

张小全 徐德应 著

森林生长和产量 生理生态模型

中国科学技术出版社

ECOPHYSIOLOGICAL MODELLING ON FOREST

XIAO-QUAN ZHANG & DEYING XU

CHINA SCIENCE & TECHNOLOGY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

森林生长和产量生理生态模型/张小全, 徐德应著. —北京:
中国科学技术出版社, 2002.6

ISBN 7-5046-3273-2

I. 森... II. ①张...②徐... III. ①森林-生长发育
-模型②森林-产量-模型③森林-生理生态模型 IV. S718

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 018901 号

中国科学技术出版社出版
北京市海淀区中关村南大街 16 号 邮政编码: 100081
电话: 62179148 62173865
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
北京印刷学院实习工厂印刷

*

开本: 787 毫米 × 1092 毫米 1/16 印张: 13.375 字数: 1400 千字
2002 年 6 月第 1 版 2002 年 6 月第 1 次印刷
印数: 1—1000 册 定价: 40.00 元

前 言

森林生长和产量的模拟和预测工作,从1795年在德国对几个树种建立产量表开始,至今已有200多年的历史。由于树木生长和产量模型的理论价值和其在森林资源管理方面的实际应用价值,使其越来越受到各国林学家和森林资源管理者的重视。

森林生长和产量模型,按其建模方法可分为三类,即经验模型(Empirical Model)、机理模型(Mechanistic Model)和混合模型(Hybrid Model)。经验模型是以林分生物量和生长结构测定为基础的产量模拟方法,使其能在环境条件和管理措施不变的情况下对未来森林生长和产量进行准确的分析和预测;但它又是经验性的,对于未来气候和环境变化以及人为干扰下的生长和产量预测,则显示出它的局限性和不灵活性。森林生长和产量的生理生态模型属机理模型,它是以光合作用同化 CO_2 为基础,研究和模拟林分生长和产量形成的全过程及其与环境因子的关系,因此又称“过程模型”(Process-based Model),它克服了经验模型的弱点,可以预测未来变化条件下的森林生长和产量。

光合作用对 CO_2 的同化是森林生态系统能量流动和物质循环的基础,是决定森林生产力的最重的生理过程;同时光合作用及其生产力的形成又受各种外部条件和内部微环境以及树木自身光合生理生态特性的影响。以光合作用固定 CO_2 为基础,研究和模拟森林生长和产量形成的全过程及其与环境的关系,是树木生理生态学和产量生态学中最活跃的研究领域之一,它对于揭示林木产量形成的生理生态学原理和调控机制,最大限度地提高森林生产力,以及对未来环境变化和人类干扰下的森林生长和产量的模拟和预测,具有重要的理论价值和现实意义。特别是全球变化日益成为各国政府、科学家和公众关注的热点,森林生长和产量形成的生理生态过程模型越来越受到森林研究和管理人员的重视。

本书是国家自然科学基金项目“杉木人工林光合作用尺度转换研究”的研究成果,该项目的初衷是通过实验生理生态学方法测定杉木人工林的光合生理生态参数、冠层结构因素和生物生长量,在此基础上建立从叶簇到冠层光合作用的尺度转换模型,并对杉木人工林的光合生产力与环境的关系进行模拟。我们注意到,林木生长和产量模型要求估算出月、季节或年生产力,而所采用的生理生态参数通常基于叶片、叶簇或小枝水平的测定,这就要求解决尺度的上升转换问题。由于林冠结构及其辐射场的复杂性和动态特性、叶片光合生理生态特性随林分年龄、时间和空间尺度的变化以及同化产物分配的复杂性等,使林木生长和产量的生理生态过程模拟变得异常复杂和困难。为此,我们认为有必要对森林生长和产量形成的生理生态模拟所涉及到的相关生理生态过程及其模拟方法进行归纳和总结。

本书包括两大部分,第一部分介绍了森林生长和产量模型的类型、历史、现状和未来发展趋势,以及森林生长和产量的生理生态模拟的理论和方法,包括叶片水平的光合生理生态及其模拟、冠层结构特征及其模拟、冠层辐射分布及模拟、冠层光合生产的模拟、呼吸作用及光合产物分配及其模拟等。第二部分是杉木人工林生长和产量的生理生态模拟的个例研究。该部分首先通过杉木光合生理生态的研究测定,获取必

要的叶片水平的光合生理生态参数；同时在对冠层叶面积及其密度分布的研究和模拟基础上，对冠层辐射场进行了模拟；最后通过针叶生理生态参数和冠层辐射场空间数据的耦联，建立了 PHOTOS 模型，结合气象观测数据，对单棵平均木日、季节和年净同化量、呼吸量及净初级生产量进行了模拟和验证。但这也仅仅是一种尝试，有待于进一步的改进。

在本书编写过程中，深感树木生理学功底的不足，因此尽可能避免过多的树木生理学理论问题的探讨，而着重于应用现有的原理、假定和模拟方法。基于同样的原因，加之时间仓促，本书错漏之处在所难免，殷切期盼有关专家和读者批评指正。

本项目负责人为徐德应研究员，项目参加人为张小全、肖文发、赵茂盛。此外熊伟、陈仲庐、黄小兵等 20 余位同志参加了部分野外测定和室内工作。野外工作期间得到国家林业局江西大岗山森林生态系统定位研究站的支持。

著 者

2001 年 5 月

目 录

上篇 森林生长和产量生理生态模型的理论与方法

第一章 绪 论	3
第一节 森林生长和产量模型概念与内涵	3
第二节 森林生长和产量模型的类型	5
第三节 森林生长和产量过程模拟的历史与现状	12
第四节 森林生长和产量模拟的发展趋势	14
第二章 叶片水平的光合生理生态模拟	16
第一节 光合作用机理模型	16
第二节 光合作用的稳态光响应	20
第三节 光合作用的动态光响应	22
第四节 光合作用对温度的响应	28
第五节 光合作用对水分的响应	31
第三章 冠层结构模拟	33
第一节 冠层结构的概念和结构参数	33
第二节 冠层结构测定方法	34
第三节 树冠结构	36
第四节 叶、叶面积及其空间分布模型	38
第五节 叶角分布与消光系数	43
第四章 冠层辐射场及其模拟	46
第一节 冠层上方辐射场	46
第二节 水平同质冠层辐射场模拟	50
第三节 簇生叶冠层辐射场模拟	53
第四节 冠层结构对辐射模拟的影响	56
第五章 冠层光合作用模拟	62
第一节 量子效率法	62
第二节 辐射模型与叶片水平光合模型耦合	63
第三节 微气象方法	71
第六章 呼吸作用	77
第一节 维持呼吸	77
第二节 生长呼吸	81

第七章 产物分配模拟	82
第八章 模型评价	88

下篇 杉木人工林生长和产量的生理生态模型

第九章 杉木人工林针叶光合生理生态	93
第一节 光合特性	93
第二节 稳态光响应	101
第三节 动态光响应	107
第四节 对温度的响应	114
第五节 对 CO ₂ 浓度的响应	121
第十章 杉木人工林冠层结构	127
第一节 冠形与分枝结构	127
第二节 叶面积及空间分布	129
第三节 叶面积密度及其空间分布	132
第四节 叶面积及叶面积密度的季节动态	136
第十一章 杉木人工林冠层辐射场模拟	138
第一节 理论计算	138
第二节 应用与验证	147
第三节 不确定性分析	157
第十二章 杉木人工林树冠光合生产力模拟	159
第一节 理论方法	159
第二节 应用与验证	167
第三节 不确定因素分析	168
第十三章 杉木人工林冠层辐射和光合生产力应用模型——PHOTOS 模型简介 ...	169
参考文献	183

上 篇

森林生长和产量生理生态模型 的理论与方法

第一章 绪 论

第一节 森林生长和产量模型概念与内涵

1 模型和模拟

模型 (Model) 是系统的某种简化表达方式。所谓系统, 是若干组成部分结合而成的, 具有特定功能的有机整体。系统具有要素之间关联性和系统功能的整体性特征。

模型分为数学模型和物理模型, 森林生长和产量模型属数学模型范畴。数学模型按其建模目的、模拟手段和模型结构又有不同的分类形式。按研究目的可分为研究模型与管理模型, 外部模型与状态模型; 按模拟手段可分为机理模型与经验模型; 按系统变量是否为时间的函数可分为动态模型与静态模型; 按系统变量的随机性或确定性可分为确定性模型与随机性模型, 根据函数关系的线性与否可划分为线性模型与非线性模型等。

模拟 (Modelling) 是构建模型的手段和方法以及与系统有关的模型性能的研究, 或者说是模型建立和检验、评价的过程。由于模型是系统的某种抽象或简化, 而系统可以大到宇宙、地球, 也可以小到原子、分子。因此模拟工作首先要明确建模目的或目标, 定义所要模拟的系统及其边界, 确定系统的结构要素、要素间的相互关系及其与外部要素的相互作用和影响, 确定系统的状态变量、率量变量、辅助变量、外部变量, 并对其相互关系进行定量化, 估计有关参数, 进行模型转换、验证、灵敏度分析和评价。

2 森林生长和产量模型

森林生长迫切需要通过间接的途径获得森林生长和产量的有关信息。同时森林经营管理者也需要了解一定条件下森林未来的生长和产量, 因为森林经营有赖于资源现状和未来发展的有关信息进行科学决策。森林生长和产量模型不但可迅速提供当前森林资源信息, 而且可描述森林生长的动态过程, 预测未来生长和产量, 并为决策者提供经营方案的评价依据, 因此在森林资源管理中具有广泛的应用价值。随着数学、控制论、计算机和信息技术等的飞速发展和广泛应用, 以及森林生长和产量的估计、预测和森林资源管理的需要, 森林生长和产量模型自产生以来, 越来越受到林业科技人员和管理工作者的重视。Battaglia & Sands (1998) 对森林生产力过程模型在森林经营中的应用进行了详细的讨论。归纳起来, 建立森林生长和产量模型具有如下几方面的应用价值:

(1) 对森林生长和产量形成这一复杂的过程进行系统化、概念化和定量化, 有助于进一步揭示森林生长和产量形成的基本规律。

(2) 对现有森林的生长和产量进行预测和评价。

(3) 适地适树规划: 为特定树种选择造林地或为特定立地选择造林树种。

(4) 分析森林生产力的限制因子。

(5) 对人工林经营和森林资源管理方案进行风险评价。

(6) 用于特殊的研究目的, 如气候变化、污染对森林可能影响的评价和预测, 树木结

构和功能关系理论假设的提出和检验等。

然而，森林生长和产量模型因用户所关心的问题不同，其具体目标千差万别。他们所关心的问题可能包括木材材积的预测、使产量最大化、估测气候变化和污染等对森林生长和产量的影响、林地可持续经营管理等方面。

森林生长和产量模型的总体结构应该与其应用目的一致。但由于模型结构越复杂，不确定性越大，但功能越强，适用范围越广。模型中每增加一个变量、输入参数或子过程就会增加其在预测中的误差，特别是当增加的过程或参数难以直接测量时，尤为如此（Gardener et al., 1990）。因此，最佳的模型结构应是既能解决用户所提出的问题并保证其精度，其结构也最简单（Battaglia & Sands, 1998）。这就需要在模型的功能和适用性与其复杂性之间找到一个恰当的平衡点。这里的复杂性是指模型中的环境变量、过程、流和状态变量等的数量。一个复杂的模型往往包括无数的反馈环，可以模拟和预测多个植物和土壤库的状态以及生长和产量对许多环境因子的响应，同时模型的运行也要求大量的参数。例如一个模型可简单到只有年龄这一个输入参数，但复杂的模型可能要求数十以至上百个土壤、植物和大气等方面的参数。

由于森林生长和产量形成过程包括一个尺度的动态过程，即时间尺度可从秒→分→小时→天→月→年→几十年→世域纪，空间尺度可从叶绿体或叶肉细胞→单叶或叶簇→树冠→单株→林分→群落→生态系统→区域→全球；各种环境变量和人为干扰或管理措施发生于不同的尺度上，如图 1.1。没有一个通用模型能满足各个尺度上的需要，这就决定了模型的结构和功能必须是多样化的（Battaglia & Sands, 1998）。不同尺度的模型可满足不同的应用目的，因此很难断定一种模型比另一种模型好，而且不同的模型常常可以相互补充。

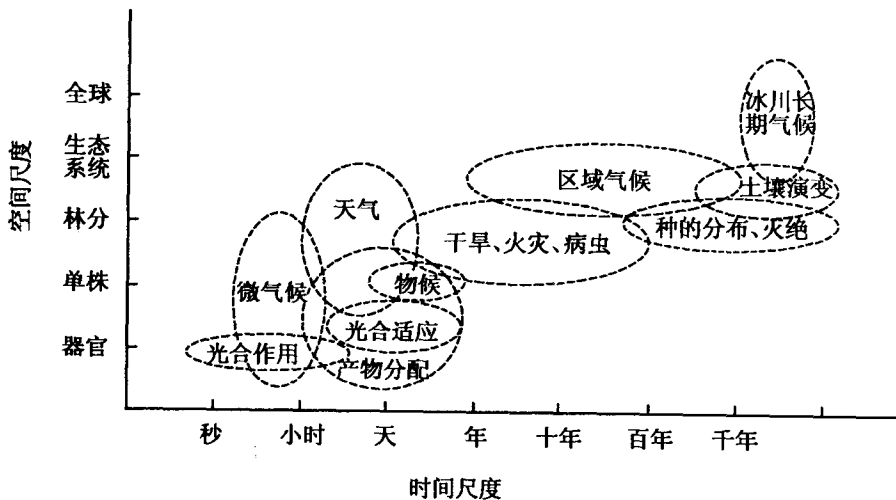


图 1.1 自然过程的时空尺度（引自 Battaglia&Sands,1998）

详细而高度参数化的模型，通常用于回答较小的空间和较短的时间尺度上的具体问题。由于这类模型中的各种因素和相互关系更接近实际，因而更便于用户对所关心的过程进行分析。在结构上只对主要部分内容高度细化而简化处理其他部分。随着时间和空间尺度的放大变长，复杂的非线性过程可以通过简单的甚至是线性函数来表达，使模型中的数学关系越来越简单。建立在长期的或区域尺度上的模型往往忽略短期的变化和动态反馈

(Titak & van Grinsven, 1995), 仅以代表较低尺度上各个过程平均特性的几个参数来简化复杂的过程, 通过尺度向上转换来实现建模的目的 (Isebrands & Burk, 1992)。例如, 用冠层导度来代表的气孔控制行为, 而不是模拟每个叶片的气孔导度。

第二节 森林生长和产量模型的类型

森林生长和产量模型可简单至一个方程, 也可复杂到由一系列相互联系的子模型构成的模型系统, 与其他模型一样, 其分类因其建模目的、方法手段、模拟对象而异。传统的森林生长和产量模型分类是以定义生长过程的变量为依据。Munro (1974) 和 Burkhart (1990) 据此将生长和产量模型分为林分模型 (Stand growth model) 和单木模型 (Individual tree model)。林分模型用断面积、优势高、蓄积和描述林分直径分布的有关参数来描述林木群体的生长和产量以其自然环境条件和人为干扰的响应。林分模型可进一步分为生长和收获方程 (Growth and yield equation) 和径阶模型 (Size-class model) (Vanclay, 1994)。生长和收获方程相对简单, 要求参数少, 但不能获得林分内单株树木的有关信息。该类模型对模拟人工林十分有用, 但在模拟种类和径级分布较复杂的混交林时则有很大的局限性。径阶模型的基本模拟单位是径阶标准木, 它代表了同一径阶林木的平均状况, 可解决异龄林分的生长和产量模拟问题。单木模型以单株树木为基本单元, 利用林分中单株树木相互间的空间信息, 模拟其生长、死亡和产量, 并通过求和的方法获得林分生长和产量信息 (Gadow 和惠刚盈, 1998; Peng, 2000)。此外在比林分模型更大的尺度上, 有生态系统模型 (Ecosystem model) 和区域模型 (Regional model) 之分, 后者还可进一步划分为以高度概括的年龄收获方程表示的区域收获模型 (Regional yield model) 和以气候变量表达的气候生产力模型。根据模型结构及其对模拟系统的过程描述的不同, 可将生长和产量模型划分为经验模型、机理模型 (过程模型) 和混合模型 (Landsberg, 1986; Kimmins, 1990; Mohren et al., 1994)。林分模型和区域模型属经验模型, 单木模型可以是经验性的, 也可以是机理性的。机理模型还包括生态系统模型。各种模型分类的相互关系如图 1.2。

根据模型结构及其对模拟系统的过程描述的不同, 可将生长和产量模型划分为经验模型、机理模型 (过程模型) 和混合模型 (Landsberg, 1986; Kimmins, 1990; Mohren et al., 1994)。林分模型和区域模型属经验模型, 单木模型可以是经验性的, 也可以是机理性的。机理模型还包括生态系统模型。各种模型分类的相互关系如图 1.2。

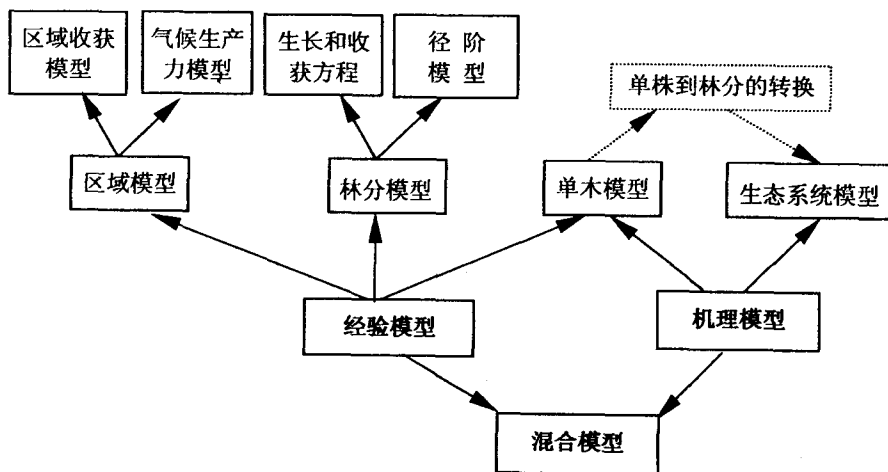


图 1.2 森林生长和产量模型分类

1 经验模型

经验模型又称为统计模型,是以林分生物量积累和生长结构测定为基础的生长和产量模拟方法,主要起源于18世纪的中欧。主要是利用统计学原理,根据大量的野外测量数据,用地位指数、年龄、林分密度和断面积等变量表达林木生长和产量,建立回归方程,并用于生长和产量的模拟和预测。经验模型有赖于林木的生长过程,其输入和输出是经过观察、记录和测量的,所运用的数学函数都是经过推导和证明的。

利用经验模型,林分或林木的生长和产量可通过年龄、树高、胸径、株数、胸高断面积、地位指数进行计算。林分动态模型往往还要求生长曲线、死亡概率和林分径级分布函数等方面的信息。经验模型结构简单、变量少,易于与管理或营林措施结合。因此经验模型为森林资源管理者提供了获取生长和产量信息的有用工具,特别是利用当地的数据得到的经验模型。但是,利用经验模型得到的信息只能代表过去生长环境和管理措施下的平均生长和产量,因而仅适用于生长条件变化不大的短期产量预测,对于未来长期气候或环境变化和异常人为干扰下的生长和产量预测,则显得无能为力。例如发生异常的干旱或降水、病虫害大发生等不可抗逆的环境变化以及施肥、灌溉、抚育间伐等管理方式的改变,用经验方程进行预测则可能会出现较大的误差(Kimmins, 1990)。

1.1 生长模型

主要是根据林分或林木生长量(树高、胸径、地径等)与年龄、地位指数的相关关系,利用最小二乘法建立回归方程,用于生长预测。常用的生长方程如:

$$\text{Logistic 生长方程: } Y = \frac{k}{1 + a \cdot e^{-b \cdot x}} \quad (1.1)$$

$$\text{Chapman-Richards 曲线: } Y = a \cdot (1 - e^{-k \cdot X})^b \quad (1.2)$$

$$Y = a \cdot S I^b \cdot (1 - e^{-k \cdot X})^c \quad (1.3)$$

$$\text{John-Schumacker 曲线: } Y = a \cdot e^{-b/X} \quad (1.4)$$

$$\text{Mitscherlich 单分子曲线: } Y = a \cdot (1 - e^{-b \cdot X}) \quad (1.5)$$

$$\text{二次抛物线: } Y = a + b \cdot X + c \cdot X^2 \quad (1.6)$$

$$\text{指数曲线: } Y = a + b \cdot e^{c \cdot X} \quad (1.7)$$

$$\text{对数函数: } Y = a + b \cdot \ln X \quad (1.8)$$

$$\text{单分子曲线: } Y = \frac{1}{a + b \cdot e^{-c \cdot X}} \quad (1.9)$$

式中: Y 为胸径或树高等生长因子; X 为自变量 (时间); SI 为地位指数; k 、 a 、 b 、 c 为待定参数。

1.2 产量或收获模型

通过建立林分或林木蓄积量或生物产量与胸径、树高、断面积等的回归方程估测林分或林木蓄积量或生物生产量。常用的蓄积模型的数学表达式为:

$$\text{一元幂函数:} \quad V = a \cdot D^b \quad (1.10)$$

$$\text{二元幂函数:} \quad V = a \cdot D^b \cdot H^c \quad (1.11)$$

其他 (Gadow 和惠刚盈, 1998):

$$V = a \cdot G \cdot H_{\text{优}} \quad (1.12)$$

$$V = G \cdot H_{\text{优}}^{(a+b \cdot t)} \cdot e^{(c+d \cdot t)} \quad (1.13)$$

常用的生物产量模型如:

$$\text{一元线性方程:} \quad W = a + b \cdot D \quad (1.14)$$

$$\text{一元幂函数:} \quad W = a \cdot D^b \quad (1.15)$$

$$W = a \cdot H^b \quad (1.16)$$

$$\text{指数函数:} \quad W = a \cdot e^{b \cdot D} \quad (1.17)$$

$$W = a \cdot e^{b/D} \quad (1.18)$$

$$\text{双曲线:} \quad W = a + b/D \quad (1.19)$$

$$1/W = a + b/D \quad (1.20)$$

$$\text{对数函数:} \quad W = a + b \cdot \log D \quad (1.21)$$

$$\text{一次抛物线:} \quad W = a + b \cdot D^2 \quad (1.22)$$

$$\text{二次抛物线:} \quad W = a + b \cdot D + c \cdot D^2 \quad (1.23)$$

$$\text{单分子曲线:} \quad W = 1/a + b \cdot e^{-c \cdot D} \quad (1.24)$$

$$\text{其他:} \quad W = a \cdot (D^2 \cdot H)^b \quad (1.25)$$

$$W = a \cdot (D \cdot H)^b \quad (1.26)$$

$$W = a + b \cdot (D^2 \cdot H) \quad (1.27)$$

$$\ln W = a + b \cdot \ln(D^2 H) + c \cdot D^2 H \quad (1.28)$$

相容性生物量模型 (张会儒等, 1999; 唐守正等, 2000)

$$W = a \cdot D^b \cdot V \quad (1.29)$$

$$W = a \cdot H^b \cdot (C_w^2 \cdot C_l)^c \cdot V \quad (1.30)$$

$$W = a \cdot D^b \cdot H^c \cdot V \quad (1.31)$$

$$W = a \cdot (D^2 \cdot H)^b \cdot V \quad (1.32)$$

$$W = a \cdot V \quad (1.33)$$

$$W = a \cdot D^b \cdot C_w^c \cdot V \quad (1.34)$$

式中: V 为蓄积量; W 为各器官或总生物量; t 为时间 (年); a 、 b 、 c 、 d 为待定参数; D 、 H 为胸径 (地径) 和树高; $H_{\text{优}}$ 为优势高; C_w 为冠幅; C_l 为冠长。我国对不同地区主要树种和森林类型蓄积生长、生物量和生产力已进行过大量的研究测定, 建立了大量生物生产力的相对生长模型 (冯宗炜等, 1999) 和一元和二元材积生长模型。

1.3 气候生产力模型

20 世纪 70~80 年代, 为预测区域或更大尺度的净第一性生产力, 研究人员通过收集各地第一性生产力资料及相关的气候参数 (温度、降水、蒸散等), 建立了基于气候要素的气候生产力模型, 并利用气候环境因子计算森林生物生产力。该类模型主要适于地区、区域、陆地乃至全球尺度的预测研究。比较著名的气候生产力模型有:

(1) Lieth-Box 模型 (Lieth et al., 1985)

迈阿密 (Miami) 模型:

$$NPP = 3000 \cdot (1 + e^{1.315 - 0.1196 \cdot T}) \quad (1.35)$$

$$NPP = 3000 \cdot (1 + e^{-0.000664 \cdot P}) \quad (1.36)$$

Thornthwaite 纪念模型:

$$NPP = 3000 \cdot (1 - e^{-0.00009695 \cdot (E - 20)}) \quad (1.37)$$

$$E = \frac{1.05P}{\left[1 + (1.05P/L)^2\right]^{1/2}} \quad (1.38)$$

(2) 筑后 (Chikugo) 模型 (Uchijima & Seino, 1985, 1988)

$$NPP = 0.29 \cdot e^{-0.216 \cdot (RDI)^2 \cdot R_n} \quad (1.39)$$

式中: NPP 为净第一性生产力 ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$); T 、 P 、 E 分别为温度 ($^{\circ}\text{C}$), 年均降水量 (mm)、年蒸发散量 (mm); L 为水分蒸发潜热 ($\text{cal} \cdot \text{g}^{-1}$); RDI 和 R_n 分别为辐射干燥指数和年净辐射 ($\text{kcal} \cdot \text{hm}^{-2}$)。

我国学者曾用上述模型对我国森林植被净第一性生产力进行了估计 (贺庆棠, 1986; 侯光良等, 1990; 袁嘉祖, 1991; 张宪洲, 1992; 朱志辉, 1993; 张新时, 1993)。刘世荣等 (1994) 建立的我国森林群落气候生产力模型为:

$$NPP = e^{1.90265180 + 0.08740481 \cdot T} \quad (1.40)$$

$$NPP = 39.76185 \cdot e^{-932.514657/P} \quad (1.41)$$

$$NPP = 2.486139 + 0.402458 \cdot T + 0.00798 \cdot P \quad (1.42)$$

2 机理模型

机理模型 (Mechanistic model) 又称为过程模型 (Process model 或 Process-based model), 是建立在经验模型所积累的知识之上的、用一系列在较低尺度上的过程及相互间和与环境因素之间的关系来描述整个系统的行为。这种较低尺度上的过程在较高一级的尺度上通常可用一系列简单的数学关系来表达。换言之, 过程模型通常由一系列描述较低尺度上过程的子模型组成, 低尺度子模型的输出往往构成较高一级尺度模型的输入。以生理生态为基础的森林生长和产量模型是以叶片水平 CO_2 同化过程为基础, 通过研究和模拟森林能量利用的全过程来描述森林生长和产量。包括冠层结构和冠层辐射场的模拟、叶片水平的光合作用和呼吸作用及其与环境因子 (光照、温度、水分、 CO_2 浓度等) 的关系、冠层水平的同化和呼吸模拟计算以及光合产物在林分中各生物组织层次上的分配等, 其基本结构如图 1.3 所示。

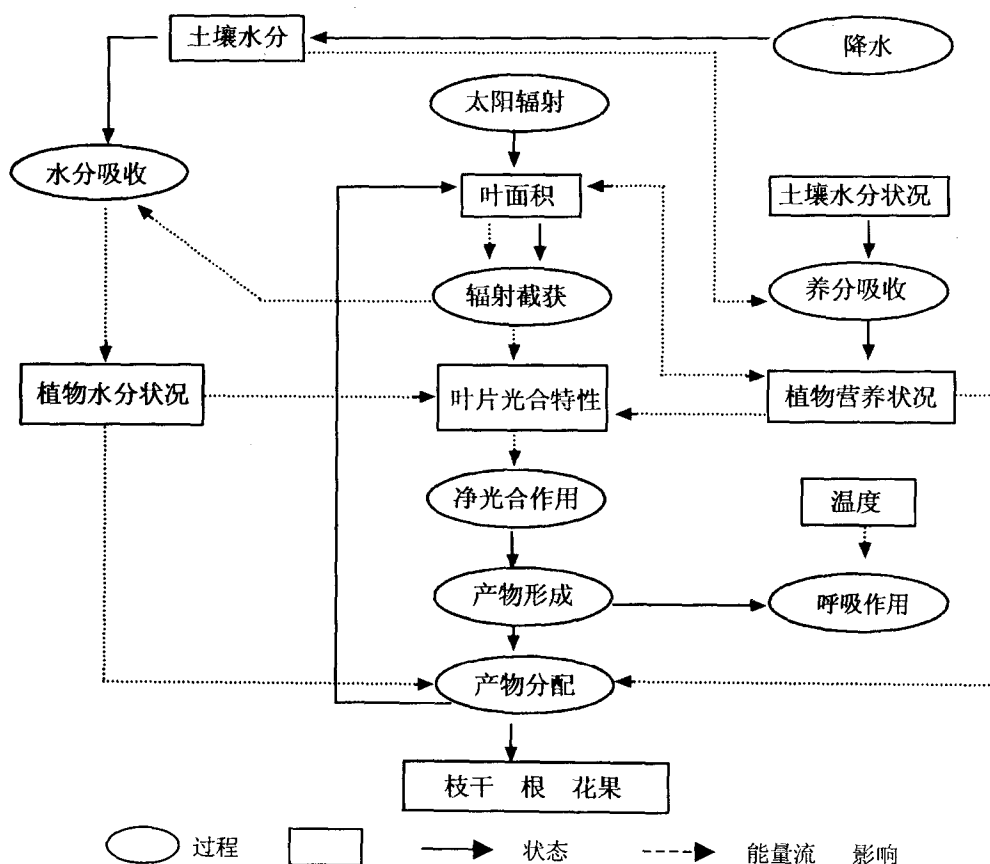


图 1.3 林木生长和产量生理生态过程模型示意图 (引自 Landsberg, 1986)

林木生理生态过程与景观生态学、水文学、全球变化等过程一样,均存在尺度问题。因此森林生长和产量过程模型,要解决的一个关键问题就是单叶或叶簇到树冠或冠层的光合作用尺度转换。林木光合作用和呼吸作用的测定和模拟通常是在单叶或叶簇尺度上进行,时间尺度通常为数秒。复杂的冠层结构,使环境变量在时间和空间上呈动态特性,而光合作用对环境因子的响应为非线性,使单叶到冠层光合作用的尺度转换变得异常复杂和困难,存在较大的不确定性。

尽管机理模型是对现实系统过程的仿真,但由于对某些机理过程还不十分了解,以及不同尺度间的转换等问题,机理模型存在较大的不确定性;同时该类模型常包括许多难以获取的或未知的参数,因此在实际的森林资源管理中应用较少,且一般是将过程模型融合到管理模型中 (Sands et al., 2000)。但是机理模型提供了一种可用于假说检验或提出假说的工具,使我们能够更准确地描述系统过程及其与环境因子之间的相互作用 (Landsberg & Gower, 1997),因此它可以在较长的时间内预测环境变化下的森林生长和产量,具有很强的研究用途。

Peng (2000) 对经验模型和过程模型的主要特征进行了比较 (表 1.1)。经验模型的优点往往是机理模型的缺点,反之亦然。但两类模型并不是水火不容的,事实上可以将两类模型融合成一类新的混合模型,以克服各自的缺点。