

Theory and Practice of
Coupled Heat and Mass Transfer Model
for Soil-plant-atmosphere System

土壤-植物-大气系统热量、物质运移 综合模型理论与实践

[瑞典] 皮尔瑞克·杰森 路易丝·卡尔伯格 著
张洪江 程金花 王伟等 编译



科学出版社
www.sciencep.com

**Theory and Practice of Coupled Heat and
Mass Transfer Model for Soil-plant-atmosphere System**

土壤-植物-大气系统热量、 物质运移综合模型理论与实践

[瑞典]皮尔瑞克·杰森 路易丝·卡尔伯格 著

张洪江 程金花 王 伟 等 编译

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

“土壤-植物-大气系统热量、物质运移综合模型”(coupled heat and mass transfer model for soil-plant-atmosphere system,简称“综合模型”——Coup-Model),是由瑞典皇家工学院的皮尔瑞克·杰森和路易丝·卡尔伯格教授领导下的研究组通过多年潜心研究和实践建立的,这个模型主要用于模拟不同森林植物群落下的土壤热量过程、土壤水分过程、植物水分过程、大气降水、太阳辐射以及它们对土壤水分的影响,地上与地下碳、氮元素循环过程等。

这个综合模型是由多个单体模型构成的一个系列模型组,其中的单体模型既可单独使用,又可联合使用。可以说综合模型是集前人研究之大成,具有较强的实用性、科学性和先进性。在综合模型中,有相当大的部分是由机理性模型所构成的,所以在不同国家和地区的应用中,具有广泛的适用性。

本书可供从事水土保持、森林水文及土壤物理、环境科学等方面的科技工作者使用,也可作为大专院校有关水土保持、林学、环境科学、水文水利等专业高年级本科生、研究生和相关教师的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

土壤-植物-大气系统热量、物质运移综合模型理论与实践/(瑞典)皮尔瑞克等著;张洪江,程金花,王伟等编译. —北京:科学出版社,2010

ISBN 978-7-03-025728-4

I. 土… II. ①皮…②张…③程…④王… III. 生态系统-研究
IV. Q147

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 175937 号

责任编辑:赵 峰 沈晓晶/责任校对:刘小梅

责任印制:钱玉芬/封面设计:耕者设计工作室

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>

中国科学院印刷厂印刷

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:20 1/2

印数:1—2 000 字数:458 000

定价:65.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(科印))

《土壤-植物-大气系统热量、 物质运移综合模型理论与实践》 著译者名单

著 者:〔瑞典〕皮尔瑞克·杰森(Per-Erik Jansson)
路易丝·卡尔伯格(Louise Karlberg)

编译主任:张洪江 程金花 王 伟

编译委员:(以姓氏拼音为序)

白芝兵	陈引珍	程金花	程 云	方向京
葛东媛	李丙文	李春平	李温雯	刘 涛
卢炜丽	马 惠	任 改	荣文卓	史玉虎
王 波	王海燕	王 伟	武思宏	张成梁
张洪江	郑国强			

审 定:崔 鹏

序

科学研究的道路是漫长而曲折的,尤其是生物方面的科学工作,由于其生命周期相对较长的特殊性,就更需要长时间的积累才可能有所收获。

《土壤-植物-大气热量、物质运移综合模型理论与实践》一书是瑞典皇家工学院(Royal Institute of Technology, Sweden)皮尔瑞克·杰森和路易丝·卡尔伯格(Per-Erik Jansson and Louise Karlberg)教授领导下的研究组所进行的一项长期研究成果。他们通过多年探索和实践,建立了主要用于模拟不同森林植物群落下的土壤热量过程、土壤水分过程、植物水分过程、太阳辐射以及它们对土壤水分的影响,地上与地下碳氮元素循环过程的“土壤-植物-大气系统热量、物质运移综合模型”(coupled heat and mass transfer model for soil-plant-atmosphere system,简称“综合模型”——Coup-Model)。该综合模型具有较强的实用性、科学性和先进性,不仅在欧洲国家被很多科学家所推崇和使用,而且被美洲、非洲和亚洲国家的有关科学工作者所引用,在该综合模型中,有相当部分是由单个机理性模型构成的,所以具有较广的适用性。

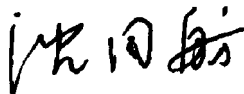
这一模型对于解决目前我国生态保护与建设工程中的森林功能评价问题具有较好的支撑和借鉴作用。将此综合模型编译成中文,一方面将其介绍给中国科学家,使更多的中国人了解、认识和使用该模型,以推动我国森林生态效益研究,另一方面也让瑞典和欧洲的相关科学家了解到我国科学家在这方面所作的工作。对于加强中国与瑞典,乃至中国与欧洲科学家和有关工作人员之间的学术交流合作和人员交往是非常有意义的。

20世纪90年代初期,我通过中国工程院与瑞典工程院的合作项目,曾主导选派并资助张洪江博士赴瑞典农业大学林学院进修与合作研究,期间他与瑞典有关科学家建立了良好的合作研究关系。其后近二十年,他和他的研究团队一直与瑞典有关科学家保持着紧密的学术往来和合作研究关系。已有两位青年学者先后从瑞典自然科学基金委员会(International Foundation of Science, Sweden)获得了三个自然科学研究项目的资助。在此背景下,张洪江教授及其领导的研究团队在多年从事森林水文、水土保持和森林生态等方面研究工作的基础上,结合他们的研究实践,与本书原作者共同探讨并征得其同意,历时近三年时间编译完成了这本“土壤-植物-大气系统热量、物质运移综

合模型”(Coupled heat and mass transfer model for soil-plant-atmosphere system)著作的全部内容,其付出的辛苦劳动是能够想象的,编译水平也是值得称道的。长期的科学研究、学术论著及本书的编译等工作,不仅使这一研究团队逐渐地成长和发展,而且也使他们的工作不断地展示在众人面前,增加了他们和其他有关研究工作者的交流、切磋和共同前进的机会。我为这个研究团队的成长助了一臂之力感到欣慰。

相信本书的出版,能够为我国森林水文、水土保持和森林生态等方面的研究、管理和教学人员提供一套有益的森林水文及其生态效益评价方法。

中国工程院院士、北京林业大学教授



2009年9月

Foreword

At the beginning of 2006, Professor Hongjiang Zhang from Beijing Forestry University, China started discussion with Professor Per-Erik Jansson from Royal Institute of Technology, Sweden on a more frequent use of the Swedish Coup-Model for applications in China. The model is a very useful tool to elucidate problems related to forest ecosystems and their functions that are of major interest for ecological conservation and construction projects in China. A Chinese translation of the manual will improve the scientific communications among scientists and researchers in China and enhance collaboration between Sweden and China. The Chinese version of Coup-Model manual would provide a platform for many Chinese scientists and researchers on how to learn about process oriented modelling and how to apply the model to various sites all around the world.

Professor Hongjiang Zhang and his research team spent nearly 2 years and 22 researchers (Professor, Assistant Professor, PhD and master student) to translate Coup-Model manual. At the beginning of 2007, they started to prepare to translate it. In April, 2008 the first Chinese Coup-model manual was completed. This was followed by a final stage of proofreading during 6 months.

I am very happy to support the project that has also involved Mats Riehm and Sihong Wu from the Royal Institute of Technology. The Coup-Model is available free of charge and can easily be downloaded from the internet (<http://www.lwr.kth.se>). An online documentation with updated information is also available from the same site.

Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden

November 20, 2008



Prof. Per-Erik Jansson

前 言

生态环境保护已经成为当今举世瞩目的重要问题之一,人类社会的迅速发展,在创造了物质文明和精神文明的同时,也给人们的生存环境带来了一系列问题。中国政府十分注重生态环境的保护和改善,近年来在全国范围内实施了若干重大生态环境保护与建设项目,如天然林保护工程、退耕还林工程、小流域综合治理工程等。这些工程对于改善我国的生态环境起到了重要作用,在已经实施的重大生态环境保护与建设项目中,有相当一部分是森林建设与保护项目,还有些是以森林建设与恢复为主体内容的项目。如何综合评价这些重大生态环境保护与建设项目中的森林以及原有森林的生态功能和其水文作用?如何综合评价森林生态系统的环境改善机制?是目前摆在我们面前的难题。

瑞典皇家工学院(Royal Institute of Technology, Sweden)的皮尔瑞克·杰森(Per-Erik Jansson)和路易丝·卡尔伯格(Louise Karlberg)教授领导下的研究组,通过多年探索和实践,建立了主要用于模拟不同森林植物群落下的土壤热量过程、土壤水分过程、植物水分过程、大气降水、太阳辐射以及它们对土壤水分的影响,地上与地下碳氮元素循环过程的“土壤-植物-大气系统热量、物质运移综合模型”(coupled heat and mass transfer model for soil-plant-atmosphere system,简称“综合模型”——Coup-Model)。这个综合模型是由多个单体模型构成的一系列模型组,其中的单体模型既可单独使用,又可联合使用。可以说综合模型是集前人研究之大成,具有较强的实用性、科学性和先进性。该综合模型不仅在欧洲被很多科学家所推崇和使用,而且被美洲、非洲和亚洲很多国家的有关科学工作者使用,并收到了很好的效果。再加上在综合模型中,有相当大的部分是由机理性模型所构成,所以在不同国家和地区的应用中,具有广泛的适用性。

这一模型对于解决我国目前几大生态环境保护与建设项目中的森林功能评价问题具有很好的支撑和借鉴作用。为此我们经过两年多的工作,将这个模型编译成中文,一方面将其介绍给中国的科学家,以推动我国的森林生态效益评价,另一方面也让瑞典和欧洲的相关科学家了解我们在这方面所做的工作。

本书的编译和出版可以使更多的中国人了解、认识和使用该综合模型,同时也将推动中国和瑞典乃至中国和欧洲科学家和有关工作人员之间的学术交流和人员交往。它不仅为广大中国科学研究人员提供了一种相对方便的纸质阅读物,根据与综合模型作者皮尔瑞克·杰森教授达成的共识,同时也为瑞典皇家工学院的网站提供了一个关于该综合模型主要部分的镜像中文阅读电子文本,这就为广大国内外有关学者了解和使用该模型提供了一个极好的平台。

在编译过程中,我们深刻认识到一个好的模型应该始终是处于动态发展过程中的,只有如此才能够使其具有活力,才能不断地发展、完善和提高。令人欣喜的是,在与综合模型作者皮尔瑞克·杰森教授的交流中,他也有几乎同样的看法,而且他也试图在模型的应用和推广中,持续不断地改进和完善该模型。为此他一直关注着我们的编译工作并给予

了大力支持和帮助。

为最大限度地方便读者阅读和使用模型,在编译过程中我们对于原表格中的部分短语虽然进行了编译,但仍将原文放在括号内保留。

由于水平及时间所限,再加上对模型理解深度及其确切度还有待提高,其中的遗漏、不足甚至谬误之处还依然存在。借此机会,殷切希望广大读者和使用本综合模型的各位同仁,慷慨地给予指导和批评。

在此我们对皮尔瑞克·杰森教授在编译工作中亲自作序及所给予的关注和支持表示诚挚的感谢。

借此书出版机会,还要感谢瑞典农业大学的 Harald Grip 和 Lars Lovdahl 教授,是他们的引荐与鼓励,才使我接触到该综合模型及模型的主要作者 PerErik Jansson 教授。

本编译本是在国家林业局“948”项目(项目编号:2006-4-26)资助下完成的,在此要特别感谢国家林业局科技司的杨锋伟处长和北京林业大学科技处的侯小龙处长,他们对编译工作的直接关心和一如既往的支持,使本书得以顺利出版。

还要特别感谢重庆市林业局的杜士才总工程师、科学技术处的何萍调研员、重庆市江津区林业局的李根平副局长、重庆市江津区四面山森林资源管理局的古德洪局长、张福明副局长,是他们的大力协助与支持,才使本项目得以如期完成和本编译著作顺利出版。

本编译总体工作是由北京林业大学张洪江教授组织并统稿校核完成的,参加编译工作的有程金花副教授、王伟博士、陈引珍副研究员、程云助理研究员、史玉虎副研究员、方向京研究员、张成梁研究员、王海燕副教授、王波博士、马惠硕士、李春平博士、李丙文副研究员、武思宏博士、荣文卓硕士、李温雯硕士、任改硕士、刘涛硕士、郑国强硕士、白芝兵硕士、葛东媛博士和卢炜丽博士等。

中国科学院-水利部成都山地灾害与环境研究所的山地灾害防治和水土保持专家崔鹏研究员对书稿进行了认真审阅,在此我们对他的辛勤劳动表示由衷的感谢。

最后还要特别感谢我的学术引导者之一、中国工程院院士、北京林业大学教授沈国舫先生,正是在他的引导和中国工程院的资助下,使我能于 2001 年赴瑞典农业大学林学院从事合作研究,从此打开了我及我的研究团队与瑞典科学家们合作的大门。其后我们的研究团队一直和瑞典有关大学的土壤、生态、森林、气象等方面的科学家保持着紧密的学术往来和合作科学研究关系。值得高兴的是,在我们的研究队伍中,有两位青年学者从瑞典自然科学基金委员会(International Foundation of Science, Sweden)先后获得了三个项目的资助,为他们在学术道路上的成长奠定了良好基础。正是由于沈先生一如既往的指导、关注并为我们铺就科学研究的道路,本书才得以编译成稿及正式出版。先生又在百忙当中为本书欣然作序,学生由衷感激。

张洪江

2009 年 9 月 26 日

目 录

序

Foreword

前言

第 0 章 综合模型概述	1
0.1 综合模型简介	1
0.1.1 阅读指南	1
0.1.2 帮助系统介绍	1
0.1.3 用语与惯例	2
0.1.4 相关文件	2
0.2 综合模型总论	3
0.2.1 使用目的	3
0.2.2 基本假设	4
0.2.3 模型输入	4
0.2.4 模型输出	5
0.2.5 运用经验	6
0.3 模型结构	6
0.3.1 水分和热量过程的形成	6
0.3.2 氮和碳的循环	7
0.3.3 模块启动选项	9
第 1 章 土壤热量过程	12
1.1 土壤热量流动	12
1.1.1 原理	12
1.1.2 开关	15
1.1.3 参数	16
1.1.4 参数表	17
1.1.5 状态变量	17
1.1.6 流动变量	17
1.1.7 辅助变量	17
1.2 土壤热量性质	17
1.2.1 原理	17
1.2.2 开关	19
1.2.3 参数	19
1.2.4 参数表	20

1.2.5 图示函数	21
1.3 土壤霜冻	24
1.3.1 原理	24
1.3.2 开关	29
1.3.3 参数	29
1.3.4 图示函数	31
1.3.5 状态变量	32
1.3.6 流动变量	33
1.3.7 辅助变量	33
1.4 土壤热量抽取	34
1.4.1 原理	34
1.4.2 参数	34
1.4.3 图示函数	34
1.4.4 流动变量	35
第2章 土壤水分过程	36
2.1 土壤水分流动过程	36
2.1.1 原理	36
2.1.2 开关	38
2.1.3 参数	39
2.1.4 参数表	40
2.1.5 状态变量	40
2.1.6 流动变量	40
2.1.7 辅助变量	41
2.2 地表水分	41
2.2.1 原理	41
2.2.2 开关	42
2.2.3 参数	42
2.2.4 图示函数	43
2.2.5 状态变量	44
2.2.6 流量变量	44
2.2.7 辅助变量	44
2.3 土壤水力性质	44
2.3.1 原理	44
2.3.2 开关	49
2.3.3 参数	50
2.3.4 参数表	51
2.3.5 图示函数	54
2.4 排水与深层渗透	58

2.4.1	原理	58
2.4.2	开关	63
2.4.3	参数	64
2.4.4	图示函数	65
2.4.5	流量变量	66
2.4.6	辅助变量	66
2.4.7	主变量	67
2.5	盐分追踪及示踪元素	67
2.5.1	原理	67
2.5.2	开关	72
2.5.3	参数	73
2.5.4	参数表	74
2.5.5	图示函数	74
2.5.6	状态变量	75
2.5.7	流量变量	76
2.5.8	辅助变量	77
2.5.9	主变量	78
2.6	灌溉	78
2.6.1	原理	78
2.6.2	开关	79
2.6.3	参数	79
2.6.4	参数表	80
2.6.5	状态变量	80
2.6.6	流量变量	80
第3章	植物水分过程	81
3.1	植物描述	81
3.1.1	原理	81
3.1.2	开关	86
3.1.3	参数	88
3.1.4	参数表	88
3.1.5	图示函数	92
3.1.6	辅助变量	97
3.1.7	文件	98
3.2	潜在蒸腾	98
3.2.1	原理	98
3.2.2	开关	101
3.2.3	参数	103
3.2.4	参数表	104

3.2.5	图示函数	106
3.2.6	辅助变量	112
3.3	根系对水分的吸收	113
3.3.1	原理	113
3.3.2	开关	117
3.3.3	参数	119
3.3.4	图示函数	121
3.3.5	状态变量	126
3.3.6	流量变量	126
3.3.7	辅助变量	127
3.4	截留	127
3.4.1	原理	127
3.4.2	开关	131
3.4.3	参数	131
3.4.4	参数表	132
3.4.5	图示函数	132
3.4.6	状态变量	134
3.4.7	流量变量	134
3.4.8	辅助变量	134
第4章	土壤蒸发及降雪和辐射过程	135
4.1	土壤蒸发	135
4.1.1	原理	135
4.1.2	开关	140
4.1.3	参数	141
4.1.4	图示函数	143
4.1.5	流量变量	145
4.1.6	辅助变量	146
4.2	降雪动力	147
4.2.1	原理	147
4.2.2	开关	153
4.2.3	参数	154
4.2.4	图示函数	158
4.2.5	状态变量	160
4.2.6	辅助变量	160
4.2.7	主变量	161
4.3	辐射过程	161
4.3.1	原理	161
4.3.2	开关	168

4.3.3 参数	168
4.3.4 参数表	169
4.3.5 图示函数	170
4.3.6 辅助变量	174
第 5 章 氮和碳——地上过程及一般功能	176
5.1 外部输入	176
5.1.1 原理	176
5.1.2 开关	177
5.1.3 参数	177
5.1.4 参数表	178
5.1.5 状态变量	178
5.1.6 流量变量	178
5.1.7 辅助变量	179
5.1.8 文件	179
5.2 植物生长	179
5.2.1 原理	179
5.2.2 开关	194
5.2.3 参数	196
5.2.4 参数表	201
5.2.5 图示函数	206
5.2.6 状态变量	211
5.2.7 流量变量	212
5.2.8 辅助变量	214
5.3 土地管理	216
5.3.1 原理	216
5.3.2 开关	217
5.3.3 参数	217
5.4 非生物常规功能	217
5.4.1 原理	217
5.4.2 开关	219
5.4.3 参数	219
5.4.4 图示函数	221
5.4.5 辅助变量	223
第 6 章 氮和碳——地下过程	224
6.1 土壤有机过程	224
6.1.1 原理	224
6.1.2 开关	230
6.1.3 参数	231
6.1.4 参数表	237

6.1.5	图示函数	238
6.1.6	状态变量	238
6.1.7	流量变量	239
6.1.8	辅助变量	242
6.2	矿质氮过程	244
6.2.1	原理	244
6.2.2	开关	250
6.2.3	参数	252
6.2.4	参数表	256
6.2.5	图示函数	257
6.2.6	状态变量	260
6.2.7	流量变量	260
6.2.8	辅助变量	261
6.3	气体过程	262
6.3.1	原理	262
6.3.2	开关	265
6.3.3	参数	266
6.3.4	参数表	267
6.3.5	图示函数	267
6.3.6	状态变量	269
6.3.7	流量变量	270
6.3.8	辅助变量	271
第7章	模型的一般特征	272
7.1	执行选项	272
7.1.1	执行序号	272
7.1.2	开始日期	272
7.1.3	结束日期	272
7.1.4	时间段比例	272
7.1.5	输出间隔	272
7.1.6	迭代数	272
7.1.7	时间分辨率	273
7.1.8	运行识别符	273
7.1.9	注释	273
7.2	附加的非生物变量	273
7.2.1	原理	273
7.2.2	参数	274
7.2.3	状态变量	275
7.2.4	辅助变量	276
7.3	附加生物变量	276

7.3.1 状态变量	276
7.3.2 流量变量	278
7.4 气象数据	278
7.4.1 原理	278
7.4.2 开关	280
7.4.3 参数	283
7.4.4 文件	284
7.4.5 图示函数	285
7.4.6 主变量	286
7.5 非生物主变量	286
7.5.1 原理	286
7.5.2 开关	287
7.5.3 参数	288
7.5.4 文件	289
7.5.5 主变量	289
7.6 数值	289
7.6.1 原理	289
7.6.2 开关	291
7.6.3 参数	291
7.6.4 辅助变量	292
7.7 技巧	292
7.7.1 原理	292
7.7.2 开关	293
7.7.3 参数	293
7.8 土壤剖面	294
7.8.1 原理	294
7.8.2 参数表	294
7.9 主变量和有效变量文件结构	295
7.9.1 在用户控制程序中准备用户数据(指定时间)	295
7.9.2 PG 程序中的重要数据	295
7.9.3 在 CoupModel 中选择驱动和有效性数据文件	298
7.9.4 PG 概要注释	298
7.10 常数列表	298
第 8 章 致谢及注释	300
8.1 致谢	300
8.2 重要术语解释	300
8.3 参考文献	301
8.3.1 模型构建参考文献	301
8.3.2 其他参考文献	303

第0章 综合模型概述

0.1 综合模型简介

0.1.1 阅读指南

Coup-Model 是原来的 WinSoil Model 的升级版本(Jansson,1998)。“Coup”来自于单词 coupled,实际上 Coup-Model 是由能综合成一个模型体系的若干不同的亚模型组成的。原来的 SOILN Model (Eckersten et al.,1998;Johnsson et al.,1987)作为一个完整的部分集成于新的 Coup-Model 之中,使得模型所描述的多层林冠截留和植物水分吸收过程更为符合实际情况。对于新的 Coup-Model,本书中主要修改了与热量和水分运动的相关内容。本书内容也是 Coup-Model 2.0 版本帮助程序中的一部分。

无论读者是否为 WinSoil 或 SOILN Model 的早期使用者,在阅读本书后,对于模型的运用均将有所受益。“综合模型概述”作为背景章节,介绍了设计模型的基本想法和使用这个模型的主要目的。对于一个新的 Coup-Model 使用者来说,从本章开始阅读将会是学习和使用模型的良好开端。

在“0.3 模型结构”一节中,描述了模型的基本结构和不同亚模型间是如何连接的。在使用模型前阅读该部分内容是十分有益的。它描述了模型中的不同过程(例如,植物水分过程或者土壤热量过程)。后面几个章节将分别介绍热量过程、土壤水分过程、植物水分过程、大气和积雪过程及氮、碳过程,这些过程在模型中与一定的模块启动选项相对应。

本书中各章节采用统一格式进行编排。首先,介绍了模型的假设理论,随后,对可选择的路径、开关,以及进行参数比较和有关不同参数功能与参数值的定义,以参数表格形式进行说明。此外,每一章节后附有绘成图件的例子,以及模拟过程中的一系列输出变量。这些图表可作为模型使用的参考。关于输入数据运用的技巧及不同的输入和输出设定方法,则记录在独立的章节——“模型的一般特征”中。

本书简要地讨论了运用模型的经验、不同方法的正确性和不同事例的参数值,关于模型运用的细节问题在科技文献中有详细阐述。本书后附有关运用模型的参考文献和参考书目(详见第8章)。

0.1.2 帮助系统介绍

与 Coup-Model 相关的帮助系统有两个:第一个是标准帮助系统,与 Windows Help 系统相似,按 F1 按钮,一般能够得到你需要的帮助信息。这个系统提供关于程序运行过程中的大多数方面的技巧,如确认文件或如何运用数据库。第二个帮助系统是与本书内容相一致的超文本格式,该帮助系统可通过点击编辑菜单的帮助按钮获得,输出菜单描述