

森林材积估测和 收获预估

卷2 — 收获预估



森林材积估测和收获预估

卷2 — 收获预估

英国，英联邦林学会

D. 奥尔德 著

联合国粮食及农业组织

罗马 1980

本出版物中所使用的名称以及材料的编写方式，并不意味着联合国粮食及农业组织关于任何国家、领土、城市或地区或其当局的法律地位，或者关于其边界或界线的划分表示任何意见。

M-35

ISBN 92-5-500923-0

本书版权属于联合国粮食及农业组织。未经版权所有者书面许可，不得以任何方法或程序全部或部分复制本书。申请这种许可应写信给联合国粮食及农业组织出版处处长，并说明复制的目的和份数。地址：Via delle Terme di Caracalla, 00100 Rome, Italy.

© 1980年 粮农组织

前 言

估测树木和林分材积的能力以及在不同立地上根据特定育林措施预估森林将生产些什么的能力，是与林业有关的一切规划程序的中心问题，对此，在森林经理人员之间可能没有什么争议。然而，对于“收获”是由什么构成，如何进行估测，以及如何设想其未来，却有着相当大的分歧。

本书的目的就是介绍树木和林分材积估测及森林收获预估这一领域内目前的一些常规做法，希望对那些负责材积估测和收获预估工作而又尚未利用过这方面广泛经验的人多少有些实用价值。

但必须知道，这是人们正在努力探索的领域，目前处于快速发展状态，尤其是在热带环境下森林生长方面。因此必须认为本书所述一切是暂时性的，对可能出现的特定情况要作进一步改进，或者可能发展出新技术，同时，可能存在着本书未提到的别的技术，它们对特定目的可能是优越的。

因此，从实际意义上来说本书并不是规程，说得确切些，它是一套工作程序选择的指导性准则，并有某些具体情况下计算技术的详细说明。

本书主要针对热带地区编写的，对天然和人工森林都适用。由于评估天然混交异龄林的生长和收获有巨大困难，本书介绍的建立生长模型的方法主要用于同龄林。对混交林未作专门说明，只对处理这种问题的可能途径列举了一些例子。

本书共两卷。第一卷是叙述树木量测及树木和林分材积评估的技术，第二卷是介绍生长和收获预估。有关统计和数学方法、选用的统计表、计算和数据记载的空白表以及参考文献，可见附录。

第一卷由法国马恩河畔诺浪热带林业技术中心的弗朗西斯·凯利兹编写，第二卷以及附录由英国牛津英联邦林学会的丹尼斯·奥尔德编写，瑞典乌普萨拉瑞典农业大学的耶兰·弗里埃斯对本书作了协调整理。粮农组织森林资源处的琼-保罗兰利和卡恩·迪尤·辛格对本书编写提出了方案和指导。热带森林技术中心的琼·克莱门特参加了本研究的初期阶段。

在1979年9月牛津举行的国际林业研究机构联盟S 4.01专题小组（测树、生长和收获）会议上曾对本书初稿作过介绍，并花了一整天时间进行了讨论。参加会

议的有粮农组织专门邀请的热带林测树专家，他们对本书内容作了详细而严格的审阅。此外，还曾把本书寄给一些专家以征求他们的意见。有关作者再根据这些专家的评论对本书进行了修订。

作为热带林业领域内第一部这样的著作，本书在很大范围内有进一步改进和补充的余地。特别是就混交异龄林分而言，还急需进一步补充研究。有关这方面的一切建议都将受到极大重视。

林 业 司

助理总干事

M. A. 弗洛里斯·罗达斯

目 录

	<u>页次</u>
1. <u>绪论——生长和收获预估的问题</u>	1
1.1 预估生长和收获的缘故	1
1.1.1 生产规划	1
1.1.2 育林研究和规划	1
1.1.3 生态学研究和环境管理	1
1.2 生长和收获预估的方法论	2
1.2.1 生长和收获的估计	2
1.2.2 数学模型的建立和将其拟合于生长和收获数据	3
1.2.3 模型有效性的检验	3
1.2.4 模型应用于所要求的使用目标	3
2. <u>收获预估研究的设计</u>	5
2.1 回归参数估计的特点	5
2.2 建立模型的抽样设计	5
2.2.1 临时样地	6
2.2.1.1 森林清查	6
2.2.1.2 从年轮估计生长量	6
2.2.1.3 同体异量关系的抽样	6
2.2.1.4 确定采伐作业参量的抽样	6
2.2.1.5 更新调查	7
2.2.2 固定样地	7
2.2.2.1 需要的固定样地数	7
2.2.2.2 固定样地的配置	8
2.2.2.3 固定样地的大小	8
2.2.2.4 固定样地的形状	9
2.2.2.5 复测间隔期和频度	9

	页次
2.2.2.6 部分替换抽样	10
2.3 试验设计	10
2.3.1 随机设计	11
2.3.1.1 随机区组试验	11
2.3.1.2 析因试验	12
2.3.2 系统设计	13
2.3.2.1 单株树试验	13
2.3.2.2 连接小区	14
2.4 生长和收获试验的例子	15
2.4.1 均一林	15
2.4.1.1 间距试验	15
2.4.1.2 恒值断面积间伐试验	15
2.4.1.3 利用间伐处理分类的间伐试验	16
2.4.1.4 含有间伐处理不同成分的析因试验	16
2.4.2 复杂林	16
2.4.2.1 随机区组设计	17
2.4.2.2 处理的限定	17
2.2.2.3 测量和样地设计	17
3. <u>资料收集和初步分析的步骤</u>	19
3.1 样地的设置	19
3.1.1 定位	19
3.1.2 固定样地的现地标记	19
3.1.3 边界树的确定	19
3.1.4 树木的标记	20
3.1.5 绘制样地内树木位置图	20
3.1.6 边界树的身分号	21
3.2 样地测量方式和初步分析	21

3.2.1	均一林	21
3.2.2	复杂林	25
3.2.3	固定样地的初次估算	26
3.3	树干解析程序	28
3.4	树木生长量估计的专门方法	29
3.4.1	简单测定	29
3.4.2	板根树的复测	29
3.4.3	测围带	30
3.4.4	年轮的测量	31
3.5	优势木高度的间接估计	32
4.	<u>数据存储系统</u>	34
4.1	基于计算机的数据存储系统的优点	34
4.2	数据核实	35
4.3	编制计算机程序的合同	36
4.4	样地数据存储系统	36
4.4.1	引言	37
4.4.2	文件结构	37
4.4.3	误差检查和校订功能	38
4.4.4	样地累加	39
4.4.5	其他应用	39
4.4.6	数据库的安全措施	39
4.5	计算机系统之间的数据传递	40
5.	<u>均一林的生长和收获数据分析</u>	41
5.1	立地分类	41
5.1.1	用优势高作为立地指标	41

5.1.2	地位指数曲线的制定	42
5.1.2.1	图解法制定曲线	42
5.1.2.2	拟合地位指数曲线的数学方法	43
5.1.3	以环境因子为基础的立地评估模型	62
5.1.3.1	地位级预估的函数模型	62
5.1.3.2	环境变量的选择和构成	63
5.1.3.3	立地评估函数应用中的问题	63
5.2	预估收获的静态方法	64
5.2.1	以直径/树高函数为基础的图解法	65
5.2.2	平均直径预估函数的直接统计学估计	65
5.2.3	用立木度和年龄确定作业史	68
5.2.4	预估断面积或材积的静态收获函数	68
5.2.5	静态收获模型的局限性	69
5.3	预估生长和收获的动态方法	69
5.3.1	断面积生长量函数	70
5.3.1.1	断面积生长量作为优势高的函数	70
5.3.1.2	预估断面积生长量的其他方法	71
5.3.1.3	分析生长量数据的实际问题	72
5.3.2	用植距试验数据确定生长模型：马什反应假说	72
5.3.3	用积分法把生长模型变换成收获模型	74
5.3.3.1	引言	74
5.3.3.2	基本理论	74
5.3.3.3	用于不同间伐处理的一个积分收获模型	75
5.3.3.4	应用积分收获模型的例子	76
5.3.3.5	一致性生长和收获模型拟合生长量数据	79
5.3.4	模拟生长模型的应用	79
5.3.4.1	模拟模型的要求条件	79

	<u>页次</u>	
5.3.4.2	确定模拟模型的方法	80
5.3.4.3	简单模拟模型的例子	81
5.4	间伐	87
5.4.1	间伐比例	88
5.4.2	用静态模型估计间伐收获	88
5.4.3	用动态模型估计间伐收获	90
5.5	枯损量	90
5.5.1	造林死亡率	90
5.5.2	依赖于密度的枯损量	91
5.5.3	遭受病虫害的枯损量	92
5.5.4	风灾和火灾的损失	93
5.6	林分材积预估	93
5.6.1	基于优势高和断面积的林分材积式	93
5.6.2	用树木材积式估测林分材积	94
5.6.3	到上部直径限材积的估计	94
5.6.4	间伐材积	95
5.7	生长和收获预估的先进方法	95
5.7.1	粗度级模型	95
5.7.2	树木位置模型	96
6.	<u>复杂林生长和收获数据的分析</u>	97
6.1	立地分级	98
6.2	复杂林的静态收获函数	100
6.2.1	一般原理	100
6.2.2	数据分析程序	101
6.2.3	选择收获方程的方法	102
6.2.4	复杂林中用静态收获模型的问题	102

	页次	
6.2.5	关于复杂林静态收获模型的结论	103
6.3	转移矩阵模型	103
6.3.1	转移矩阵模型的定义	103
6.3.2	确定转移矩阵模型的方法	105
	6.3.2.1 单株树数据	105
	6.3.2.2 粗度级数据	106
6.3.3	转移模型的改进	108
6.3.4	转移模型的改进	108
6.4	以不同方程式为基础的不依赖于距离的树木模型	109
6.4.1	定义	109
6.4.2	相对生长和动态变量	109
6.4.3	竞争的表示	109
6.4.4	数据要求和分析方法	110
6.4.5	基本模型结构	110
6.4.6	进界、枯损和采伐	111
6.4.7	关于树木模型的结论	112
7.	<u>生长和收获模型的验证</u>	113
7.1	验证的作用	113
7.2	供验证的数据	113
7.3	残差	114
7.4	图解对比	115
7.5	确定模型应用的限制	116
8.	<u>模型用于所需的最终用途</u>	117
8.1	导言	117
8.2	同龄林分	117
8.3	复杂林分	118

1. 绪 论

生长和收获预估的问题

1.1 预估生长和收获的缘由

为了解现在用来预估生长和收获的多种多样方法，较详细地探讨为什么要预估生长和收获是有益的。

1.1.1 生产规划

有效的森林经营包括控制立木蓄积，所采用的经营方式能使立木蓄积的经济和/或社会价值的增长速度快于经营成本所积累的利息。

同时，一切采伐作业会在不同程度上消耗未来立木蓄积。采伐率太高最终将会毁灭森林资源；采伐率太低会失去现有资源的社会效益，且会降低今后森林的生长潜力。

很清楚，只有用数量来表示森林对这些作业的反应，才能对经营措施和采伐强度及时间作出合理决策。生长和收获的研究就是达到这一目的的手段。

1.1.2 育林研究和规划

虽然生长和收获研究的最初目的也许是森林产品的数量对经营措施和采伐的反映，但在生长、收获研究和侧重定性的育林研究之间有着紧密的两方面联系。这两方面联系是由于：

- (i) 树种的育林措施能决定用来预估其生长的模型类别；且在复杂的森林中为树种分组提供合理根据。如果数量模型是有效的，则树种的重要育林学特征将提供必须包含在数量模型中的特征和关系。
- (ii) 如果数量模型含有适当相关联系，则可用它来检验育林学假设并提出试验设计和处理，从而可能提供有益结果。

1.1.3 生态学研究 and 环境管理

预估生长和收获的数量模型与生态学研究 and 环境规划的需要可以在几个方面

相互作用。

例如：

- (i) 森林模型可指明在生长周期的不同阶段光线照射到林地上的量。
- (ii) 森林模型能很容易地改为表明生物量和林木的生产率。
- (iii) 适合于大食草类动物的林木生长周期持续时间对野生动物管理是重要信息。从整体看，生态学模型使用的技术不同于林学的生长和收获研究所用的技术。这是因为后者必然地要注意十分精确地预测林木的几何学性质；而在生态学中可能会把生态系统的种群和层次当作一个整体来对待。此外，生态学模型倾向于着重描述或阐明一个生态系统的主要数量特征；高精度水平很少可能和必要。另一方面，如果要证明森林模型本身是正确的并能实现其目的，模型就必须具有合理的精度。

确定生态学模型的技术肯定会提供许多与确定森林模型有关的优点：

- (i) 混交林中，能用生态学种群动态技术确定树种组成模型。
- (ii) 死亡、缺陷、或生长降低如果是由于人为共知的病原学的特定病害或虫害所造成，则可以用种群动态模型表示其数量，在模型中，生长环境信息是由森林生长模型提供，同时，树木生长是受害虫种群水平的影响。

今后，这些有联系之点可能会扩大，尤其是，可以通过生态学能量流/营养循环模型的修改形式来适应对森林非木材产品和复杂混交异龄林的难以处理的日益增大的兴趣。

1.2 生长和收获预估的方法论

以下是关于生长和收获预估的方法论的论述。

1.2.1 生长和收获的估计

生长或收获的估计包括两类问题。一类是构成收获的定义。它可以是林分的木材材积或者是某一特定树种组的材积，或者是一些非木材产品，如树皮、树叶、树脂等。在热带国家通常最强调的是预估全部木材产品的材种和材积，包括木材、纸浆材、杆材和薪材。因为树种组成影响产品的利用，所以在混交林中离开树种组成就不能考虑收获。

一旦给出恰当定义，测定生长和收获就相当容易。主要困难是工作者进入森林、测定样地边界和调查以及长期保持固定样地等实践问题。这些问题将在第2和第3节中讨论。

1.2.2 数学模型的确定和将其拟合于生长和收获数据

一旦有了数据，就可以确定模型并拟合于该数据。数学模型是由表示诸变量之间关系的一组方程式或线图所构成。

拟合模型的过程可以用例如线性回归的统计学方法，也可以用主观方法在图纸上点出数据并据以绘出相关线。如果需要，这种手绘曲线随后可用方程式表达。本书附录A提供了许多拟合曲线的方法。

手绘曲线或方程式的形式可以根据生长的某些自然规律，或者根据经验。后一种情况，函数或方程的选择唯一地是要求它能够表示特定的形状。

当前，虽然有一些局部表示生长过程的函数，如查普曼-理查德函数（见第5节，但还没有以自然规律为基础的树木生长的真正函数。

1.2.3 模型有效性的检验

模型一旦确定并拟合数据后，就应对它进行检验以确定其有效性和精度。最好采用没有参与拟合模型中函数的第二套数据来检验。模型是用来预估提供检验数据的林分特点的，用预估结果与实际观测数据相比较。需要多次重复这种有效性检验程序，以调整和修正模型，作为体现每一阶段表现出来的异常性的结果。

有许多理由说明，当模型有效时，却不能很好地进行预估。

- (i) 原始数列可能与检验数列具有不同的生长特点。
- (ii) 在建立模型中可能使用了不恰当的拟合方程的方法。
- (iii) 在检验有效性时，某些函数可能被外延，把数据代入了函数的不准确区域。
- (iv) 如果模型包括一组方程式，即使其中每一个函数分别适当地拟合了数据，但当把方程组作为一个整体处理的时候，它可能变得不稳定。
- (v) 在抄写或应用各种方程式或线图时，可能出现各种人为差错。

对以上诸点作相当详细说明是为了强调在应用模型去规划或研究之前对任何模

型作全面检验的重要性。第6节将详细论述模型的有效性。

1.2.4 模型应用于所要求的使用目标

实际上，生长和收获模型可按三种方法之一加以应用：

- (i) 作为一个或一套表格或线图。这些可由森林设计者直接使用，或以表格形式输入计算机，以便更新森林调查数据。
- (ii) 作为计算机或计算器的程序。这种程序能为一组特定的经营措施提供生长和收获的表格或线图。当模型具有充分的内在灵活性因而用一套表格不可能确定全部可能的预估情况时，适用这种情况。
- (iii) 作为计算机的程序，这个程序构成森林规划较大计算机程序内的一个亚模型。同时，这种程序还将经常输入森林调查数据库和对采伐及经营作业的各种经济或技术制约条件。

2. 收获预估研究的设计

2.1 回归参数估计的特点

生长和收获研究的抽样或试验设计应以拟合所得数据的模型类型为条件。这就是通常一些种类的回归模型。

应记住以下各点：

- (i) 当拟合的模型在形式上已知是直线时，则抽样和试验处理应集中在直线的两端。对于与三个变量相关的面，应该对四个端角抽样。
- (ii) 比较常见的是被拟合函数的精确形状未知，且可能有些弯曲。在这种情况下，适当的做法是把预估变量的范围划成五等分，并以同样抽样强度对每一等分抽样。
- (iii) 对范围内任一部分的抽样强度应与整个模型的样本方差成比例。这对预估材积特别适合，已在本书卷1中讨论过。
- (iv) 按面积随机或系统抽样，这对森林调查最适合，对作为确定生长和收获模型的基础是无效的，因为在范围的中心部分其抽样强度太高，而在边缘部分抽样强度又太低。
- (v) 在生长和收获预估的试验设计中，总是要把边缘区的处理包括进去，对林分密度尤其如此。这样会大大增加拟合所得数据的模型的准确度。

2.2 确定模型的抽样设计

在研究人员不能控制进入模型的变量的情况下，用抽样代替试验。在生长和收获研究中，这个条件主要用于立地变异。森林类型能由试验区的选择或由建立所希望的森林类型来控制。林分密度能由育林和采伐措施来控制。

试验一般比抽样更加有效，因而在给定的预估准确度和精确度下，试验比抽样花钱少。然而，如果要把立地变异有效地包括在模型内，这两种数据都需要。

采伐作业的真正影响也是很难模拟试验，通常必须由采伐后立即实施的抽样计划来确定。

2.2.1 临时样地

临时样地主要用于估计不依赖于时间的一些关系。然而当有可能从年轮信息确定依赖于时间的关系时，这种特征就不明显了。

2.2.1.1 森林清查

确定森林清查方案主要是要提供与土地面积有关的森林立木蓄积的准确估计。然而，所收集的大部分信息在生长和收获研究中可能有用。

森林清查设计和分析的一般内容已包括在联合国粮农组织的森林清查手册中。

一般无需在全部森林清查样地上测定参量，只有在生长和收获预估中才有这种需要，在全部样地中选取一个亚系列作更详细测量要更好些。

2.2.1.2 从年轮估计生长量

在年轮清楚的地区，对临时样地的研究可用来代替固定样地。一般说来，用年轮估计生长量比用固定样地要困难些且开支大些。但取得结果要快得多。

2.2.1.3 同体异量关系的抽样

同体异量关系是在一株树上一种度和另一种度量之间的关系。例如，冠径和树干直径间的关系，或总高度与主干长度之间的关系。同体异量关系在某些模型中可能是重要的。从森林清查常常得不到适当形式的所需数据。所以有必要实施抽样程序来确定这种关系。

虽然为了方便可以设置样地并量测样地内所有的树，但通常基本抽样单元是单株树。样本的数量取决于所研究的关系。一般较好的方法是在抽样过程中不断分析数据，一旦达到所需精度就停止抽样。

立木材积表同同体异量关系的一个特例。

2.2.1.4 确定采伐作业参量的抽样

大部分收获预估模型被看作是提供间伐或轮伐作业的正式设计说明书。可以假定作业将按照设计说明书进行，也可以进行一项抽样程序。以检验理论说明书和实际结果间的关系。