对气象条件的要求与反应的规律、机制与定量指标，是开展农业气象服务的基础之一。这一工作包括：研究与掌握各种作物、品种及其各发育期对光、热、水、气等因子或综合的气象条件的要求与反应的规律与生理、生化机制；确定其最适与受害、致死的农业气象指标；研究作物微气象的基本规律，如农田中能量收支与交换，物质( $\text{CO}_2$ 与水汽等)的输送等规律和有关植物参数(如作物几何学、气孔对气体扩散的阻力等)的特点与作用；研究在各种农业措施与天气类型之下，农业气象要素在田间的时空分布规律及数学模式等。根据这些研究，为调节与改造小气候、提高光能利用率与水充分利用率等提供理论依据。

农业气象研究要紧密联系实际。农业气象预报



与情报,就是农业气象为生产提供科学依据的有效形式之一。它对经济计划、工农业生产、外贸、商业、运输与抗灾救灾工作等,都有重要意义。在实现四个现代化的过程中,对农业气象预报的要求将越来越高。譬如,随着农用飞机的增加,将要求加强对飞机安全与有效作业的气象预报;随着农业化学药剂(包括杀虫、杀菌、灭草剂与生长素等)种类与使用范围的增加,将要求对各药品施用的适宜气象条件与时机做出准确预报,以期发挥最好的效果并减除副作用。

农业气候分析与区划可为充分而合理地利用农业气候资源与防止灾害提供科学依据。它可帮助生产部门确定某些作物、品种、种植制度与农业措施适于采用与推广的区域、界限,确定其在不同气象年型的可能表现,以及引起作物丰歉、措施成败的各有关气象年型出现的频率、保证率等。地形与农田小气候,以及农业措施小气候效应之研究,为科学种田提供依据,也是农业生产所迫切需要的。

农业气象学还应特别重视有关仪器的研究,并不断改进自己的研究方法。

农业气象学研究服务的对象与范围,狭义地说,主要针对农作物的生产。广义地说,则包括农、林、牧、渔业之生产与病虫害之预报和防治等,有的甚至包括农产品运输、贮藏与加工过程中的农业气象问题。

农业气象学是一门边缘学科,要求较广泛的基础与专业知识,如数、理、化和生物学的基础,植物生理学、生态学、气象学、土壤物理和微气象学的理论和技术。它需要进行一定的理论机制的研究。作为一门应用科学,也需要丰富的农学知识,需要深入农业生产实际,熟悉农业,善于抓准生产中的农业气象问题,做出切实有效的服务。

我国自古对农业气象非常重视,劳动人民在几千年的生

产实践与科学研究中,积累了大量农业气象经验与谚语,有的载于书简,大多流传民间。如《礼记》、《诗经》等载述了月令、物候;史书、地方志等记录了气象灾情;《淮南子》等已定二十四节气;《逸周书》更采用了七十二候;《吕氏春秋》论述了“凡农之道,候之为宝”;《汜胜之书》强调了“凡耕之本,在于趣时”;《齐民要术》详论防霜之法;《农政全书》倡导引种驯化……等等,不胜枚举,这是一份非常宝贵的遗产。

解放后在中国共产党的领导和关怀下,经竺可桢、涂长望等同志之提倡,建立了从事农业气象工作之专门机构,开展了大量的农业气象教学、研究与服务工作,取得了很大的成绩。目前,在气象部门、农业部门的农业气象工作机构与人员,以及各高、中等农业院校的农业气象专业师生,组成了农业气象工作的浩大队伍,这支队伍正在迅速发展壮大中。

我国的农业气象工作,群众基础广泛,结合生产较为紧密,服务效果较好。如许多地方有效地开展农业气象情报、预报服务与农业气候服务;对寒露风、干热风、橡胶北移、三麦湿害等的研究也有了较好成绩与进展;对各地,特别是有些边远地区的农业气候资源有了进一步的了解,为农业气候区划工作打下了较好的基础;有些部门还较好地开展了理论与仪器的研究。

国外的农业气象工作虽然开始也不太早,但近年来有了长足的进步。卫星、电子计算机、红外线遥感技术等的应用,对农业气象工作的开展提供了有力的手段;数学模式的研究为农业气象研究开辟了新的途径;在光能利用、CO<sub>2</sub>平衡、蒸散量的计算、气象灾害的机制与有关基本原理的研究上,也有较大的进展,有许多优点可供学习与参考。

下面我们分章介绍农业气象学的主要内容与国内外先进经验。

# 第一章 光、热、水与农业生产的关系

## 第一节 太阳辐射与农业生产的关系

太阳能是绿色植物通过光合作用制造有机物质的唯一能量来源,也是热量的主要来源,太阳光和热对植物生活起着重大的作用。农业气象工作者要努力研究提高光能利用率的途径,以便大大提高农作物的产量水平。

### 一、不同光谱成分对植物的影响

太阳辐射主要包括紫外线、可见光和红外线三部分,它们对作物的生长发育起着不同的作用<sup>[1]</sup>。概略地说,达到植物表面的红外线的能量约占太阳辐射总量的一半(约50%),其中15%被反射掉,12.5%透过叶片,约22.5%被叶片吸收,被吸收的部分通过蒸腾耗热与叶面辐射而全部损失掉;达到植物表面的可见光部分亦约占太阳辐射能总量的50%,其中约5%被反射掉,2.5%透过叶片,约42.5%被吸收,被吸收的部分约40%用于蒸腾耗热,2.0%左右被叶面通过辐射而损失掉,仅约0.5—1.0%的能量用于光合作用。在可见光中被绿色植物吸收最多的是红橙光和蓝紫光,对绿光只有微弱的吸收。据盖茨(D. M. Gates)等研究,叶片吸收蓝紫光(波长400—500毫微米)的80—90%,绿光(500—600毫微米)的60—80%,红橙光(600—700毫微米)的80—90%,红外线(700—1100毫微米)的5%。试验证明,在量子密度相同的红光与蓝光下,叶片干物重的增加,前者大于后者,可能

是这两类光谱的相对量子效率不同所致。红光下所增长的干物质 68% 为碳水化合物,而蓝光下仅为 42%。红光有利于碳水化合物的积累,而蓝光促进蛋白质与非碳水化合物的积累。达到地面的紫外线的能量很少。它对植物的形状、颜色与品质的优劣起着重要的作用。高山、高原紫外线含量较多,使植物茎叶短小,色泽较深。紫外线照射对果实成熟起良好作用,并能增加果实的含糖量。但与此相反,另一些植物如茶叶与某些纤维作物等,适当减少紫外线含量能得到品质优良的产品。

具体划分,则不同光谱成分的作用大致如下<sup>[2]</sup>:

(1) 波长大于 1,000 毫微米的辐射, 被植物吸收转为热能,不参与生化作用。

(2) 波长为 1,000—720 毫微米的辐射,对植物伸长起作用,其中 700—800 毫微米称为远红光,对光周期、对种子形成有重要作用,并控制开花与果实颜色。

(3) 波长为 720—610 毫微米的光(主要为红、橙光),被叶绿素强烈吸收,光合作用最强;某种情况下表现为强的光周期作用。

(4) 波长 610—510 毫微米的光(主要为绿光),表现低光合作用与弱成形作用。

(5) 510—400 毫微米的光(主要为蓝、紫光)被叶绿素和黄色素强烈吸收,表现强的光合作用与成形作用。

(6) 400—315 毫微米的辐射,起成形作用,如使植物变矮,叶片变厚等。

(7) 315—280 毫微米,对大多数植物有害。

(8) 小于 280 毫微米立即杀死植物。

太阳直接辐射光谱能量的分布和太阳高度角有很大关系。太阳高度角较小,太阳辐射穿过大气的量加大,则紫外线含量迅速减少,可见光的百分比也减少,而红外线的比例增

加,最大辐射的波长也向长波方向转移。因此,不同纬度与高度地区,不同季节与一天的不同时间,太阳直接辐射的光谱成分均有所不同,其对植物的影响也不同。

对植物光合作用有效的光谱成分,称为光合有效辐射,大致包括400—700毫微米(或380—710毫微米)波段的辐射能。它也叫做生理辐射。严格地说生理辐射的含义可略广泛一些。

散射辐射的强度常比直接辐射小,但其中生理辐射的比例却大得多。

散射光谱成分的能量分布,也随着太阳高度角的减小而长波部分的比例相应增加,因长波光线的透过率比短波光线大。如在太阳高度角为 $30^\circ$ 时<sup>[3]</sup>,散射光波长为小于400毫微米、400—600毫微米与大于600毫微米的能量,分别占总能量的20.4%,56.1%与23.5%;太阳高度角为 $90^\circ$ 时,则分别为25.8%,53.5%与20.7%。

如上所述,太阳辐射的光谱成分是有日变化的,因此叶片合成产品的效应,也相应地有一定的日变化。

由于不同光谱成分在植物群体中的透过能力不同,所以群体上部的叶片与下部的叶片所得到的光谱成分是有区别的。

经过群体上部叶片的选择吸收,透射到下部的辐射以红外线(含远红光)与绿光偏多。若以“730毫微米/660毫微米”表示红外线(含远红光)与光合有效辐射能量的比值(730与660毫微米分别是表示红外线(含远红光)与光合有效辐射的代表性波长),则据辛克莱(T. R. Sinclair)1973年对玉米的研究<sup>[4]</sup>,中午12时15分(太阳高度角为 $63.3^\circ$ )玉米200厘米高度处730毫微米/660毫微米能量之比值为1.20,20厘米高度处之比值为4.12;16时15分(太阳高度角为 $29.5^\circ$ )

则200厘米处之比值为1.12, 20厘米处为17.34。说明群体下部,特别是太阳高度角小时,红外线(含远红光)、对光合有效辐射能量的比值明显地加大了。由于群体上下层光谱成分不同,不同部位叶片的光合效率与合成产品的生物化学特性也是有所不同的。

近年来,为了高产优质而选用不同颜色的玻璃或塑料薄膜覆盖作物,来调节光谱成分。

这类试验,有的已有良好效果。如用淡蓝色塑料薄膜育水稻秧苗,可促进初期生长,使秧苗粗壮,插秧后分蘖多,在湖南邵阳地区大面积试验,可增产8%左右。有色薄膜的应用,还在进一步试验中。

## 二、光照时间对作物的影响

### (一) 光照时间的影响

早已知道,作物的开花时间决定于日照时数,白天与黑夜、光照与黑暗的交替及其时间长度对作物开花有很大影响,这种现象称为光周期现象。

按照光照长短和开花的关系,可将植物主要分为以下类型:

#### 1. 植物按光周期的分类

(1) 短日性植物 只有在光照长度小于某一时数才能开花,如延长光照时数,就不开花结实,水稻、大豆、玉米、高粱、谷子、棉花、甘薯等原产于热带、亚热带的植物属于此类。

(2) 长日性植物 只有在光照长度大于某时数后才能开花,如缩短光照时数就不开花结实,小麦、大麦、燕麦、豌豆、亚麻、油菜、甜菜、胡萝卜、洋葱、蒜、菠菜等原产于高纬度的植物属于此类。

(3) 中间性植物 这类植物开花不受光照长度的影

响，在长短不同的任何光照下都能正常开花结实。如西红柿以及水稻、大豆的某些特早熟种属于此类。也有人试验证明许多棉花品种属于中间性植物<sup>[5]</sup>。

将植物分成短日性与长日性等类型，需要有一个光照时间的界限，这个界限不易截然划分，大多数植物的界限一般可定为12—14小时。即要求光照时数大于这个界限的为长日性植物，小于这个界限的为短日性植物。

## 2. 对光周期现象的几种解释<sup>1)</sup>

光照时间与作物发育的关系，其解释尚不一致，迄今无一致看法，大致有下列几种不同解释：

(1) 光周期学说 有人认为植物通过合适的光周期，就能进行它的发育过程，这是植物的本性，即植物只有在符合它的本性的黑暗与光照交替下，才能正常发育，否则就会延迟发育或不发育，而且不同植物需要不同时间的光照与黑暗的交替。

(2) 光照阶段学说 认为一、二年生植物的生长发育不决定于光周期，而决定于通过一定的发育阶段——光照阶段时，长日性植物需要连续的光照，而仅能忍受某些光照与黑暗的交替(昼长夜短)，这是因为长日性植物的茎生长点只有在光照条件下才能进行必要的阶段质变。

短日性植物为了通过光照阶段需要的是黑暗，仅能忍受某种光照与黑暗的交替(昼短夜长)，这是因为短日性植物的茎生长点只有在黑暗条件下才能进行必要的阶段质变。(但为了维持生命，提供质变的物质基础，仍要在一定的光照下进行光合作用)。并认为植物发育对光暗反应是在一定的具体阶段中进行，并非在全生育期或笼统的在开花以前进行。

---

1) 参考北京农业大学光生物学讲义，1961年。

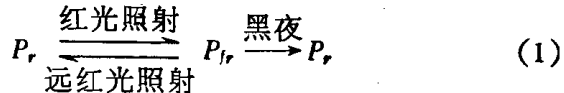
对这一学说现有一些不同看法,认为它不是普遍规律。

(3) 变化趋势说 有人认为长日性植物的光照阶段,不是要求长光照,而是要求逐步变长的光照;短日性植物的光照阶段不是要求短光照或黑暗,而是要求逐步变短的光照。承认这样说法的人不多。

(4) 光谱成分说 认为植物的发育不决定于光周期,也不是要求光或暗,而实质上是需要一定波长的光,长日性植物的发育需要长波的光,短日性植物的发育需要短波的光。

他们把短日性植物用短光波的长光照处理(中午用日光,早晚用蓝光),发现植物不但没有延迟发育,反而发育最快;又把长日性植物用长光波的短光照处理(中午遮光,早晚有光),植物也同样发育得最快。

1961年植物生理学家分离出一种激素<sup>[6]</sup>——光敏色素,在植物体内以红光吸收型  $P_r$  与远红光吸收型  $P_{fr}$  两种形式存在,  $P_r$  对短日性植物之开花有促进作用,而对长日性植物之开花起抑制作用,  $P_{fr}$  则相反。植物在黑暗中时间久,则  $P_{fr}$  变成  $P_r$ ,但若经红光(波长 660 毫微米)照射,  $P_r$  又变成  $P_{fr}$ ,波长若长到近于红外线时(波长 730 毫微米,下称远红光,则又起相反作用。可用方程式表示如下:



这基本说明了短、长日性植物之开花与光照关系的生理生化机制。

高纬度地区太阳高度角小,且一天中太阳高度角小于  $30^\circ$  的时间较长,在这段时间里长波光线即红橙光占绝对优势,长波光线对植物产生影响,使之形成需要长波光线的特性——即形成长日性植物;低纬度情况相反,形成短日性植物。这是不同植物生活于一定环境中,长期适应与自然选择的结果。



## (二) 植物的感光性

在同一类型的植物或品种间，有感光性强弱之分。感光性的强弱一般有两个标准，第一表现在植物的“临界光照长度”上，所谓临界光照长度，就是可以使植物通过光照阶段而开花结实的光照时间的界限值。对短日性植物指其上限值，长日性植物指其下限值。所以对短日性植物来说，所谓感光性强，是指其临界光照长度短，感光性弱则临界值较长；长日性植物反之。据江苏省1973年研究，南京地区感光性较强的晚粳和中粳的临界光照长度都为13—14小时，感光性较弱的早粳为13.5—18小时，感光性最弱的早籼与中籼为24小时，即等于没有临界光照长度。第二个标准是发育速度随光照时数而变化的大小，感光性强，则光照时数稍有变化就对发育速度影响很大，感光性弱则反之。为了表示这一特性的数量关系，南京市农业科学研究所<sup>1)</sup>1974年提出“感光系数”的概念，所谓感光系数，是指播种期差一天，相应的生育期天数的差值，生育期相差的天数多表示该品种的感光性强。实际上，播种期差的天数，标志着光照时数的差异，因为光照时间是随季节而变化的。

日本在研究水稻等作物时提出“感光期”的概念，指的是通过调节光照时间而使生育期缩短的最大限度。它是表示感光性强弱的另一种标志。

植物的发育对光照时间的反应，也即植物对光照时间而言的感光性之有无与强弱，是随发育期而变化的。大多数作物在开花前感光，即光照时间影响植物开花的早晚，影响开花前的发育速度。但是从出苗到开花期间究竟哪一具体时段感

---

1) 参考南京市农业科学研究所1975年有关论文。