

杨晓光 于沪宁 著

中国气候资源与农业

气象出版社

中国气候资源与农业

Zhongguo Qihou Ziyuan yu Nongye

杨晓光 于沪宁 著

气象出版社

内 容 提 要

本书从气候资源角度密切联系中国农业实践,讨论了光和辐射、降水与农田水分、温度和二氧化碳的资源特征和区域分异及其有效利用;兼及农作物气候生态的适应性分析,地形气候和小气候资源利用,农田 SPAC 过程水热传输和水分调控。既著重于有关经典理论的诠释,亦关注联系热点问题的求索,并力求提供实践应用中的成功范例,给读者以多方面的助益。

本书可供高等院校、科研机构、气象部门的科技工作者及关心全球气候变化与粮食安全的广大读者研读。

审图号:GS(2006)676 号

图书在版编目(CIP)数据

中国气候资源与农业 / 杨晓光,于沪宁著. —北京:
气象出版社,2006.9
ISBN 7-5029-4066-9

I. 中... II. ①杨...②于... III. 农业—气候
资源—研究—中国 IV. S162.22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 131230 号

气象出版社 出版发行

(北京市海淀区中关村南大街 46 号 邮编:100081)

总编室:010-68407112 发行部:010-62175925

网址:<http://cmp.cma.gov.cn> E-mail: qxcbs@263.net

责任编辑:周 露 崔晓军 终 审:黄润恒

封面设计:洪 川 责任技编:刘祥玉 责任校对:周小东

北京京科印刷有限公司印刷

开本:880×1230 1/32 印张:11 插页:6 字数:325 千字

2006 年 9 月第一版 2006 年 9 月第一次印刷

印数:1~1200 定价:30.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,请与本社
发行部联系调换



杨晓光，博士，中国农业大学资源与环境学院博士生导师，1998年获中国农业大学博士学位。现任中国农学会农业气象分会副秘书长、作物气象与农业小气候专业委员会副主任。主要从事农业气候资源利用及信息技术、农田SPAC系统水热传输与节水农业方面研究。执行多项国家科技攻关、863计划、国际合作等项目研究。指导博士研究生、硕士研究生10余人，发表论著40余篇。



于沪宁，中国科学院地理科学与资源研究所研究员，曾历任中国科学院北京、栾城农业生态系统试验站副站长，中国农学会农业气象分会副理事长等职。1962—1977年研究农田小气候与光能利用及 CO_2 传输。1978年起研究农业生态过程与作物生产潜力。1990年起研究SPAC系统水热传输与节水农业。同时兼作地理学基础理论研究，任《现代地理科学理论丛书》编委、《自然灾害知识丛书》常务副主编等。在黄秉维院士、刘昌明院士指导下执行多项中国科学院重大项目和国家自然科学基金重大项目研究并获得多项奖，协助两位院士及刘巽浩教授指导博士、硕士研究生10余人，发表论著100余篇。

前 言

自人类步入农耕时代以来,在漫长的文明演进与科技进步的历史长河中,气候对农业的影响始终是人类密切关注的主题;即使在科学昌明、技术精进的今天,仍不敢稍有懈怠,因为人类仍难以摆脱靠天吃饭的窘境。从古农书到现代学术力著,无不将气候与农业关系的经验教训与利用成就,哀辑成书,20 世纪更不乏宏章巨著,给我们留下了丰厚的学术遗产和提高生存技能的智慧。

但是,现今全球生态环境已发生深刻变化,特别是以气候变化为表征的全球变化,已处于进一步变化的关键时刻,全球与中国社会经济亦面临着前所未有的重大变更。世界农业迅速发展也给全球资源和环境带来沉重压力,诸如耕地锐减、土壤沙化与退化、淡水资源紧缺、自然灾害频繁,农业发展面临着严峻形势,21 世纪农业和粮食安全问题的依然是世界各国关注的热点。新世纪展现在全人类面前的绝非是乐观的前景,扑朔迷离的态势使人们加深了对气候与农业问题的不安和关切。

中国的国情使我们更感到形势之严峻和紧迫。中国处于中纬度季风气候强烈区域,濒临太平洋,背靠欧亚大陆,西部深入干旱和半干旱区腹地;地势从崛起的青藏高原向东呈三级大阶梯下降,生态地理景观显著分异导致气候丰富多样与严酷多灾并存,目前气候变化似有向更脆弱化方向发展的趋势。而中国又是全球人口最多的发展中国家,人口多,耕地少,资源相对贫乏,长期以来竭泽而渔的掠夺式经营方式又给农业资源带来严重消耗,在农业发展和粮食安全这一维系国计民生问题上,更应有临深履薄之感。这就要求我们在这一领域更辛勤地耕耘,更深刻地思索,更多地投入实践,针对面临的危机和挑战,对往昔有关论断和规律,进行审视、继承和扬弃,引入交叉学科的理论与方法,联系中国农业国情,力求构建赋有独创力的见解,为中国农业持续发展作出绵薄贡献,这是本书写作的初衷和努力

目标。

如果说本书有什么特点和创意,则贯穿全书的对基础理论认识的归纳与系统阐发是我们所刻意追求的,从气候与农业一系列既相联系又有所区分的理论,如:气候生态论、气候资源论、气候生产力论、气候环境论、气候区域差异与农业气候相似论、气候波动与灾害论等出发,联系资料分析与实验结果分别撰写于各章节中,但囿于学力不足和篇幅所限很难求全,只能有所侧重,择其精要,在前人研究基础上力求有所发展。

从方法论观点看,本书力图将气象站网的资料与农田原创性实验观测成果尽量融汇进行综合分析,因此本书的基本知识与实验技术是从作者参与完成的一系列国家自然科学基金、科技攻关项目、农业部跨越计划及国际合作项目中汲取而来。这些项目有国家自然科学基金“气候变化对中国农业的影响”、“华北平原节水农业应用基础研究”、“农田二氧化碳浓度倍增效应与水分耗散的抑制”,中国科学院重大项目“作物与水分关系研究”、“农田生态系统实验研究”,“九五”科技攻关项目“河北藁城持续高效农业研究”,863 重大节水专项“区域节水型农作制度与节水高效旱作保护性耕作技术研究”,跨越计划“紫花苜蓿高产优质产业化生产技术集成试验示范”及国际合作项目“Hydrological Field Experiments on Aerobic Rice”等,这些项目虽各有侧重,但均联系气候与农业论题深入实践开展探索,我们以新的观点和思路,将上述成果简约纳入,以充实本书的实验基础。

从讨论的气候区域和农业内容看,本书以暖温带、温带的半湿润偏旱区农业为主,兼及热带亚热带经济作物及主要大田作物;从广义的农业出发,着重种植业兼及林牧业;对积极发展新型农业,如生态农业、节水农业、旱作农业、精准农业、设施农业等均从气象和气候学角度进行讨论;对过去传统提法即大、中、小气候和区域气候,SPAC(土壤-植物-大气连续体)的水、热和二氧化碳传输的农业效应与利用效率,以及以垂直分异为特征的地形气候资源的利用均给予充分考虑。

我们深信,在全球化、知识化、信息化浪潮推动下,农业发展与全球气候、区域气候必将找到相互适应的最佳发展模式,既有利于全球

和区域气候的维护,又有助于人类社会获得充足的粮食与农副产品。本书仅提供一些理论知识与实践途径,以冀抛砖引玉,服务于21世纪的中国农业。

在叙述形式上,本书力求循序渐进、深入浅出,避繁求简、讲究实效。限于学识的疏浅与写作时间的仓促,错误与不妥之处在所难免,恳切地期望指正。

本书图表资料均取自于与作者完成的课题有关的专著和成果,所涉及的气候资料来源于杨晓光研究组的“农业气候信息系统”近30年逐日数据资料库,研究组的部分在读研究生:薛昌颖、张秋平、张天一、李菊、李艳、肉孜阿基、闫伟兄和已经毕业的杨婕博士、易鹏硕士和赵俊芳硕士参与了资料整理、文献收集和数据处理工作;气候因子分布图由国家气候中心廖要明、宋艳玲工程师精心绘制;中国农业科学院环境与可持续发展研究所徐师华研究员对本书提出大量宝贵修改意见;气象出版社崔晓军编辑为本书出版付出大量心血。特此致谢。

作 者

2005年10月

目 录

前 言

第一章 气候与农业有关理论概述	(1)
第一节 气候环境论与地理气候论.....	(1)
第二节 气候生态论与气候生态型.....	(5)
第三节 气候生产力论与气候资源论.....	(9)
第四节 气候的波动和异常与农业	(16)
第五节 气候区域差异及农业气候相似	(24)
第二章 太阳辐射与农业	(28)
第一节 太阳辐射资源	(28)
第二节 日照资源	(53)
第三节 辐射、光与农业.....	(70)
第三章 温度与农业	(84)
第一节 热量与温度	(84)
第二节 气温与土壤温度变化的基本规律	(90)
第三节 气温变化特征.....	(111)
第四节 提高光热资源利用效率.....	(122)
第四章 降水和农田水分调控	(141)
第一节 降水资源.....	(141)
第二节 降水资源的有效利用.....	(149)
第三节 农田水分平衡和水分利用效率.....	(161)
第四节 农田水分的水势驱动.....	(182)
第五章 二氧化碳与农业	(193)
第一节 二氧化碳浓度增加和全球变暖.....	(193)
第二节 农田 CO ₂ 传输和作物生产力效应	(202)
第三节 CO ₂ 浓度增加对农业的影响	(217)
第六章 气候与农林牧业	(235)

第一节	粮食作物与气候·····	(235)
第二节	油料、糖料作物与气候·····	(241)
第三节	棉花与气候·····	(246)
第四节	经济林木与气候·····	(247)
第五节	畜牧业与气候·····	(251)
第六节	气候资源合理利用实例 ——中国紫花苜蓿气候生态区划·····	(254)
第七章	地形气候和小气候与农业·····	(273)
第一节	地形气候与农业·····	(273)
第二节	农田小气候理论及应用·····	(288)
第三节	农田防护林小气候和保护地小气候·····	(316)
参考文献 ·····		(324)

Contents

Chapter 1	Theories Summarization on Climate and Agriculture	(1)
1.1	Climatic Environment Theory and Geographical Climate Theory	(1)
1.2	Eco-climate Theory and Eco-climatic Types	(5)
1.3	Climatic Productivity Theory and Climate Resource Theory	(9)
1.4	Climate Fluctuate, Abnormity and Agriculture	(16)
1.5	Difference on Climate Region and Similarity on Agricultural Climate	(24)
Chapter 2	Solar Radiation and Agriculture	(28)
2.1	Solar Radiation Resource	(28)
2.2	Sunlight Resource	(53)
2.3	Radiation, Light and Agriculture	(70)
Chapter 3	Temperature and Agriculture	(84)
3.1	Heat and Temperature	(84)
3.2	Basic Regulation of Change for Air Temperature and Soil Temperature	(90)
3.3	Characteristics of Change for Air Temperature	(111)
3.4	Improvement of Use Efficiency of Light and Temperature Resource	(122)
Chapter 4	Precipitation and Field Water Adjustment	(141)
4.1	Precipitation Resource	(141)
4.2	Effective Utilization of Precipitation Resource	(149)
4.3	Soil Water Balance in Field and Water Use Efficiency	(161)

4. 4	Water Movement Driven by Potential	(182)
Chapter 5	Carbon Dioxide and Agriculture	(193)
5. 1	Increase of CO ₂ Concentration and Global Warming	(193)
5. 2	CO ₂ Transportation and Effects of Crop Productivity	(202)
5. 3	Influence of Increased CO ₂ Concentration on Agriculture	(217)
Chapter 6	Climate and Agriculture, Forestry and Animal Husbandry	(235)
6. 1	Grain Crops and Climate	(235)
6. 2	Oil and Sugar Crops and Climate	(241)
6. 3	Cotton and Climate	(246)
6. 4	Economic Forest and Climate	(247)
6. 5	Animal Husbandry and Climate	(251)
6. 6	A Case Study of Rational Utilization of Climate Resource—Eco-climatic Regionalization of Alfalfa in China	(254)
Chapter 7	Topographic Climate, Microclimate and Agriculture	(273)
7. 1	Topographic Climate and Agriculture	(273)
7. 2	Microclimate Theory and Application	(288)
7. 3	Microclimate in Protection Forest and Protecting Field	(316)
References		(324)

第一章 气候与农业有关理论概述

第一节 气候环境论与地理气候论

古典与近代的气候环境论,被视为近代的重要的气候学起源理论之一。“气候环境学”在 20 世纪 70 年代末由日本气候与地理学家福井英一郎与吉野正敏提出,为“现代气候学”或“地理气候学”之渊源,但尚未发展成独立的学科,故可视为一种理论。其实,气候与地理环境的理论早就为许多学者提出并研究。J. Gentili (1958) 和 J. Blüthgen (1966) 提出“气候地理学”理论,认为它既具有气象学研究天气现象的物理属性的特点,又具有地理学特有的各个要素之间相互联系、相互制约以及空间分布的特征。E. T. Stringer (1972) 在他的《气候学方法》一书中又称之为“地理气候学”。我国气候学家朱炳海提出类似概念,认为气候是一种平均的大气物理过程,这种大气物理过程是以下垫面的特征作为演变的边界条件,脱离下垫面而谈大气物理过程,这是物理学或高空气象学,不是气候学。这类既着重物理观念,又立足于地理环境的气候学方法,称之为“地理气候学”更为确切。与气候环境学一样,“地理气候学”作为一门独立的学科仍欠成熟,而称之为“地理气候论”则具备较为坚实的科学基础。亦有学者提出环境气候学概念,认为其是气候学与环境科学的边缘学科。

气候是气象因子与自然地理环境相结合的物理过程,即大气与其相接触的地球表面之间相互作用,从而衍生出独特的气候类型和区域气候差异。气候的形成受制于地理环境因素,主要有三个方面。第一是纬度的影响,这实质上是和气候形成的一组天文因素相联系。因地理纬度的不同形成了不同季节的太阳高度和昼夜长短的变化,纬度的高低差异将影响太阳辐射到达量,导致温度随纬度变化,同时导致降水和蒸发的差异。如果只考虑纬度的影响,那么地球表层的气候将呈现理想的带状分布,对称于赤道呈纬向分布。这种

地带性分布将明显地反映在辐射平衡和热量的分布上,在植物和土壤的分布中亦有显著表现。但由于海陆分布和地形因素的影响,使这种地带性分布遭到一定程度的干扰,所以地球表层的气候的实际分布是极其复杂的。第二是下垫面性质的影响,其中最为主要的、规模最大而且也是影响最大的下垫面差异是海陆分布。由于海陆影响的热力效应状况不同,即吸收与放射辐射,比热和热量传递作用等的不同,导致海陆温度特征的巨大差异。海陆热状态的差异又会影响到大气环流,海陆分布和大气环流的相互作用,导致某些地区特殊气候的形成。第三是地形的影响。地形的起伏不平、地势的高低及多种多样性的地貌形态,其本身具有特定气候的形成条件,对辐射和环流的影响及对周围地区气候极具主导作用。

一、气候带与气候型理论

1. 气候带

由于太阳辐射分布的纬度差异,产生了气候随纬度发生规律性变化的纬度地带性。由于海陆分布和海陆对比关系带来的水分条件的差异,产生了气候随干湿程度发生规律性变化的干湿程度地带性,并往往表现为经度地带性。随山地海拔高度的增加,气温随之下降,产生了气候随海拔高度发生规律性变化的垂直地带性。气候受小地域地貌特征的变化,如地形起伏、坡向以及下垫面状况等因素的影响,亦随之发生变化。任何地方的气候都是受地带性和非地带性因素综合影响的结果。

气候带是根据地面气候纬向相似型而划分的与纬度大致平行的带状气候区。气候带的划分有着悠久的历史。古希腊学者以太阳高度为依据,将全球气候划分为热带、北温带、南温带、北寒带、南寒带5个气候带。

19世纪后半叶以来,气候资料的积累和气候理论不断发展,为气候带的研究和划分提供了科学基础。1900年德国的柯本(W. P. Köppen)以最冷月平均气温、最热月平均气温及降水同温度的配合为标准,将全球划分为热带多雨气候带、干燥气候带、温暖多雨气候带、寒冷气候带和极地气候带。

20 世纪 40 年代,苏联学者阿里索夫(Б. П. Алисов)按照气团的地理型和气候锋带的季节移动,将全球划分为赤道带、热带、温带和北极(南极)带 4 个基本带,以及赤道季风带、副热带、副极地带 3 个过渡带。

热带气候带内年平均气温一般在 20°C 以上,最冷月平均气温在 18°C 以上,其特征是:全年高温无冬;气候诸要素的年变化较小,日变化较明显;气候沿水平方向的地域差异小,随高度的变化较大;降水的多少和季节分配因环流系统的影响而异,受热带辐合气流影响的地区降水多,受信风带影响的地区降水很少。

温带气候带为中纬度地区比较温和湿润的气候带,其基本特征是:四季分明,气温的季节变化显著,天气的非周期性变化明显,锋面和气旋活动多,年降水量较热带湿润气候为少。由于中纬度陆地面积辽阔,同纬度大陆东、西岸之间气候差异明显,气候的非纬向分布特征明显。大陆东岸是季风气候,大陆西岸是海洋性气候,大陆内部是大陆性气候。

寒带气候带是高纬度寒冷气候的统称,其特征是全年皆冬,最热月平均温度低于 $10\sim 12^{\circ}\text{C}$,甚至低于 0°C ;最冷月可低至 -50°C 。云量多日照少,年降水量仅 $200\sim 300\text{ mm}$,甚至更少。

2. 气候型

气候带内按照各种不同特征划分出气候型。同一气候带内可出现不同性质的气候型,如中纬度气候带中的温带海洋性气候、温带大陆性气候和温带季风气候;不同的气候带内也能出现相似的气候型,如在热带和中纬度气候带内的干旱气候、季风气候。

气候型的划分与地理因素和地理环境关系甚为密切,海陆分布、地形类型可导致温度和降水等要素的明显差异。W. P. Köppen 于 20 世纪初根据气温和降水划分出 5 个气候型:热带多雨气候、干旱气候、温暖多雨气候、寒冷雪林气候、冰雪气候,并考虑降水多少和季节分配的差异,将全球划分为 11 种气候副型,即:热带雨林气候、热带草原气候、草原气候、沙漠气候;温暖冬干气候、温暖夏干气候、温暖常湿气候;寒冷冬干气候、寒冷常湿气候;苔原气候、冻原气候。

气候型的划分,有助于进一步了解不同地区间的气候差异。在

划分气候型的基础上,结合生产实践并参照自然区和行政区,可按一定指标划分出若干气候区,在农业气候区划中则划分为农业气候区,以服务于广义的农业生产。

二、气候的分类和区划

(一)气候的分类

将不同区域的气候按其主要特征划归类别,亦称为气候分类,其结果即为各种不同的气候型。因学术观点、研究对象和目的以及生产实践要求的不同,有多种气候分类方法,主要概括成:成因分类、经验分类和成因与经验相结合的分类。

1. 成因分类

从太阳辐射、大气环流、气团等气候形成因子出发,将全球气候或区域气候归纳成不同类型的分类方法,称为成因分类,又称理论分类。例如古希腊学者根据太阳高度角,以回归线和极圈为基线,把全球划为热带、温带、寒带,这是最早的成因分类,亦称天文分类。苏联学者阿里索夫(Б. П. Алисов)提出以气团为基础的分类法。

2. 经验分类

从下垫面状况,即从植被、土壤、水文等自然地理因素的分布状况出发,按照气温、降水分布特征及其组合,将全球气候或区域气候归纳成不同类型的分类方法,称为经验分类,又称实验分类。1900—1936年德国学者 W. P. Köppen 提出以全球植被分布为基础,以气温和降水为指标的分类,是结合植物生长与植被分布的发生学分类的典型。1913年桑斯威特(C. W. Thornthwaite)通过蒸发量与温度及降水测定建立的经验分类。1925年苏联贝尔格(П. С. Берже)提出以自然景观为主要标志,以月平均气温为指标的气候分类。1948年美国桑斯威特提出,1955年修订的以降水和可能蒸散为基础,以4个气候判据为指标的气候分类。这种分类法以可能蒸散与水分平衡概念为基础,被 R. G. Barry 和 R. J. Chorley(1976)称为“理论的水分平衡分类法”。

3. 成因与经验相结合的分类

1948年,苏联布德科(М. И. Будыко)制定出自然植物景观与热

量和水分这两个气候要素相对应的组合图,进行气候分类。1959 年美国斯特拉勒(A. N. Strahler)提出以不同性质气团的源地、分布和锋的位置及其季节变化为基础,并参考气温和降水指标的气候分类。1978 年 A. N. Strahler 和 A. H. Strahler 再次修正发表这一分类。

(二)气候区划和农业气候区划

气候区划是按气候特征采用特定的指标,对全球或某一地区的气候进行逐级划分,将气候大致相同的地方划分为一区,不同的划入另一区,即得出若干等级的区划单位。气候分类和气候区划是研究气候地区分布规律的两种不同方法,前者立足于气候的相似性,由下至上归并;后者着眼于气候的差异性,由上而下划分,所划出的气候区在地域上必须连成一片,某一类型的气候,可以出现在不同区域。这两种方法相辅相成,用以研究气候特征及其相似和相异,可供理论研究和产业部门应用。

气候区划一般采用发生学方法和实用方法,或两种方法的综合运用。发生学方法着重以气候形成因子为主要指标。实用方法主要根据服务对象对气候条件和资源的要求,结合经验与实验的方法选取指标,以指标体系进行气候区划。指标的选定依区划的目的、种类而异。

反映一定区域内农业生产与气候关系的专业性气候区划即农业气候区划。农业气候区划以温度、降水以及越冬条件等基本指标为主导,进行农业气候分区,尚有以某一地域的气候资源或气候灾害为指标进行专业的区划。农业气候区划应遵循下列原则:①依气候区域差异和农业气候相似原则,划出相同和不同的农业气候区;②趋利避害,发挥气候资源优势,资源利用与维护相结合;③有利于促进农业持续发展;④揭示农业生产中气象气候问题,提出合理开发利用依据和途径。

第二节 气候生态论与气候生态型

一、气候生态论的提出和发展

气候的生态学观点源于 20 世纪初意大利农业气象学家和农学