



普通高等教育农业部“十二五”规划教材
全国高等农林院校“十二五”规划教材

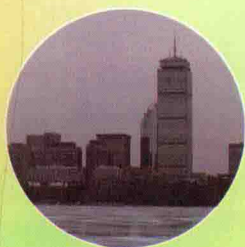


“十二五”江苏省高等学校重点教材

气象学

第三版

包云轩 主编



中国农业出版社

普通高等教育农业部“十二五”规划教材
全国高等农林院校“十二五”规划教材
“十二五”江苏省高等学校重点教材(2013-1-162)

气 象 学

QIXIANGXUE

第 三 版

包云轩 主编



中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

气象学 / 包云轩主编. —3 版. —北京: 中国农业出版社, 2015.6 (2016.12 重印)

普通高等教育农业部“十二五”规划教材 全国高等农林院校“十二五”规划教材 “十二五”江苏省高等学校重点教材

ISBN 978-7-109-21216-9

I. ①气… II. ①包… III. ①气象学-高等学校-教材 IV. ①P4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 288905 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区麦子店街 18 号楼)

(邮政编码 100125)

责任编辑 李国忠

北京通州皇家印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2002 年 2 月第 1 版 2015 年 6 月第 3 版

2016 年 12 月第 3 版北京第 2 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 28.75

字数: 680 千字

定价: 51.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

本书是普通高等教育农业部“十二五”规划教材、全国高等农林院校“十二五”规划教材和“十二五”江苏省高等学校重点教材。

全书分4大部分：第一部分是绪论，主要论述气象学和农业气象学的定义、研究对象、研究任务、学科发展概况，探讨气象与社会、经济之间的关系。第二部分是气象学基础知识及其应用部分，分5章，系统介绍地球大气概况和辐射、温度、大气水分、气压、风等大气基本要素的概念、物理学基础、时空变化特征及其在农业上的应用。第三部分是基础理论及其应用部分，也分5章，全面阐述大气环流、天气系统和天气过程、气候、气候变化、气象灾害及其防御等方面的现代气象学基本理论，并简要分析这些理论的相关应用。第四部分为应用气象部分，分5章，主要针对目前我国高等院校非气象类本科专业设置，紧密结合与社会、经济和生活等有关的资源和生态环境问题，论述农业生物与气象、资源气象、环境气象、城市气象、交通气象的一些基本概念和理论，并剖析其应用。

本书不仅适用于全国高等院校非气象类各相关专业的本科、专科课程教学，也可供从事相关专业研究和工作的科技人员参考。

第三版编写人员

主 编 包云轩

副主编 胡 飞 袁成松 王翠花 穆 彪

编 者 (按姓名笔画排序)

王翠花 (南京农业大学)

包云轩 (南京信息工程大学)

冯颖竹 (仲恺农业工程学院)

李映雪 (南京信息工程大学)

吴丽姬 (华南农业大学)

周 平 (云南农业大学)

郝 璐 (南京信息工程大学)

胡 飞 (华南农业大学)

袁成松 (江苏省气象科学研究所)

徐建祥 (扬州大学)

韩 玮 (南京信息工程大学)

谢晓金 (南京信息工程大学)

穆 彪 (贵州大学)

审 稿 谈哲敏 (南京大学)

闵锦忠 (南京信息工程大学)

王 恬 (南京农业大学)

费建芳 (中国人民解放军理工大学)

潘学标 (中国农业大学)

第一版编写人员

主 编 包云轩 (南京农业大学)

副主编 穆 彪 (贵州大学)

黄寿波 (浙江大学)

陈国惠 (西南农业大学)

胡 飞 (华南农业大学)

徐建祥 (扬州大学)

樊多琦 (南京农业大学)

编 者 王学明 (扬州大学)

李 有 (河南农业大学)

李永健 (广西大学)

陈志全 (湖南农业大学)

杨建松 (贵州大学)

金为民 (上海交通大学)

周 平 (云南农业大学)

胡继超 (南京农业大学)

审 稿 程极益 (南京农业大学)

陈家豪 (福建农林大学)

第二版编写人员

主 编 包云轩

副主编 胡 飞 陈国惠 杨建松 樊多琦

编 者 (按姓氏笔画排序)

王翠花 (南京农业大学)

包云轩 (南京农业大学)

杨建松 (贵州大学)

陈志全 (湖南农业大学)

陈国惠 (西南大学)

周 平 (云南农业大学)

胡 飞 (华南农业大学)

徐建祥 (扬州大学)

樊多琦 (南京农业大学)

穆 彪 (贵州大学)

审 稿 申双和 (南京信息工程大学)

程极益 (南京农业大学)

第三版前言

近十多年来,世界气象科学发展迅猛,在多个分支学科和相关研究领域出现了重大理论突破和新的技术进展,突出表现在:气候变化研究取得了一系列重大进展,空气质量预报技术有了重大进步,城市气象、交通气象、资源气象、环境气象的理论和技術日益成熟,太阳能和風能利用与评估、设施农业气象等有了一些新方法和新技术。为了适应现代科学技术的发展潮流,及时把气象科学的新成果介绍给高等院校各相关专业的本科和专科学生,我们对原来的普通高等教育“十一五”国家级规划教材《气象学》(非气象类专业)和《气象学实习指导》(非气象类专业)进行修订和更新,目的是更好地培养出理论基础扎实、专业素质好、实践水平高、创新能力强的新一代大学生。

本书为普通高等教育农业部“十二五”规划教材、全国高等农林院校“十二五”规划教材和“十二五”江苏省高等学校重点教材,也是今后5~10年全国高等院校“大气科学概论”、“气象学”、“基础气象学”、“农业气象学”等课程教学的核心教材。它包括绪论和课程理论体系两大部分。绪论部分对一些内容做了部分更新,介绍了气象学的研究对象、主要研究内容、气象与社会经济发展的关系、分支学科概况,简要回顾与分析了中国气象学的发展历史和研究现状,展望了未来发展趋势,阐明了农业气象学的主要理论基础、研究方法和研究内容。课程理论体系部分包含15章内容,第十四章和第十五章为新增内容,第十四章城市气象,主要介绍了城市中日照、辐射、温度、风场、湿度、云雾、能见度、降水等气象要素的时空分布特征,分析了城市热岛效应和城市空气污染的成因,提出了相应的减缓和防治对策;第十五章交通气象,简要分析了公路、铁路、水运、航空等交通运输业中经常出现的不利交通气象条件和重大交通气象灾害,并以高速公路交通气象为重点介绍了我国的交通气象业务。从第一章到第十三章,每章都有一些新增和更新的内容,其中新增内容较多的章节主要有:第二章第五节太阳能综合利用简介、第十一章第六节设施农业气象、第十二章第四节风能利用与评估、第十三章第三节污染气象。

配套的《气象学实习指导》也进行了修订。

本教材编写工作分工,包云轩负责组稿和定稿,李映雪负责绪论和第一章,穆彪负责第二章和第三章,徐建祥负责第四章,吴丽姬负责第五章,胡飞负责第六章,冯颖竹负责第七章,王翠花负责第八章和第九章,周平负责第十章,谢晓金负责第十一章和第十三章,郝璐负责第十二章,韩玮负责第十四章,袁成松负责第十五章。由于本书是在2002年出版的“面向21世纪教材”《气象学》(南方本)和《气象学实习指导》(南方本)、2007年出版的普通高等教育“十一五”国家级规划教材和面向21世纪课程教材《气象学》(非气象专业用)和《气象学实习指导》(非气象专业用)的基础上修订而来的,虽然增加了许多新内容,但它也凝结了许多前人的劳动果实,在此,我代表本书所有参编者衷心感谢曾经参与面向21世纪课程教材《气象学》(南方本)(第一版)、普通高等教育“十一五”国家级规划教材和面向21世纪教材《气象学》(非气象专业用)(第二版)编写和审核的浙江大学黄寿波、西南大学陈国惠、南京农业大学樊多琦、南京信息工程大学申双和、上海交通大学金为民、广西大学李永健、扬州大学王学明、河南农业大学李有、南京信息工程大学胡继超、贵州大学杨建松、湖南农业大学陈志全、福建农林大学陈家豪等老师。

教育部大气科学教学指导委员会主任、南京大学副校长谈哲敏教授,南京信息工程大学副校长闵锦忠教授,南京农业大学教务处处长王恬教授,中国人民解放军理工大学气象海洋学院院长费建芳教授,中国农业大学应用气象系系主任潘学标教授在百忙之中抽出大量时间为本书做了详尽的审稿工作,在此表示万分的感激!

南京信息工程大学刘淑平等老师积极推动本教材的编写和出版工作,在此深表感谢!

由于参与本书编写的人员来自全国多所大学,各校课程教学侧重点和专业设置不一致,难免给教材统稿带来一定的困难,加之编者水平有限,错误在所难免,望使用本教材的教师、学生和科研工作者多多提出宝贵意见。

编 者

2015年5月

第一版前言

气象学是研究地球大气中各种现象、状态及其演变规律及如何利用这些规律为人类服务的科学，它与人类社会的生产和生活密切相关。近 30 年来，随着世界经济的发展、现代科学技术的进步，气象领域无论在理论上还是在技术上都取得了巨大的进展。为了适应学科发展需要，在新的基础上系统而全面地阐述气象学理论，总结和分析各种气象应用技术，气象教育工作者有必要广征博引、吐故纳新，编辑一些适应世界科技发展潮流的气象学新著来满足新一代大学生的需求。

本书为面向 21 世纪课程教材，是全国高等农林院校植物生产类各专业“十五”教学规划的核心教材，也适用于其他相关专业的基础教育课程。它包括绪论、上篇、下篇三个部分。绪论部分阐述了气象学的研究对象、主要内容、分支学科概况，回顾与分析了气象学的发展历史和研究现状，展望了气象学科的未来发展趋势，论述了农业气象学的主要理论基础、研究方法和研究内容。上篇为基础气象部分，包含十章内容：第二章地球大气，简要分析地球大气的组成、垂直结构和物理性质；第三至七章分别为辐射、温度、大气中的水分、大气中的光电声现象、气压与风，这五章内容涵盖日射、温度、湿度、蒸发、降水、云、能见度、天气现象、气压和风等十大气象要素，比较详尽地阐明了它们的基本概念、物理意义、形成与演变机制、时空分布规律；第八章大气环流，介绍大气环流模式、全球大气活动中心分布、季风与局地环流；第九章天气系统与天气过程，重点分析全球及我国出现的主要天气系统，详细讨论我国的主要天气过程；第十章气候，阐明气候的成因、各种气候带和气候型的特点及世界气候和中国气候的总体特征；第十一章气候变化与人类环境，从不同时空尺度上阐述气候变化的特点和规律及与人类环境之间的相互关系，探讨预测未来气候变化趋势的方法。下篇为农业气象部分，紧密围绕我国农业生产中出现的各种气象学问题，与基础理论相呼应，分四个板块、十章内容：第一板块为第十二至十六章，其中第十二章大气成分与农业环境，第十三章辐射、光照与农业生产，第十四章热量条件与农



业,第十五章水分条件与农业,第十六章风与农业,这五章内容详细论述农业气象要素(光、热、水、气)对我国农业生产影响的特征和规律;第二板块为第十七章农业气象灾害及其防御,主要分析我国十大农业气象灾害的特点、时空分布规律,并提出相应的防御对策和措施;第三板块为第十八章农业气候与农业小气候、第十九章气候变化与农业,从不同层次、不同时空格局及不同演变过程上阐述农业气候、农业小气候的特征和分布规律,分析气候变化与世界农业、中国农业之间的相互关系,探讨适应全球气候变化的农业对策;第四板块为第二十章农业生物与气象、第二十一章设施农业与气象,这两章根据我国国情和现代世界农业发展潮流,详尽论述粮棉油作物、园艺植物、特产植物、林业、畜牧业、水产业、设施农业与气象条件之间的相互关系,简要评述宏观农业产业结构调整、不同规模人为环境调控对农业气象条件的影响。与本书配套的《气象学实习指导》介绍了10个方面的实习内容:实习一太阳辐射观测,实习二温度观测,实习三大气中的水分观测,实习四气压和风的观测,实习五云、能见度和天气现象的观测,实习六农业小气候观测,实习七天气分析,实习八等值线区域气候图的绘制与分析,实习九农业气候资料的分析与应用,实习十气象资料的获取、分析和应用。为了配合课堂教学,适应现代化教学需要,我们研制了该教材的配套CAI课件,共二十四集,将于2004年底前后正式出版。

参与本教材编写工作的有包云轩(绪论、第十九章、实习指导、CAI课件)、穆彪(第三、十三章)、黄寿波(第十一、二十章)、陈国惠(第七、十六章)、胡飞(第八、十八章)、王学明(第五章)、徐建祥(第十五章)、樊多琦(第九章、实习指导)、李永健(第二、十二章)、陈志全(第四、十四章)、金为民(第六章、CAI课件)、李有(第十九章、实习指导)、周平(第十七章、实习指导)、胡继超(第十章)、杨建松(第二十一章、实习指导)。

程极益教授、陈家豪教授在百忙之中抽出大量时间为本书作了详尽的审稿工作,在此表示万分感激!

中国农业出版社及南京农业大学周耿娣、吴耀清等老师积极推动本教材的编写、出版工作,在此深表感谢!

参与本书编写的人员较多,分布区域较广,难免给统稿工作带来较大的困难,加之编者水平有限,错误在所难免,望使用本教材的教师、学生和科研工作者多多提出宝贵意见。

编者

2001年12月



第二版前言

气象学是研究地球大气中各种现象、状态、过程及其演变规律及如何利用这些规律为人类服务的科学，它与人类社会的生产和生活密切相关。在漫长的历史发展进程中，气象学产生了一系列的分支学科，形成了一个完整的科学体系，给社会进步、经济发展和人民生活水平提高带来了巨大的社会效益、经济效益和生活便利。近半个多世纪以来，我国的气象事业发展迅猛，在国民经济和社会生活中的重要性日益突出。特别是进入 21 世纪以来，我国高等院校的专业设置逐渐增多，一大批与气象知识应用有关的专业（如资源类专业、环境类专业、生态类专业等）蓬勃兴起，为了适应我国高等教育发展的需要，本书在 2002 年编著的“面向 21 世纪课程教材”《气象学》（南方本）的基础上作了重大修改、调整和增删，编辑、修订成了能满足“十一五”期间全国高等农林院校各类气象学课程需求的新的气象学教材。

本教材为普通高等教育“十一五”国家级规划教材，也是“十一五”期间全国高等农林院校气象学、基础气象学、农业气象学等课程教学的核心教材。它包括绪论、课程理论体系两大部分。绪论部分介绍了气象学的研究对象、主要内容、分支学科概况，回顾与分析了气象学的发展历史和研究现状，展望了气象学科的未来发展趋势，阐明了农业气象学的主要理论基础、研究方法和研究内容。课程理论体系部分包含十三章内容：第一章地球大气，概述地球大气的组成、垂直结构、物理性质，介绍大气中的主要光电声现象；第二至五章分别为辐射、温度、大气中的水分、气压与风，这四章内容涵盖辐射、日照、温度、湿度、蒸发、降水、云、能见度、天气现象、气压和风等基本气象要素，比较详尽地阐述了它们的基本概念、物理学基础、形成与演变机制、时空分布规律及其在农业上的应用；第六章大气环流，简要介绍大气环流模式、全球大气活动中心、季风与地方性风等；第七章天气系统与天气过程，重点分析全球及我国出现的主要天气系统，详细讨论我国的主要天气过程，介绍气象业务和气象服务流程；第八章气象灾害及其防御，主要分析我国十大气象灾害的特点、时空分布规律，并提出相



应的防御对策和措施；第九章气候，阐明气候的成因、各种气候带和气候型的特点及世界气候、中国气候的总体特征，论述农业气候学、小气候学、农业小气候学和设施农业小气候学的一些基本理论及其应用，分析世界农业气候和中国农业气候的主要特征；第十章气候变化与人类环境，从不同时空尺度上阐述气候变化的特点和规律，揭示气候变化与人类环境和经济活动（特别是农业）之间的相互关系，提出适应全球气候变化的对策；第十一章资源气象，简要分析资源气象学的理论基础，讨论和评价世界和中国气候资源、农业气候资源的分布特征；第十二章环境气象，从环境与气象的关系出发，分析气象条件对人类生存、生产和生活环境的影响，介绍环境气象指数及其分级依据，阐述污染气象学的基本理论，探讨大气环境质量评价的类型和方法；第十三章农业生物与气象，根据我国国情和现代世界农业发展潮流，详尽论述粮棉油作物、园艺植物、特产植物、林业、畜牧业、水产业、设施农业与气象条件之间的相互关系，简要评述农业气象灾害对农业生物的影响。本教材有与之配套的实习指导教材，实习指导包括十二个实习。实习一：辐射、照度、日照时数的观测；实习二：温度观测；实习三：大气中水分的观测；实习四：气压和风的观测；实习五：云、能见度和天气现象的观测；实习六：农业小气候观测；实习七：天气分析；实习八：等值线区域气候图的绘制与分析；实习九：农业气候资料的分析与应用；实习十：气象资料的获取、分析和应用；实习十一：自动气象站观测系统；实习十二：常用气象分析软件。这十二个实习主要是针对我国常规气象业务，兼顾各相关专业大学生走向社会工作的需求，重在强化学生对气象学基础理论和基本实践技能的掌握与应用，增强他们的实际操作能力，拓宽知识面，提高专业素质。此外，为了配合课堂教学，适应现代化教学的需要，我们还研制了该教材的配套 CAI 课件，将于 2007 年底前后正式发行。

参与本教材编写工作的有包云轩（绪论、第一章、全书组稿和定稿）、穆彪（第二章）、陈志全（第三章）、徐建祥（第四章）、陈国惠（第五章、第十三章）、胡飞（第六章）、樊多琦（第七章、第十二章）、周平（第八章）、王翠花（第九章、第十章）、杨建松（第十一章）。由于本书是在 2002 年出版的“面向 21 世纪课程教材”《气象学》（南方本）的基础上修订而来的，虽然增加了许多新内容，但它也凝结了许多前人的劳动果实，在此，我们衷心感谢曾经参与“面向 21 世纪课程教材”《气象学》（南方本）编著的浙江大学黄寿波、广西大学李永健、扬州大学王学明、上海交通大学金为民、河南农业大学李有、南京信息工程大学胡继超等老师。



中国气象学会农业气象与生态学委员会主任委员、中国农学会农业气象分会副理事长、南京信息工程大学应用气象学院院长、博士生导师申双和教授和南京农业大学程极益教授在百忙之中抽出大量时间为本教材做了详尽的审稿工作，在此表示万分的感激！

南京农业大学阎燕、吴耀清等老师积极推动本教材的编写和出版工作，在此深表感谢！

由于参与本教材编写的人员来自全国各地，各校课程教学侧重点和专业设置不一致，难免给教材统稿带来一定的困难，加之编者水平有限，错误在所难免，望使用本教材的教师、学生和科研工作者多多提出宝贵意见。

编 者

2007年5月



第三版前言

第一版前言

第二版前言

绪论	1
第一节 气象与气象学	1
一、气象与气象学的定义	1
二、气象学的研究对象和内容	1
三、气象学与社会经济发展的关系	1
四、气象学的主要分支学科	3
第二节 气象学的历史、现状及发展趋势	4
一、世界气象学的发展历史和现状	4
二、中国气象科学的发展历史、现状和趋势	5
三、世界气象学的发展趋势	5
第三节 农业气象学及其发展概况	5
一、农业生产与气象条件	5
二、农业气象学的定义及研究对象	6
三、农业气象学的研究方法与研究内容	6
四、农业气象学的发展概况	8
复习思考题	8
第一章 地球大气	9
第一节 大气的组成	9
一、干洁大气	9
二、水汽	11
三、大气气溶胶粒子	12
第二节 大气的铅直结构	12
一、大气的热力学分层	12
二、大气的其他分层方法及大气上界	15

第三节 大气的物理性质	16
一、大气质量及其铅直分布	16
二、气体状态方程	16
三、气象要素	18
第四节 大气中的光学现象、电学现象和声学现象	18
一、大气中的光学现象	19
二、大气中的电学现象	22
三、大气中的声学现象	23
复习思考题	26
第二章 辐射	27
第一节 辐射的基本知识	27
一、辐射及其特性	27
二、辐射的基本定律	29
第二节 太阳辐射	31
一、太阳辐射强度和太阳常数	31
二、太阳高度角、太阳方位角和昼长	31
三、大气对太阳辐射的减弱	34
四、到达地面的太阳辐射强度	37
五、太阳辐射光谱	39
第三节 地面有效辐射和辐射差额	41
一、地面辐射	41
二、大气辐射	42
三、地面有效辐射	42
四、大气温室效应和阳伞效应	43
五、地面辐射差额	43
第四节 太阳辐射与农业生产	44
一、辐射波谱与农业生产	44
二、光照与农业生产	45
三、光能利用与农业生产	47
第五节 太阳能综合利用简介	48
一、太阳能的热利用	49
二、太阳能发电	50
三、太阳能的光化利用	50
复习思考题	51
第三章 温度	52
第一节 下垫面和近地气层温度变化的成因	52
一、物质热传递的方式	52

二、物质的热特性	53
三、下垫面的热量差额	55
第二节 地面和土壤温度及其变化	57
一、地面温度变化与地面热量差额	57
二、土壤温度的变化	58
第三节 水体温度及其变化	61
一、水体中热量传递的特点	61
二、水体温度的时间变化	61
三、水体温度的垂直变化	62
第四节 空气温度及其变化	62
一、气温的时间变化	62
二、气温的垂直变化和大气逆温	64
第五节 空气绝热变化与大气稳定度	66
一、干绝热直减率	66
二、湿绝热直减率	66
三、大气稳定度及其判定法	67
第六节 温度与农业	68
一、温度的生物学意义	68
二、积温及其应用	70
三、气候变暖对粮食生产的影响	73
复习思考题	73
第四章 大气中的水分	75
第一节 空气湿度	75
一、空气湿度参量	75
二、空气湿度的时间变化	78
第二节 蒸发和蒸散	79
一、水面蒸发	79
二、土壤蒸发	80
三、农田蒸散	81
第三节 凝结和凝结物	81
一、凝结条件	81
二、凝结物	82
第四节 降水	84
一、暖云降水	84
二、冷云降水	84
三、降水特征量及其分析	85
四、干燥度	86
五、人工降水	86