

Ecophysiology of Plant Photosynthesis,  
Transpiration, and Water Use

植物光合、蒸腾与水分利用的  
生理生态学

于贵瑞 王秋凤 等 © 编著



科学出版社  
www.sciencep.com

Ecophysiology of Plant Photosynthesis,  
Transpiration, and Water Use

# 植物光合、蒸腾与水分 利用的生理生态学

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书以气孔行为控制的植物光合、蒸腾和水分利用为主线,系统地论述了植物光合、蒸腾和水分利用的生理生态学基础,介绍了生态系统的光合、蒸腾和水分利用效率变化特征及其模型模拟的基础知识和主要的研究进展。本书在论述生物圈与其他圈层间关系的基础上,着重论述了植物的气孔行为及气孔导度的模拟模型,植物光合作用及其模拟方法,植物蒸腾及其模拟方法,植物的水分利用及其模拟模型,以及基于植物光合、蒸腾和水分利用相互作用关系的生态系统碳、水和能量平衡综合模型。

本书是作者研究团队多年来科研工作的总结,归纳分析了国内外本研究领域的重要进展,其目的是为国内从事相关领域研究的科技人员提供关于植物光合、蒸腾和水分利用效率方面的参考资料,本书也可作为相关领域的研究生基础教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

植物光合、蒸腾与水分利用的生理生态学 / 于贵瑞等编著. —北京:科学出版社,2010

ISBN 978-7-03-026045-1

I. 植… II. 于… III. ①光合作用-研究②植物-蒸腾作用-研究③植物-水分调节-研究 IV. Q945.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 208751 号

责任编辑:李 悦 陈珊珊 / 责任校对:包志虹

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:王 浩

版权所有,违者必究。未经本社许可,数字图书馆不得使用

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

双 青 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2010 年 1 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2010 年 1 月第一次印刷 印张:37 3/4 插页:1

印数:1—1 200 字数:853 000

定 价: 128.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

## 资 助 项 目

国家自然科学基金委员会杰出青年基金项目:陆地生态系统水碳耦合循环的生理生态学机制与模型研究(30225012)

国家自然科学基金重大项目:我国主要陆地生态系统对全球变化的响应与适应性样带研究(30590380)

中国科学院知识创新工程重要方向项目:中国陆地生态系统碳通量特征及其环境控制作用研究(KZCX2—YW—432)

国家重点基础研究发展计划(“973”计划)项目:中国陆地生态系统碳-氮-水通量的相互关系及其环境影响机制(2010CB833500)

# 作者名单

主 编 于贵瑞 王秋风  
作 者 (按姓氏笔画排序)  
于贵瑞 王建林 王秋风 庄 杰  
齐 华 米 娜 宋 霞 张 弥  
张 娜 张 黎 郑泽梅 赵风华  
胡中民 姜春明 顾峰雪 黄 辉  
盛文萍

# 前 言

陆地生态系统的水循环与碳循环是地球陆地表层系统物质循环与能量交换的基本生物物理过程,也是陆地生态系统中耦合的两个生态学过程,更是全球变化科学(global change science)研究的核心问题。这是因为由 CO<sub>2</sub> 等温室气体排放引起的全球气候变暖和世界范围内的淡水资源短缺已经成为世界经济可持续发展所面临的两大主要环境问题,向全球的科学家、政策制定者和公众提出了严峻的挑战。世界人口剧增、生活质量提高、人类干预自然能力急剧增大,以及城乡一体化和经济全球化进程的加快导致全球规模的化石能源、自然资源和水资源消耗的速度急剧加快,与此同时,污染物和温室气体排放量也急剧增加,这些因素已经并且正在改变着局地、景观、区域乃至全球生态系统的碳循环和水循环,改变着生态系统的结构和功能、时空格局和动态过程,改变着生态系统为人类发展提供服务的能力。

基于典型生态系统、区域或全球尺度生态系统的水循环和碳循环机理的科学认识,合理地调节与管理生态系统的水循环和碳循环过程,是人类调节地圈-生物圈-大气圈的相互作用关系,维持全球生态系统的物质与能量循环,以及促进自然资源循环再生的重要生态学途径,也是全球变化科学与区域或全球可持续发展科学研究中最具挑战性的基础理论和战略性的科学问题。要想准确地预测将来的全球气候和水资源变化趋势,寻求调控、管理地球生态系统的有效途径,就必须充分了解驱动陆地生态系统碳循环和水循环的各种过程机制,了解生物圈对生态系统碳循环和水循环的控制作用,以及生态系统过程对全球变化的响应、适应和反馈机制。

植物的光合、蒸腾和水分利用是生态系统碳循环、水循环的基本过程,也是最基本、最重要的植物生理生态学过程,它们不仅提供了植物生长、发育和繁殖所必需的能量和物质,而且是生态系统碳循环和水循环的关键控制过程。对植物的光合、蒸腾和水分利用的生物、物理和化学过程机理的认识,对它们与环境变化之间的相互作用关系的机理分析和过程模拟,可以为评价土壤-植物-大气系统的水分传输、植被的光合作用和物质生产、生态系统水循环和碳循环的生物控制作用、水资源制约的生态系统生产力变化,开发 GCM 的陆面过程模型等研究工作提供重要的科学依据。

我们的研究小组长期开展植物光合、蒸腾和水分利用效率的生理生态学研究,近年来,以生态系统的碳、水和能量通量观测为技术手段,正在开展不同生态系统 CO<sub>2</sub>、水通量特征及其耦合关系综合研究,揭示土壤-植物-大气系统的物质循环和能量转换的基本规律。因此,我们特编写出版本专著。本书是对研究团队多年科研工作的总结,并归纳分析了国内外本研究领域的重要进展,其目的是为国内从事相关领域研究的科技人员提供关于植物光合、蒸腾和水分利用效率方面的参考资料,也可作为相关领域研究生的基础教材。

本书以气孔行为控制的植物光合、蒸腾和水分利用为主线,系统地论述植物光合、蒸腾和水分利用的生理生态学基础,介绍了生态系统的光合、蒸腾和水分利用效率变化特征及

其模型模拟的基础知识和主要的研究进展。全书共由 17 章构成。第 1 章论述了生物圈与其他圈层的关系;第 2~4 章论述了植物的气孔行为及气孔导度的模拟模型,包括气孔行为的生理生态学基础、气孔导度的环境响应及其模拟、环境变量函数乘合的气孔导度模型。第 5~8 章讨论了植物光合作用及其模拟模型,包括植物光合作用的生理生态学基础、植物光合作用的环境响应模型、植物光合作用的生物化学模型、植物光合作用与生态系统碳平衡。第 9~11 章讨论了植物蒸腾作用及模拟模型,包括植物蒸腾作用的生理生态学基础、SPAC 系统的水分运动及其根系的水分吸收、植物的蒸腾作用与生态系统水分平衡。第 12~14 章讨论了植物的水分利用及其模拟模型,包括水分利用效率的生理生态学基础,植物光合、蒸腾和水分利用效率的变异性,基于气孔行为的光合-蒸腾耦合模型及水分利用效率模型。第 15~17 章重点介绍生态系统水碳过程的区域模式,包括基于 EALCO 模型的典型生态系统光合-蒸腾耦合关系分析、基于 CEVSA2 模型的典型生态系统水碳交换的动态分析、区域水碳循环过程模型及其模拟分析。

本书的编写得到了本研究小组各位已毕业和在读博士研究生的大力支持。他们无私的奉献精神和认真求实的科学态度为本书的顺利完成奠定了坚实的基础,谨在本书出版之际,向各位合作者表示诚挚的谢意。同时本书的出版还得到了国家自然科学基金杰出青年基金项目“陆地生态系统水碳耦合循环的生理生态学机制与模型研究”、国家自然科学基金重大项目“我国主要陆地生态系统对全球变化的响应与适应性样带研究”、中国科学院知识创新工程重要方向项目“中国陆地生态系统碳通量特征及其环境控制作用研究”和“973”计划项目“中国陆地生态系统碳-氮-水通量的相互关系及其环境影响机制”等的共同支持,特此向对本书的出版给予支持的项目以及各项目的支持部门一并致谢。

由于编者水平有限,加之时间比较仓促,不妥之处在所难免,仅供读者在阅读过程中参考,并将不妥之处不吝指出。

于贵瑞

2009 年 4 月于北京



# 目 录

## 第一篇 生物圈与植物的生态环境

1 生物圈与其他圈层的关系 .....	(3)
1.1 地球表层系统与生物圈的基本概念 .....	(4)
1.1.1 地球表层系统概论 .....	(4)
1.1.2 地球生物圈的基本特征 .....	(4)
1.1.3 生物圈与其他圈层间的相互作用 .....	(5)
1.1.4 生物圈中的植物及其生态环境 .....	(7)
1.2 大气圈与植物的气象环境 .....	(8)
1.2.1 大气圈的结构与成分 .....	(8)
1.2.2 大气圈的辐射平衡与植物的辐射环境 .....	(11)
1.2.3 大气圈的能量平衡与植物的温度环境 .....	(16)
1.2.4 大气的湍流运动与植物的风环境 .....	(18)
1.3 水圈与植物的水环境 .....	(21)
1.3.1 地球的水圈与水资源 .....	(21)
1.3.2 植物的水环境 .....	(22)
1.4 岩石圈与植物的土壤环境 .....	(29)
1.4.1 岩石圈和土壤圈 .....	(29)
1.4.2 植物的土壤环境 .....	(32)
1.4.3 土壤养分的有效性及其对植物的影响 .....	(34)
1.5 生物圈及其植物的生物环境 .....	(36)
1.5.1 生物圈的进化 .....	(36)
1.5.2 植被群落与生态系统 .....	(36)
1.5.3 植物的生物环境 .....	(37)
1.6 植物与环境间的相互作用关系 .....	(38)
1.6.1 环境因子对植物的作用 .....	(38)
1.6.2 植物对环境变化的适应性 .....	(40)
1.6.3 植物及植物群落与环境的协同进化 .....	(42)
参考文献 .....	(43)

## 第二篇 植物的气孔行为及气孔导度的模拟模型

2 气孔行为的生理生态学基础 .....	(47)
2.1 植物叶片的结构与气孔分布 .....	(48)



2.1.1	植物的叶片结构 .....	(48)
2.1.2	气孔的形态、构造及其频度 .....	(49)
2.1.3	植物气孔的进化与生态适应性 .....	(50)
2.2	气孔开闭运动及其机理 .....	(51)
2.2.1	气孔开闭运动 .....	(51)
2.2.2	气孔开闭运动的化学调节机制 .....	(52)
2.2.3	环境因子影响气孔开度的生理反应 .....	(55)
2.3	气孔导度的概念和计算方法 .....	(57)
2.3.1	叶面的水汽扩散通量与气孔导度 .....	(58)
2.3.2	叶面的 CO <sub>2</sub> 扩散通量与气孔导度 .....	(60)
2.3.3	气孔导度的单位 .....	(60)
2.4	气孔导度对环境因子变化的响应 .....	(61)
2.4.1	气孔导度对光环境的响应 .....	(62)
2.4.2	气孔导度对湿度环境的响应 .....	(63)
2.4.3	气孔导度对水分环境的响应 .....	(63)
2.4.4	气孔导度对温度环境的响应 .....	(64)
2.4.5	气孔导度对 CO <sub>2</sub> 浓度环境的响应 .....	(65)
2.5	气孔导度的时间和空间变异性 .....	(66)
2.5.1	气孔导度的日变化 .....	(66)
2.5.2	气孔导度的季节和年际变化 .....	(67)
2.5.3	叶位间气孔导度的垂直分布 .....	(69)
2.5.4	叶两面的气孔导度比的变异性 .....	(71)
2.5.5	不同环境下物种间气孔的变异性 .....	(72)
	参考文献 .....	(73)
3	气孔导度的环境响应及其模拟 .....	(79)
3.1	气孔导度对环境因子变化的响应函数 .....	(80)
3.1.1	气孔开度的一般模型 .....	(80)
3.1.2	气孔导度对光环境的响应 .....	(81)
3.1.3	气孔导度对湿度环境的响应 .....	(82)
3.1.4	气孔导度对水分环境的响应 .....	(83)
3.1.5	气孔导度对温度环境的响应 .....	(84)
3.1.6	气孔导度对 CO <sub>2</sub> 浓度的响应 .....	(85)
3.2	多环境变量的气孔导度模型 .....	(86)
3.2.1	2 变量的环境模型 .....	(86)
3.2.2	多变量回归模型 .....	(89)
3.2.3	多变量乘合模型 .....	(91)
3.3	其他类型的气孔导度模型 .....	(94)
3.3.1	日尺度的时间变量模型 .....	(94)
3.3.2	季节变化的时间变量模型 .....	(94)

3.3.3	光合作用-气孔导度耦合模型 .....	(94)
3.4	气孔导度对环境因子变化响应的复杂性及其模拟 .....	(95)
3.4.1	在长时间尺度和日变化尺度上气孔对环境变化的响应特性 .....	(96)
3.4.2	气孔的开-闭过程对环境变化的非对称响应 .....	(101)
3.4.3	气孔导度与环境要素变化及其他生理过程间反馈关系的复杂性 .....	(103)
3.4.4	群落尺度气孔行为的复杂性 .....	(105)
	参考文献 .....	(106)
<b>4</b>	<b>环境变量函数乘合的气孔导度模型 .....</b>	<b>(112)</b>
4.1	环境变量函数乘合模型的提出与发展 .....	(113)
4.1.1	多环境变量函数乘合模型的基本假设 .....	(113)
4.1.2	多变量函数乘合模型的构建和参数化方法 .....	(113)
4.1.3	多变量函数乘合模型的应用和发展 .....	(114)
4.2	环境变量函数乘合模型的优化 .....	(115)
4.2.1	模型优化问题的提出 .....	(115)
4.2.2	模型优化的方法和程序 .....	(115)
4.2.3	优化模型在玉米气孔导度模拟中的应用 .....	(118)
4.3	基于气孔导度对环境变化多尺度响应的组合模型 .....	(125)
4.3.1	建立组合模型的基本思路 .....	(125)
4.3.2	构建组合模型的方法 .....	(125)
4.3.3	组合模型的生物学机制 .....	(127)
4.4	组合模型在玉米气孔导度模拟中的应用 .....	(129)
4.4.1	PSC 模型的建立 .....	(129)
4.4.2	RDO 模型的建立 .....	(130)
4.4.3	气孔导度组合模型的建立及其应用 .....	(132)
4.4.4	组合模型的估算精度 .....	(135)
4.5	组合模型的应用及其验证 .....	(137)
4.5.1	组合模型在水分胁迫条件下的应用 .....	(137)
4.5.2	组合模型在生态系统水碳通量模拟中的应用 .....	(139)
	参考文献 .....	(145)

### 第三篇 植物光合作用及其模拟模型

<b>5</b>	<b>植物光合作用的生理生态学基础 .....</b>	<b>(149)</b>
5.1	高等植物光合作用的细胞器 .....	(150)
5.1.1	叶绿体的功能与结构 .....	(150)
5.1.2	叶绿体的色素成分与功能 .....	(152)
5.1.3	影响叶绿素形成的环境条件 .....	(154)
5.2	植物光合作用的生物化学过程 .....	(156)
5.2.1	光能的吸收与传递 .....	(156)
5.2.2	光化学反应与电子传递 .....	(158)

5.2.3	光合磷酸化作用 .....	(161)
5.2.4	CO <sub>2</sub> 的固定和还原 .....	(162)
5.3	C <sub>3</sub> 植物和 C <sub>4</sub> 植物光合作用的差异 .....	(166)
5.3.1	叶的解剖特征 .....	(167)
5.3.2	环境适应性 .....	(167)
5.3.3	CO <sub>2</sub> 补偿点与光合效率 .....	(169)
5.3.4	光呼吸 .....	(170)
5.4	光合作用的环境控制机制 .....	(171)
5.4.1	光 .....	(172)
5.4.2	温度 .....	(173)
5.4.3	水分 .....	(175)
5.4.4	CO <sub>2</sub> 浓度 .....	(176)
5.4.5	矿质元素 .....	(177)
5.4.6	环境因子的综合作用 .....	(179)
5.5	光合作用和生态系统生产力的人为调控 .....	(180)
5.5.1	调节植物的环境条件、提高植物的光合强度 .....	(181)
5.5.2	控制植物自养呼吸、提高净光合强度 .....	(182)
5.5.3	提高群体的光能利用率、增加生态系统生产力 .....	(183)
5.5.4	调节光合产物的分配、提高植物产品的经济价值 .....	(185)
	参考文献 .....	(187)
6	植物光合作用的环境响应模型 .....	(189)
6.1	植物光合作用对光的响应模型 .....	(190)
6.1.1	光合作用对光响应的主要特征 .....	(190)
6.1.2	光合作用-光响应曲线的数学模型 .....	(192)
6.1.3	光合作用光响应曲线模型的应用 .....	(194)
6.2	植物光合作用对 CO <sub>2</sub> 浓度的响应模型 .....	(199)
6.2.1	光合作用对 CO <sub>2</sub> 浓度响应的主要特征 .....	(199)
6.2.2	光合作用的 CO <sub>2</sub> 响应曲线的数学模型 .....	(201)
6.2.3	光合作用的 CO <sub>2</sub> 响应曲线模型的应用 .....	(201)
6.3	植物光合作用对温度的响应模型 .....	(205)
6.3.1	光合作用对温度的响应特征 .....	(205)
6.3.2	光合作用对温度的响应模型 .....	(206)
6.3.3	光合作用对温度的响应的变异性 .....	(209)
6.3.4	光合作用模型参数对温度的响应 .....	(210)
6.4	植物光合作用对水分的响应 .....	(211)
6.4.1	水分对光合作用的影响 .....	(211)
6.4.2	光合作用对水分的响应 .....	(211)
	参考文献 .....	(215)

<b>7 植物光合作用的生物化学模型</b> .....	(218)
7.1 植物光合作用生物化学模型概论 .....	(219)
7.1.1 光合作用生物化学模型的发展 .....	(219)
7.1.2 不同碳同化途径的光合作用生物化学模型概述 .....	(219)
7.1.3 RuBP 羧化/加氧酶催化的生物化学过程的模拟 .....	(223)
7.2 C <sub>3</sub> 植物单叶光合作用的生物化学模型 .....	(226)
7.2.1 叶绿体水平上光合作用关键过程的定量描述 .....	(227)
7.2.2 光合作用模型从叶绿体水平向叶片水平的扩展 .....	(231)
7.3 C <sub>4</sub> 植物单叶光合作用的生物化学模型 .....	(234)
7.3.1 C <sub>4</sub> 植物光合模型的概述 .....	(234)
7.3.2 ICT 模型 .....	(235)
7.3.3 Collatz 模型 .....	(236)
7.4 植被冠层的光合作用模型及其应用 .....	(239)
7.4.1 植被冠层的光合作用模拟 .....	(239)
7.4.2 植被冠层光合作用模型的应用 .....	(243)
7.4.3 植被冠层光合作用模型发展中所存在的问题 .....	(245)
参考文献 .....	(246)
<b>8 植物光合作用与生态系统碳平衡</b> .....	(250)
8.1 植物光合作用在地球生物圈中的作用 .....	(251)
8.1.1 陆地生态系统碳循环的气候学和生态学意义 .....	(251)
8.1.2 光合作用的有机物生产 .....	(252)
8.1.3 光合作用的光能转化及其生物能源的应用 .....	(253)
8.1.4 光合作用的碳固定及其在碳平衡中的作用 .....	(254)
8.1.5 光合作用的空气净化功能及对大气 O <sub>2</sub> 和 CO <sub>2</sub> 平衡的维持 .....	(255)
8.1.6 光合作用对地球生命系统维持和生物进化的贡献 .....	(255)
8.2 植物光合作用与生态系统物质生产的基本过程 .....	(256)
8.2.1 生态系统的基本结构和功能 .....	(256)
8.2.2 生态系统生产力及其形成的基本过程 .....	(256)
8.2.3 生态系统经济产量及其形成过程 .....	(257)
8.2.4 光合作用与作物产量的关系 .....	(258)
8.3 作物生产潜力及其估算模型 .....	(258)
8.3.1 光合生产潜力 .....	(259)
8.3.2 光-温生产潜力 .....	(260)
8.3.3 光-温-水生产潜力 .....	(260)
8.3.4 作物生产潜力研究的发展趋势 .....	(261)
8.4 生态系统的光合作用与碳平衡 .....	(262)
8.4.1 主要类型生态系统的碳平衡与碳汇功能 .....	(262)
8.4.2 生态系统碳平衡组分间的定量关系 .....	(268)
8.4.3 全球和重要区域陆地生态系统的碳平衡 .....	(269)

8.5 植被光合生产力和陆地碳源汇格局 .....	(270)
8.5.1 植被光合生产力和陆地碳源汇的空间格局特征 .....	(271)
8.5.2 植被光合生产力和陆地碳源汇动态变化特征 .....	(272)
8.5.3 植被光合生产力和陆地碳源汇时空格局变化的主控因子 .....	(275)
8.6 区域生态系统的物质生产和碳汇管理 .....	(282)
8.6.1 生态系统物质生产和碳汇管理的基本途径 .....	(282)
8.6.2 生态系统物质生产和碳循环的过程管理 .....	(284)
8.6.3 生态系统物质生产和碳循环的空间格局管理 .....	(286)
参考文献 .....	(289)

#### 第四篇 植物蒸腾作用及模拟模型

9 植物蒸腾作用的生理生态学基础 .....	(295)
9.1 土壤的水分特性及运动 .....	(296)
9.1.1 土壤的水分特性 .....	(296)
9.1.2 土壤中水流运动的基本方式 .....	(300)
9.1.3 土壤水运动的导水率及其模型 .....	(302)
9.2 植物体内的水分及其动态平衡 .....	(308)
9.2.1 植物体内水分的状态 .....	(309)
9.2.2 植物体内的水分平衡 .....	(309)
9.3 植物细胞对水分的吸收 .....	(310)
9.3.1 细胞吸水的动力及方式 .....	(310)
9.3.2 细胞的水势 .....	(311)
9.3.3 细胞对水分的吸收过程 .....	(312)
9.4 植物根系对水分的吸收 .....	(312)
9.4.1 根系的分布及环境影响 .....	(312)
9.4.2 根系吸水的途径 .....	(313)
9.4.3 根系吸水的动力和吸水过程 .....	(314)
9.4.4 根系的吸水速率及影响因子 .....	(314)
9.5 植物体内的水分运输及分配 .....	(316)
9.5.1 木质部的水分运输 .....	(316)
9.5.2 水分传导的速率 .....	(316)
9.6 植物蒸腾作用的生理生态过程 .....	(317)
9.6.1 蒸腾作用的相关指标 .....	(317)
9.6.2 蒸腾途径与气孔扩散的边缘效应 .....	(318)
9.6.3 影响蒸腾作用的外部 and 内部条件 .....	(319)
9.7 植物蒸腾作用的生理生态调节 .....	(320)
9.7.1 蒸腾作用的气孔调节 .....	(320)
9.7.2 植物叶片的形态和生态调节 .....	(321)
9.7.3 植物生境的调节 .....	(321)

9.7.4 蒸腾抑制剂及应用 .....	(322)
参考文献 .....	(322)
<b>10 SPAC 系统的水分运动及其根系的水分吸收 .....</b>	<b>(324)</b>
10.1 SPAC 系统的概念及其发展 .....	(325)
10.1.1 SPAC 系统的基本概念 .....	(325)
10.1.2 SPAC 内水分运动研究的意义 .....	(325)
10.2 SPAC 系统内的能量分布 .....	(327)
10.2.1 大气的水势 .....	(327)
10.2.2 土壤的水势 .....	(327)
10.2.3 植物的水势 .....	(328)
10.2.4 SPAC 中的水分能量梯度 .....	(329)
10.3 SPAC 水分运动的阻力及空间分布 .....	(330)
10.3.1 水分运动的阻力分布模型 .....	(331)
10.3.2 SPAC 中各种阻力之间的关系 .....	(333)
10.3.3 SPAC 中各种阻力的相对重要性 .....	(338)
10.4 植物的根系分布和水分吸收 .....	(339)
10.4.1 植物根长密度分布及模拟 .....	(340)
10.4.2 植物根系的水分吸收及其模拟 .....	(342)
参考文献 .....	(345)
<b>11 植物的蒸腾作用与生态系统水分平衡 .....</b>	<b>(347)</b>
11.1 植物蒸腾在水圈、生物圈和社会经济发展中的作用 .....	(348)
11.1.1 植物蒸腾在维持全球水圈功能中的作用 .....	(348)
11.1.2 植物蒸腾在维持生物圈功能中的作用 .....	(348)
11.1.3 植物蒸腾在维持人类社会与经济发展中的作用 .....	(349)
11.2 植被蒸散的基本特征 .....	(350)
11.2.1 植被蒸散的基本特征 .....	(350)
11.2.2 植被蒸散的日变化 .....	(351)
11.2.3 植被蒸散的季节变化 .....	(351)
11.2.4 植被蒸散的年际变化 .....	(352)
11.2.5 水分胁迫条件下的蒸散变化规律与调亏灌溉理论 .....	(353)
11.3 影响植被蒸散的生物因素和环境因素 .....	(354)
11.3.1 植被性状对蒸散的影响 .....	(354)
11.3.2 大气水分状况对蒸散的影响 .....	(355)
11.3.3 热量因素对蒸散的影响 .....	(357)
11.3.4 土壤因素对蒸散的影响 .....	(357)
11.4 植被蒸散的估算方法 .....	(358)
11.4.1 经验公式法 .....	(358)
11.4.2 基于蒸散机理的模型法 .....	(359)
11.5 生态系统水平衡、生态需水和水资源管理 .....	(363)

11.5.1	生态系统水平衡的基本概念 .....	(363)
11.5.2	农田生态系统的水平衡 .....	(363)
11.5.3	草地生态系统的水平衡 .....	(364)
11.5.4	森林生态系统的水平衡 .....	(364)
11.5.5	湿地生态系统的水平衡 .....	(364)
11.5.6	生态需水的基本概念和估算方法 .....	(365)
11.5.7	生态系统水资源管理的基本途径 .....	(365)
参考文献 .....		(366)
<b>第五篇 植物的水分利用及其模拟模型</b>		
<b>12</b>	<b>水分利用效率的生理生态学基础 .....</b>	<b>(371)</b>
12.1	水分利用效率的基本概念及研究意义 .....	(372)
12.1.1	水分利用效率的核心内涵 .....	(372)
12.1.2	水分利用效率研究的意义 .....	(372)
12.2	水分利用效率的常见定义 .....	(373)
12.2.1	农学研究中的水分利用效率 .....	(373)
12.2.2	植物生理学研究中的水分利用效率 .....	(374)
12.2.3	生态学研究中的水分利用效率 .....	(376)
12.3	水分利用效率相对保守性的生理生态学基础 .....	(377)
12.3.1	叶片光合-蒸腾耦合关系与水分利用效率 .....	(377)
12.3.2	生态系统水碳耦合关系与水分利用效率 .....	(379)
12.3.3	干物质产量-耗水量关系与水分利用效率 .....	(380)
12.3.4	区域碳平衡-水平衡的关系与水分利用效率 .....	(381)
12.4	水分利用效率变异性的生理生态学基础 .....	(382)
12.4.1	植物的碳同化途径对水分利用效率的影响 .....	(382)
12.4.2	植株结构与形态对水分利用效率的影响 .....	(383)
12.4.3	CO <sub>2</sub> 浓度对水分利用效率的影响 .....	(384)
12.4.4	大气水分条件对水分利用效率的影响 .....	(384)
12.4.5	土壤水分条件对水分利用效率的影响 .....	(385)
12.4.6	温度对水分利用效率的影响 .....	(385)
12.4.7	营养条件对水分利用效率的影响 .....	(386)
12.4.8	多环境因子复合作用的影响 .....	(386)
12.4.9	不同功能群植被水分利用效率的差异 .....	(387)
12.5	提高植物水分利用效率的生理和生态途径 .....	(388)
12.5.1	提高植物水分利用效率的生理途径 .....	(388)
12.5.2	提高植物水分利用效率的生态途径 .....	(389)
参考文献 .....		(390)
<b>13</b>	<b>植物光合、蒸腾和水分利用效率的变异性 .....</b>	<b>(393)</b>
13.1	叶片尺度植物光合、蒸腾和水分利用效率的变异性 .....	(394)



13.1.1	物种间的光合、蒸腾和水分利用效率的变异性	(394)
13.1.2	品种间的差异	(395)
13.1.3	植物光合、蒸腾和水分利用效率的日变化	(397)
13.1.4	植物光合、蒸腾和水分利用效率的季节变化	(400)
13.1.5	施肥对植物光合速率、蒸腾速率和水分利用效率的影响	(401)
13.1.6	水肥耦合处理对作物光合速率、蒸腾速率和水分利用效率的影响	(403)
13.2	生态系统光合、蒸散和水分利用效率的变异性	(405)
13.2.1	生态系统光合、蒸散和水分利用效率的日变化	(405)
13.2.2	生态系统光合、蒸散和水分利用效率的季节变化	(407)
13.2.3	样带尺度的水分利用效率的变化	(408)
13.3	叶片水分利用效率对环境变化的响应	(409)
13.3.1	水分利用效率对光的响应特征	(410)
13.3.2	水分利用效率对 CO <sub>2</sub> 浓度的响应特征	(414)
13.3.3	水分利用效率对光强和 CO <sub>2</sub> 浓度协同作用的响应	(417)
13.4	不同生态系统的水分利用效率对环境变化的响应	(422)
13.4.1	森林生态系统水分利用效率及其控制机制	(422)
13.4.2	草地生态系统水分利用效率及控制机制	(425)
13.5	植物水分利用效率对环境变化的适应策略	(426)
13.5.1	不同尺度水分利用效率的差异	(426)
13.5.2	植物的环境适应策略对水分利用效率的影响	(426)
13.5.3	植物对 CO <sub>2</sub> 浓度变化的短期响应与长期适应	(427)
13.5.4	植物水分利用效率的变异性与保守性机制	(427)
	参考文献	(428)
14	基于气孔行为的光合-蒸腾耦合模型及水分利用效率模型	(433)
14.1	植物光合-蒸腾耦合模型研究概要	(434)
14.2	植物光合-蒸腾耦合模型	(435)
14.2.1	蒸腾作用和光合作用模型	(435)
14.2.2	气孔导度模型	(436)
14.2.3	光合-蒸腾耦合模型	(436)
14.2.4	水分利用效率模型	(438)
14.3	SMPTSB 模型的参数确定与检验	(438)
14.3.1	内部导度的模拟	(438)
14.3.2	气孔导度的模拟	(438)
14.3.3	净光合速率的估算	(440)
14.3.4	蒸腾速率的估算	(441)
14.3.5	水分利用效率的模拟	(443)
14.4	SMPTSB 过程机理的讨论	(443)
14.4.1	内部导度的概念	(443)
14.4.2	光合速率与各种导度和 CO <sub>2</sub> 浓度梯度的关系	(444)

14.4.3 控制光合和蒸腾的因子 ..... (446)

14.5 SMPTS模型在环境胁迫条件下的应用 ..... (449)

14.5.1 环境胁迫条件下的内部导度模拟 ..... (449)

14.5.2 环境胁迫条件下净光合速率和蒸腾速率的模拟 ..... (450)

14.5.3 环境胁迫条件下水分利用效率的模拟 ..... (452)

14.6 SMPTS模型在树木上的应用 ..... (454)

14.6.1 内部导度的模拟 ..... (454)

14.6.2 净光合速率、蒸腾速率和水分利用效率的模拟 ..... (455)

14.7 SMPTS模型在冠层尺度上的应用 ..... (457)

14.7.1 模型在冠层上应用的基本假设 ..... (457)

14.7.2 SMPTS模型在农田生态系统中的应用 ..... (457)

14.7.3 SMPTS模型在森林生态系统中的应用 ..... (462)

参考文献 ..... (465)

### 第六篇 生态系统水碳过程的区域模式

15 基于 EALCO 模型的典型生态系统光合-蒸腾耦合关系分析 ..... (471)

15.1 EALCO 模型简介 ..... (472)

15.1.1 能量传输过程 ..... (472)

15.1.2 水传输过程 ..... (473)

15.1.3 植物及土壤碳氮过程 ..... (475)

15.2 基于 EALCO 模型的生态系统生产力模拟分析 ..... (479)

15.2.1 冠层温度和冠层水势对叶片光合的影响 ..... (479)

15.2.2 生态系统呼吸各组分的模拟 ..... (481)

15.3 基于 EALCO 模型的蒸散模拟分析 ..... (483)

15.3.1 蒸散的模拟与其他相关研究的关系 ..... (483)

15.3.2 根系吸水与冠层的蒸腾作用 ..... (484)

15.3.3 植物水储存量对 ET 模拟的影响 ..... (485)

15.3.4 植物 H<sub>2</sub>O 和 CO<sub>2</sub> 传输动力学对 ET 模拟的影响 ..... (486)

15.4 基于 EALCO 模型的生态系统水碳循环耦合关系模拟分析 ..... (486)

参考文献 ..... (489)

16 基于 CEVSA2 模型的典型生态系统水碳交换动态分析 ..... (491)

16.1 CEVSA 模型简介、应用和发展概述 ..... (492)

16.1.1 模型简介 ..... (492)

16.1.2 CEVSA 模型的应用概述 ..... (494)

16.1.3 CEVSA2 模型的建立 ..... (494)

16.2 典型生态系统水碳交换时空动态的模拟分析 ..... (496)

16.2.1 研究区概况和通量观测系统 ..... (496)

16.2.2 碳通量的模拟及其与通量观测的比较 ..... (499)

16.2.3 水通量的模拟及其与通量观测的比较 ..... (507)