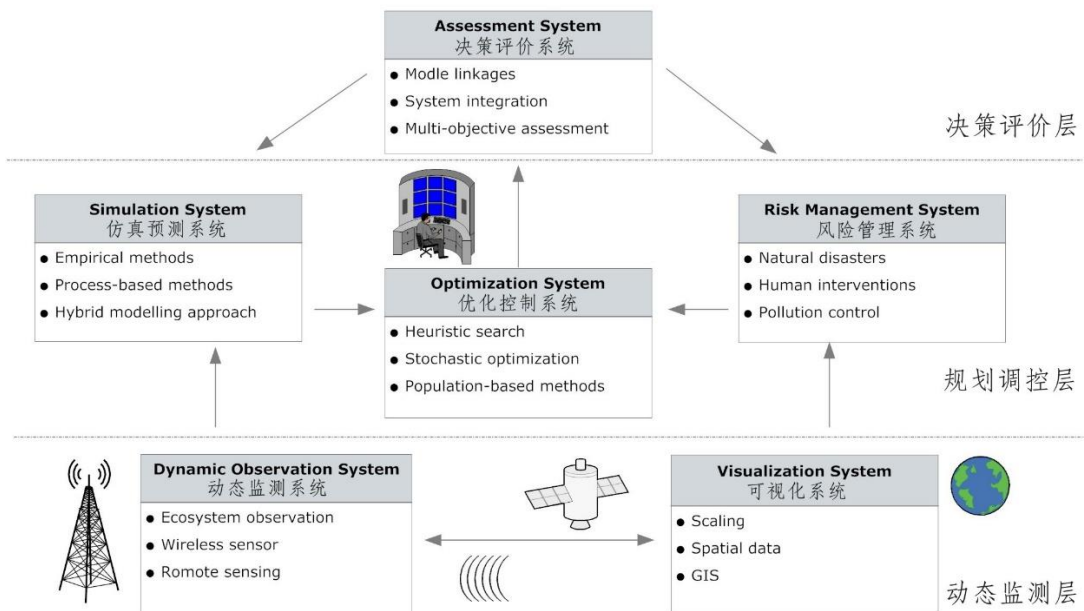




2016

Monitoring and Assessment of Forest Resources: Methodology and Applications

森林资源监测与评价：方法与应用



Tianjian Cao, Xianglin Tian, Shuaichao Sun

曹田健 田相林 孙帅超



2016

Monitoring and Assessment of Forest Resources: Experimental Instructions

森林资源监测与评价实验指导书

Tianjian Cao, Xianglin Tian, Shuaichao Sun

曹田健 田相林 孙帅超

Suggested Citation

曹田健, 田相林, 孙帅超. 2016. 森林资源监测与评价实验指导书. 西北农林科技大学. p142.

目录

上篇 森林野外勘察操作规程

第 1 章 调查准备	2
1.1 调查目的	2
1.2 调查背景	2
1.3 数据需求	2
1.4 调查图纸	4
1.5 仪器设备	4
1.6 劳保用品	4
第 2 章 调查设计	6
2.1 抽样文献	6
2.2 抽样技术	6
2.2.1 随机抽样	6
2.2.2 系统抽样	7
2.2.3 分层抽样	7
2.2.4 群团抽样	7
2.2.5 重复抽样	7
2.3 抽样设计	8
2.3.1 方法选择	8
2.3.2 块状抽样	8
2.3.3 点抽样	8
2.3.4 带状抽样	8
2.4 样本量	8
第 3 章 调查程序	9
3.1 小班定位	9
3.2 块状样地调查	9
3.2.1 块状样地境界测量	9
3.2.2 块状样地调查内容	10
3.2.3 标准地的基本要求	12
3.2.4 标准地的形状和面积	13

3.2.5 临时样地调查	13
3.2.6 固定样地调查	13
3.3 角规测树	13
3.3.1 角规点数的确定	13
3.3.2 角规常数 (F) 的选择	14
3.3.3 角规绕测技术	14
3.3.4 林缘误差的消除	15
3.3.5 胸径和树高的测定	15
3.3.6 年龄、地理及林下因子的测定	15
3.3.8 角规调查小组	15
3.4 带状样地调查	16
3.4.1 基线设置	16
3.4.2 起始边确定 (从坡底向山脊)	16
3.4.3 终止边确定 (从山脊向坡度)	16
第 4 章 专项调查	18
4.1 土壤因子调查	18
4.1.1 土壤剖面及取样	18
4.1.2 土壤水分及物理性质的测定	18
4.1.3 土壤调查计算	19
4.2 灌草因子调查	19
4.2.1 灌草样地选取	19
4.2.2 灌草基本情况	19
4.2.3 灌草生物多样性	19
4.2.4 生物量调查	20
4.3 枯落物调查	20
4.4 更新调查	20
4.5 间伐样地调查	20
4.5.1 数据需求	20
4.5.2 样木定位和编号方法	20
第 5 章 调查组织	22
5.1 调查人员	22
5.2 外业时间	22
5.3 经费预算	22

第 6 章 数据汇总	23
6.1 外业记录表	23
6.2 生长锥样本	23
6.3 灌草标本	23
6.4 数据计算	23
6.4.1 块状样地	23
6.4.2 角规测树	24
6.5 录入汇总	25
附录 森林野外勘察记录表	26
附表 1 样地调查记录表	26
附表 2 每木检尺记录表	27
附表 3 角规调查记录表	28
附表 4 草本样方 (1*1 m ²) 调查记录表	29
附表 5 灌木样方调查记录表	31
附表 6 灌草生物量调查记录表	33
附表 7 林木更新调查记录表	34
附表 8 枯落物层调查记录表	35
附表 9 土壤剖面调查记录表	36

下篇 森林生态系统动态评价方法

实验 1 森林调查数据预处理	38
1.1 样地数据	38
1.1.1 样地种类	38
1.1.2 抽样数量	38
1.1.3 抽样误差	39
1.2 林分调查因子	41
1.2.1 林分调查因子的测算方法	41
1.2.2 每木检尺数据的内业计算	43
实验 2 生物统计回归分析	46
2.1 理论生长方程	46
2.2 SPSS 基础	47
2.3 非线性回归拟合	48

实验 3 森林立地质量评价	53
3.1 立地质量评价方法	53
3.2 地位级表的编制	53
实验 4 林分生长收获预估	56
4.1 全林模型	56
4.2 径阶模型	58
4.3 单木模型	60
实验 5 林分生长模型链接	64
5.1 Simile 基础	64
5.2 全林模型的链接	68
实验 6 森林经营规划设计	70
6.1 同龄林经营规划	70
6.2 异龄林经营规划	72
6.3 加载规划求解宏	74
实验 7 森林多功能服务	77
7.1 经济价值	77
7.2 生态价值	78
7.2.1 生物多样性	78
7.2.2 碳汇	80
7.3 社会价值	82
7.3.1 支付意愿法	82
7.3.2 旅行成本法	82
7.4 多功能服务评价	85
实验 8 风险与不确定性	89
8.1 马尔科夫链描述林分动态	89
8.2 经营措施对林分生长不确定性的影响	91
8.3 基于风险的林分价值评估	92
综合实验 森林资源资产评估案例	94
附录 森林调查测算常用表	105
测树学主要测计量及其单位符号	105
秦岭林区油松立地指数表	106
秦岭林区华山松立地指数表	107
秦岭林区锐齿栎立地指数表	108

秦岭林区落叶松立地指数表	109
秦岭林区油松立地形表	110
秦岭林区华山松立地形表	111
秦岭林区锐齿栎立地形表	112
苏联实生林地位级表	113
苏联萌生林地位级表	114
秦岭林区油松现实林分收获表（I 地位级）	115
秦岭林区油松现实林分收获表（II 地位级）	117
秦岭林区油松现实林分收获表（III 地位级）	119
秦岭林区华山松现实林分收获表（I 地位级）	121
秦岭林区华山松现实林分收获表（II 地位级）	123
秦岭林区华山松现实林分收获表（III 地位级）	125
秦岭林区锐齿栎现实林分收获表（II 地位级）	127
秦岭林区锐齿栎现实林分收获表（III 地位级）	129
秦岭林区锐齿栎现实林分收获表（IV 地位级）	131
陕西省主要树种龄组划分表	133
陕西森林优势树种组的划分及其顺序表	134
陕西省主要树种平均实验形数表	135
陕西省二元立木材积方程	136
秦岭林区主要树种林分断面积与蓄积量标准表	137
陕北林区主要树种林分断面积与蓄积量标准表	138
参考文献	139
后记	141

上篇 森林野外勘察操作规程

第 1 章 调查准备

1.1 调查目的

- (1) 定期调查林分蓄积、结构和组成变化，为更新森林生长与收获模型提供经验数据。
- (2) 分期采集森林土壤水文和碳氮比数据，研究水分、养分与森林演替机制。
- (3) 长期记录树木蒸腾和光合作用观测数据，分析林木生长机理。

1.2 调查背景

- (1) 森林调查设计首先要准备调查背景。需查阅文献和资料，获取调查地区的基本概况，以及林分的基本概况。
- (2) 调查地区概况包括该调查区域的地理位置、温度、降水、日照时间、湿度、土壤等因子的概况。林分概况则包括林地面积、林班小班划分、林分种植和采伐的历史，以往对于林分调查的相关结果等。
- (3) 为避免重复性工作，还应尽可能收集森林的历史数据。

1.3 数据需求

调查前应明确所需要的建模数据，从而在调查设计和实施过程中，避免遗漏关键性的调查因子。以单树模型为例，各模块数据要求如下：

表 1.1 单树模型建模数据

模块	数据需求	数据获取方法
胸径生长模型	单木五年间带皮胸径生长量 (cm) 1. 单木胸径 (cm)。 2. 胸径大于 5cm 的树木的总林分胸高断面积 (m^2/ha)。 3. 比对象木胸径大的胸高断面积和 (m^2/ha)。 4. 有效描述立地条件的因子, 如林型、土壤、地形等。 5. 树冠竞争 (如 CCF, CR 等)	尽管临时样地调查可以获取包括胸径、树高、冠幅、林型 (灌草)、土壤、地形 (坡度、坡向、海拔) 等数据, 但是完整的单木模型系统对于数据的要求十分严格, 部分必需的数据通过临时样地调查方法往往难以获得, 尤其是以下四项数据: 1. 单木五年间带皮胸径生长量 (cm); 2. 单木五年间存活概率; 3. 进界株数 (株/每公顷); 4. 五年生长后的进界树的平均胸径。 因此, 为构建单木生长模型, 需要建立样木定位的固定样地, 并进行复测。调查样地内每棵树的胸径、树高、冠幅, 并记录样地内 5 年间的枯损木, 幼树进界株数和进界后平均胸径。
树高模型	单木树高 (m) 1. 异龄林: 胸径 (cm); 同龄林: 年龄 (year)。 2. 有效描述立地条件的因子, 如林型、土壤、地形等。	
存活模型 (枯损模型)	单木五年间存活的概率 1. 单木胸径 (cm)。 2. 胸径大于 5cm 的树木的总林分胸高断面积 (m^2/ha)。 3. 比对象木胸径大的胸高断面积和 (m^2/ha)。	
进界模型	进界株数 (株/每公顷) 1. 胸径大于 5cm 的树木的总林分胸高断面积 (m^2/ha)。 2. 各树种林分密度 (株/每公顷)。	
进界胸径生长模型	五年生长后的进界树的平均胸径 1. 胸径大于 5cm 的树木的总林分胸高断面积 (m^2/ha) 2. 有效描述立地条件的因子, 如林型、土壤、地形等。	

注: 土壤及腐殖质厚度、灌草调查、所属林型等应列入调查项目。进界树的确认可根据解析木或幼树生长量计算判断。

1.4 调查图纸

（1）林场基本图

该图用 A3 纸打印，并对林班号、小班号、小班优势树种进行标注，是实地确定小班位置最主要的工具，每个调查小组复印 2 张。

（2）等高线地形图

该图用 A3 纸张打印，在对于地形和标志性地物的描述上，比林场基本图更准确详细，每个调查小组复印 1 张。

（3）以卫星图片作为底板的林班基本图

利用 Arcgis 软件将卫星图片作为底板，将整个林场基本图分为林班，注明林班号、小班号、优势树种，用 A4 纸彩印作为底稿，每小组复印一份。在野外调查时，需利用该图查出观测点坐标，并在图中标注出观测点的位置。

（4）3D 地形图

利用 google earth 软件查询林场的卫星 3D 图，然后将林班和小班的 arcgis 文件导入 google earth 中，即可得到带有小班标注的 3D 地形图。

1.5 仪器设备

不同样地调查方法所需要的工具基本相同，见表 1.2。

1.6 劳保用品

药品： 包括治疗跌打损伤、腹痛腹泻、感冒发烧等病征的药物，防止蚊虫叮咬的花露水（可加入微量的雄黄）。

手套： 野外调查时可以有效保护手部，劳保手套每人 2 副以方便洗涤更换。

帽子： 需要能护住颈后部，以防止蚊虫叮咬和树木枝条划伤。

外业调查时，大部分时候都需要在野外吃午饭，需要准备保鲜饭盒和保鲜袋。另需带上雨衣、创可贴、手电筒等物品。

表 1.2 样地调查工具

	角规调查	临时样地	固定样地	带状样地
名称	数量	数量	数量	数量
罗盘仪及支架		1	1	1
测绳		100m	100m+50m*2	100m*2+50*2
角规	1			
直径卷尺	2	2	2	2
布鲁莱斯测高器	1	1	1	1
皮尺	1	1	1	1
生长锥	1	1	1	1
罗盘仪	1	1	1	1
海拔仪（GPS 可替代）	1	1	1	1
GPS	1	1	1	1
砍刀	1	1	1 砍刀+1 斧子	1
计算器	1	1	1	1
游标卡尺	1	1	1	
对讲机	2	2	2	2
油漆及毛刷			1	
粉笔（盒）	1	1	1	1

注：其他还需要准备存放木芯的纸、双面胶和盒子、临时存放标本的塑料袋、配套 GPS 的充电电池、固定样地标准坐标的网格纸等。油漆在使用时可以和汽油和酒精进行稀释，避免油漆过于黏稠。

第 2 章 调查设计

2.1 抽样文献

Kiaer 在 19 世纪末介绍了具有代表性样本的应用。随后 Bowley (1912) 将随机抽样思想引入了调查抽样。Neyman (1934) 解释了为什么随机选择优于有目的的选择。基于从给定总体中抽取的一定大小的所有可能样本分布, 他提出样本估计置信区间, 为抽样理论确立了准确的统计学框架 (Bellhouse 1988)。

19 世纪森林资源调查的主要方法是每木调查, 之后人们注意到应用有代表性的样本可以减少调查成本 (Loetsch et al. 1973)。早期抽样法在北美、德国和北欧林业方面的应用是目测法。从 1900 至 1920 年, 统计知识逐渐被用于林业文献。由于早期的调查是系统的, 因此系统抽样方差估计在这些国家被广泛使用。

Israelaf Strom 19 世纪 30 年代使用了系统带状抽样。Hasel (1938) 和 Osborne (1942) 认为系统调查比随机抽样更能给出蓄积量的近视值。Finney (1948) 提出分层法, 考虑最初抽样地点的随机性。

Bitterlich 和 Grosenbaugh 引进不等概率抽样法, 提出角规计数抽样法 (Bitterlich 1947)。角规抽样法很快被认为是森林抽样的有效方法, 因为对木材蓄积量的兴趣。Grosenbaugh (1952) 应用与大小成比例的概率抽样法 (PPS), 提出点抽样概念。

Scott (1947) 提出了森林连续清查 (CFI) 体系。Bickford (1959) 将永久样地与临时样地资料有机结合, 进行部分放回抽样 (SPR)。

基于模型的方法在林业调查中还未被推广 (Matern 1960; Mandallaz 1991; Kangas 1993; Gregoire 1998)。现在卫星影像已经逐渐代替了航片 (Czaplewski 1999)。

2.2 抽样技术

2.2.1 随机抽样

简单随机抽样 (SRS) 是一种最基本的抽样技术, 在选择一个具有 n 个单元的样本时, 每一个可能的 n 个样本的组合, 都具有相同被抽中的机会。

简单随机抽样分为可放回抽样和不放回抽样。

对于放回抽样, 从总体 N 中抽取大小为 n 的样本 s 的概率 $p(s)$ 为:

$$P(s) = \frac{1}{N^n}$$

这是因为从总体中抽出 N^n 个大小为 n 的样本。在这种情况下, 包含概率可以这样计算: 用 1 减去没有抽取的某一单元的概率, 即,

$$\pi_i = 1 - \left(1 - \frac{1}{N}\right)^n$$

而抽取两个单元 i 和 j 的概率为:

$$\pi_{ij} = 1 - 2\left(1 - \frac{1}{N}\right)^n + \left(1 - \frac{2}{N}\right)^n$$

另一方面，在不放回抽样中，每个单元只能被抽一次，选择概率和包含概率的计算并不像放回抽样的计算那么容易。其可能的样本数为

$$\frac{N!}{(N-n)!n!}$$

这些被选样本中的每一个样本的概率是它的倒数：

$$p(s) = \frac{(N-n)!n!}{N!}$$

2.2.2 系统抽样

系统抽样是指在总体内按等间距抽取样本单元。例如在一系列的树木中每 10 株抽取一株或是在一片林分内按等间距抽取样地。在系统抽样中，每一个典型的第 k 个单元均被选入样。这就意味着对抽样单元得进行某种预先排序。这也意味着可能的样地树木只能是 k 。森林资源调查中，如果采用点抽样法，可能的样本数也许是无限的。

例如，在一个 100 ha 林地的一次森林资源调查中，样地被布成方格网，在这个方格里，行距与样地之间的距离均为 100 m。总共测 102 个圆形和点状样地。如果胸径的平均值小于 8 cm，就采用半径为 2.25 m 的圆形样地调查所有林木。否则的话，使用点抽样并取断面积系数为 2 的方法，同时如果还有下层林木，也可在 20 m² 的圆形样地测量林木。每个样地每公顷林木蓄积量的估计可以被计算出来。系统抽样中的单元不是单独入样的，而且对于系统抽样的标准误没有基于设计的估计值。简单随机估计量可用于估计总体平均值和总量。在此例中，简单随机估计量也用于估计样本方差。

2.2.3 分层抽样

分层意味着把总体划分为互不重叠的副总体，因而使副总体内的变量比在原总体内的变量更为一致。副总体称作层，我们在每个层里选取样本，样本单元可以用各种技术来抽取，包括简单随机抽样和系统抽样。根据抽样条件的不同，总体的分层可以有不同的方法。在森林调查中，森林往往是根据森林类型进行分层的。

在分层抽样中，存在着某种辅助信息。依据这些信息，总体可分为同类的组或层。在很多情况下，分层抽样比简单随机抽样更有效，也就是说分层抽样的标准误较小。通常，层内的选择使用简单随机抽样，但也可以采用系统抽样。各次总体的加权平均即得总体的平均值。

2.2.4 群团抽样

当总体可以分成多个独立的群团时采用群团抽样。在森林资源调查中，往往存在多个相邻的样地或相邻的一片树木组成的群团。如果对树的平均值感兴趣的话，每一块样地也可以视为树的群团。

2.2.5 重复抽样

例如刀切法 (jackknife) 和自助法 (bootstrap)。其工作程序如下：

- (1) 从最初放回抽样样本中抽取 K 个大小为 n 的重复抽样样本。

(2) 计算每个重复抽样样本的相关估计值（例如平均值或比率）。

(3) 从重复抽样样本的估计值之间的方差中计算该方差的估计量。

2.3 抽样设计

2.3.1 方法选择

我们可以从几个观点来看获取最佳数据。传统地说，可以理解为在预算一定的情况下，抽样设计使估计量的方差（如平均蓄积）最小。调查成本可假定包括每一个样本抽样的固定成本、每一群团的成本，每一样地的成本和每一颗样本树的成本。

2.3.2 块状抽样

块状抽样采用块状样地调查。在地形较平坦，人员较容易到达的林地内，设置块状样地，进行每木检尺等测量。长方形样地需要一次确定四个角点和边界，而正方形样地还可以从中心开始确定，沿对角线确定四个角点。

2.3.3 点抽样

点抽样采用角规测树。一般对于地势险峻，较难到达的林分则进行角规观测。

2.3.4 带状抽样

带状样地适用于对于稀少分布的总体进行抽样。可根据小班实际状况，沿垂直于调查地段的地形和流水方向设置带状样地，链宽一般为 20m，对于面积较小的密林使用 10m，面积较大的疏散林分使用 40m。

调查以小班为单位进行，将每一个小班即作为一个林分，在每个小班中布设一定数量的角规观测点和块状样地。采用设置典型林分方法常常会导致数据结果偏高，采用系统抽样和随机抽样会避免这样问题，但相应野外实际操作困难较大，常常设计的观测位置会因为地形险峻而难以到达。

带状样地相对减小了系统偏差（避免林分蓄积的高估），在自疏伐、枯损率、生物多样性等调查中，能较好反映实际状况。但是在地形较差区域，操作困难相对更高。最终应根据林分实际状况，选取抽样结构与方法。

2.4 样本量

样本的单元数受到调查成本的限制，应该选择的最小单元数是由估计值精确度的要求来确定。根据使得样本均值与总体均值的离差小于给定的 d 值，及其概率 $1-\alpha$ ，可计算出理论最小样本量。实际调查中不同调查方法的理论样本量也不同。采用随机取样进行林分调查，角规点数取决于所调查林分的角规计数木株数的变动系数与调查精度的要求。块状样地的数量可以相对少一些，同时由于林分内只有部分地区可以到达，因此样本量也会相应减小。另外，能够设置块状样地的小班一般都是坡面较为平整的林分，可以考虑设置固定块状样地。

第3章 调查程序

3.1 小班定位

进行野外调查，需要在野外准确的找到需要调查的林分（小班），方法如下：

- (1) 利用林业基本图、地形图和 GPS 坐标，参照往年的森林调查数据，在实地根据道路、河流等地形条件和林分组成来确定林分位置。
- (2) GPS 默认坐标系统为 WGS84，在使用时需在设置菜单-单位-坐标系统一栏中，修改为西安 80。在进入林分之前应大致确定小班边界，谨慎选择最佳路线进入林分，期间要不断地用罗盘仪校正方向。
- (3) 在每个观测点中心，用 GPS 中保存航点坐标，并在注释中标注所属林班小班观测点编号，以方便数据存储和再次寻找该样地。

3.2 块状样地调查

3.2.1 块状样地境界测量

常规的块状样地设置方法有以下两种：

- (1) 一种方法是确定四条边的方位和长度，先选定样地西南角点，再按顺时针方向，先往正北方向（0 方位角）测出西北角点，然后往正东方向（90 方位角）测出东北角点，再往正南方向（180 方位角），测出东南角点，最后回测到起点，并计算闭合差。如果周界测量闭合差大于 0.5%，则应该进行重测，直到满足小与 0.5%为止。
- (2) 对于正方形样地另一种方法采用对角线法设置，从中心点确定对角线的方位，在对角线上用皮尺量取 1/2 对角线长度，定出样地的四个角点，然后用皮尺量出由四个角点围成的长方形周长。如果周长误差大于 0.5%，则应进行重测，直到满足小与 0.5%的要求为止。对于面积为 0.0667 公顷的方形样地，其边长为 25.85 米，对角线长度为 36.52 米。

在实际调查工作中还应注意：

- (1) 用罗盘仪测角，用测绳量距离。坡度 5° 以上应改算为水平距，相对闭合差不能超过各边总长的 1/200。
- (2) 为使块状样地在调查作用时保持有明显的边界，应将测线上的灌木和杂草清除。测量四周边界时，边界外缘的树木在面向块状样地一面的树干上要作出明显标记。
- (3) 设置块状样地时，用测绳量好距离并设好标桩后，测绳不用收回，可以用作块状样地调查时的边界，在该块状样地全部调查完之后再收回。
- (4) 设置块状样地时，应将块状样地与已知测线明显地物标相联，在小班地图上标记块状样地的地点及在林分中的相对位置，记录 GPS 定位坐标，并将块状样地设置的大小、形状在块状样地调查表上按比例绘制略图。
- (5) 设置固定块状样地时，需在四角埋设永久性标桩。埋桩时，写字面要朝向块状样地的对角线方向。

标桩规格：用针叶树剥皮制作，粗 20cm，长 1.5m，埋入地下 70cm。流水帽砍成圆锥形，流水帽下隔 5cm 以下砍出写字面，长 25cm，宽 15cm。用铅油（或红漆）写出块状样地号、块状样地面积及设年月日。

（6）许多林分具有不规则的边界，因此样带的末端要形成方形，以便按矩形来计算带的面积。

3.2.2 块状样地调查内容

（1）每木检尺

在块状样地内分别树种、活立木、枯立木、倒木，测定每株树木的胸径。测定者从块状样地的一端开始，由坡上方沿着等高线按“S”形路线向坡下方进行检尺。使用围尺（直径卷尺）测量树木胸径，精度为 0.1cm。

测径时应注意：

1）必须将围尺拉紧平围树干后才能读数，应使围尺围在垂直于树干的平面上，防止倾斜，否则易产生偏大的误差。

2）测胸径时必须测定距地面 1.3m 处的直径，在坡地量测坡上 1.3m 处直径。

3）在 1.3m 以下分叉的树应视为两株树，分别检尺。

4）一般以 5cm 作为起测胸径。

5）测定位于块状样地境界上的树木时，本着北要南不要，取东舍西的原则。

6）凡测过的树木，应用粉笔在树上向前进的方向作出记号，以免重测或漏测。

（2）树高测定

使用勃鲁莱测高器测树高，精确到 0.5m。其刻度盘上标有不同水平距离(15m, 20m, 30m, 40m)时所对应的不同仰角和俯角的树高读数。测高时，首先选测某一水平距离，然后，分别以下情况测算树高：

在平地上测高：测者立于测点，按下仪器按钮，使指针自由下垂，用瞄准器对准树梢后，即按下制动纽，固定指针，在度盘上读出对应于所选测水平距离的数据 h ，再加上测者眼高 l ，即为全树高 H 。

在坡地测高：先观测树梢，求得 h_1 ，再观测树基，求得 h_2 ，若两次观测角度正负号相异时(仰角为正，俯角为负)，则树高为二者绝对值之和。两次观测角度正负号相同，则树木全高(H)为二者绝对值之差。

测高时应注意：

1）测高时一定要两次读数之和(差)。

2）测高的水平距离应尽量与树高相同。在坡地测高时，应根据坡度将水平距改算为斜距。

3）对生长歪斜的树木进行测高时，应该测定其实际生长的树高，而不是其垂直高度。

另外，有时在林下视野较差，不能使用勃鲁莱测高器测定树高，需要调查人员对树高进行估测。但在此之前，要对调查人员估测树高的能力进行训练和考察：选择视野较好，可以实测树高的树木，先进行估测，然后实测，比较二者的差距，反复进行多次，降低估测误差。进行估测时，选择周围合适的参照物（如使用鱼竿，或者以邻近的可以测出树高

的树木作为参照物），使误差尽量控制在 0.5m 以内；估测时，不能站在坡下；也可由至少两人同时估测树高，然后取平均值。

（3）树冠测定

树冠的测定要测枝下高（Hb）和冠幅（Cw）。枝下高用测高仪进行测量，精确到 0.5m。冠幅用皮尺测量，按东西、南北两个方向测量，精确到 0.1m。

（4）林木分级

测定林木分级时，采用克拉夫特的生长分级法：

I 级——优势木，树高和直径最大，树冠很大，且伸出一级林冠之上；

II 级——亚优势木，树高略次于 I 级，树冠向四周发育，在大小上也仅次于 I 级木；

III 级——中等木，生长尚好，但树高和直径较前两级林木为差，树冠较窄，位于林冠的中层。

IV 级——被压木，树高和直径生长都非常落后，树冠受挤压，通常都是小径木。其中又可分为两个亚级：

IVa 级：树冠狭窄，侧方被压，但枝条在主干上分布均匀，树冠能伸入林冠层中；

IVb 级：树冠偏生，只有树冠的顶部才伸入林冠层，侧方和上方均受压制。

V 级——濒死木，完全位于林冠下层，生长极落后，树冠稀疏而不规则。又可分为两个亚级：

Va 级：生长极落后的濒死木；

Vb 级：枯死木。

（5）年龄测定

针叶树的幼树可以通过数轮生枝来确定年龄，但应加上生长达最基部一个轮生枝高度所需的年数。对块状样地中优势树种接近平均直径的树木和优势树在胸径处分别打生长锥，测定林分胸径处的平均年龄和优势树胸径处的年龄。

外业调查时采用生长锥钻取木芯来获得年轮数据，所得年龄为胸高年龄，外业记录统一标记为胸高年龄。另外为便于数据使用，必须调查树木实际生物年龄，至少每个树种都应记录其到达胸高时的年龄，方法包括：

1）寻找针叶树幼树或下部枝条未脱落的小树，查数其从根部至胸高处的轮生枝，从而确定到达胸高时的年龄。

2）咨询当地管护人员和居民，确定前一次主伐、栽植、抚育间伐的时间等信息。

3）选取坡度较大的地方，站在坡下于接近树木基部处钻取木芯，查数年轮数。直接得到树木生物年龄。

另外还可以通过查阅相关资料文献（如生长过程表、解析木资料等），来折算生物年龄与胸高年龄间的关系。

（6）地形地势的测定

分别测定块状样地的坡位（上、中、下坡及谷地）、坡向、坡度和海拔。坡向记录方向角。测定坡度时，如果坡度变化较大，则应向上和向下分别测定坡度取平均值。

（7）样木定位

固定样地每株树编号以后，还应进行样木定位。

样木方位角和水平距反映样木在样地范围内的位置，是样木定位测量的主要因子。样木方位角和水平距的测定，原则上要求以样地中心点为基点，采用罗盘仪和皮尺进行测量。对于地形复杂，不便在样地中心点定位的样木，可以选择四个角点中的一个为基点进行定位，但需要在记录表上记录清楚。方位角以度为单位，水平距离以米为单位，均保留一位小数（对于圆形样地和角规样地，水平距离要求保留两位小数）。

为了直观反映样木在样地中的位置，应该根据每株样木的方位角和水平距（或其他定位测量数据）绘制样木位置分布图。对于样地内有标识作用的明显地物和地类分界线，也应标识在样木位置分布图上，方便下期样木复位。对于每一个样木，应当用罗盘仪测出样木相对于固定样地主要中心的方位角，用测距工具测出样木距固定样地的水平距。测量方位角时，把罗盘仪架在固定样地中心，并水平放置，测量顺序为东北—东南—西南—西北象限。测距离时，应当在测完单个样木的方位角时，测量此样木的水平距。由于坡度太陡，不能一次完成水平测距时，应当分段测量水平距。

实际调查中，根据具体情况，也可以用测绳将样地均分成 4 块（或更多）采用 x 轴与 y 轴的平面坐标形式记录样木位置。

（8）其他

1）块状样地的两对角线上树冠覆盖的总长度与两对角线的总长之比，作为郁闭度的估测值。

2）更新树种应为能够生长成为大乔木的幼树。

3）如果有不认识的灌木（或地被物）分布较多，则应采集植物标本带回鉴定并补充记录。

4）块状样地只进行乔木调查时，3 人每组即可。若同时进行灌草、更新、土壤、生物量调查时，需要根据具体数据的采集要求，每组增加人手。

5）以上分工应根据实地情况与工作量进行调整。在进行测量时，树高、冠幅等，往往需要 2-3 人相互配合进行，在地形陡峭地区进行调查时，即便是胸径测量，也需要配合进行。

3.2.3 标准地的基本要求

在林分内，按照平均状态的要求所确定的能够充分代表林分总体特征平均水平的地块，称作典型样地，简称标准地。这种典型选样的调查方法，虽然无法表达出调查结果的精度与误差，但是，只要认真选定标准地进行实测，其调查结果仍然是可靠的，完全满足营林工作的需要。标准地的调查内容与前面所述块状样地调查相同，但在设置时与抽样样地不同。

（1）对林分进行全面观察，掌握林分的特点，再结合地形条件和视野状况，选择具有代表性的地段设置块状样地。并且不能跨越林分。

（2）块状样地设在混交林中时，其树种、林分密度分布应均匀。

（3）块状样地不能跨越河流、道路或伐开的调查线，且应远离林缘（至少应距林缘为 1 倍林分平均高的距离）。

3.2.4 标准地的形状和面积

标准地的形状一般为矩形，有时因地形变化也可为多边形。

标准地面积应依据调查目的、林分状况如林龄及林分密度等因素而定。一般面积不宜过小，否则难以保证标准地具有充分的代表性，依此调查结果推算林分总体时会产生很大的偏差；但是标准地面积过大，相应的工作量和成本也增大。我国林业部（1986）林业专业调查主要规定中规定：天然林标准地面积：一般在寒温带、温带林区采用 500-1000m²；亚热带、热带林区采用 1000-5000m²。此外，也可用林木株数控制标准地面积，一般采用主林层林木株数 200 株左右。人工林和幼林标准地面积可以酌情减小。

在实际调查工作中，为了确定标准地的面积，可以预先选定 400m² 的小样方，查数林木株数，据以推算应设置的标准地的面积。

3.2.5 临时样地调查

第一司尺员：①操作森林罗盘仪确定边界方向。②按次序测量块状样地内每株树的胸径、冠幅。

第二司尺员：①根据罗盘仪，手持测绳，用砍刀割灌，穿越林分确定边界。②依次量测块状样地内每株树的树高与枝下高。

记录员：①携带相关文件资料，记录各测量数值填入表格。②在记录观测点坐标时分别记录 GPS 坐标与地图坐标。③钻取生长锥以得到林分年龄。④记录林下灌草及更新状况。

实际操作时，由于地形、视野和准确度等方面的要求，可以借鉴小块状样地确定边界的方法，不计算闭合差。

3.2.6 固定样地调查

前三人组织分工与临时块状样地调查相同，只需增加第三司尺员。

第三司尺员：①利用斧子或砍刀制作永久块状样地标桩。②用 30m 测绳连接块状样地边界中点，确定块状样地树木坐标。③用砍刀刮去老化树皮，用油漆对树木编号。

3.3 角规测树

3.3.1 角规点数的确定

一般采用典型取样的方法，角规点要选在对林分有代表性的位置，避免将角规点设在林分过疏或过密处，角规点数的选择参照表 3.1。

表 3.1 角规调查点的数量设置

林分面积 (ha)	1	2	3	4	5	6	7~8	9~10	11~15	>16
角规点个数	5	7	9	11	12	14	15	16	17	18

如果采用随机取样的方法，则角规点数为：

$$n = \left(\frac{t \cdot c}{E} \right)^2$$

式中：t——可靠性指标：当可靠性为 95% 时， $t=1.96$ ；c——变动系数：对于天然林的观测系数一般为 30% 左右，对于人工林（因为林分比较均匀，变动较小）一般为 20%，常用全距法估算；E——相对误差。

注意：角规点实地确定后，应在对应的小班地图上标出该点在小班中的大致位置。

3.3.2 角规常数（F）的选择

角规测树通常采用杆式角规。角规常数（F）即断面积系数（basal area factor，缩写为 BAF），意义是每株相割的树干直径相当于每公顷有 F 平方米的断面积。选择不同的角规缺口与尺长的比值，即可得到不同的角规常数（F），具体标准见表 3.2。

3.3.3 角规绕测技术

立于测点上，把无缺口的一端紧贴于眼下，选一起点，用角规依次观测周围所有林木的胸高部位，并按下列规则计数。

- （1）凡林木直径大于缺口宽的(相割)，计数为 1；
- （2）凡林木直径等于缺口宽的(相切)，计数为 0.5；
- （3）凡林木直径小于缺口宽的(相余)，计数为 0。

绕测技术是影响角规测树精度的主要因素，必须严格要求，认真操作。绕测时需要注意以下几点：

- ①绕测时，绕测员每测一棵树，说出树种和割切，记录员重复一遍并记录。
- ②角规点的位置不能任意移动。眼睛观测点与地面样点保持一致，当遇到树木被遮挡时，可向左右适当移动，但应保持该树至样点的同样间距，观测后仍回原点再继续绕测。
- ③消除漏测与重测。通常用正绕与反绕两次结果进行检验，当计数株数相差超过 1 时，应该重新绕测，否则取两次的平均数。
- ④认真确定临界树。绕测时，对于相切的树木，必须认真观测，如距离较远不易判断时，应采取实测距离进行判断。方法是测定树木胸径，计算样圆半径 $R = \frac{50}{\sqrt{F}} D$ ，然后测定树木到样点的距离 S。

若 $S = R$ ，相切；

若 $S > R$ ，相余；

若 $S < R$ ，相割。

表 3.2 角规常数对照表

F	杆式角规的比例			
	开口a (cm)	杆长l (cm)	开口a (cm)	杆长l (cm)
0.5	0.70	50	1	70.71
1.0	1.00	50	1	50.00
2.0	1.41	50	1	35.36
4.0	2.00	50	1	25.00

注：根据经验，在一个点上绕测计数为 15 株左右的 F 值较合适。

3.3.4 林缘误差的消除

在典型取样调查时，角规点尽量不要选在靠近林缘处，如果靠近林缘，则绕测时样圆可能会超出林地边界范围，造成林缘误差。

消除林缘误差的方法是划出林缘带，具体方法是：按样点周围最粗树木的胸径计算出样圆半径 $R = \frac{50}{\sqrt{F}} D$ ，按样圆半径画出林缘带。布点时凡是角规点落在林缘带范围内时，则不能进行全圆绕测，而应根据具体情况，面向林内绕测半圆，1/4 或 1/3，然后把绕测结果加大一倍，4 倍 或 3 倍，作为该角规点的全圆绕测结果。

3.3.5 胸径和树高的测定

分别树种测定平均胸径、平均地径和平均高，并测定林分中优势木的胸径、地径和树高。

1) 平均胸径是林分平均断面积所对应的直径，是林木胸径平方的平均数。需要分别树种测定每株树的胸径，然后计算得到。

2) 每个树种选取 3——5 株相当于平均胸径大小的树木测地径和树高，取其平均值为平均地径和平均树高。

3) 在林分中选择 3 株树高最高、树冠完整的树木作为优势木，测定其胸径、地径和树高。

胸径、树高的测定方法参照块状样地调查。

3.3.6 年龄、地理及林下因子的测定

(1) 一个小班内至少需要选取一株优势树种接近平均直径的树木和优势树木分别打生长锥（最好每个观测点都打一个），测定年龄。

(2) 坡位分为山脊、上坡、中坡、下坡。坡向、坡度、海拔的测定参照块状样地调查。

(3) 更新和林下植被的测定参照块状样地调查。

3.3.8 角规调查小组

(1) 每组 3 人

司尺员：①用手持罗盘仪测量坡度、坡向。②在观测点周围选取 3 株胸径最粗或树高最大的树进行检尺每 100m² 测一株树高最高、树冠完整的树木。③根据角规员所确定的优势树种的平均木，钻取生长锥以得到林分年龄。

角规员：①用杆式角规进行角规绕测。②根据进入角规检尺范围内的树木，确定各种树种接近平均胸径的 3-5 株树，分别量测胸径、地径、树高。

记录员：①携带相关文件资料，记录各测量数值填入表格。②在记录观测点坐标时分别记录 GPS 坐标与地图坐标。③记录林下灌草及更新状况。

（2）每组 2 人

司尺员：①用手持罗盘仪测量坡度、坡向。②用杆式角规进行角规绕测。③根据进入角规检尺范围内的树木，确定各种树种接近平均胸径的 3-5 株树，同时确定 2-3 棵优势木，量测胸径、地径、树高。

记录员：①携带相关文件资料，记录各测量数值填入表格。②在记录观测点坐标时分别记录 GPS 坐标与地图坐标。③根据角规员所确定的优势树种的平均木，钻取生长锥以得到林分年龄。④记录林下灌草及更新状况。

3.4 带状样地调查

带状样地分工与临时块状样地调查相同，可看作是由小块状样地边界相互拼接而成的大样地。

3.4.1 基线设置

带状抽样中，抽样单元是按预定的间距及统一的宽度来布设的连续样带，链宽一般为 20m，对于面积较小的密林使用 10m，面积大的疏散林分使用 40m，带间距由抽样强度和扩大系数求出。确定链宽和链间距后，用 100 米（小班较大选用 200 米）测绳沿平行于等高线的方向牵拉测绳，形成一条基线。根据链宽和链间距确定第一条带的带边界起始点，用森林罗盘仪确定第一条带的边界终止点（如有坡度需进行改正）。

3.4.2 起始边确定（从坡底向山脊）

确定带的边界起始点后，用森林罗盘仪进行带下边界方位角的确定（基线的方位角加减 90 度），然后沿着森林罗盘仪的方向牵拉 100 米测绳，根据样段长度进行坡度改正后定点，到山脊后不满一个样段长度的量出实际距离后进行坡度改正并作记录。

3.4.3 终止边确定（从山脊向坡度）

起始边界确定后，到山脊用森林罗盘仪进行样带上边界的确定（方位角为基线的方位角）。终止边的确定由一人用手持罗盘仪（方位角为基线方位角减加 90 度），在上边界点的位置由山脊向坡地牵拉 100 米测绳，直到第一条链的终止点，终止点的位置上可以站一个人进行引导。

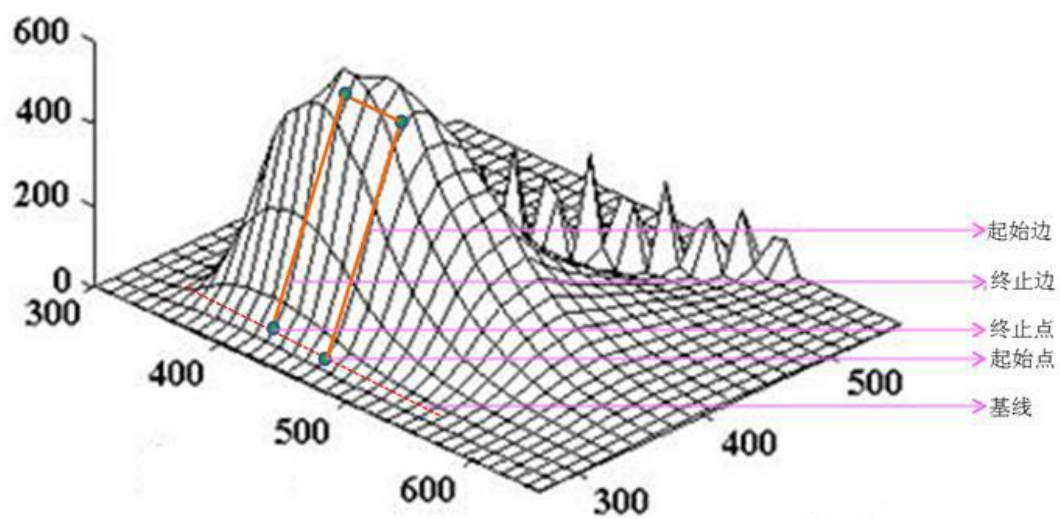


图 3.1 带状样地调查示意图

第4章 专项调查

灌草、土壤、间伐等专项调查时，应在块状样地基础上相应补充调查人员。

4.1 土壤因子调查

土壤容重指自然结构状况下单位体积土壤的烘干重量，通常以 g/cm^3 表示。一般用环刀法测定。

土壤总孔隙度是指土壤中的总孔隙量占土壤总体积的百分率。其包括毛管孔隙和非毛管孔隙。

土壤最大持水量（饱和持水量）是指土壤中的全部孔隙都充满水分时的土壤含水量。

土壤自然含水量（质量%）是指单位体积的自然土壤中的水分含量与同体积的干土质量之比。

4.1.1 土壤剖面及取样

- （1）在标准地旁边挖一土壤剖面，深及母质层（C层），土层厚者挖 1.0m 深。记录土壤类型、发生层次（A、AB、B、C）、厚度、质地、石砾含量（石砾量占该土层体积的%）等项目，填写表 8 土壤剖面调查表。
- （2）在土层 0~10cm、10~20cm、20~40cm、40~60cm、60~80cm、80~100cm 的中间分别用环刀采取土样（保证环刀内的土壤结构不受破坏），用锋利的土壤刀削平环刀表面，盖好用天平测其鲜重（供计算容重和孔隙度用）；各层另取少量样品（10-40 克）放入铝盒（供测含水量用），在现地用天平测其鲜重。
- （3）在野外估测土壤质地的方法：取少量土壤，加水湿润，然后揉搓，搓成细条并弯成直径 2.5-3 厘米大小的土环，根据以下所表现的性质确定质地。

砂土：不能搓成细条。

砂壤土：只能搓成细条。

轻壤土：能搓成 3mm 直径的条，但易断裂。

中壤土：能搓成完整的细条，但弯曲时易断裂。

重壤土：能搓成完整细条，弯成圆圈时易断裂。

粘土：能搓成完整细条，并能弯成圆圈。

4.1.2 土壤水分及物理性质的测定

- （1）将装有湿土的环刀揭去上下底盖，仅留一填有滤纸的有网眼的底盖，放入平底方形塑料盆（盆高 15 cm）中，注入并保持盆中水层的高度至环刀上沿为止，使其吸水达 12 小时（质地粘重的可放时间长些），盖上上、下底盖，水平取出，立即称重（A），即可算出最大持水量（%、毫米）。
- （2）将上述称重量（A）后的环刀去掉底盖，将其放置在铺有干沙的平底方形塑料盆中达 2 小时，此时环刀土壤中的非毛细管水分已全部流出，但环刀中的毛细管中仍充满水分，盖上底盖，立即称重（B），即可算出毛管持水量（%、毫米），进而推算出非毛管持水量（容积，%）。

(3) 将铝盒内土壤样品，放入 105℃ 经 8h 烘干后，称其干重，求算水分换算系数。

4.1.3 土壤调查计算

(1) 水分换算系数 (K1) = 烘干土样重 / 湿土样重

环刀内湿土重 * K1 = 环刀内烘干土重

土壤含水量 (质量 %) = [(环刀内湿土重 - 环刀内干土重) / 环刀内干土重] * 100 %

土壤容重 (g/cm³) = 环刀内烘干土重 / 环刀容积

土壤含水量 (容积 %) = 土壤含水量 (质量 %) * 土壤容重 (g/cm³)

土壤自然贮水量 (mm) = 0.1 * 土壤含水量 (容积 %) * 土层厚度 (cm)

(2) 最大持水量 (%) = [(浸润 12h 后环刀内湿土重 (A) - 环刀内干土重) / 环刀内干土重] * 100%

最大持水量 (mm) = 0.1 * 土层厚度 (cm) * 土壤容重 (g/cm³) * 最大持水量 (%)

(3) 毛管持水量 (%) = [(在干沙上搁置 2 小时后环刀内湿土重 (B) - 环刀内干土重) / 环刀内干土重] * 100%

毛管持水量 (mm) = 0.1 * 土层厚度 (cm) * 土壤容重 (g/cm³) * 毛管持水量 (%)

(4) 毛管孔隙度 (%) = 毛管持水量 (%) * 土壤容重 (g/cm³)

(5) 非毛管孔隙度 (%) = 土壤总孔隙度 (%) - 毛管孔隙度 (%)

注：土壤总孔隙度 (%) 可以根据土壤容重的测定结果查土壤容积与总孔隙度关系表获得。

4.2 灌草因子调查

4.2.1 灌草样地选取

(1) 根据当地的主要立地—植被类型，选择典型地段，对灌丛植被、草坡进行样方调查。

(2) 立地类型划分可以优先考虑海拔、坡向、坡位或土层厚度等主要立地因子。

(3) 分不同的立地—植被类型设置样地或样方，灌丛样方面积为 5m × 5m，草坡样方面积 1m × 1m。每种类型选设样方 3—5 个。

(4) 对于有明显时间影响的植被类型，可以分年龄阶段布设样地或样方。

(5) 另外，灌丛样方中应该再选取有代表性的 20cm × 20cm 枯枝落物样方 1—3 个。

4.2.2 灌草基本情况

调查样地位置（林场、林班、小班）、地理座标（记录 GPS 读数）、立地因子（海拔、坡向、坡度、坡位、土壤厚度等）、灌丛和草坡的土地利用历史和现利用方式，年龄，分布，平均高度，丛径，地径，覆盖度等。填写灌丛草坡样地封面。

4.2.3 灌草生物多样性

分别记录 1m × 1m、5m × 5m 样方内所有（或主要）草本植物和灌木种类、数量、平均高度、盖度以及草本总盖度，填草本及灌木样方调查记录表。

4.2.4 生物量调查

- (1) 分别采集样方外1 m ×1m和5m×5m临时样方内的草本和灌木各若干株用于生物量的计算。
- (2) 其中，草本分离地上部分和地下部分，灌木分离叶、枝、须根（直径≤2mm）、细根（直径为2~10mm）和粗根（直径>10mm），用密封袋密封，带回实验室。
- (3) 用分析天平称各部分的鲜重，60℃烘干后测算含水率以换算标准地内的灌、草总生物量干重。
- (4) 填灌草生物量记录表，并建立地上-地下等各部分间的生物量关系。

4.3 枯落物调查

- (1) 在5个20cm×20cm的样方内，测定枯枝落物层的厚度，区分出未分解层、半分解层和已分解层，精确到0.1cm。
- (2) 并按照分层获取一些样品，装入塑料带内带回实验室，称取鲜重，60℃烘干称重以后称取干重，称量到0.1克，填写枯落物层调查记录表。

4.4 更新调查

在5 m×5m的乔木更新样方内，对直径小于起测径阶（5 cm）的所有幼苗幼树，分别记录其树种、起源（人工/天然、实生/萌生）、树高和年龄等信息。填写更新调查表。

4.5 间伐样地调查

4.5.1 数据需求

- (1) 获得样地内不同径阶树木5年内胸径生长量；
- (2) 各个径阶枯损株数；
- (3) 以及5年内幼树进界株数；
- (4) 经纬坐标、林下灌木、草本和土壤的详细信息。

4.5.2 样木定位和编号方法

固定样地需要对每株树进行样木定位和编号。

- (1) 调查时，应测量并记录每株树的胸径、树高、东西冠幅、南北冠幅和年龄。
- (2) 如果为异龄混交林，年龄数据较难获得，有条件的话，可以分别选取不同树种的标准木钻取木芯测量。
- (3) 描述立地条件需要记录坡度（数值）、坡向（方位角）、海拔和土壤类型。
- (4) 如果调查区域可划分为不同林型的话，还应该记录样地林分所属林型。
- (5) 对于长期和固定样地，进入起测径阶的样木都要以样地为单元进行编号，并长期保持不变，对于新设样地，检尺样木从1开始编号，要求做到不重不漏。

- (6) 对于复测样地，复位为样木的编号保持不变，样木被采伐或枯死后，原有编号原则上不再使用，新测样木接原来前期的最大编号续编。

第 5 章 调查组织

5.1 调查人员

- (1) 参与项目的科研人员；
- (2) 参与项目工作的研究生；
- (3) 协助外业工作的科研助理。

5.2 外业时间

- (1) 外业调查一般安排在夏季（6-8 月）进行。但需注意 7、8 月份处于雨季，许多时候外业工作会因为下雨而无法进行。
- (2) 亦可利用秋季（9-11 月）安排外业工作。秋季外业白昼短，气温低，需做好防寒准备。同时注意避开山沟雨季涨水。
- (3) 春季和冬季主要是外业设计的准备工作和外业资料整理的内业工作。

5.3 经费预算

表 5.1 经费预算表

科目	备注
仪器设备费	配备手持GPS、生长锥、对讲机、手持罗盘仪、森林罗盘仪、角规、测高器等设备。其他仪器设备可从实验管理中心借用。
交通费	用于往返调查地区的交通费用。
租车费	野外调查有时距离较远，难以步行到达或为提高外业调查效率乘车时，可租用当地车辆。
劳务费	用于雇佣观测和调查人员的劳务性费用。
伙食住宿费	用于野外调查时的住宿及伙食。
保险费	为进行外业工作的人员购买短期健康和意外伤害保险。

第 6 章 数据汇总

6.1 外业记录表

已记录和未记录的外业记录表格，应该分开保存。每天晚上要将当天外业记录过的表格取出，按照观测点顺序检查整理好，装入专门的文件袋中保存。

6.2 生长锥样本

打生长锥时，如果取出的木芯完好，则在东西和南北方向各打一个，用纸包起来粘好，放在盒子中妥善保存；如果木芯损坏，则根据年轮数出年龄，木芯可不保存。

6.3 灌草标本

外业调查记录时如果遇到一些不能识别的灌木或地被物，应该采集植物标本（尽量采集带花带果的标本），装在塑料袋内带回，回去后查阅工具书鉴定，并记录其识别特征，确保再次遇到时能够准确识别。如果自己难以鉴定，则应将标本用标本夹压好（注意定期换纸），找专业人员鉴定。

6.4 数据计算

6.4.1 块状样地

（1）林分各树种的平均直径

平均直径是林分平均断面积所对应的直径，是林木胸径平方的平均数：

$$D_g = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n D_i^2}{N}}$$

（2）林分各树种的平均高

根据每木检尺测得的胸径和树高，绘制树高一胸径曲线，以林分各树种的平均直径在树高曲线上查出相应的树高为林分各树种的平均高。

（3）优势木的平均高

在每木检尺数据中，选取 3—5 株最高或胸径最大的立木取其算术平均值。

（4）冠幅及树冠竞争因子（CCF）

以每棵树东西和南北方向的冠幅取算术平均值。

林分中所有树木可能拥有的潜在最大树冠面积之和与林地面积的比值称为树冠竞争因子（CCF）。具体确定方法为：

① 利用自由树的冠幅 CW 与胸径 D 建立线性回归方程，即

$$CW=a+b*D$$

② 计算树木的潜在最大树冠面积 MCA：对于一株胸径为 D_i 的自由树其最大树冠面积 MCA_i 为

$$(MCA)_i = \pi * (a + b * D)^2 / 4$$

③ 将单位面积林分中所有树木的 MCA_i 相加，即为该林分的 CCF。

一般我们将 CCF 作为林分密度的指标之一，对于单木而言描述竞争的指标有很多，包括相对直径、相对断面积、竞争木距离等，应根据具体数据状况选择。

(5) 各树种蓄积量

根据块状样地计算蓄积量的方法有很多种，结合我们块状样地调查的数据，采用二元材积表法。

① 首先将树木的胸径按照径阶整化：平均直径 6—12cm，采用 2cm 为一径阶；平均直径在 12cm 以上，以 4cm 为一径阶。

② 在树高曲线上查出各径阶的树高。

③ 根据各径阶树高及直径查该树种的二元材积表，得各径阶单株材积。

④ 根据每木检尺查出各径阶株数，乘以单株木材积，即得各径阶材积。总和后，即得块状样地蓄积量 (M)。

$$M = n_1 v_1 + n_2 v_2 + \dots + n_n v_n$$

式中： $n_1, n_2, \dots, n_n$ ——各径阶株数；

$v_1, v_2, \dots, v_n$ ——各径阶单株材积。

⑤ 根据块状样地的面积，即可将块状样地蓄积量换算为林分中该树种的每公顷蓄积量。

(6) 树种组成

按各树种蓄积量占总蓄积量的成数计算，并用十分数表示。在组成式中，各树种的顺序按组成系数大小依次排列；如果某一树种的蓄积量不足林分总蓄积的 5%，但大于 2% 时，则在组成式中用 “+” 号表示；若某一树种的蓄积少于林分总蓄积的 2% 时，则在组成式中用 “-” 号表示。

6.4.2 角规测树

(1) 坡度改正

用杆式角规测定断面积时，还应测量该角规点计数范围内林地的坡度 θ 。若 $\theta > 5^\circ$ 时，绕测计数结果应进行坡度改正，即

$$Z = Z_\theta \cdot \sec \theta$$

式中： Z_θ ——在坡地上绕测计数值；

Z ——在水平地面上绕测计数值。

(2) 计算每公顷断面积

$$G = F \cdot Z$$

或

$$G = F \cdot Z_0 \cdot \sec \theta \quad (\text{在坡地上时})$$

(3) 计算林分蓄积量

根据每公顷断面积和各树种的平均高，可以计算出林分各树种的每公顷蓄积量。利用平均实验形数法计算：

$$M = G \cdot (\bar{H} + 3) \cdot f_a$$

式中： f_a ——平均实验形数，可查表获得。

6.5 录入汇总

在内业数据计算时，将外业记录表和内业计算结果誊抄到专门的记录表格内，并将数据录入制好的电子表格中保存。纸质版的表格按林班和小班的顺序整理好，分别林班装入不同的文件袋中，并用记号笔在袋上作好年份和林班标记，放入资料柜中保存。

另外对于 GPS 中所存储的数据，需要在外业工作结束后统一导入计算机中保存。GPS 型号 Garmin GPSmap 60CSx 和 Garmin GPSmap 62sc, 可在佳明官方网站下载 Trip&Waypoint Manager 软件，利用数据线将手持 GPS 中存储的航点、航线、航迹数据导出（航点为主）。

附录 森林野外勘察记录表

附表 1 样地调查记录表

林班号：_____ 小班号：_____ 样地号：_____ 样地规格：_____

GPS 坐标：_____ 地图坐标：_____

坡度：_____ 坡位：_____ 坡向：_____

海拔：_____ 郁闭度：_____

调查员：_____ 调查日期：_____

罗盘仪测量记录

测站	方位角	倾斜角	斜距	水平距	累计

误差检验：

补充记录：

经营类型：_____ 更新树种组成及年龄：_____ 更新每公顷株数：_____

高度：_____m 分布情况：_____ 生长情况：_____ 更新等级：_____

下木主要种类：_____ 覆盖度：_____ 高度：_____m 分布：_____

地被物主要种类：_____ 覆盖度：_____ 分布：_____

土壤名称：_____ 质地：_____ 厚度：_____cm 干湿度：_____

附表3 角规调查记录表

林班号：_____ 小班号：_____ 观测点号：_____ GPS 坐标：_____ 地图坐标：_____

Fg: _____ 坡度：_____ 坡位：_____ 坡向：_____ 海拔：_____ 郁闭度：_____

调查员：_____ 调查日期：_____

树种																
	割	切	割	切	割	切	割	切	割	切	割	切	割	切	割	切
计数																
胸径																
地径																
树高																
年龄																

树种								
	割	切	割	切	割	切	割	切
计数								
胸径								
地径								
树高								
年龄								

优势树高

树种			
胸径			
地径			
树高			

说明：枯立木、散生木、倒木不另外设计表格，记录时直接在树种一栏中加括号注解，如记为：油松（枯立木）。坡向记为方位角或者方向角。

单位：胸径（cm），地径（cm），树高（m），年龄（年）。优势树高在调查时选择3株最高或胸径最大的立木测定。

补充记录：以上调查年龄为：☐木芯年龄（生长至胸高处时年龄：__） ☐生物学年龄

经营类型：_____更新树种组成及年龄：_____更新每公顷株数：_____ 高度：__m 分布情况：_____ 生长情况：_____ 更新等级：_____

生长至胸高处时年龄：__下木主要种类：_____ 覆盖度：__ 高度：__m 分布：_____

地被物主要种类：_____ 覆盖度：__ 分布：_____ 土壤名称：_____ 质地：_____ 厚度：_____cm 干湿湿度：__

附表 4 草本样方（1*1 m²）调查记录表

地点： 时间： 林班号： 小班号： 样地号： 调查员：

草本总覆盖度： %，平均高： m， 分布： 草本总重（湿）： （干）： g/m²：

草本样方号	种名	数量	盖度	平均高(m)	湿重(g) *	干重(g) *
1						
2						
3						

注：*表示只在部分重点样地分草种进行调查，而不是全部样地

草本样方 (1*1 m²) 调查记录表 (续)

地点: 时间: 林班号: 小班号: 样地号: 调查员:

草本样方号	种名	数量	盖度	平均高 (m)	湿重 (g) *	干重 (g) *
4						
5						

注: *表示只在部分重点样地分草种进行调查, 而不是全部样地

其他记录或说明:

附表 5 灌木样方调查记录表

地点： 时间： 林班号： 小班号： 样地号： 调查员：

灌木总覆盖度： %，平均高： m， 分布： 灌木总重（湿）： （干）： g/m²：

灌木样方号	种名	数量	盖度	平均高(m)	湿重(g) *	干重(g) *
1						
2						
3						

注：*表示只在部分重点样地分灌木进行生物量调查，而不是全部样地

灌木样方调查记录表（续）

地点： 时间： 林班号： 小班号： 样地号： 调查员：

灌木样方号	种名	数量	盖度	平均高 (m)	湿重 (g) *	干重 (g) *
4						
5						

注：*表示只在部分重点样地分灌木进行生物量调查，而不是全部样地
其他记录或说明：

附表 6 灌草生物量调查记录表

地点： 时间： 林班号： 小班号： 样地号： 调查员：

样方号	生物量 (g/m ²)					
	灌木			草本		
	总鲜重	总干重	含水率	总鲜重	总干重	含水率
1						
2						
3						
4						
5						
平均值						

记录说明：

灌草生物量调查记录表

地点： 时间： 林班号： 小班号： 样地号： 调查人：

样方号	生物量 (g/m ²)					
	灌木			草本		
	总鲜重	总干重	含水率	总鲜重	总干重	含水率
1						
2						
3						
4						
5						
平均值						

记录说明：

附表 8 枯落物层调查记录表

地点： 时间： 林班号： 小班号： 样地号： 调查员：

1*1m ² 样方号	枯落物厚度 (cm)			总鲜重 (g)			样品鲜重 (g)			样品干重 (g)			总干重 (g)
	OL	OF	OH	OL	OF	OH	OL	OF	OH	OL	OF	OH	
1													
2													
3													
4													
5													
平均													

注：OL、OF、OH 分别表示未分解层、半分解层、已分解层。

记录说明：

枯落物层调查记录表

地点： 时间： 林班号： 小班号： 样地号： 调查员：

1*1m ² 样方号	枯落物厚度 (cm)			总鲜重 (g)			样品鲜重 (g)			样品干重 (g)			总干重 (g)
	OL	OF	OH	OL	OF	OH	OL	OF	OH	OL	OF	OH	
1													
2													
3													
4													
5													
平均													

注：OL、OF、OH 分别表示未分解层、半分解层、已分解层。

记录说明：

附表 9 土壤剖面调查记录表

地点： 时间： 林班号： 小班号： 样地号： 调查员：

剖面地形（海拔： 米；坡向： 坡度： 坡位： 小地形： ）

森林/植被情况： 主要树种： 林龄：

枯落物层总厚度： cm；未分解层： cm；半分解层： cm；已分解层 cm

土壤名称： 当地土壤名称： 地表土壤侵蚀情况：

母岩及母质： 地下水埋深： 米；排水条件：

土地利用历史与现状：

初渗速度 f_0 ： mm/min；稳渗速度 f_c ： mm/min；消退系数 k ：

土壤剖面记载

发生 层次	土层 (cm)	形态描述										
		湿度	颜色	质地	结构	根系	PH 值	新生体	侵入体	碳酸盐	石粒含量	其他

水分物理性质

发生 层次	土层 (cm)	容重 g/cm^3	毛管孔 隙度 %	非毛管孔 隙度 %	总孔隙 度 %	毛管持 水量 mm	非毛管持 水量 mm	饱和持 水量 mm	饱和导 水率	其它
土层 (cm)		10		20		30		40		
环刀内湿重										
铝盒内湿重										
A										
B										

注：土壤调查内容相对较多，应根据实际数据需求、调查成本等进行调整。

下篇 森林生态系统动态评价方法

实验 1 森林调查数据预处理

1.1 样地数据

1.1.1 样地种类

森林调查数据能够服务于多种目标，基于不同的调查目的，需要采取不同的调查技术（表 1.1）。根据是否进行定位复测，样地可以分为临时样地与固定（永久）样地。按照样地形状又可以分为块状样地、带状样地、以及点抽样（角规）样地。

1.1.2 抽样数量

受森林调查的资金和人员调配的影响，样地调查的数量也要受到成本的限制。在样地设计时，样地的数量应当高于估计精确度对应的最小单元数。假设调查要求样本平均值偏离实际总体平均值 μ 的离差小于给定的 d 值，其概率为 $1-\alpha$ ，即概率 $p(|\bar{y} - \mu| \leq d) = 1 - \alpha$ ，则样地的数量，即样本的大小 n 可以相应计算出来。

如果假定样本平均值呈正态分布，不放回抽样的离差计算公式为：

$$d = z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{N-n}{N} \frac{S}{\sqrt{n}}}$$

上式中 $z_{\alpha/2}$ 为正态分布的临界值， N 为总体， S 为总体标准差，由上式可得样本量 n 的计算公式为：

$$n = \left(\frac{z_{\alpha/2}}{d}\right)^2 \left(\frac{N-n}{N}\right) S^2$$

上式中 n 出现在方程两边，无法直接计算。事实上，当总体无限大时，样本大小为：

$$n_0 = \left(\frac{z_{\alpha/2}}{d}\right)^2 S^2$$

表 1.1 调查目标与抽样设计（Vancley, 1994）

样地特征	调查目标			
	资源调查	连续森林调查	生长建模	立地监测
永久性	临时	永久	永久	永久
样地面积	可变 $\propto$ 树木大小	固定	固定	固定
样地内变异	异质	均质	均质	均质
样地设置	分层随机抽样	系统抽样	分层随机抽样	立意抽样或系统抽样
抽样单元	样地	样地	树木	植被区块

注：立意抽样又称“判断抽样”，是指根据调查人员的主观经验从总体样本中选择那些被判断为最能代表总体的单位作样本的抽样方法。

进而在此基础上，得到有限总体的样本数为：

$$n = \frac{n_0}{\left(1 + \frac{n_0}{N}\right)}$$

上述计算中需要知道总体的方差 S^2 ，但总体方差通常未知。可以从以往调查或试验中进行估计。若方差通过样本估计得到，则以学生 t 分布取代正态分布，相应临界值为 $t_{\alpha/2}$ 。

下面通过例子来理解样地设计中样本量确定的方法：

例 1.1 假设某林场需要对有 100ha 林地进行基于系统抽样的样地调查，调查目标是确定平均每公顷林木的蓄积量。现要求在 95%置信区间下，可允许的离差不超过 15m³/ha，计算需要设计多少个 20m*20m 的矩形样地。（已知总体标准差为 50m³/ha）

估算一个无限总体所需的样本大小为：

$$n_0 = \left(\frac{z_{\alpha/2}}{d}\right)^2 S^2 = \left(\frac{1.96}{15}\right)^2 50^2 = 42.68$$

已知样地为 20m*20m 的矩形样地，总林地面积为 100ha，进而有限总体的大小为：

$$N = \frac{100}{20 \times 20 \div 10000} = 2500$$

最终，对于有限总体所需设计的样地数量为：

$$n = \frac{n_0}{\left(1 + \frac{n_0}{N}\right)} = \frac{42.68}{\left(1 + \frac{42.68}{2500}\right)} = 41.96$$

综上所述，需要设计 42 块调查样地，才能使得蓄积量调查在 95%置信区间下，可允许的离差不超过 15m³/ha。

1.1.3 抽样误差

当林业工作者获得样地调查数据以后，需要由样地信息推算林分整体水平，如林分断面积、蓄积、生物量、碳汇等，此时基于抽样方法、样地数量等因素，可以对样地调查的误差进行评估。现以分层抽样调查林分蓄积的例子来进行演示说明：

例 1.2 某林场对其 20 ha 林地按照龄组分成 3 层进行样地调查(样地为 20m*30m 矩形样地)，分层信息及样地调查结果如下表所示，试计算各层每公顷蓄积及总蓄积，整个区域每公顷蓄积及总蓄积，以及其相应标准误。

表 1.2 分层及样地信息

层	林地面积 A	样地数量 n	各样地每公顷蓄积 y (m ³ /ha)
幼龄林	10	8	36 42 41 42 30 35 43 44
中龄林	6	6	80 83 77 88 72 68
成熟林	4	6	122 135 140 127 136 121

基于样地计算各层每公顷林木平均蓄积量 (m³/ha) 为：

$$\hat{y}_1 = \frac{1}{n_1} \sum_1^{n_1} y_{1i} = \frac{1}{8} \sum_1^8 y_{1i} = \frac{36 + 42 + 41 + 42 + 30 + 35 + 43 + 44}{8} = 39.1 \text{ m}^3/\text{ha}$$

$$\hat{y}_2 = \frac{1}{n_2} \sum_1^{n_2} y_{2i} = \frac{1}{6} \sum_1^6 y_{2i} = \frac{80 + 83 + 77 + 88 + 72 + 68}{6} = 78.0 \text{ m}^3/\text{ha}$$

$$\hat{y}_3 = \frac{1}{n_3} \sum_1^{n_3} y_{3i} = \frac{1}{6} \sum_1^6 y_{3i} = \frac{122 + 135 + 140 + 127 + 136 + 121}{6} = 130.2 \text{ m}^3/\text{ha}$$

在计算均值的标准误之前，首先要计算样本的方差：

$$s_{y1}^2 = \frac{1}{n_1} \sum_1^{n_1} (y_{1i} - \hat{y}_1)^2 = 21.1$$

$$s_{y2}^2 = \frac{1}{n_2} \sum_1^{n_2} (y_{2i} - \hat{y}_2)^2 = 44.3$$

$$s_{y3}^2 = \frac{1}{n_3} \sum_1^{n_3} (y_{3i} - \hat{y}_3)^2 = 52.5$$

相应每公顷林木蓄积量的标准误为：

$$s_{\hat{y}_1} = \sqrt{\left(1 - \frac{n_1}{N_1}\right) \frac{s_{y1}^2}{n_1}} = \sqrt{\left(1 - \frac{8}{10/0.06}\right) \frac{21.1}{8}} = 1.59 \text{ m}^3/\text{ha}$$

$$s_{\hat{y}_2} = \sqrt{\left(1 - \frac{n_2}{N_2}\right) \frac{s_{y2}^2}{n_2}} = \sqrt{\left(1 - \frac{6}{6/0.06}\right) \frac{44.3}{6}} = 2.63 \text{ m}^3/\text{ha}$$

$$s_{\hat{y}_3} = \sqrt{\left(1 - \frac{n_3}{N_3}\right) \frac{s_{y3}^2}{n_3}} = \sqrt{\left(1 - \frac{6}{4/0.06}\right) \frac{52.5}{6}} = 2.83 \text{ m}^3/\text{ha}$$

每层林分的总蓄积为：

$$\hat{T}_1 = A_1 \hat{y}_1 = 10 \times 39.1 = 391.0 \text{ m}^3$$

$$\hat{T}_2 = A_2 \hat{y}_2 = 6 \times 78.0 = 468.0 \text{ m}^3$$

$$\hat{T}_3 = A_3 \hat{y}_3 = 4 \times 130.2 = 520.8 \text{ m}^3$$

每层林木总蓄积的标准误为：

$$s_{\hat{T}_1} = \sqrt{\text{var}(\hat{T}_1)} = \sqrt{A_1^2 \text{var}(\hat{y}_1)} = \sqrt{10^2 \times 1.59^2} = 15.9 \text{ m}^3$$

$$s_{\hat{T}_2} = \sqrt{\text{var}(\hat{T}_2)} = \sqrt{A_2^2 \text{var}(\hat{y}_2)} = \sqrt{6^2 \times 2.63^2} = 15.8 \text{ m}^3$$

$$s_{\hat{T}_3} = \sqrt{\text{var}(\hat{T}_3)} = \sqrt{A_3^2 \text{var}(\hat{y}_3)} = \sqrt{4^2 \times 2.83^2} = 11.3 \text{ m}^3$$

整个林地区域平均每公顷林木蓄积为：

$$\hat{y}_{tot} = \sum_{i=1}^3 \frac{A_i}{A} \hat{y}_i = \frac{10}{20} \times 39.1 + \frac{6}{20} \times 78.0 + \frac{4}{20} \times 130.2 = 69.0 \text{ m}^3/\text{ha}$$

相应其标准误为：

$$S_{\hat{y}_{tot}} = \sqrt{\sum_{i=1}^3 \left(\frac{A_i}{A}\right)^2 \text{var}(\hat{y}_i)} = \sqrt{\left(\frac{10}{20}\right)^2 \times 1.59^2 + \left(\frac{6}{20}\right)^2 \times 2.63^2 + \left(\frac{4}{20}\right)^2 \times 2.83^2} = 1.25 \text{ m}^3/\text{ha}$$

整个林地的总蓄积为：

$$T_{tot} = \hat{T}_1 + \hat{T}_2 + \hat{T}_3 = 391.0 + 468.0 + 520.8 = 1379.8 \text{ m}^3$$

整个林地总蓄积的标准误为：

$$S_{T_{tot}} = \sqrt{\sum_{i=1}^3 \text{var}(\hat{T}_i)} = \sqrt{s_{\hat{T}_1}^2 + s_{\hat{T}_2}^2 + s_{\hat{T}_3}^2} = \sqrt{15.9^2 + 15.8^2 + 11.3^2} = 25.1 \text{ m}^3$$

1.2 林分调查因子

1.2.1 林分调查因子的测算方法

林业调查中，将能够客观反映林分特征的因子称为林分调查因子。林分调查因子的测定和计算，是森林经理学、森林培育学、森林生态学等林学学科的专业基础。

(1) 平均胸径（Average diameter at breast height）

林分平均胸径并不是林木胸径的平均水平，而是林木胸高断面积的平均水平。即先计算林分平均断面积，再求出所对应的直径作为林分平均直径。

首先根据每木调查的结果，计算出林分（或标准地）内部林木断面积的总和（ G ）与平均断面积 $\bar{g}$ ；其次，求出与 $\bar{g}$ 相对应的直径作为林分平均直径（ $\bar{D}$ ）。即：林分平均胸径实际上是林分内各株树木胸径的平方平均数。推导如下：

$$\begin{aligned} G &= \sum_{i=1}^N g_i \\ \bar{g} &= \frac{G}{N} = \frac{\sum_{i=1}^N g_i}{N} \\ \bar{g} &= \pi R^2 = \frac{\pi}{4} d^2 \\ \bar{D} &= \sqrt{\frac{4}{\pi} \bar{g}} = \sqrt{\frac{4 \sum_{i=1}^N g_i}{\pi N}} = \sqrt{\frac{4 \sum_{i=1}^N \frac{\pi}{4} d_i^2}{\pi N}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N d_i^2}{N}} \end{aligned}$$

(2) 林分平均年龄与平均树高（Stand age and Average height）

平均年龄的计算，通常有两种方法。

A 算术平均年龄：在林分内查记若干树木的年龄，求其算术平均数，作为林分平均年龄。

B 断面积加权平均年龄：

$$A = \frac{A_1 G_1 + A_2 G_2 + \dots + A_n G_n}{G_1 + G_2 \dots + G_n}$$

式中： $A_1 A_2 A_3 \dots A_n$ ——各径阶的算术平均年龄；

$G_1 G_2 G_3 \dots G_n$ ——各径阶的断面积合计

林分平均高的计算，也通常有两种方法。

A 根据林分平均直径在树高曲线上确定的树高。

B 依据林分各径阶林分的算术平均高与对应径阶林木胸高断面积加权。

注意，一般而言无论是林分年龄还是林分树高，采用加权法计算较为精确。

(3) 树种组成 (species composition)

组成林分的树种成分称作树种组成。在混交林中常以树种组成系数表达各树种在林分中所占的数量比例。所谓树种组成系数是某树种蓄积（或断面积）占林分总蓄积（或总断面积）的比重。

树种组成系数式的构成：由树种名称所占蓄积的成数（树种组成系数）组成系数通常有十分法表示，即各树种组成系数之和等于 10。

对于树种是纯林的，如油松纯林，其组成式则为：“10 油”，对于混交林，写组成式有严格的规定如下：

① 组成系数最大的树种（优势树种：蓄积量比重最大的树种）写在最前面，其余的依次排列；

② 组成系数相同时，应先写目的树种（最符合经营目的的树种）

③ 对蓄积比重不足 5%，但大于 2%的树种，在组成式中用“+”表示，小于 2%的用“-”表示。

例 1.3 有一林分由云杉、桦木、冷杉、山杨组成，各树种蓄积量分别为：云杉 404m³；桦木 94m³；冷杉 21m³；山杨 6m³。求树种组成式。

(1) 计算林分总蓄积量=404+94+21+6=525

(2) 计算各树种蓄积量的比重：

云杉=404/525=0.77≈8；

桦木=94/525=0.18≈2

冷杉=21/525=0.04；

山杨=6/525=0.01

所以该林分的组成式为：“8 云 2 桦+冷-山”

(4) 其它林分调查因子

A 根据林分起源，林分可分为天然林和人工林。

B 根据乔木树冠所形成的层次，可以讲林分分成单层林和复层林。

C 林分密度条件可以通过株数密度、疏密度和郁闭度来描述。

D 立地质量通过地位级或地位指数来进行评价。

E 林分蓄积量的测定可以通过材积表（材积方程）、实验形数法、标准表等多种方法进行计算。

F 森林木材资源的经济价值通过林木质量等级、林分出材率和可及度来进行描述。

1.2.2 每木检尺数据的内业计算

在标准地或样地内进行每株树木的实测称为每木检尺，是林分调查时常见的方法之一。下面我们通过每木检尺的样地数据来熟悉林分调查因子的内业计算方法。

例 1.4 林业调查组对一天然松栎混交林分进行样地调查，下表为其 20m*20m 矩形样地内每木检尺的数据，试计算该林分树种组成、平均胸径、平均树高、林分密度、每公顷断面积、蓄积量等主要调查因子。

表 1.3 每木检尺样地信息

编号	树种	胸径 (cm)	树高 (m)	编号	树种	胸径 (cm)	树高 (m)
1	油松	19.0	12.2	17	油松	18.2	12.3
2	油松	18.3	11.8	18	锐齿栎	14.3	9.8
3	锐齿栎	14.6	10.5	19	锐齿栎	19.9	11.0
4	锐齿栎	11.3	9.7	20	油松	19.6	13.1
5	油松	23.5	15.4	21	华山松	23.8	15.3
6	油松	22.6	14.7	22	油松	23.2	15.1
7	华山松	18.4	12.0	23	油松	22.5	14.6
8	油松	15.1	10.0	24	锐齿栎	25.9	12.1
9	锐齿栎	14.6	10.5	25	油松	24.3	16.0
10	华山松	24.4	15.2	26	锐齿栎	22.2	11.4
11	华山松	24.9	16.2	27	油松	21.7	14.0
12	锐齿栎	17.6	11.2	28	华山松	24.3	12.0
13	锐齿栎	20.2	11.8	29	油松	13.4	10.2
14	油松	17.2	11.1	30	锐齿栎	8.0	7.5
15	油松	14.2	10.0	31	锐齿栎	11.0	9.0
16	油松	16.4	11.1				

从上表中已知样地内共 31 株树，其中油松 15 株，锐齿栎 11 株，华山松 5 株。

$$\text{总林分密度: } N_{tot} = \frac{n_{tot}}{A} = \frac{31}{20 \times 20 / 10000} = 775 \text{ 株/ha}$$

$$\text{油松株数密度: } N_1 = \frac{n_1}{A} = \frac{15}{20 \times 20 / 10000} = 375 \text{ 株/ha}$$

$$\text{锐齿栎株数密度: } N_2 = \frac{n_2}{A} = \frac{11}{20 \times 20 / 10000} = 275 \text{ 株/ha}$$

$$\text{华山松株数密度: } N_3 = \frac{n_3}{A} = \frac{5}{20 \times 20 / 10000} = 125 \text{ 株/ha}$$

样地内林木总断面积:

$$G_{tot} = \sum_{i=1}^{n_{tot}} g_i = \sum_{i=1}^{n_{tot}} \frac{\pi}{4} d_i^2 = 0.9174 \text{ m}^2$$

继而得到林分平均胸径:

$$\bar{D}_{tot} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \bar{g}} = \sqrt{\frac{4 G_{tot}}{\pi n_{tot}}} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \times \frac{0.9174 \times 10000}{31}} = 19.4 \text{ cm}$$

实际上林分断面积一般采用每公顷断面积表示，即

$$BA_{tot} = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^{n_{tot}} g_i = \frac{1}{20 \times 20 / 10000} \times 0.9174 = 22.9 \text{ m}^2/\text{ha}$$

同理可得各树种的平均胸径与每公顷断面积:

$$\text{油松: } \bar{D}_1 = 19.6 \text{ cm} \quad BA_1 = 11.3 \text{ m}^2/\text{ha}$$

$$\text{锐齿栎: } \bar{D}_2 = 17.1 \text{ cm} \quad BA_2 = 6.3 \text{ m}^2/\text{ha}$$

$$\text{华山松: } \bar{D}_3 = 23.3 \text{ cm} \quad BA_3 = 5.3 \text{ m}^2/\text{ha}$$

平均树高可以通过断面积加权进行计算:

$$\text{油松: } \bar{H}_1 = \frac{1}{G_1} \sum_{i=1}^{n_1} g_i h_i = 15.3 \text{ m}$$

$$\text{锐齿栎: } \bar{H}_2 = 10.6 \text{ m}$$

$$\text{华山松: } \bar{H}_3 = 14.4 \text{ m}$$

$$\text{林分平均高: } \bar{H}_{tot} = \frac{BA_1 \times H_1 + BA_2 \times H_2 + BA_3 \times H_3}{BA_{tot}} = 13.8 \text{ m}$$

蓄积量的计算方法很多，这里我们采用实验形数法，即

$$M = (H + 3) \times BA \times f_{\theta}$$

油松、锐齿栎、华山松的实验形数分别为 0.41, 0.40, 0.42。蓄积量为:

$$\text{油松: } M_1 = (H_1 + 3) \times BA_1 \times f_{\theta_1} = (15.3 + 3) \times 11.3 \times 0.41 = 84.8 \text{ m}^3/\text{ha}$$

锐齿栎： $M_2 = (H_2 + 3) \times BA_2 \times f_{\partial_2} = (10.6 + 3) \times 6.3 \times 0.40 = 34.3 \text{ m}^3/\text{ha}$

华山松： $M_3 = (H_3 + 3) \times BA_3 \times f_{\partial_3} = (14.4 + 3) \times 5.3 \times 0.42 = 38.7 \text{ m}^3/\text{ha}$

林分总蓄积： $M_{\text{tot}} = M_1 + M_2 + M_3 = 157.8 \text{ m}^3/\text{ha}$

根据各树种蓄积量可以写出林分树种组成式：

$$\text{油松} = \frac{M_1}{M_{\text{tot}}} = \frac{84.8}{157.8} = 0.54$$

$$\text{锐齿栎} = \frac{M_2}{M_{\text{tot}}} = \frac{34.3}{157.8} = 0.22$$

$$\text{华山松} = \frac{M_3}{M_{\text{tot}}} = \frac{38.3}{157.8} = 0.25$$

该林分树种组成式为：5 油 3 华 2 栎。

实验 2 生物统计回归分析

2.1 理论生长方程

树木的生长方程 (growth equation) 是指描述某树种 (组) 各调查因子总生长量 y (t) 随年龄 (t) 生长变化规律的数学模型。由于树木生长受立地条件、气候条件、人为经营措施等多种因子的影响, 因而同一树种的单株树木生长过程往往不尽相同。生长方程是用来描述树木某调查因子变化规律的数学模型, 所以它是该树种某调查因子的平均生长过程, 也就是在均值意义上的生长方程。

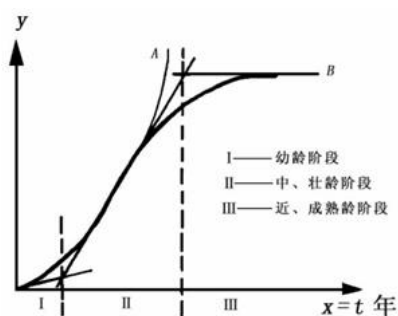


图 2.1 林木生长趋势

由于树木的生长速度是随树木年龄的增加而变化, 即由缓慢—旺盛—缓慢—最终停止, 因此反映总生长量变化过程的曲线是一个呈“S”形曲线的生长方程, 从这条曲线上能明显看出有两个弯或 3 个阶段。如果沿曲线的弯曲处作 3 条直线, 以其相交处为界限, 第一段大致相当于幼龄阶段, 第二段相当于中、壮龄阶段, 第三段相当于近、成熟龄阶段, 如上图所示。树木生长方程的特点为:

- (1) 当 $t=0$ 时 $y(t)=0$ 。此条件称之为树木生长方程应满足的初始条件。
- (2) $y(t)$ 存在一条渐进线 $y(t)=A$, A 是该树木生长极大值。
- (3) 由于树木生长是依靠细胞的增殖不断地增长它的直径、树高和材积, 所以树木的生长是不可逆的, 使得 $y(t)$ 是关于年龄 (t) 的单调非减函数。
- (4) $y(t)$ 是关于 t 的连续且光滑的函数曲线。

典型的树木生长曲线的形状近似呈“S”型, 常用的树木生长方程有:

- (1) 舒马克 (Schumacher) 方程

$$y = ae^{-b/t}$$

- (2) 单分子 (Mitscherlich) 式

$$y = a(1 - e^{-bt})$$

- (3) 逻辑斯蒂 (Logistic) 方程

$$y = \frac{a}{(1 + ce^{-bt})}$$

- (4) 坎派兹 (Gompertz) 方程

$$y = ae^{-be^{-ct}}$$

(5) 考尔夫 (Korf) 方程

$$y = ae^{-bt^{-c}}$$

(6) 理查德 (Richards) 方程

$$y = a(1 - e^{-bt})^c$$

式中, y 为树木调查因子 (胸径、树高、断面积或蓄积); t 为林木年龄; a 、 b 、 c 为待定参数, 其中参数 a 为树木各调查因子的最大值 (y_{max}); e 为自然对数。

2.2 SPSS 基础

林木生长方程一般为非线性方程, 而非线性模型参数拟合计算难度较大, 可以通过借助 SPSS 软件来实现。

SPSS 最初软件全称为“社会科学统计软件包”(Statistical Package for the Social Sciences), 随着 SPSS 产品服务领域的扩大和服务深度的增加, SPSS 公司已于 2000 年正式将英文全称更改为“统计产品与服务解决方案”(Statistical Product and Service Solutions)。SPSS 统计分析过程包括描述性统计、均值比较、一般线性模型、相关分析、回归分析、对数线性模型、聚类分析、数据简化、生存分析、时间序列分析、多重响应等几大类, 每类中又分为多个统计过程。本章内容围绕构建林木生长模型展开, 重点介绍非线性回归技术, 本小节简单介绍 SPSS 的数据输入与变量定义。

以 SPSS 22.0 为例, 当我们将软件打开时, 其界面如图 2.2 所示。

注意上图左下角, 有一个名为 Data View 标签和一个名为 Variable View 的标签, 点击 Data View 标签可以看到数据, 而点击 Variable View 标签可以看到变量特征。我们的操作一般从点击 Variable View 标签进行变量定义开始。

(1) Name (名称) 即对变量进行命名, 若命名违反规则, SPSS 会自动弹出提醒。

(2) Type (类型) 有 8 种不同类型可供选择。默认的是 Numeric (数值型) 变量。点击 Type 格子可以更改变量类型。String (字符型) 也是常用变量类型之一。

(3) Width (宽度) 默认数据最高为 8 位数, 通常不需要更改。

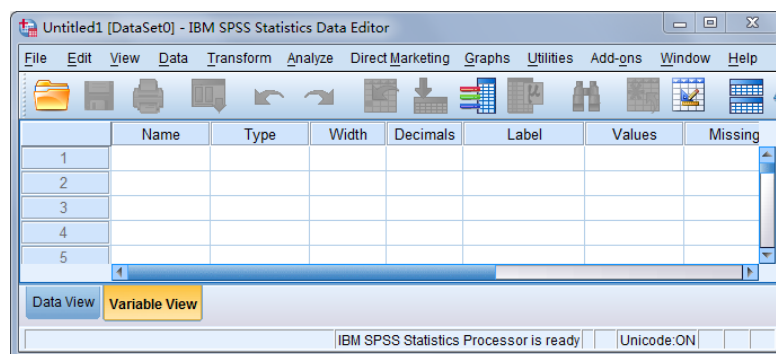


图 2.2 SPSS 主界面

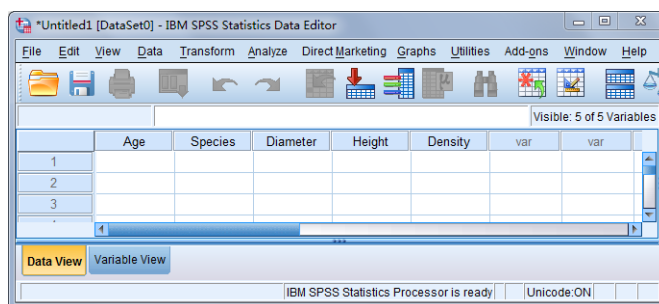


图 2.3 Data View 标签界面

(4) Decimals (小数点位数)作用是控制数据在 Data View 中以几位小数的形式显示，但并不影响数据的存储。

(5) Label (标签)通过文字描述变量的意义或特征，说明其含义。

(6) Values (数值标签)主要用于正态分布变量或等级变量，帮助用户记住定义规则，也可以对数值输出的结果进行标注。例如定义 1=“优秀”，2=“良好”，3=“一般”等。

(7) Missing (缺失)存在缺失值时，用于输入缺失值的表示方式。

(8) Columns (列)控制每一列显示的宽度，默认值为 8，通常不必调整。

(9) Align (对齐方式)默认字符为右对齐，字符为左对齐，可修改。

(10) Measure (测量方法)默认设置为数值变量为 Scale (度量)，字符变量为 Nominal (名义)。

(11) Role (角色)定义变量在后续统计分析中的作用。

变量定义完成后，点击 Data View 的标签，界面将呈现数据界面，变量名都列在顶部，每一行表示不同的个体，即可进行数据的录入（图 2.3）。

最好介绍文件的保存和读取操作。点击左上角 File，然后点击 Save As...可以改变文件保存路径以及命名文件名称，SPSS 默认后缀.sav，点击 Save as type 可以选择其他保存格式。文件的打开可以通过 File-Open-Data...，选择文件类型后读入数据，除了.sav 为后缀的文件，SPSS 也能读取电子表格形式的文件，包括 Excel、Lotus 和 dBase，还可以读取一些其他统计软件的数据，如 SAS 和 Systat，以及文字编辑软件产生的以.dat 或.txt 为后缀的文件。

2.3 非线性回归拟合

本节通过林分树高生长模型的例子，对非线性回归技术进行介绍。

例 2.1 表 2.1 为秦岭林区 30 个油松林样地调查的林分年龄与林分平均树高数据，试根据样地数据，选择合适的理论方程，构建林分树高-年龄的生长预测模型。

表 2.1 油松林样地调查数据

样地编号	林分年龄 (a)	林分平均高 (m)	样地编号	林分年龄 (a)	林分平均高 (m)	样地编号	林分年龄 (a)	林分平均高 (m)
1	62	18.1	11	34	11.0	21	46	12.4
2	20	8.4	12	25	6.3	22	39	11.5
3	15	8.7	13	60	20.0	23	22	8.0
4	36	13.1	14	47	13.8	24	31	15.7
5	30	9.9	15	67	17.8	25	50	17.7
6	18	9.9	16	52	18.7	26	62	15.4
7	35	12.1	17	40	14.8	27	34	14.3
8	38	17.0	18	42	11.8	28	45	16.8
9	60	18.9	19	50	18.8	29	53	16.5
10	66	20.0	20	25	11.8	30	58	16.0

(1) 整理林分平均胸径与林分年龄相对应的数据, 绘制树高-年龄散点图 (图 2.4), 检查明显远离样点群的数据点的正确性 (是否为记录或转录错误)。

2.1 节中我们介绍几个理论生长方程, 这些理论生长方程在拟合“S”形生长曲线时都具备良好性质, 我们可以分别拟合多个方程, 比较拟合的决定系数、残差平方和等统计指标, 绘制并比较生长趋势图, 来选取最适模型形式。

本例中我们尝试拟合 Schumacher 方程。在 SPSS 非线性拟合时, 首先对参数的初始值进行估计, Schumacher 方程中, 参数 a 为树高生长极大值, 我们将其假定为 25, 另外假定 20 年时林分平均树高为 8m, 则估计参数 b 的初始值计算过程为

代入 a 、树高、年龄数值得: $8 = 25 \times \exp(-b/20)$

两边取对数得: $\ln 8 = \ln 25 - b/20$

即 b 值为: $b = (\ln 25 - \ln 8) \times 20 = 23$

最终获得参数 a 和 b 的初始值分别为 25 和 23。

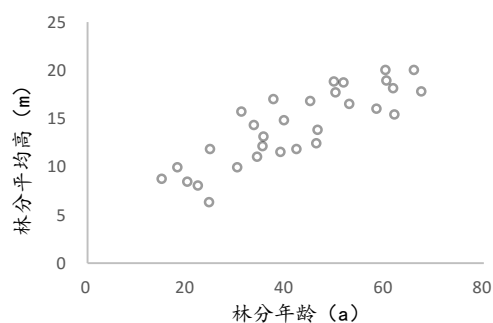


图 2.4 树高-年龄散点图

表 2.2 迭代历史 Iteration History

Iteration Number ^a	Residual Sum of Squares	Parameter	
		a	b
1.0	140.767	25.000	23.000
1.1	134.191	25.402	22.273
2.0	134.191	25.402	22.273
2.1	134.189	25.369	22.236
3.0	134.189	25.369	22.236
3.1	134.189	25.367	22.232
4.0	134.189	25.367	22.232
4.1	134.189	25.367	22.232

如果在确定初始值时无法计算明确的范围，可以先根据对函数的了解设定参数的初始值，再在约束对话框设定参数的数值范围。

(2) 调用 SPSS 非线性回归功能。对变量进行定义，包括年龄 t 和树高 H ，录入数据（或直接读取数据文件）。按 Analyze—Regression—Nonlinear（分析-回归-非线性）顺序打开主对话框。将变量 H (树高) 设置为因变量，送入 Dependent 框中。在 Model Expression 框中输入估计的模型表达式 $a \cdot \exp(-b/t)$ 。在 Parameters 框中根据前面计算的结果，设定 a 的初始值为 25， b 的初始值为 23。在 Save 对话框中选中 Predicted value、Residuals 选项，即可生成每个数据点的模型预测值与残差值。

(3) 分析输出结果

SPSS 在完成拟合计算后，会生成统计分析报告，对回归分析结果进行汇总。

迭代历史记录（表 2.2）中给出了迭代各步的残差平方和和参数 a 、 b 的估计值，连续残差平方和之间的相对减少量小于特定收敛判据 $1.0E-08$ 时迭代终止。

参数估计值表（表 2.3）给出了 a 和 b 的最终计算值，标准误，95%置信区间的上下限。 $a=25.367$ ， $b=22.232$ ，从而得到模型的最终形式（图 2.5）：

$$H = 25.367e^{-22.232/t}$$

表 2.3 参数估计值 Parameter Estimates

Parameter	Estimate	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
a	25.367	2.013	21.244	29.491
b	22.232	3.243	15.590	28.874

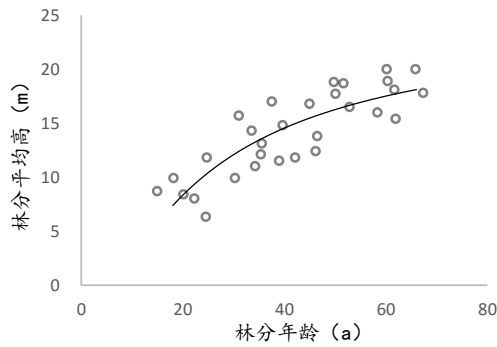


图 2.5 林分平均高生长曲线

表 2.4 参数相关性

Correlations of Parameter Estimates

	a	b
a	1.000	.938
b	.938	1.000

表 2.5 方差分析 ANOVA^a

Source	Sum of Squares	df	Mean Squares
Regression	6330.471	2	3165.235
Residual	134.189	28	4.792
Uncorrected Total	6464.660	30	
Corrected Total	438.159	29	

Dependent variable: H

a. R squared = 1 - (Residual Sum of Squares) / (Corrected Sum of Squares)
= .694.

参数估计值的相关性绝对值较高（表 2.4），很可能是由于模型中参数过多（较少的模型参数就能很好的拟合数据），或观测数据量与准确性过低等原因。

ANOVA 给出了非线性模型统计量的摘要，决定系数 R^2 反映了模型对于数据的拟合程度，如果模型拟合程度非常差，决定系数也可能是负值。

关于建模样地数量的补充说明：

在上面的例子中我们只提供了 30 个样地的数据用于生长收获建模，但在实际的调查研究中往往需要更多数量的样地。样地的数量通常受限于调查人员采集数据的能力，包括人员、时间和资金等诸多因素。相比数量众多但信息残缺或粗糙的样地数据而言，少量但

准确的数据对于生长收获建模更为有效。最终样地数量的需求取决于森林内部的异质性及环境的多样性，Alder 和 Synnott (1992) 在热带混交林研究中，建议森林生长收获研究需要至少 50-100 块固定样地，1000 块固定样地则可较好地满足立地及森林类型需要，同时保证分层随机抽样设计下每 1000 公顷至少设置一块固定样地。实际操作中应考虑具体的调查区域状况来确定样地数量。

实验 3 森林立地质量评价

3.1 立地质量评价方法

立地条件是根据适地适树原则，提高森林生产力的首要因素。在造林规划设计、森林抚育经营和森林经营规划等林业生产实践中，立地质量评价是不可或缺的前提。科学的立地评价方法在林分水平上对提高林分生长收获预估的准确性，优化抚育经营设计，实现森林可持续经营具有极其重要的意义。

评估林分生产力的立地质量评价方法可以分为植物群落学方法和地理学方法两大类（表 3.1），其中属于植物群落学方法的地位级和立地指数是立地质量评价最常用的方法。

地位级（site class）是反映林地生产力的一种相对度量指标，它是依据林分条件平均高与林分年龄的关系，按相同年龄时林分条件平均高与林分平均年龄的关系，按相同年龄时林分条件平均高的变动幅度划分为若干个等级，通常为 5~7 级，以罗马数字 I II III……符号依次表示立地质量的高低，将每一地位级所对应的各个年龄时的平均高列成表，称为地位级表。

立地指数（site index）是指在某一立地上特定基准年龄时林分优势木的平均高度。依据林分优势木平均高与林分优势木年龄的关系所编制的表，称为立地指数表。

3.2 地位级表的编制

本节将通过简化的例子来介绍编制地位级表的过程。

例 3.1 已知旬阳坝林区 30 个油松林样地调查的林分年龄与林分平均树高数据（数据见 2.3 非线性回归拟合），试根据样地数据，任选理论方程，编制该林区油松地位级表。

- （1）根据样地调查数据，整理绘制林分平均高与平均年龄的散点图，观察其规律并剔除明显错误的数据点。
- （2）依据散点的分布状况与趋势，通过非线性回归拟合技术，拟合并绘制一条平均树高生长曲线。

表 3.1 立地质量评价方法分类 (Skovsgaard and Vanclay, 2008)

	直接法	间接法
植物群落学方法 (Phytocentric)	蓄积测定 (volume measurements)	立地指数 (site index) ; 生境类型 (habitat type)
地理学方法 (Geocentric)	土壤质地 (soil texture) ; 土壤湿度 (soil moisture) ; 有效辐射 (available radiation)	坡向 (aspect) ; 海拔 (elevation) ; 纬度 (latitude) ; 经度 (longitude)

2.3.sav [DataSet1] - IBM SPSS Statistics Data Editor

File Edit View Data Transform Analyze Direct Marketing Graphs Utilities Add-ons Window Help

1: RESID .37677813160102 Visible: 4 of 4 Variables

	t	H	PRED_	RESID	var	var	var	var	var	var
1	62	18.1	17.72	.38						
2	20	8.4	8.35	.05						
3	15	8.7	5.76	2.94						
4	36	13.1	13.68	-.58						
5	30	9.9	12.09	-2.19						
6	18	9.9	7.38	2.52						
7	35	12.1	13.44	-1.34						
8	38	17.0	14.13	2.87						
9	60	18.9	17.51	1.39						
10	66	20.0	18.11	1.89						
11	34	11.0	13.19	-2.19						
12	25	6.3	10.42	-4.12						

Data View Variable View

IBM SPSS Statistics Processor is ready Unicode: ON

图 3.1 SPSS 计算预测值与残差值

前两部在 2.3 节非线性回归拟合中已经完成。

(3) 以该导向曲线为基础计算树高残差绝对值的标准差，以 3 倍（或 2 倍）标准差为上下限，剔除异常数据点。

调用 SPSS 非线性回归功能时。在 Save 对话框中选中 Predicted value、Residuals 选项，即可生成每个数据点的模型预测值与残差值。结果如图 3.1 所示。其中 PRED_ 为模型预测值，而 RESID 为残差值。对残差取绝对值后计算标准差，按 3 倍标准差原则，本例中我们剔除了 3 块样地。

(4) 利用剩余样地数据，根据平均高生长曲线特点，重新选择并拟合林分平均高生长方程。

这里我们采用 SPSS Analyze—Regression—Nonlinear（分析-回归-非线性）功能重新拟合曲线，得到方程如下：

$$H = 25.117e^{-21.391/t}$$

(5) 根据各龄阶的树高理论值与实际值，计算出龄阶树高残差的标准差与龄阶的回归曲线。

由于本例中样地数量过少，分龄阶后某些龄阶数据点只有 3 个，计算标准差的意义不大，我们只计算总的残差绝对值标准差。 $\sigma = 0.921$ 。

(6) 依据林分平均高生长曲线(方程)，及树高标准差曲线，以 3 倍标准差确定地位级的上下限曲线。

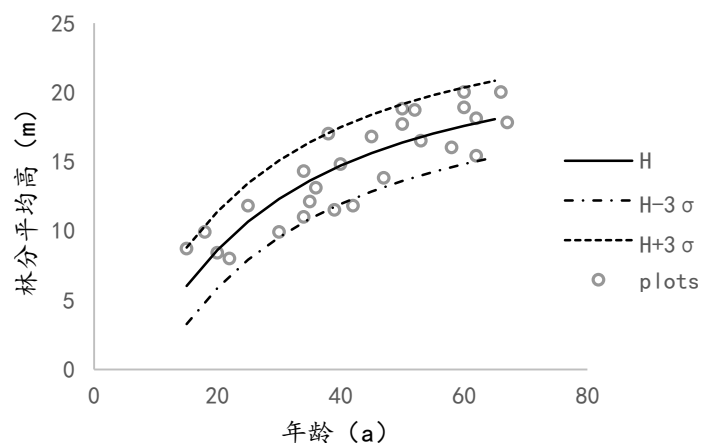


图 3.2 地位级上下限及数据散点

(7) 依据上下限曲线所夹的面积及预定的地位级数，采用等分方法确定各地位级上下限，列成表就是地位级表。

常见地位级表为 5~7 级，以罗马数字 I II III……符号依次表示立地质量的高低，这里由于样地数量较少，我们仅将其分为 3 个等级（表 3.2）。

立地指数表（或称地位指数表）的编制与地位级表编制方法类似，区别在于其采用优势木树高数据。编表方法有标准差调整法、变动系数调整法及相对优势高调整法等，在立地评价中亦有着广泛应用。

表 3.2 旬阳坝林区油松地位级表

年龄 (a) · 树高 (m)	II	III	IV
20	9.5-11.4	7.7-9.4	5.9-7.6
30	13.2-15.1	11.4-13.1	9.5-11.3
40	15.6-17.5	13.8-15.5	11.9-13.7
50	17.3-19.1	15.5-17.2	13.6-15.4
60	18.5-20.3	16.7-18.4	14.8-16.6

实验 4 林分生长收获预估

4.1 全林模型

全林模型最早产生于 19 世纪 80 年代的德国，是用于模拟森林生长量与林分产量的方法。如今，已经广泛应用于林业研究和实践中。按照是否将林分密度作为自变量，全林模型可以分为固定密度模型和可变密度模型。在固定密度全林模型中，又可以按照林分具有的最大密度或者平均密度，分为正常收获模型（即正常收获表）和经验收获模型（即经验收获表）。

正常林分是指适度郁闭（疏密度为 1.0 或完满立木度）、林木生长健康且林木在林地上分布较均匀的林分。这种林分在某一立地条件下，密度适中、生长发育正常、蓄积量最高。反映正常林分各主要调查因子生长过程的数表，称作正常收获表（normal yield table）。

以现实林分为对象，以实现林分中的具有平均密度状态的林分为基础所编制的收获表，称作经验收获表（empirical yield table），亦称作现实收获表。本节通过下面的例子，来演示并说明经验收获表的编制方法：

例 4.1 秦岭火地塘林场对所辖林区内的油松林开展样地调查，表 4.1 为第 II 地位级的 40 块样地数据，请根据以下样地信息，编制该地位级的油松林分经验收获表。

(1) 编制收获表，需要对编表样本，在立地条件分级的基础上进行归类（可依据地位级或地位指数），分别立地条件计算林分调查因子。（上表中已完成该步骤）

(2) 在分类统计的基础上，结合本例已知的样地调查信息，以年龄 t 为自变量，建立 $H-t$ 、 $D-t$ 、 $G-t$ 的回归模型。树高、胸径及林分断面积都可以通过理论方程进行拟合，这里我们选择参数较少的 Schumacher 方程，回归分析得到：

$$H = 22.841e^{-19.284/t}$$

$$D = 36.149e^{-24.507/t}$$

$$G = 33.767e^{-15.443/t}$$

(3) 一般收获表中，还需要具备林分密度、蓄积量等信息。

林分密度可以通过下式计算：

$$N = 40000 \times \frac{G}{\pi \times D^2}$$

林分蓄积可以通过两种方法得到：

立木材积方程法（如油松）

$$V = 0.33123 \times D^2 \times H + 0.00805 \times D \times H - 0.00274 \times D^2 + 0.00002$$

（注：此式 D 的单位为 m）

平均实验形数法

$$V = (H + 3) \times G \times f_0 \quad (\text{其中 } f_0 \text{ 为实验形数, 油松实验形数取 } 0.41)$$

这里需要注意，同一树种在不同地区，材积方程与实验形数的取值也相应不同。将各个模块链接后，我们最终得到油松收获表（表 4.2）。

另外，根据收集的调查资料，收获表中还可以补充树皮率、去皮蓄积、形数、平均生长量及连年生长量等林分信息。

表 4.1 第Ⅱ地位级的 40 块油松样地数据

No.	t	H	D	G	No.	t	H	D	G
1	60	19.2	29.0	26.0	21	58	16.5	22.5	23.8
2	36	11.6	21.4	20.6	22	34	12.8	19.1	24.4
3	37	13.9	14.1	26.2	23	25	11.1	14.0	20.0
4	59	16.4	21.8	23.3	24	46	16.1	19.6	26.1
5	62	15.0	21.1	27.4	25	45	15.3	18.9	21.6
6	20	11.4	14.1	18.2	26	56	16.9	23.9	28.7
7	63	17.3	27.8	27.9	27	57	16.1	21.6	27.5
8	48	14.1	22.9	21.1	28	20	9.3	11.3	12.9
9	46	15.6	22.0	25.5	29	46	14.9	24.1	24.0
10	67	18.5	23.8	22.5	30	53	13.8	20.6	27.2
11	72	19.1	32.5	30.8	31	25	12.2	19.2	15.0
12	42	15.2	21.6	20.5	32	33	12.6	18.0	17.4
13	26	9.9	12.2	16.6	33	43	15.1	17.5	21.6
14	38	12.4	15.2	23.4	34	35	12.7	21.6	27.3
15	24	8.0	8.2	16.7	35	43	15.3	23.9	23.0
16	54	16.8	23.8	22.1	36	66	17.2	23.2	23.1
17	45	13.4	19.7	21.9	37	31	12.2	14.4	19.2
18	58	16.5	26.4	27.9	38	54	13.7	19.9	26.8
19	41	13.8	18.3	22.9	39	64	16.7	23.3	26.9
20	40	13.0	16.6	27.4	40	31	12.7	16.3	23.3

注：表中 t 代表林分年龄 (a)，H 表示林分平均高 (m)，D 表示林分平均胸径 (cm)，G 代表林分断面积 (m²/ha)

表 4.2 第Ⅱ地位级油松收获表

年龄 (a)	树高 (m)	平均胸径 (cm)	林分密度 (株/ha)	林分断面积 (m ² /ha)	单木材积 (m ³)	林分蓄积 (m ³)
15	6.3	7.1	3086	12.1	0.0140	43.2
20	8.7	10.6	1764	15.6	0.0399	70.4
25	10.6	13.6	1261	18.2	0.0759	95.6
30	12.0	16.0	1008	20.2	0.1169	117.8
35	13.2	17.9	859	21.7	0.1594	136.9
40	14.1	19.6	762	23.0	0.2014	153.5
45	14.9	21.0	694	24.0	0.2417	167.8
50	15.5	22.1	644	24.8	0.2798	180.3
55	16.1	23.2	606	25.5	0.3154	191.2
60	16.6	24.0	576	26.1	0.3486	200.8
65	17.0	24.8	552	26.6	0.3794	209.4

4.2 径阶模型

例 4.2 秦岭中段栎类油松混交林按照 10cm 的阶距分为三个径阶等级，林分内径阶分布见表 4.3。

表 4.3 中的数据，只需知道前两列的林分密度与平均胸径，即可计算后两列的平均木及林分断面积，这里为了方便后续计算演示将其列出。

表 4.3 当前林分径阶分布

径阶 等级	胸径 范围(cm)	株数 密度 (/ha)	平均 胸径 (cm)	平均木 断面积 (m ²)	林分 断面积 (m ² /ha)
1	10-19.9	840	15	0.02	14.8
2	20-34.9	234	27	0.06	13.4
3	35+	14	40	0.13	1.8
合计		1088			30.0

本例构建的径阶模型中，我们用 y_{it} 代表时间 t 时第 i 等级径阶的株数密度。由时间 t 经过一个周期到达时间 $t+1$ 时，各径阶株数为：

$$\begin{aligned}y_{1,t+1} &= a_1 y_{1t} + R_t \\y_{2,t+1} &= b_1 y_{1t} + a_2 y_{2t} \\y_{3,t+1} &= b_2 y_{2t} + a_3 y_{3t}\end{aligned}$$

式中， R_t 表示从 t 至 $t+1$ 这段时间内，幼树进界（更新）到第1级径阶的株数； a_i 表示时间 t 时在第 i 级径阶的树木，时间 $t+1$ 时仍保留在 i 径阶的比例； b_i 表示时间 t 时在第 i 级径阶的树木，时间 $t+1$ 时进入第 $i+1$ 级径阶比例。实际上我们可以推算出该时间周期内第 i 级径阶死亡的林木比例为 $1 - a_i - b_i$ 。这里我们设定预测的时间周期很短，树木胸径生长量低于10cm，而不会发生越级生长。

林木保留、进阶、枯损等规律，需要通过固定样地的长期观测得到。本例中假定通过固定样地试验，已知林分5年内的径阶转移概率如表4.5所示。

表4.5中的概率代入径阶生长模型，得到：

$$\begin{aligned}y_{1,t+1} &= 0.80y_{1t} + R_t \\y_{2,t+1} &= 0.04y_{1t} + 0.90y_{2t} \\y_{3,t+1} &= 0.02y_{2t} + 0.90y_{3t}\end{aligned}$$

上述模型中，还需要确定进界的林木数量 R_t ，最简单的办法是假定其为常数。但实际上，林木更新进界规律与林分当前断面积和密度有关，这里我们假定已知进界方程为：

$$R_t = 109 - 9.7G_t + 0.3N_t$$

式中 R_t 为5年间每公顷的进界株数， G_t 为林分断面积， N_t 为林分密度。林分密度和林分断面积可以分别计算得到：

$$\begin{aligned}N_t &= y_{1t} + y_{2t} + y_{3t} \\G_t &= 0.02y_{1t} + 0.06y_{2t} + 0.13y_{3t}\end{aligned}$$

由此可以得到进界方程的完整形式：

$$R_t = 109 + 0.12y_{1t} - 0.29y_{2t} - 0.96y_{3t}$$

将其代入径阶生长模型，可以得到径阶生长模型的最终形式：

$$\begin{aligned}y_{1,t+1} &= 0.92y_{1t} - 0.29y_{2t} - 0.96y_{3t} + 109 \\y_{2,t+1} &= 0.04y_{1t} + 0.90y_{2t} \\y_{3,t+1} &= 0.02y_{2t} + 0.90y_{3t}\end{aligned}$$

表4.4 5年内的径阶转移概率

径阶等级	保留比例	进阶比例	枯损比例
i	a_i	b_i	$1 - a_i - b_i$
1	0.80	0.04	0.16
2	0.90	0.02	0.08
3	0.90	0.00	0.10

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	林分径阶动态							
2	每公顷株数							
3	年	第1径阶	第2径阶	第3径阶				
4	0	840	234	14				
5	5	801	244	17				
6	10	758	252	20				
7	15	714	257	23				
8	20	669	260	26				
9	25	624	261	29				
10	30	580	259	31				
11	35	537	257	33				
12	40	497	253	35				
13	45	459	247	37				
14	50	425	241	38				
15	55	394	234	39				
16	60	366	226	40				
17	65	342	218	40				
18	70	322	210	41				
19	75	305	202	41				
20								
21	单元格计算公式							
22	公式				相似单元格			
23	A5	=A4+5			A6:A19			
24	B5	=0.92*B4-0.29*C4-0.96*D4+109			B6:B19			
25	C5	=0.04*B4+0.90*C4			C6:C19			
26	D5	=0.02*C4+0.90*D4			D6:D19			
27								

图 4.1 Excel 版本径阶生长模型

通过给模型，我们可以对林分未来的径阶分布进行动态模拟，已知初始林分状况为：

$$y_{10} = 840, y_{20} = 234, y_{30} = 14 \text{ (株/ha)}$$

将初始林分状况代入径阶生长模型，可以得到林分 5 年后各径阶的株数：

$$y_{1,1} = 0.92 \times 840 - 0.29 \times 234 - 0.96 \times 14 + 109 = 801 \text{ (株/ha)}$$

$$y_{2,1} = 0.04 \times 840 - 0.90 \times 234 = 224 \text{ (株/ha)}$$

$$y_{3,1} = 0.02 \times 234 + 0.90 \times 14 = 17 \text{ (株/ha)}$$

实际上，将林分状态反复迭代，可以得到林分未来很长时间的径阶动态变化，这里可以通过 Excel 即可实现（图 4.1）。

4.3 单木模型

本节以 Pukkala et al. (2009) 构建的用于模拟芬兰异龄林动态的单树模型系统为例，对单树模型的结构、数据需求及模拟方法进行说明。

对于异龄林而言，构建单树模型系统需要下列模型部分(Vanclay, 1994; Trasobares et al., 2004)：1) 单木胸径生长模型；2) 单木树高模型或树高生长模型；3) 单木存活模型（枯损模型）；4) 进界模型；5) 进界胸径生长模型。Pukkala et al. (2009) 的单树模型系统开发了以上提到的模型组，以 5 年的时间间隔用于模拟胸径生长和进界生长。

(1) 5 年间胸径生长量模型的形式如下：

$$\ln(i_d) = a_1 + a_2 BAL_{Spruce} + a_3 BAL_{Other} + a_4 \ln(G) + a_5 \sqrt{d} + a_6 d^2 + a_7 MT + a_8 VT + a_9 CT + a_{10} ClT + a_{11} \ln(TS)$$

式中 i_d 是五年带皮胸径生长量 (cm)， d 是胸高处直径 (cm)， G 是胸径大于 5cm 的树木的总林分胸高断面积 (m^2/ha)， TS 是积温 (日度)。 MT, VT, CT 和 ClT 是指示变

量，分别代表立地类型是Myrtillus (*MT*), Vaccinium (*VT*), Calluna (*CT*) 或者 Cladonia 及更差立地 (*ClT*)。在一个林分中，只有一个指示变量等于1其它等于0。如果所有的指示变量都等于0，模型预测的生长为Oxalis-Myrtillus类型。*BAL*是指比对象木胸径大的胸高断面积和 (m^2/ha)，是分别云杉 (BAL_{Spruce}) 和其它树种 (BAL_{Other}) 计算。*BAL*描述了树木在林分中所处的竞争位置。

(2) 树高模型是Hossfeld模型的修正形式：

$$h = \frac{a_1 + a_2 MT^+ + a_3 VT + a_4 CT + a_5 ClT}{1 + (b_1/d) + (b_2/d^2)}$$

式中*h*是树高 (m) 而*d*是胸径 (cm)。*MT*⁺是指示变量，如果立地类型是Myrtillus或者更好则等于1 (否则*MT*⁺ = 0)。

(3) 存活模型的形式如下：

$$p_6 = \frac{1}{1 + \exp[-(a_1 + a_2 \sqrt{d} + a_3 \ln(G) + a_4 BAL_{\text{Spruce}} + a_5 BAL)]}$$

式中*p*₆是六年间存活的概率。模型的系数表明大树存活的概率高于小树，并且树木面临高的竞争时存活概率最低。六年间的存活概率可以转换为5年的概率，公式为*p*₅ = *p*₆^{5/6}。

(4) 进界模型提供了未来5年内胸径超过5cm的林木株数。与存活模型相似，一个模型针对云杉拟合，另外一个针对松树及桦木。模型形式为：

$$\ln(In + 1) = a_1 + a_2 \sqrt{G} + a_3 \ln(G) + a_4 \sqrt{N_{\text{Spruce}}} + a_5 \sqrt{N_{\text{Other}}} + a_6 MT^-$$

式中*In*表示进界株数 (ha^{-1})，*N*_{Other}是每公顷非云杉树种的株数 (dbh > 5 cm)，*N*_{Spruce}是每公顷云杉的株数 (dbh > 5 cm)。*MT*⁻是立地的指示变量，指 Myrtillus 类型或者更差立地。*G*是胸径高于 5cm 的每公顷断面积 (m^2/ha)。

(5) 进界树木胸径生长模型如下：

$$\ln(D) = a_1 + a_2 \ln(G) + a_3 MT + a_4 VT^-$$

式中*D*是5年生长后的进界树的平均胸径。*VT*⁻是指示变量，代表立地类型为Vaccinium或者更差的立地条件。

相比全林模型与径阶模型，单树模型具有更强大的功能，尤其对于异龄林的生长与择伐的模拟，但是其相应对数据的要求也更加严格。

表4.5 单树模型建模数据需求

单木生长模型 系统子模块	数据需求
单木胸径生长模型	输出变量：单木五年间带皮胸径生长量（cm） 输入变量： 1. 单木胸径（cm）。 2. 胸径大于 5cm 的树木的总林分胸高断面积（m²/ha）。 3. 比对象木胸径大的胸高断面积和（m²/ha）。 4. 有效描述立地条件的因子，如林型、土壤、地形等。 5. 树冠竞争（如 CCF 等，可选）
单木树高模型	输出变量：单木树高（m） 输入变量： 1. 异龄林：胸径（cm）；同龄林：年龄（year）。 2. 有效描述立地条件的因子，如林型、土壤、地形等。
单木存活模型 （枯损模型）	输出变量：单木五年间存活的概率 输入变量： 1. 单木胸径（cm）。 2. 胸径大于 5cm 的树木的总林分胸高断面积（m²/ha）。 3. 比对象木胸径大的胸高断面积和（m²/ha）。
进界模型	输出变量：进界株数（株/每公顷） 输入变量： 1. 胸径大于 5cm 的树木的总林分胸高断面积（m²/ha）。 2. 各树种林分密度（株/每公顷）。
进界胸径生长模型	输出变量：五年生长后的进界树的平均胸径 输入变量： 1. 胸径高于 5cm 的每公顷断面积（m²/ha） 2. 有效描述立地条件的因子，如林型、土壤、地形等。

尽管临时样地调查可以获取包括胸径、树高、冠幅、林型（灌木）、土壤、地形（坡度、坡向、海拔）等数据，但是完整的单木模型系统对于数据的要求十分严格，部分必需的数据通过临时样地调查方法往往难以获得，尤其是以下四项数据：1.单木五年间带皮胸径生长量（cm）；2. 单木五年间存活的概率；3. 进界株数（株/每公顷）；4. 五年生长后的进界树的平均胸径。因此，为构建单木生长模型，需要建立样木定位的固定样地，并进行复测。调查样地内每棵树的胸径、树高、冠幅，并记录样地内5年间的枯损木，幼树进界株数和进界后平均胸径。

在模型用于林分生长动态模拟时，一个5年生长期按下列步骤进行仿真：1) 计算每棵树存活的概率，若存活概率高于0-1均匀分布随机数则按保留株计算；2) 计算每棵树胸径生长量，并加到现在的胸径上；3) 利用树高模型更新树高；4) 预测进界林木的数量、初始胸径和树高；5) 根据预测的进界生长来增加新树到样地中。

实验 5 林分生长模型链接

5.1 Simile 基础

本节我们介绍 Simile 这款软件，并演示其使用方法。Simile 是一款针对复杂动态系统的仿真建模软件，可以应用于地球、环境和生物科学等诸多领域。Simile 采用独特的基于逻辑的陈述建模（**declarative modelling**）技术，以清晰的框架和直观可视化的方法，来呈现系统内部的交互作用机制。该软件的优点包括 1）基于对象的表达方式可以更好的处理离散集合和基于个体的建模；2）自动生成 C++模型代码用于快速执行；3）即插即用模块操作，支持任意部分模块分离并单独使用；4）演示插件可以允许用户绘制特定领域图形；5）陈述性模型表示可以更便捷地采用复合方式操作模型。该软件可在其官网下载（网址 <http://www.simulistics.com/>）。

例 5.1 下面我们通过一个构建林木生长的例子来熟悉 Simile 的基本操作：

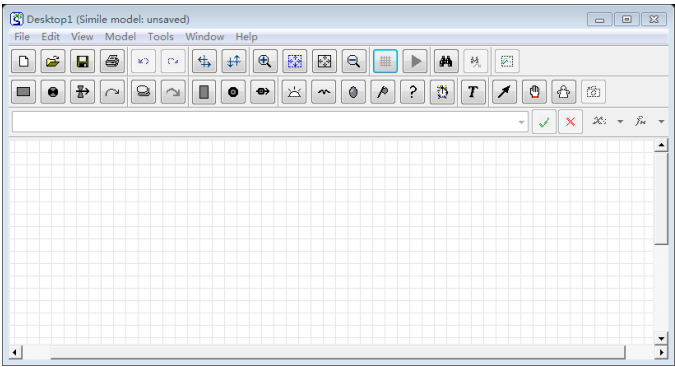


图 5.1 Simile 的界面

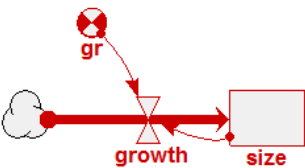
1. 模拟单株树的生长

(1) 添加 compartment 图标 ，命名为 **size**。

(2) 添加 flow 图标 ，命名为 **growth**。

(3) 添加一个 variable 图标 ，命名为 **gr**，来代表最大生长速率。

(4) 分别添加从 **size** 和 **gr** 到 **growth** 的关系线 。使用  图标，可以调整各图标和线条位置。当前模型构建如下：



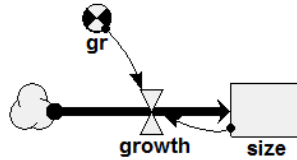
(5) 输入 **growth** 的计算公式：**gr*(1-size/25)** 该公式意味着树木生长最大值为 25，

生长速率在开始时最大，后逐渐减小。

(6) 设置 **size** 的初始值为 3。

(7) 设置变量 **gr** 的值为 0.2。

(8) 赋值完成后，图标将变为黑色。



(9) 点击菜单栏 model-ran, 选择 create plotter, 添加 size 为变量，运行模型，可以绘制 size 的生长曲线。

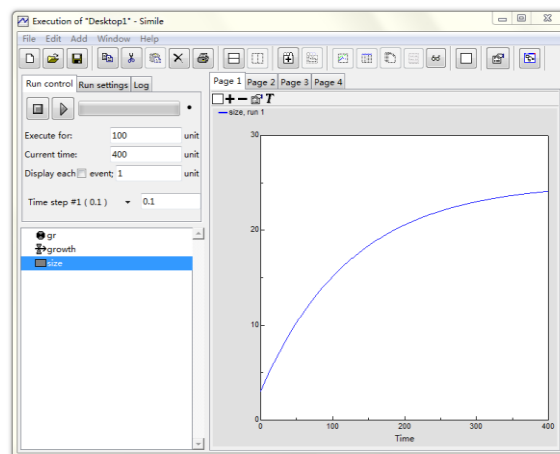


图 5.2 单木 size 生长曲线

2. 将单木扩展至林分层面

(1) 点击 submodel 按钮 ，选中整个模块。

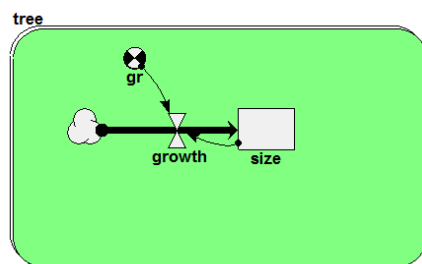
(2) 重新命名 submodel 为 tree。

(3) 使用  按钮，双击 submodel 内部，打开 submodel 属性对话框。

(4) 在 instance 的下拉类别中，设置为 population。

(5) 此时可以修改 submodel 的背景颜色。

(6) 关闭 submodel 属性对话框。



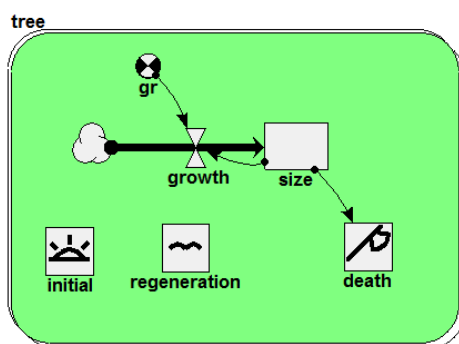
(7) 将 gr 的值由 0.2 修改为 $\text{rand_const}(0.1,0.3)$ 。从而将每个个体随机设置不同的生长速率。

(8) 添加 creation process 图标 ，代表初始的树木株数，此处设置为 5。

(9) 添加 immigration 图标，代表不断更新的树木，设置为 2。

(10) 添加 destruction process 图标，命名为 death，建立 size 对 death 的影响，并将 death 赋值 $\text{size} > 17$ ，意味着 size 超过 17 时，树木死亡。

(11) 现模型界面如下：



(12) 重建并运行模型，此时绘制 size 的生长曲线，效果如下：

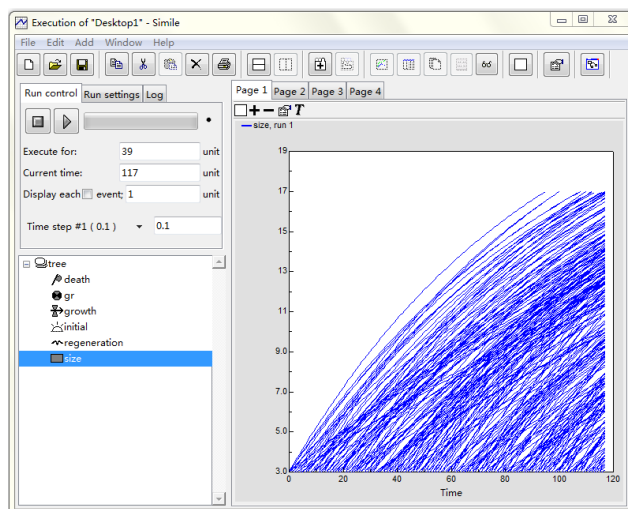
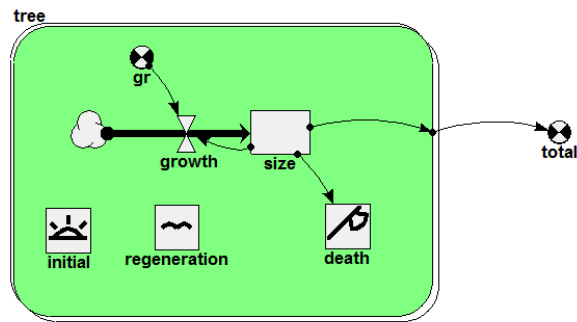


图 5.3 林分内所有林木的生长曲线

3. 计算林分整体信息

(1) submodel 外增加变量，命名为 total。

(2) 将 total 赋值为 $\text{sum}(\{\text{size}\})$ 。



(3) 重新运行模型，并绘制 total 的变化曲线。

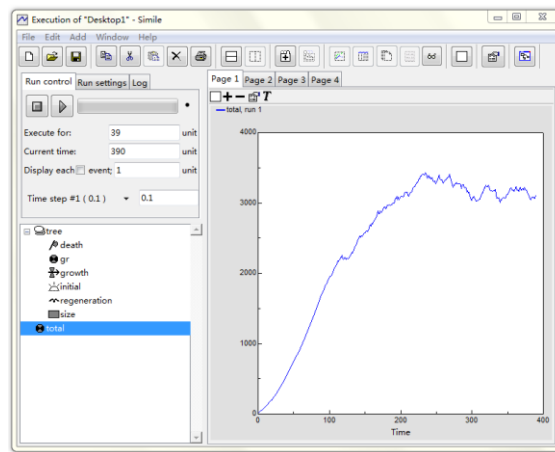


图 5.4 size 合计值动态

4. 林分生长空间可视化

(1) 在 tree 的子模型内增加两个变量，分别命名为 x 和 y，代表树木坐标位置。

(2) 分别将 x 和 y 赋值为 $\text{rand_const}(0,50)$ 和 $\text{rand_const}(0,100)$ ，代表树木生长在 50*100 的样地内。

(3) 运行模型，选择图标  类型中的 Lollipop diagram，绘图增加变量，依次按要求提交 x 坐标，y 坐标，和 size 变量。

(4) 运行结果如下：

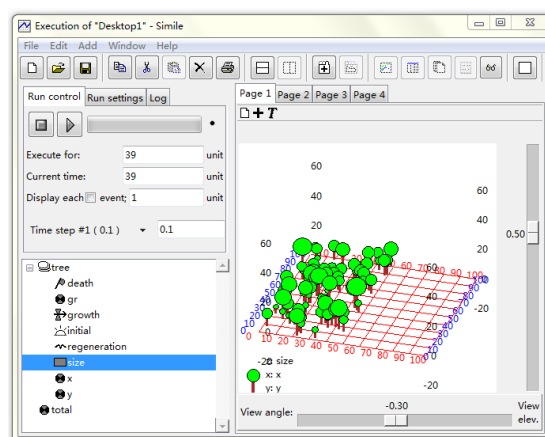


图 5.5 林分三维生长动态

5.2 全林模型的链接

上一节 Simile 的演示,实际上是一个单木生长模型的例子,在 4.1 全林模型的介绍中,我们演示了现实(经验)林分生长模型的构建方法,在本节中我们将介绍采用正常林分生长模型来演示 Simile 的模型链接。

例 5.2 Simile 链接正常林分生长模型

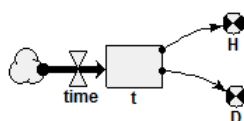
(1) 在构建正常生长收获模型时,我们继续沿用 4.1 节拟合的树高 H-t 模型和胸径 D-t 模型,但由于是正常林分,即要求完满立木度,正常林分的断面积我们由树高-断面积标准表来推算。公式如下:

$$H = 22.841e^{-19.284/t}$$

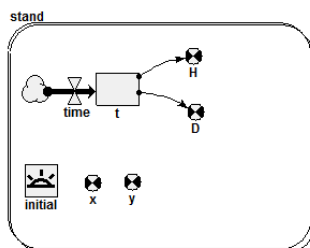
$$D = 36.149e^{-24.507/t}$$

$$G = \frac{45.144}{1 + 3.967 \times e^{-0.185 \times H}}$$

(2) 林分平均高与平均胸径以年龄作 t 为自变量,在 Simile 中我们将年龄初始值设置为 t=15,林分年龄增长 time=1,利用树高生长方程与胸径生长方程,推算平均木树高(设置 $H=22.841 \times \exp(-19.284/t)$)与平均胸径(设置 $D=36.149 \times \exp(-24.507/t)$)。



(3) 通过 submodels 按钮可以将平均木转换为林分水平(设置 Instances 为 Population),同时我们设置林分初始密度 initial=25 (每 100 平方米 25 株),以及树木坐标 x 和 y 为 rand_const(0,100)。



(4) 林分的枯损由总断面积来调控。首先计算平均木的断面积 $BA=3.14 \times D \times D / 40000$,继而林分总断面积 $TBA=\text{sum}(\{BA\})$ 。通过标准表数据进行回归拟合,正常林分的最大断面积为 $G=45.144 / (1 + 3.967 \times \exp(-0.185 \times H)) / 100$ 。通过二者差值的比例,可以计算正常林分的枯损率 $\text{mortality}=(TBA-G)/TBA$ 。

(5) 至此,模型的构建与链接完成,可以对正常林分进行生长模拟。与上个例子的不同之处在于,收获表描述的是同龄林的生长状况,每株树代表的是林木平均水平,没有明显区别。以 Lollipop diagram 为例展示的生长效果如图 5.6 所示。

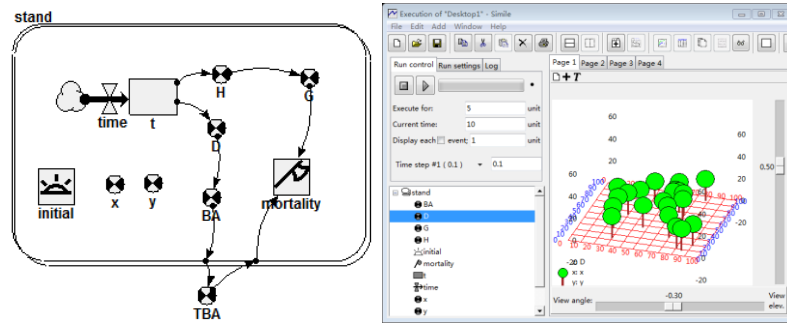


图 5.6 模型结构与三维模拟

实验 6 森林经营规划设计

6.1 同龄林经营规划

同龄林是指林分中林木的年龄相对一致的森林。同龄林的结构相对比较简单，生长比较单一，经营技术较为简单，经营措施易于实施。林业上对于森林经营规划的研究，最初都是从同龄林开始，直指当前，世界上营造的人工林绝大多数仍为同龄林，并且多为同龄纯林。本节将通过介绍同龄纯林进行林分改造的例子，对规划求解的方法进行演示：

例 6.1 北美林区两个林班需要进行林分改造（图 6.1a），林班 1 面积 60 公顷，林班 2 面积 90 公顷。两个林班目前均为薪炭林，但是二者土壤条件不同，林分生长也相应有差别。林场主希望利用 15 年的时间将整个林地改造为轮伐期为 15 年永续经营的用材林。即始终保持三分之一的林地树木年龄为 0-5 年，三分之一的林地树木年龄为 6-10 年，三分之一的林地林分年龄为 11-15 年（图 6.1b）。当林分年龄为 15 年时即进行采伐并人工更新。表 6.1 给出了改造过程中薪炭林每公顷薪炭材产量，由于林木的不断生长，每次改造的木材收获都会相应增加。林场主需要解决的问题是如何在林分改造的过程中获得最高的木材产出。

下面我们介绍如何构建并求解该线性规划模型：

（1）决策变量：

我们设置 X_{ij} 表示 i 林班第 j 期改造时采伐面积。共有 2 个林班， i 的取值为 1 或 2。最终的林分要求 15 年轮伐期，每 5 年采伐等面积林分，因此改造时期也需要分 3 次进行， j 的取值为 1, 2, 3，代表改造时间为第一、第二和第三个 5 年。1 林班的采伐决策变量为 X_{11} 、 X_{12} 和 X_{13} ；2 林班的采伐决策变量为 X_{21} 、 X_{22} 和 X_{23} 。

（2）约束条件

林班面积约束：

$$X_{11} + X_{12} + X_{13} = 60 \text{ ha}$$

$$X_{21} + X_{22} + X_{23} = 90 \text{ ha}$$

采伐面积约束：

$$X_{11} + X_{21} = \frac{60 + 90}{3} = 50 \text{ ha}$$

$$X_{12} + X_{22} = 50 \text{ ha}$$

$$X_{13} + X_{23} = 50 \text{ ha}$$

（3）目标函数：

$$Z = 16X_{11} + 23X_{12} + 33X_{13} + 24X_{21} + 32X_{22} + 45X_{23} \text{ (吨)}$$

（4）完整的线性规划模型为：

$$\max Z = 16X_{11} + 23X_{12} + 33X_{13} + 24X_{21} + 32X_{22} + 45X_{23}$$

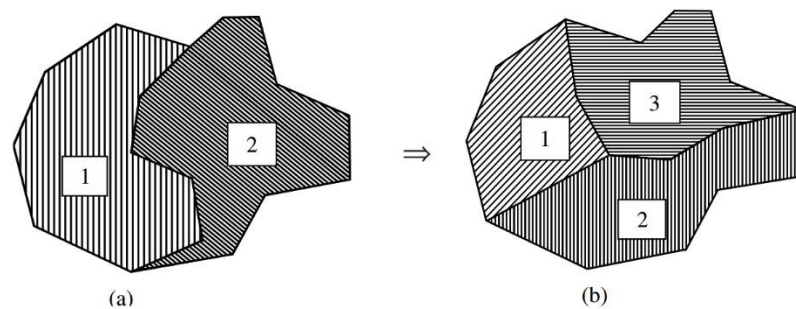


图 6.1 林班改造效果图

表 6.1 薪炭林在改造过程中的产量

林班		产量 (吨/ha)		
编号	面积 (ha)	前五年	中间 5 年	后 5 年
1	60	16	23	33
2	90	24	32	45

Subject to:

$$X_{11} + X_{12} + X_{13} = 60$$

$$X_{21} + X_{22} + X_{23} = 90$$

$$X_{11} + X_{21} = 50$$

$$X_{12} + X_{22} = 50$$

$$X_{13} + X_{23} = 50$$

假设价格为每吨 10 元，折现率为 0.05，间隔时间以每个 5 年中点计算，例如 2 林班第三个 5 年折现值为：

$$\frac{45 \times 10}{(1 + 0.05)^{12.5}} = 24.5 \text{ 元/吨}$$

经过折现计算的目标函数为：

$$\max Z' = 141.6X_{11} + 159.5X_{12} + 179.3X_{13} + 212.4X_{21} + 221.9X_{22} + 244.5X_{23}$$

利用 Excel Solver 求解线性规划模型

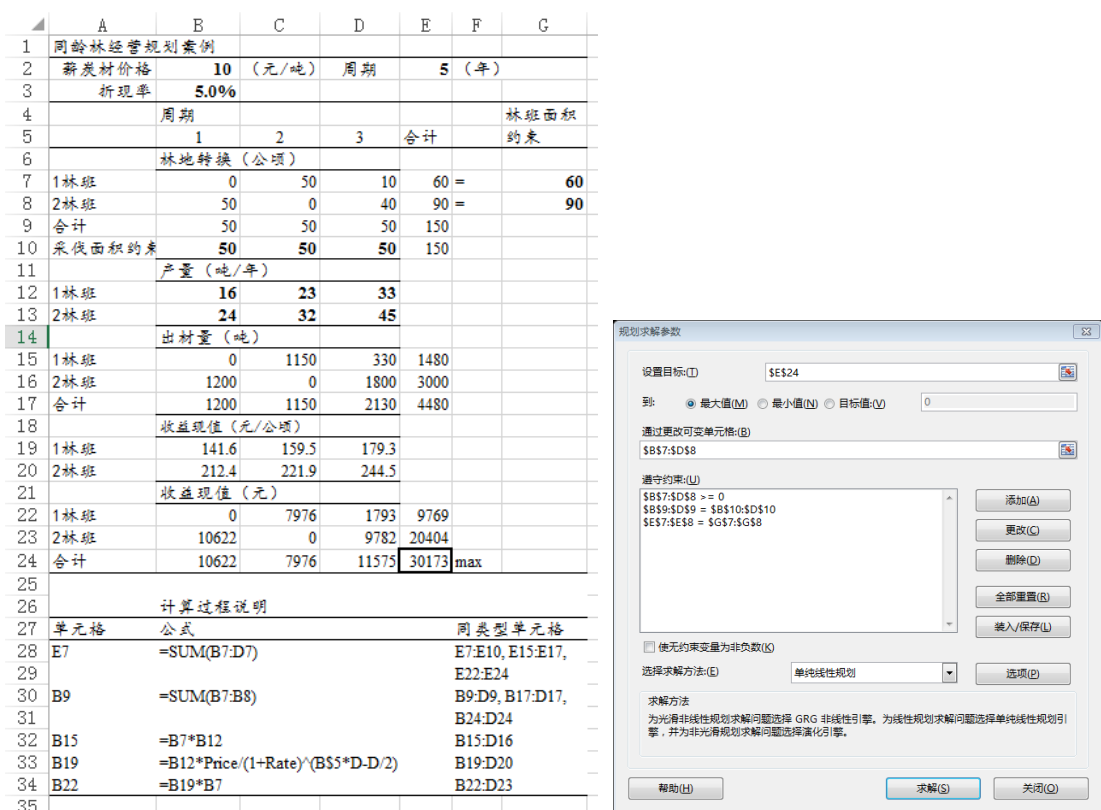


图 6.2 Excel 林分改造规划求解模型

6.2 异龄林经营规划

异龄林是指林分中林木年龄相差一个龄级以上的森林。异龄林的林分结构复杂，多为多树种混交的复层异龄林。异龄林的经营技术复杂，木材生产的成本较高，但林分抗逆性较强，生长稳定，具有良好生态效益。随着人们对于森林生态系统认识的深入，异龄林的经营比例也会随之增加。本节将通过径阶生长模型来介绍简单的异龄林经营规划技术：

例 6.2 在 4.2 节径阶模型的介绍中，我们对天然林是生长动态进行了模拟。基于该模型，我们可以对异龄林进行经营规划。先来回顾一下该径阶生长模型：

$$y_{1,t+1} = 0.92y_{1t} - 0.29y_{2t} - 0.96y_{3t} + 109$$

$$y_{2,t+1} = 0.04y_{1t} + 0.90y_{2t}$$

$$y_{3,t+1} = 0.02y_{2t} + 0.90y_{3t}$$

上式中， y_{it} 代表时间 t 时第 i 等级径阶的株数密度。模型描述了，由时间 t 经过一个周期（5 年）到达时间 $t+1$ 时，各径阶株数的变化规律。

若该天然林管理单位希望每五年进行择伐作业，既保证林分径阶结构能长期保持稳定，又能最大化的提供恒定持续的木材产出，则应当如何进行采伐规划？（已知各等级径阶单木材积及价格如下表所示）

表 6.2 木材价格

径阶等级 i	单木材积 (m3)	单木价格 (元)
1	0.2	3
2	0.5	80
3	1	200

原来的模型只是描述林分自然状态下的生长动态，如果加入择伐，则需要对其修正。我们用 h_{it} 代表时间 t 时采伐收获第 i 等级径阶的株数，则伐后株数为 $y_{it} - h_{it}$ ，原生长模型变成：

$$y_{1,t+1} = 0.92(y_{1t} - h_{1t}) - 0.29(y_{2t} - h_{2t}) - 0.96(y_{3t} - h_{3t}) + 109$$

$$y_{2,t+1} = 0.04(y_{1t} - h_{1t}) + 0.90(y_{2t} - h_{2t})$$

$$y_{3,t+1} = 0.02(y_{2t} - h_{2t}) + 0.90(y_{3t} - h_{3t})$$

林分径阶结构能长期保持稳定，意味着各径阶株数不变的约束：

$$y_{i,t+1} = y_{i,t}$$

采伐量必然无法超过当前立木株数，并且为非负数：

$$h_{i,t} \leq y_{i,t}$$

$$h_{i,t} \geq 0$$

我们设定将每 5 年的木材收益作为优化目标：

$$\max Z = 3h_{1t} + 80h_{2t} + 200h_{3t}$$

通过 Excel 规划求解功能来进行求解，结果如图 6.3 所示。

上述最优解所规划的林分，在林木生长到第 2 径阶等级时全部择伐掉，以获得最高木材收益。如果考虑到林木大小的多样性，可以增加对第 3 等级径阶材积或株数的约束，例如我规定 $y_{3,t} \geq 3$ ，则最优解随之改变（图 6.4）。

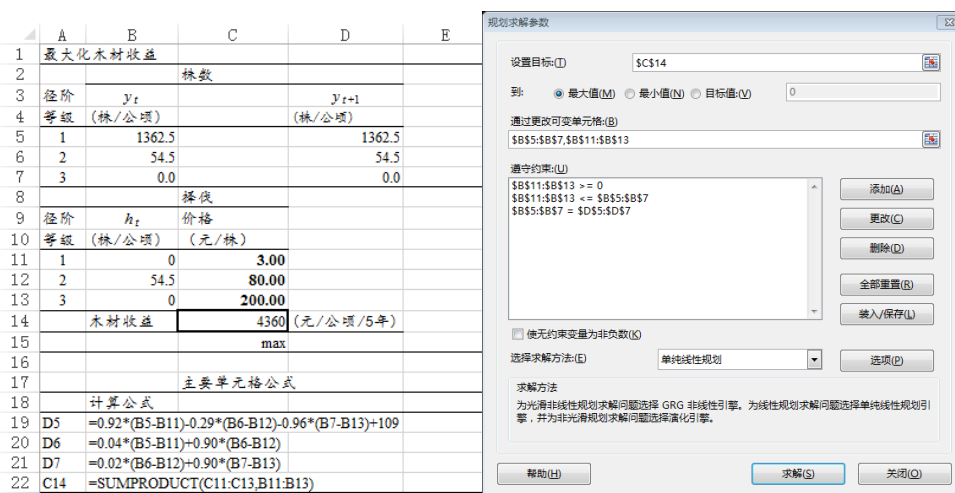


图 6.3 Excel 径阶生长及规划模型

	A	B	C	D	E
1	最大化木材收益				
2			株数		
3	径阶	y_t		y_{t+1}	
4	等级	(株/公顷)		(株/公顷)	
5	1	1272.1		1272.1	
6	2	64.4		64.4	
7	3	3.0		3.0	
8			择伐		
9	径阶	h_t	价格		
10	等级	(株/公顷)	(元/株)		
11	1	0	3.00		
12	2	49.385	80.00		
13	3	0	200.00		
14		木材收益	3950.8	(元/公顷/5年)	
15			max		
16					
17			主要单元格公式		
18		计算公式			
19	D5	=0.92*(B5-B11)-0.29*(B6-B12)-0.96*(B7-B13)+109			
20	D6	=0.04*(B5-B11)+0.90*(B6-B12)			
21	D7	=0.02*(B6-B12)+0.90*(B7-B13)			
22	C14	=SUMPRODUCT(C11:C13,B11:B13)			

图 6.4 增加大径阶约束后的规划求解模型

6.3 加载规划求解宏

在 Office EXCEL 2003 版本中, 通过点击菜单【工具】——【宏】——【加载宏】, 加载【规划求解加载项】便可以加载该宏。

在 Office EXCEL 2007、2010 及 2013 的版本中, 通过点击【文件】选项卡, 打开【选项】对话框, 单击左侧【加载项】标签, 在右侧单击【转到】按钮, 打开【加载宏】对话框, 勾选【规划求解加载项】复选框, 单击【确定】按钮, 即可在工具栏的【数据】选项卡中出现【分析】选项组, 上面就有了【规划求解】按钮。

例 6.3 下面以 Excel 2013 来进行演示说明:

(1) 在 Excel 2013 窗口单击左上角的【文件】按钮, 打开的菜单点击【选项】命令 (图 6.5)。

(2) 打开【Excel 选项】对话框, 在左侧列表选择【加载项】。

(3) 单击打开右侧的【管理】下拉菜单, 选择【Excel 加载项】, 点击【转到】按钮。



图 6.5 【文件】-【选项】

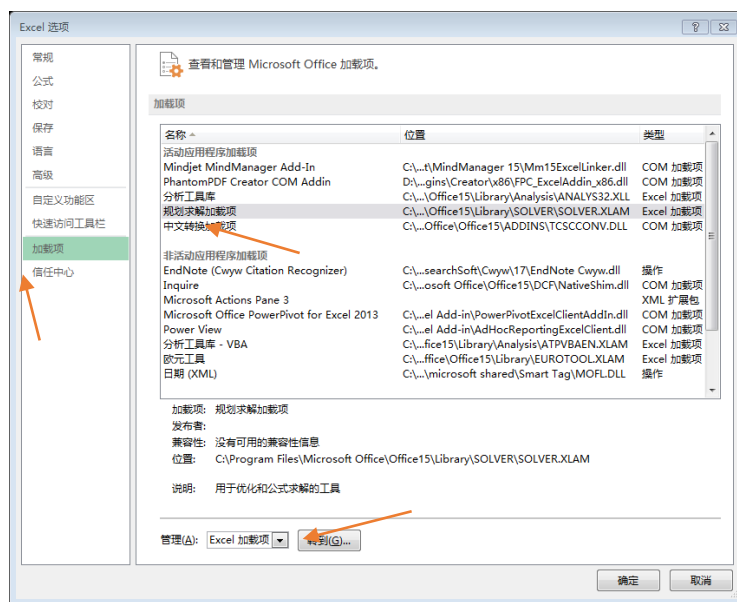


图 6.6 Excel 选项

(4) 打开【加载宏】对话框，在【可用加载宏】框中勾选【规划求解加载项】，单击【确定】按钮（图 6.7）。

(5) 在功能区切换到【数据】选项卡，【规划求解】就在【分析】组中（图 6.8）。

(6) 鼠标悬停在【规划求解】按钮上，可得到该功能的即时帮助信息。

(7) 点击“规划求解”按钮，打开了【规划求解参数】对话框，在这里面就可以进行相关参数的设置。

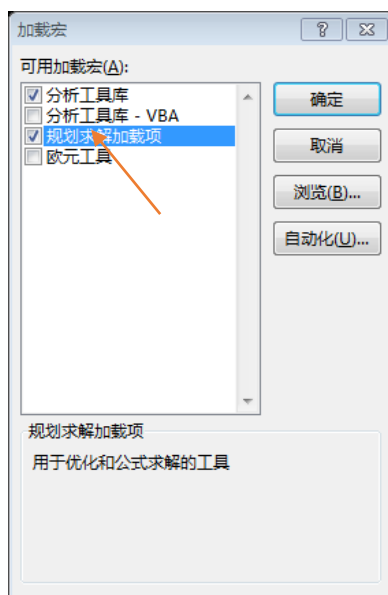


图 6.7 加载宏



图 6.8 数据选项

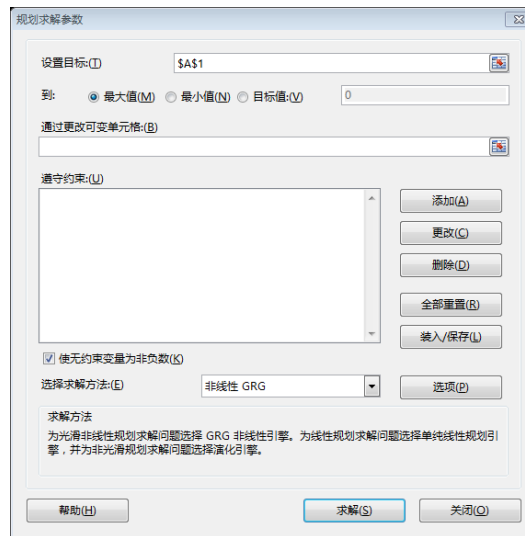


图 6.9 【规划求解参数】对话框

实验 7 森林多功能服务

7.1 经济价值

市场经济条件下,林业生产获得两大类产品(或服务),一类是有价格的各种林产品,它们是可以用于交换的商品,包括木材、食用菌、茶果等。这类产品可以为经营者独占,并且可以出售、转让、租赁等获取利益。由于有价格信息,可以通过市场进行资源配置。而另外一种是无价格的各种产出与服务,如保持水土、涵养水源、防风固沙、改善气候、美化环境等这些服务的占有和消费是难以排除他人的,经营者无法通过出售和交换占有其利益,也难以通过市场来实现资源配置。

传统森林经营管理简单地把森林作为木材生产的场所来对待,将森林的木材生产以外其它的资源视为附属性的存在,在相当长的时间里未予重视。本节将通过同龄林林木资产评估的例子,来介绍森林的木材价值:

例 7.1 某林班为落叶松中龄林(地位级 II),面积 10 ha, 年龄 25, 蓄积 185 m³/ha, 主伐年龄 40 年。查 II 地位级落叶松生长过程表, 50 年 390m³/ha, 45 年 380m³/ha, 40 年 350m³/ha, 25 年 200m³/ha。

落叶松价格, 原木 1050 元/m³, 综合 500 元/m³;

出材率, 落叶松原木 25%, 落叶松综合 45%;

营林成本 90 元/年/ha, 采运成本 140 元/m³;

销售费用 10 元/m³, 管理费用 5%;

A=增值税 6%, 城建税=A*5%, 教育附加费=A*3%;

育林基金 12%, 维简费 8%, 林业保护建设费 5 元/m³。

试用收获现值法评价该林分林木价值(贴现率 6%)。

45 年时, 出材率落叶松原木 30%, 落叶松综合 40 %;

50 年时, 出材率落叶松原木 40%, 落叶松综合 30%;

主伐年龄应选择 40, 45, 或 50? 如果贴现率为 10%, 3%?

我们首先计算主伐年龄为 40 年, 折现率为 6%的情况。将其分步骤来完成:

(1) 预测主伐时蓄积量 (m³/ha)

条件中已知林分年龄 25, 蓄积 185 m³/ha, 主伐年龄 40 年。查生长过程表, 40 年 350m³/ha, 25 年 200m³/ha。

$$M = 185 \times 350 \div 200 = 323.75 \text{ (m}^3/\text{ha)}$$

(2) 主伐时原木及综合纯收入 (元/m³)

通过价格和税费信息可以计算每立方米木材纯收入。落叶松价格, 原木 1050 元/m³, 综合 500 元/m³; 采运成本 140 元/m³; 销售费用 10 元/m³, 管理费用 5%; A=增值税 6%, 城建税=A*5%, 教育附加费=A*3%; 育林基金 12%, 维简费 8%, 林业保护建设费 5 元/m³。

表 7.1 主伐年龄及折现率的情况

折现率	3%			6%			10%		
主伐年龄 (年)	40	45	50	40	45	50	40	45	50
资产评估 值 (元)	457,924	462,211	470,314	295,933	257,514	225,582	167,951	120,021	85,746

主伐时每立方米原木纯收入 (元):

$$A_1 = 1050 - 140 - 10 - 1050 \times 5\% - 1050 \times 6\% \times (1 + 5\% + 3\%) - 1050 \times (12\% + 8\%) - 5 = 564.5$$

主伐时每立方米综合材纯收入 (元):

$$A_2 = 500 - 140 - 10 - 500 \times 5\% - 500 \times 6\% \times (1 + 5\% + 3\%) - 500 \times (12\% + 8\%) - 5 = 187.6$$

(4) 营林管护成本合计 (元)

营林管护成本每年都需要支出, 考虑到 6% 的折现率, 实际总的管护成本为等比数列求和运算, 在此不再进行推导。已知营林成本 90 元/年/ha, 林分年龄 25, 主伐年龄 40 年, 管护成本合计可以由以下公式计算:

$$T = V \times \frac{(1+i)^{u-n} - 1}{i(1+i)^{u-n}} = 90 \times \frac{(1+0.06)^{40-25} - 1}{0.06 \times (1+0.06)^{40-25}} = 874.1 \quad (\text{元})$$

(5) 资产总评估值 (元)

林班面积 10 ha (S); 出材率 (f), 落叶松原木 25%, 落叶松综合 45%; 主伐蓄积量 (M)、木材价格 (A)、管护成本 (T) 均已计算得到。则总的资产评估价值为:

$$\begin{aligned}
 E &= \frac{S \times M \times (f_1 \times A_1 + f_2 \times A_2)}{(1+i)^{u-n}} - S \times T \\
 &= \frac{10 \times 323.75 \times (0.25 \times 564.5 + 0.45 \times 187.6)}{(1+0.06)^{40-25}} - 10 \times 874.1 \\
 &= 295 \ 933 \quad (\text{元})
 \end{aligned}$$

同样的方法可以计算得到不同折现率和主伐年龄对应的资产评估值, 结果如表 7.1 所示。一般而言, 更高的折现率会导致更低的资产评估值, 原木出材率的升高会导致采伐时的木材收益更高, 但是更晚的主伐意味着更低的贴现值, 实际森林主伐年龄的确定, 要考虑诸多因素的综合影响。

7.2 生态价值

7.2.1 生物多样性

生物多样性是人类赖以生存的生物资源。有的生物已被人们作为资源所利用, 而更多的生物人们尚未知其利用价值, 属于潜在的生物资源。本节将介绍在特定地理区域的生态系统中, 对动物或植物的物种多样性进行描述和评价的方法。

表 7.2 观测到的植被个体数量

物种	A 生态系统	B 生态系统
1	120	100
2	50	150
3	40	200
4	25	30
5	10	5
6	6	3
7	0	2
8	1	0
9	0	2
10	0	1
合计	252	493

例 7.2 已知研究人员对不同地理区域的 A 和 B 生态系统进行了系统抽样调查，A 区域 100 公顷，设置 20 个观测样点，B 区域 400 公顷，设置 50 个观测样点，分别对植被种类进行调查记录，如表 7.2 所示，试对两个区域的物种多样性进行量化比较。

对表 7.2 进行分析，我们发现 A 生态系统中观测到 7 个物种，B 生态系统中观测到 9 个物种，但我们还不能仅据此判断二者的生物多样性。

使用 Shannon 指数 (Shannon, 1948) 是描述物种多样性和相对丰富度的常用方法，可以通过下式来描述物种多样性：

$$H' = - \sum_{i=1}^S \frac{N_i}{N} \ln \frac{N_i}{N}$$

H' 为物种多样性， N 为各物种总个体数， N_i 为第 i 个物种的个体数， S 为物种种类数。

结合 Evenness 均匀度，也能够比较好的描述物种多样性：

$$E = \frac{H'}{S}$$

式

中 重新计算各多样性指标如下：

，
为均匀度， H' 为 Shannon 指数， S 为物种的种类数。

表 7.3 各多样性指标

	A 生态系统	B 生态系统
物种数 S	7	9
Shannon 指数 H'	1.434573	1.356843
均	0.204939	0.15076

一般来说，生态系统中的物种的种类数越多，每个物种的个体数越多，并且各物种的个体数分布越均匀，生态系统也就更加稳定。在上述例子中，尽管 B ($S=9$) 生态系统的物种种类数多于 A ($S=7$)，但 A 生态系统却具有更高的 Shannon 多样性指数，同时均匀度更高一些。

需要注意的是 A 生态系统地理区域的面积只有 B 生态系统面积的四分之一，如果折算到相同的单位面积，A 生态系统的物种多样性应该会更加明显高于 B 生态系统。另外，调查中如果涉及濒危物种，在多样性方面则需要单独考虑。

7.2.2 碳汇

当前，全球气候发生着以变暖为主要特征的显著变化，大气中温室气体特别是二氧化碳浓度的增加是导致全球气候变暖的主要因素之一，森林的碳汇作用因而也日益得到重视。本节介绍生物量模型的方法计算林分碳储量。通过生物量模型估计的方法，利用已知的易测因子的数据，如胸径、树高、林分密度等，可以推算出树木各器官生物量，进而推算出林分的生物量。通过含碳量的相关研究，将各器官生物量乘以其含碳率，就得到各器官含碳率，进而得到林分总的碳储量。我们将通过下面的例子进行演示说明：

例 7.3 在 4.1 全林模型这一节中，我们编制了秦岭地区某林场第 II 地位级油松收获表，该模型可以模拟油松同龄林林分生长过程，包括胸径、树高、林分密度、断面积及蓄积等。请在此基础上，根据秦岭地区油松生物量模型，结合含碳率研究，模拟油松同龄林林分碳储量随年龄的动态变化过程。

(1) 从收获表中提取特定的林分生长动态信息，包括年龄、胸径、树高、密度，见表 7.4。

(2) 查询该地区油松生物量方程，得到下表为各器官生物量回归方程（陈存根，1996），见表 7.5。

表 7.4 油松收获表信息

年龄 (a)	树高 (m)	平均胸径 (cm)	林分密度 (株/ha)
20	8.7	10.6	1764
40	14.1	19.6	762
60	16.6	24.0	576

表 7.5 油松各器官生物量模型

器官	回归方程
干	$\ln W_S = 1.04086 \ln(D^2 H) - 4.63143$
皮	$\ln W_{BA} = 0.77396 \ln(D^2 H) - 4.69348$
枝	$\ln W_B = 2.57733 \ln D - 4.08026$
叶	$\ln W_L = 2.57495 \ln D - 5.11712$
根	$\ln W_R = 2.28692 \ln D - 4.14198$

表 7.6 油松林分各器官生物量（吨/公顷）

年龄	干	皮	枝	叶	根	合计
20	22.3	3.3	13.1	4.6	6.2	49.7
40	57.1	5.4	27.5	9.7	10.9	110.7
60	78.0	6.4	35.2	12.4	13.2	145.2

基于上述模型，只需将林分树高、胸径信息代入，即可算出平均木各器官生物量，再乘以林分密度，即可得到林分每公顷的生物量（表 7.6）。

（4）将林分各器官生物量与含碳率相乘，即可得到林分的碳储量。含碳率设定的 50% 是 IPCC（Intergovernmental Panel on Climate Change）的通用数据，但实际上活体植物的碳含量常因树种和器官的不同而异，采用侯琳等（2009）利用分析仪测定的秦岭油松干、皮、枝、叶、根的含碳率，如表 7.7 所示。继而我们可以得到油松林分各器官的碳储量（表 7.8）。这里我们把结果绘制成条形图可以更加方便地对不同时期林分碳储量进行比较（图 7.1）。

表 7.7 秦岭油松各器官含碳率

器官	含碳率（%）
干	49.95
皮	49.25
枝	50.8
叶	51.45
根	44.25

表 7.8 油松林分各器官碳储量（吨/公顷）

年龄	干	皮	枝	叶	根	合计
20	11.2	1.6	6.7	2.4	2.8	24.6
40	28.5	2.7	14.0	5.0	4.8	55.0
60	39.0	3.1	17.9	6.4	5.8	72.2

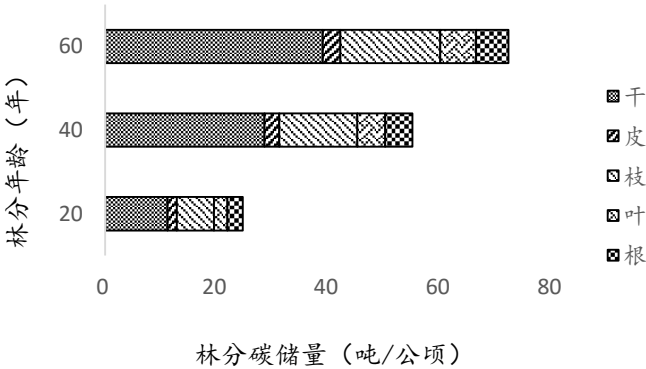


图 7.1 油松林各组分碳储量

7.3 社会价值

7.3.1 支付意愿法

支付意愿(willingness to pay, WTP)是指消费者为获得一种商品、一次机会或一种享受而愿意支付的货币资金。是消费者对特定物品或劳务的个人估价,带有强烈的主观评价成分。在环境质量公共物品的需求分析和环境经济影响评价中,支付意愿被广泛应用。本节通过一个意愿调查法的案例来进行说明:

例 7.4 选取江西省遂川县作为调查点,调查该地区森林环境效益的经济价值(曹建华和郭小鹏,2002)。

(1) 经过了调查,设计了调查问卷。询问被调查者对禁止砍伐周边森林资源及保护居住地的良好生态环境愿意支付的价格。

(2) 通过对调查问卷进行分析处理,根据对被调查者所在的区域是否为林区,职业,不同文化程度,以及不同的平均收入进行排序分类。

(3) 根据统计处理结果,被调查人员的数量为 185 人,总支付意愿(WTP)值为 152046 元,平均值为 821.87 元。

(4) 背景资料:该地区人口为 55 万人。根据最近的森林资源清查初步成果资料,有林地 21.33 万 ha,森林总蓄积量为 850 万 m^3 ,假定全县的林木生长量为蓄积量的 10%。

(5) 根据调查资料的处理结果,全县的户均支付意愿(WTP)为 822 元,家庭的人口平均数为 5 人,将全县的户均支付意愿(WTP)换算成以立方米为单位的环境单价:

环境单价 = 用户支付意愿 $\times$ 全县人口 $\div$ 家庭人口平均数 $\div$ 林木生长量

$$= 822 \times 55 \div 5 \div 85 = 106 \text{ (元/}m^3\text{)}$$

7.3.2 旅行成本法

旅行成本(费用)法是一种评价无价格商品的方法。利用旅行费用来算环境质量发生变化后给旅游场所带来效益上的变化,从而估算除环境质量变化造成的经济损失或收益。人们游览风景区通常不付费或付费很少,旅行费用主要是交通费、时间的机会成本等,通过调查,可以构建旅游场所的年游览人次与旅行费用和其他因素的相关模型,进而对其服务价值进行评估。本节将通过一个森林公园门票定价及价值评估的例子来对旅行成本法进行说明:

例 7.5 某森林公园在试营业阶段,对来访游客进行统计调查,按来访游客的距离及交通便捷程度,将游客来源划分成 5 个区域,并对各区域的游客人口数、旅行的成本、每人每年来访的次数进行了统计,结果如下表所示,请根据以获得的信息,为该森林公园拟定门票价格并对该森林公园进行价值评估。

表 7.9 森林公园游客统计信息

区域	游客人口	人均旅行成本（元）	每人每年来访次数	门票价格（元）
1	100	2.50	25	0
2	500	5.00	20	0
3	5,000	10.00	10	0
4	10,000	12.50	5	0
5	1,000,000	15.00	0	0

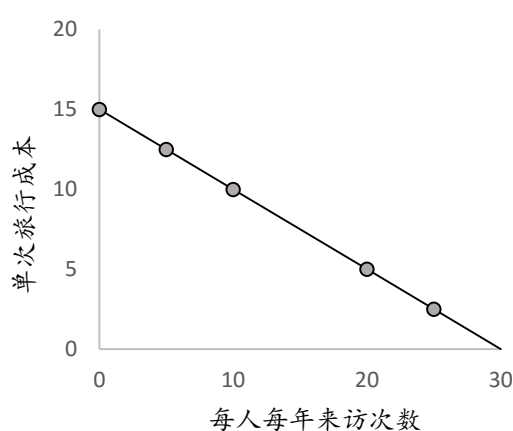


图 7.2 各区域游客旅游需求曲线

对上表数据进行分析，我们可以发现，人均旅游成本与每人每年的来访次数间，存在特定的游客需求关系，如图 7.2 所示。

增加门票收费，相应也就增加了旅行成本，不同的门票价格将直接影响游客每人每年来访次数，人均每年将来访次数乘以游客人口数，就得到总的游客访问量，即如表 7.10 所示。

表 7.10 不同区域游客每人每年来访次数

区域	门票价格（元）				
	0.0	2.50	5.00	10.00	15.00
1	25	20	15	5	0
2	20	15	10	0	0
3	10	5	0	0	0
4	5	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0

表 7.11 不同门票价格下总的游客访问量

区域	门票价格（元）				
	0.0	2.50	5.00	10.00	15.00
1	2,500	2,000	1,500	500	0
2	10,000	7,500	5,000	0	0
3	50,000	25,000	0	0	0
4	50,000	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0
合计	112,500	34,500	6,500	500	0

游客访问量乘以门票价格可以得到门票总收入，通过门票价格改变带来的游客数量变化，可以推算支付意愿，而合计的支付意愿减去门票收入可以得到消费者剩余。计算结果汇总见表 7.12。

计算说明：增加的支付意愿可以通过门票价格改变后旅游人数的变化乘以门票均值得到，例如 2.50 元与 5.00 元均值为 3.75 元，旅游人数变化为 $34,500 - 6,500 = 28,000$ ，则增加的支付意愿为 $28,000 \times 3.75 = 105,000$ 。总的支付意愿为增加支付意愿的合计，例如对于 2.50 元门票价格，总支付意愿为 $6,250 + 45,000 + 105,000 = 156,250$ 。

表 7.12 不同门票价格的旅游需求、支付意愿及消费者剩余

门票价格 (1)	访问数量(2)	增加的 来访量 (3)	门票收入 (4)=(1)×(2)	增加的 支付意 愿(5)	支付意 愿合计 (6)	平均支付意 愿 (7)=(6)÷(2)	消费者剩 余 (8)=(6)-(4)
0.0	112,500		0		253,750	2.26	253,750
		78,000		97,500			
2.50	34,500		86,250		156,250	4.53	70,000
		28,000		105,000			
5.00	6,500		32,500		51,250	7.88	18,750
		6,000		45,000			
10.00	500		5,000		6,250	12.50	1,250
		500		6,250			
15.00	0		0		0	0	0

7.4 多功能服务评价

森林经营者采取各种森林经营措施时,必须首先要清楚不同经营对象的现实状况与培育目标。森林作为复杂生态系统,对其进行多功能服务综合评价,在林业生产实践中具有十分重要的现实意义。国内外常用的方法分为专家评价法、经济分析法、运筹学方法、数理统计方法和雷达图法等。其中运筹学方法又可分为多目标决策法、数据包络分析法和层次分析法几种。数理统计方法又可分为聚类分析法、判别分析法、主成分分析法、因子分析法等几种。这些评价方法中,有定性评价、定量评价及定性定量结合评价之分。如专家评价法属定性评价;主成分分析法、因子分析法等数理统计方法属定量评价;层次分析法属定性定量结合的评价。本节以层次分析法为例,介绍森林多功能服务评价的方法。

层次分析法(AHP)是美国运筹学家匹茨堡大学教授萨蒂(T. L. Saaty)于上世纪 70 年代初,为美国国防部研究“根据各个工业部门对国家福利的贡献大小而进行电力分配”课题时,应用网络系统理论和多目标综合评价方法,提出的一种层次权重决策分析方法。这种方法的特点是在对复杂的决策问题的本质、影响因素及其内在关系等进行深入分析的基础上,利用较少的定量信息使决策的思维过程数学化,从而为多目标、多准则或无结构特性的复杂决策问题提供简便的决策方法,是一种对难于完全定量的复杂系统做出决策的模型和方法。下面我们将通过一个林业经营实践的例子对层次分析法进行演示:

例 7.6 为充分发挥森林多功能服务的功能,某林场设计 3 套备选森林经营方案,尽管都兼顾了木材生产、碳汇、多样性、森林健康和游憩价值 5 个目标,但侧重点和实施方案各有不同,现需对这 3 个方案进行评价并选择最佳方案。

(1) 建立层次结构模型

将决策的目标、考虑的因素(决策准则)和决策对象按它们之间的相互关系分为最高层、中间层和最低层,绘出层次结构图。包括 1) 最高层:决策的目的、要解决的问题; 2) 最低层:决策时的备选方案; 3) 中间层:考虑的因素、决策的准则。

Z 表示森林经营多功能服务的目标; A_1, A_2, A_3, A_4, A_6 分别代表森林的木材生产、碳汇、多样性、森林健康和游憩价值等因素; B_1, B_2, B_3 代表 3 套森林经营方案。

(2) 构造判断(成对比较)矩阵及一致性检验

在确定各层次各因素之间的权重时,如果只是定性的结果,则常常不容易被别人接受,因而 Santy 等人提出:一致矩阵法,即: 1) 不把所有因素放在一起比较,而是两两相互比较; 2) 对此时采用相对尺度,以尽可能减少性质不同的诸因素相互比较的困难,以提高准确度。判断矩阵元素 a_{ij} 的标度方法如表 7.3 所示。

该例子中,通过专家打分的方法,可以得到成对比较矩阵如下:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1/2 & 4 & 3 & 3 \\ 2 & 1 & 7 & 5 & 5 \\ 1/4 & 1/7 & 1 & 1/2 & 1/3 \\ 1/3 & 1/5 & 2 & 1 & 1 \\ 1/3 & 1/5 & 3 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

表 7.13 判断矩阵元素的构造方法

标度	含义
1	表示两个因素相比，具有同样重要性
3	该因素比另一个因素稍微重要
5	该因素比另一个因素明显重要
7	该因素比另一个因素强烈重要
9	该因素比另一个因素极端重要
2,4,6,8	上述两相邻判断的中值
倒数	因素 i 与 j 比较的判断 a_{ij} ，则因素 j 与 i 比较的判断 $a_{ji}=1/a_{ij}$

该例子中，通过专家打分的方法，可以得到成对比较矩阵如下：

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1/2 & 4 & 3 & 3 \\ 2 & 1 & 7 & 5 & 5 \\ 1/4 & 1/7 & 1 & 1/2 & 1/3 \\ 1/3 & 1/5 & 2 & 1 & 1 \\ 1/3 & 1/5 & 3 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

稍加分析就发现上述成对比较矩阵有问题，例如在打分过程中， $a_{21}=2$ ， $a_{13}=4$ ，则理论上， a_{23} 应该为 8，但上表中却为 7，在成对比较中允许不一致，但要确定不一致的允许范围。对于不一致(但在允许范围内)的成对比较阵 A，Saaty 等人建议用对应于最大特征根 λ 的特征向量作为权向量 W ，即 $AW = \lambda W$ 。

定义一致性的指标为： $CI = \frac{\lambda - n}{n-1}$

实际应用中，采用一致性比率： $CR = \frac{CI}{RI}$

当 CR 小于 0.1 时， A 的不一致程度在容许范围之内，有满意的一致性，通过一致性检验。可用其归一化特征向量作为权向量，否则要重新构造成对比较矩阵 A ，对 a_{ij} 加以调整。

本例中，可计算得到矩阵 A 的最大特征根 $\lambda = 5.073$ ，权向量(特征向量) $w = (0.263, 0.475, 0.055, 0.090, 0.110)^T$ 。

一致性指标： $CI = \frac{5.073-5}{5-1} = 0.018$

随机一致性指标： $RI=1.12$ (查表 7.14)

表 7.14 随机一致性指标 RI

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51

一致性比率： $CR = \frac{0.018}{1.12} = 0.016 < 0.1$

(3) 层次单排序及其一致性检验

层次单排序是指同一层次因素对于上一层次因素某因素相对重要性的排序权值，能否确认层次单排序，需要进行一致性检验。

假设通过专家打分，对于木材生产而言三个方案的对比矩阵为：

$$B_a = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 5 \\ 1/2 & 1 & 2 \\ 1/5 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}$$

对于碳汇价值而言三个方案的对比矩阵为：

$$B_b = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/8 \\ 3 & 1 & 1/3 \\ 8 & 3 & 1 \end{bmatrix}$$

对于多样性而言三个方案的对比矩阵为：

$$B_c = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 3 \\ 1 & 1 & 3 \\ 1/3 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$$

对于森林健康而言三个方案的对比矩阵为：

$$B_d = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 4 \\ 1/3 & 1 & 1 \\ 1/4 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

对于游憩价值而言三个方案的对比矩阵为：

$$B_e = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1/4 \\ 1 & 1 & 1/4 \\ 4 & 4 & 1 \end{bmatrix}$$

表 7.15 层次单排序权向量及一致性性检验

k	1	2	3	4	5
W_{k1}	0.595	0.082	0.429	0.633	0.166
W_{k2}	0.277	0.236	0.429	0.193	0.166
W_{k3}	0.129	0.682	0.142	0.175	0.668
λ_k	3.005	3.002	3	3.009	3
CI_k	0.003	0.001	0	0.005	0
RI_k	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58

计算 CR_k 可知 B_a, B_b, B_c, B_d, B_e 均通过一致性检验。

(4) 计算层次总排序权值和一致性检验

计算某一层次所有因素对于最高层(总目标)相对重要性的权值, 称为层次总排序。这一过程是从最高层次到最低层次依次进行的, 计算最下层对最上层总排序的权向量。

本例中, 经营方案 1 对森林经营总目标权值为:

$$0.595 \times 0.263 + 0.082 \times 0.475 + 0.429 \times 0.055 + 0.633 \times 0.099 + 0.166 \times 0.110 = 0.3$$

同理可得方案 2 和方案 3 对经营总目标权值为 0.246 和 0.456。

决策层对总目标的权向量为: $(0.3, 0.246, 0.456)$

一致性检验为:

$$CR = \frac{0.263 \times 0.003 + 0.475 \times 0.001 + 0.055 \times 0 + 0.099 \times 0.005 + 0.110 \times 0}{0.58} = 0.015 < 0.1$$

因而层次总排序通过一致性检验。权向量为 $(0.3, 0.246, 0.456)$ 可作为最后的决策依据。各方案进行排序为:

$$B_3 > B_1 > B_2$$

即第三个经营方案为最优经营方案。

实验 8 风险与不确定性

8.1 马尔科夫链描述林分动态

尽管越来越多的仿真模型系统可以预测林分未来的状态，但真实世界中的森林生长受到各种不可预测因素的干扰，具有很大程度的不确定性。在漫长的森林经营周期内，各种突发自然灾害的发生，又使得森林经营具有一定的风险。本章我们将通过马尔科夫链（Markov Chains）来描述林分状态的不确定性，并预测森林的景观特征和经济收益。

马尔可夫链，因安德烈·马尔可夫（A. A. Markov, 1856—1922）得名，是数学中具有马尔可夫性质的离散事件随机过程。该过程中，在给定当前知识或信息的情况下，过去（即当前以前的历史状态）对于预测将来（即当前以后的未来状态）是无关的。本节将介绍通过一个马尔可夫链来对林分状态的转移进行模拟。

例 8.1 某林区森林按蓄积量可以分为低（L）、中（M）、高（H）三种林分状态，L 状态意味着蓄积量最低，即小于 40m³/ha，M 状态意味着林分蓄积状态处于中等水平，介于 40m³/ha 到 70m³/ha 之间，H 状态意味着林分当前有较高蓄积量，一般高于 70m³/ha。由于林分的自然生长、突发性的自然灾害和人为经营措施和干扰，林分的状态经常会从一个等级到达转移到另外一个等级。马尔科夫链模型将这种状态转移以一种概率方式表示，如表 8.1 所示。

由上表可知，初始状态为 L 的林分，在 20 年后，有 0.4 的可能性仍然为 L 状态，但也有 0.6 的可能性将处于 M 状态。同理，若当前林分状态为 H，则 20 年后，有 0.9 的概率仍为 H 状态，各有 0.05 的概率处于 L 状态和 M 状态。

例如，若当前整个林区森林都处于 L 状态，即：

$$p_0 = [1 \quad 0 \quad 0]$$

通过马尔科夫模型可以预测该林区 20 年后的状态为：

$$p_1 = p_0 P = [1 \quad 0 \quad 0] \begin{bmatrix} 0.4 & 0.6 & 0 \\ 0 & 0.3 & 0.7 \\ 0.05 & 0.05 & 0.9 \end{bmatrix} = [0.4 \quad 0.6 \quad 0]$$

这意味着 20 年后 40%的林分将处于 L 状态，60%的林分处于 M 状态。

表 8.1 自然状态下林分每 20 年转移概率

初始林分 状态 i	终止林分状态		
	L	M	H
L	0.4	0.6	
M		0.3	0.7
H	0.05	0.05	0.9

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	林分动态										
2		状态				BP	20年状态转移概率				
3	年	L	M	H		指数	P	L	M	H	
4	0	1.00	0.00	0.00		1.0	L	0.40	0.60	0.00	
5	20	0.40	0.60	0.00		1.7	M	0.00	0.30	0.70	
6	40	0.16	0.42	0.42		2.4	H	0.05	0.05	0.90	
7	60	0.09	0.24	0.67		1.5					
8	80	0.07	0.16	0.77		1.3					
9	100	0.07	0.13	0.81		1.2					
10	120	0.07	0.12	0.82		1.2					
11	140	0.07	0.12	0.82		1.2					
12	160	0.07	0.12	0.82		1.2					
13	180	0.07	0.12	0.82		1.2					
14	200	0.07	0.12	0.82		1.2					
15	220	0.07	0.12	0.82		1.2					
16	240	0.07	0.12	0.82		1.2					
17											
18	单元格	公式								相似单元格	
19	A5	=A4+20								A5:A16	
20	B5:D5*	{=MMULT(B4:D4,I\$4:K\$6)}								B5:D16	
21	F4	=SUM(B4:D4)/MAX(B4:D4)								F4:F16	
22	* 选中 B5:D5, 输入公式 =MMULT(B4:D4,I\$4:K\$6),										
23	然后按 CTRL+SHIFT+ENTER.										

图 8.1 通过 Excel 表格实现林分动态模拟

然后我们以 20 年后林分状态为初始状态，乘以转移概率矩阵，得到 40 年后林分状态为：

$$p_2 = p_1 p = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.6 & 0 \\ 0 & 0.3 & 0.7 \\ 0.05 & 0.05 & 0.9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.16 & 0.42 & 0.42 \end{bmatrix}$$

如果我们将转移概率矩阵反复相乘来迭代，可以得到林分未来的最终稳定状态：

$$p^* = \begin{bmatrix} 0.07 & 0.12 & 0.82 \end{bmatrix}$$

在模拟林分状态时，我们采用 BP（Berger-Parker）指数来描述景观的多样性：

$$BP_t = \frac{p_{Lt} + p_{Mt} + p_{Ht}}{\max(p_{Lt}, p_{Mt}, p_{Ht})}$$

式中 p_{it} 表示 t 时间时 i 状态林分的面积比例。BP 值最低为 1，意味着全部林分处于同一状态，最高值为 3，意味着各状态林分面积相等。

林分状态的转移和模拟可以通过 Excel 来实现（图 8.1）。

另外，我们还可以通过状态转移概率，计算林分保持在当前状态的平均滞留时间 m_i ：

$$m_i = \frac{D}{(1 - p_{ii})}$$

上式中 D 为单个预测的时间周期， p_{ii} 为单个周期内保持当前状态的概率。例如，L 状态林分滞留在当前林分的平均时间为：

$$m_L = \frac{20}{(1 - 0.40)} = 33.3 \text{ 年}$$

即 L 状态的林分平均 33.3 年不会发生状态改变（表 8.2）。

表 8.2 各林分状态的平均滞留时间

状态 i	20 年状态不变的概率 p_{ii}	期望滞留时间 m_i (年)
L	0.4	33.3
M	0.3	28.6
H	0.9	200.0

表 8.3 各林分重回原状态的平均时间

状态 i	稳定状态概率 π_i	重回原状态时间 m_{ii} (年)
L	0.07	285.7
M	0.12	166.7
H	0.82	24.4

同时，我们也可以计算林分状态发生改变后，重新回到该状态的平均时间：

$$m_{ii} = \frac{D}{\pi_i}$$

上式中 π_i 为林分达到稳定状态时的概率。由此计算可得各林分重回原状态的平均时间（表 8.3）。由表 8.3 可知，状态为 L 的林分脱离后重回该状态的平均时间为 285.7 年。

8.2 经营措施对林分生长不确定性的影响

上一节中我们模拟了带有不确定性的林分自然状态下的生长，这一节我们将探讨经营措施对林分生长的影响。

例 8.2 林分经营者希望通过采伐作业获得木材产出，方法是以 20 年作为周期，另 L 状态与 M 状态的林分自然生长，而将较为成熟的 H 状态林分进行择伐，择伐后林分状态转变为 L 或 M 状态。人为干扰后的状态转移概率如表 8.4 所示。

表 8.4 经营措施下的状态转移概率

初始林分 状态 i	终止林分状态		
	L	M	H
L	0.4	0.6	
M		0.3	0.7
H	0.4	0.6	

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	林分动态										
2		状态				BP	20年状态转移概率				
3	年	L	M	H		指数	P	L	M	H	
4		0	1.00	0.00	0.00	1.0	L	0.40	0.60	0.00	
5		20	0.40	0.60	0.00	1.7	M	0.00	0.30	0.70	
6		40	0.16	0.42	0.42	2.4	H	0.40	0.60	0.00	
7		60	0.23	0.47	0.29	2.1					
8		80	0.21	0.46	0.33	2.2					
9		100	0.22	0.46	0.32	2.2					
10		120	0.21	0.46	0.32	2.2					
11		140	0.22	0.46	0.32	2.2					
12		160	0.22	0.46	0.32	2.2					
13		180	0.22	0.46	0.32	2.2					
14		200	0.22	0.46	0.32	2.2					
15		220	0.22	0.46	0.32	2.2					
16		240	0.22	0.46	0.32	2.2					
17											
18	单元格		公式							相似单元格	
19	A5		=A4+20							A5:A16	
20	B5:D5*		{=MMULT(B4:D4,I\$4:K\$6)}							B5:D16	
21	F4		=SUM(B4:D4)/MAX(B4:D4)							F4:F16	
22	* 选中 B5:D5, 输入公式 =MMULT(B4:D4,I\$4:K\$6),										
23	然后按 CTRL+SHIFT+ENTER.										

图 8.2 考虑经营措施后的林分动态模拟

表 8.5 经营措施下的平均滞留时间

状态 i	20 年状态不变的概率 p_{ii}	期望滞留时间 m_i (年)
L	0.4	33.3
M	0.3	28.6
H	0.00	20.0

表 8.6 经营措施下重回原状态的平均时间

状态 i	稳定状态概率 π_i	重回原状态时间 m_{ii} (年)
L	0.22	90.9
M	0.46	43.5
H	0.32	62.5

按新的状态转移矩阵，我们可以重新对林分的生长进行模拟图 8.2。同理可以计算得到各林分状态的平均滞留时间（表 8.5）和重返时间（表 8.6）。

8.3 基于风险的林分价值评估

由于各种不确定因素的存在，我们对于林分未来状态的预测采用概率转移的方法。

例 8.3 从上节的例题中可以看出，经营措施可以带来木材产出，这里我们假设对状态为 H 的林分进行择伐，每公顷的经济收益为 7000 元，L 状态和 M 状态的林分不进行采

伐作业，现在我们将探讨如何对林分进行价值评估。

考虑到折现率（ r ）的存在，未来林分的收益进行贴现，需要乘以特定系数（ d ）：

$$d = \frac{1}{(1+r)^{20}}$$

状态 L 和状态 M 的林分不进行采伐，无法直接测算其经济价值，这里我们采用向后递推的方法，用 $V_{i,t}$ 表示计划作业 t 周期时的林分价值，那么距离作业 $t+1$ 个周期的期望收益现值为：

$$V_{i,t+1} = R_i + d(p_{iL}V_{Lt} + p_{iM}V_{Mt} + p_{iH}V_{Ht})$$

R_i 为各林分状态下的经济收益，H 状态林分每公顷收益为 7000 元，L 状态与 M 状态不能采伐，收益为 0，即：

$$R_L = 0, R_M = 0, R_H = 7000$$

向后递推时，我们设置 $t=0$ 时的期望收益均为 0 以方便计算，即：

$$V_{L0} = V_{M0} = V_{H0} = 0$$

通过向后递推的方法，可以得到各状态林分价值的评估，如图 8.3 所示。

各状态林分期望收益的折现值为：

$$V_L^* = 602 \text{ 元}/\text{hm}^2$$

$$V_M^* = 2261 \text{ 元}/\text{hm}^2$$

$$V_H^* = 7602 \text{ 元}/\text{hm}^2$$

尽管 L 状态与 M 状态的林分并不会进行采伐，当终究会在某个时间到达 H 状态，因此仍可以计算出其潜在的价值。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	林分价值评估											
2	年	各状态现值			20年转移概率					收益		
3		L	M	H		G	L	M	H		状态	元/公顷
4	0	0	0	0		L	0.40	0.60	0.00	L		0
5	20	0	0	7000		M	0.00	0.30	0.70	M		0
6	40	0	1847	7000		H	0.40	0.60	0.00	H		7000
7	60	418	2056	7418								
8	80	528	2189	7528						折算系数	d	0.38
9	100	575	2234	7575						折现率（/年）	r	0.05
10	120	592	2251	7592								
11	140	598	2257	7598								
12	160	601	2260	7601								
13	180	602	2261	7602								
14	200	602	2261	7602								
15	220	602	2261	7602								
16												
17	单元格	公式										相似单元格
18	A5	=A4+20										A5:A15
19	B5	=L\$4+d*SUMPRODUCT(G\$4:I\$4,B4:D4)										B5:B15
20	C5	=L\$5+d*SUMPRODUCT(G\$5:I\$5,B4:D4)										C5:C15
21	D5	=L\$6+d*SUMPRODUCT(G\$6:I\$6,B4:D4)										D5:D15
22	L8	=1/(1+L9)^20										

图 8.3 基于风险的林分状态预测与评估

综合实验 森林资源资产评估案例

综合测试 本章将模拟一个森林资源资产评估的案例，对前面章节介绍的内容进行回顾。案例涉及森林立地评价、森林生长收获模型、森林经营规划、林木资产评估等一系列内容。森林资源资产评估报告的主体框架在书中已经给出，本章只需要将计算结果填入空白位置，将报告补充完整即可。另外需要说明的是，本案例涉及所有内容均为虚构，仅作为练习题使用。案例分析所需林分调查数据可在 www.optifor.cn 下载。

陕西省宁东林业局

森林资源资产评估报告

(2013 年调查)

森林资源监测与评价 05611

2014 春，期末报告

姓名（学号）

西林林业调查规划设计院

中国•西安

2014年6月

陕西省宁东林业局 森林资源资产评估报告

西林林业调查规划设计院受西北农林科技大学委托，根据国家有关资产评估的规定，本着客观、独立、公正、科学的原则，按照公认的资产评估方法，对宁东林业局火地塘林场置换项目森林资源资产进行了评估。本院评估人员按照必要的评估程序对委托评估的资产实施查验、市场调查与询证。对委托评估资产在 2013 年 12 月 31 日所表现的市场价值做出了公允的反映。现将资产评估情况及评估结果报告如下（10 分）：

1. 委托方、产权所有者及其他评估报告使用者简介（略）

2. 评估目的（略）

3. 评估对象及范围

评估对象为产权属于陕西省宁东林业局的 660 公顷林地，林地处于宁陕县火地塘林区。林分概况如表 1 所示。

表 1 林分概况

林分类型	树种组成	面积（ha）	林分年龄（yr）	起源	蓄积（m ³ /ha）
油 1	8 油 2 锐	100	35	人工	90.0
华 1	8 华 2 锐	100	40	人工	95.0
锐 1	8 锐 2 油	100	20	天然	50.0
油 2	5 油 4 锐 1 华	100	异龄	天然	95.0
华 2	5 华 4 锐 1 油	130	异龄	天然	95.0
锐 2	5 锐 4 油 1 华	130	异龄	天然	80.0

4. 评估价值类型及定义（略）

5. 评估基准日

本项目资产评估基准日为 2013 年 12 月 31 日。

6. 评估依据（略）

7. 评估方法

本次评估的目的是对国有商品用材林林木所有权及五十年林地使用权有偿流转提供价值参考依据，考虑评估对象现有的具体情况，本次评估林木采用_____法、_____法，林地采用了_____法；

(一)、对幼龄林及未成林造林地采用_____法；

(二)、对中龄林、近熟林采用_____法；

(三)、对成、过熟林采用_____法；

(四)、林地采用_____法。

8. 评估程序实施过程 and 情况（略）

9. 评估假设和限定条件（略）

10. 评估结论

在实施了上述资产评估程序和方法后，委托方指定的资产在 2013 年 12 月 31 日所表现的市场价值反映如下：

在持续经营前提下，西北农林科技大学委托评估产权属于陕西省宁东林业局的面积 660 公顷的森林资源资产现值共计人民币_____万元。其中油松林资产人民币 _____万元，华山松林资产人民币_____万元，锐齿栎林资产人民币_____万元。各类资产评估值详见表 2。

表 2 森林资源资产评估值

林分类型	树种组成	面积 (ha)	蓄积 (m ³ /ha)	评估值（元）
油 1	8 油 2 锐	100	90.0	
华 1	8 华 2 锐	100	95.0	
锐 1	8 锐 2 油	100	50.0	
油 2	5 油 4 锐 1 华	100	95.0	
华 2	5 华 4 锐 1 油	130	95.0	
锐 2	5 锐 4 油 1 华	130	80.0	

（按 6%折现率计算）

11. 特别事项说明（略）

12. 评估报告使用限制说明（略）

13. 评估报告的提出日期 本报告提出日期为 2014 年 6 月 26 日。

法 定 代 表 人：

项 目 负 责 人：

注册资产评估师：

森林资源资产评估专家：

西林林业调查规划设计院

2014 年 6 月 26 日

陕西省宁东林业局 森林资源资产评估说明

1. 评估技术经济指标说明

木材价格

油松 原木 1050 元/m³，综合 550 元/m³

华山松 原木 950 元/m³，综合 450 元/m³

锐齿栎 原木 850 元/m³，综合 350 元/m³

成本及税费

营林成本 90 元/年/ha，采运成本 140 元/m³，销售费用 10 元/m³，管理费用 5%，A=增值税 6%，城建税=A*5%，教育附加费=A*3%，育林基金 12%，维简费 8%，林业保护建设费 5 元/m³。

2. 科学的森林资源资产评估需要了解客观反映林分特征的因子，通过抽样调查，共获得 76 块标准地调查数据，内业计算后获得各样地主要林分调查因子信息，为揭示森林生长规律提供数据资料。油松、华山松和锐齿栎三个树种胸径和树高随年龄变化的数据散点图如下（10 分）：

图 1. 油松样地年龄-胸径散点图

图 2. 油松样地年龄-树高散点图

图 3. 华山松样地年龄-胸径散点图

图 4. 华山松样地年龄-树高散点图

图 5. 锐齿栎样地年龄-胸径散点图

图 6. 锐齿栎样地年龄-树高散点图

（制图员：_____）

3. 根据树木各调查因子的生长资料，选取特定树木生长方程，采用非线性回归模型的参数估计方法，估计其参数并计算拟合统计量，从而获得三个树种以年龄作为自变量的胸径和树高生长模型如下（10 分）：

表 3 油松、华山松、锐齿栎的胸径及树高生长模型参数

树种	方程名称	方程形式	a	b	c	R ²
----	------	------	---	---	---	----------------

（制表人：_____）

4. 立地质量的高低直接关系到森林资源资产评估价值，地位级（Site Class）是反映林地生产力的一种相对度量指标，它是依据林分条件平均高与林分年龄的关系，按相同年龄时林分条件平均高与林分平均年龄的关系，按相同年龄时林分条件平均高的变动幅度划分为若干个等级，通常为 5~7 级，以罗马数字 I II III……符号依次表示立地质量的高低，将每一地位级所对应的各个年龄时的平均高列成表，称为地位级表。根据标准地数据中的年龄与树高信息，编制三个树种的地位级表如下（10 分）：

表 4 火地塘林区油松林地地位级表（I~IV）

年龄	I	II	III	IV
20				
30				
40				
50				
60				
70				

表 5 火地塘林区华山松林地地位级表（I~IV）

年龄	I	II	III	IV
20				
30				
40				
50				
60				
70				

表 6 火地塘林区锐齿栎林地位级表（I~IV）

年龄	I	II	III	IV
20				
30				
40				
50				
60				
70				

（制表人：_____）

5. 森林资源是一个动态的系统，要进行森林资源资产的评估，不仅要了解所评估森林资源的现状，还要掌握森林资源系统的发展和变化规律，进而预测森林资源系统的未来状况。根据已经建立林分年龄与平均胸径、树高的生长模型，在此基础上，其他林分因子可以间接计算得到，最终编制了三个树种正常林分收获表如下（10 分）：

表 7 油松正常林分收获表

年龄 (yr)	树高 (m)	胸径 (cm)	林分断面积 (m ² /ha)	林分密度 (株/ha)	林分蓄积量 (m ³ /ha)
20					
25					
30					
35					
40					
45					
50					
55					
60					
65					
70					

表 8 华山松正常林分收获表

年龄 (yr)	树高 (m)	胸径 (cm)	林分断面积 (m ² /ha)	林分密度 (株/ha)	林分蓄积量 (m ³ /ha)
20					
25					
30					
35					
40					
45					
50					
55					
60					
65					
70					

表 9 锐齿栎正常林分收获表

年龄 (yr)	树高 (m)	胸径 (cm)	林分断面积 (m ² /ha)	林分密度 (株/ha)	林分蓄积量 (m ³ /ha)
20					
25					
30					
35					
40					
45					
50					
55					
60					
65					
70					

(制表人: _____)

6. 基于各树种收获表，可以预测在不同年龄进行主伐时所能收获的蓄积产量，结合胸径生长与出材率等信息，可以计算得到最优的主伐年龄，即收获现值最高的主伐方案。（10分）

出材率：

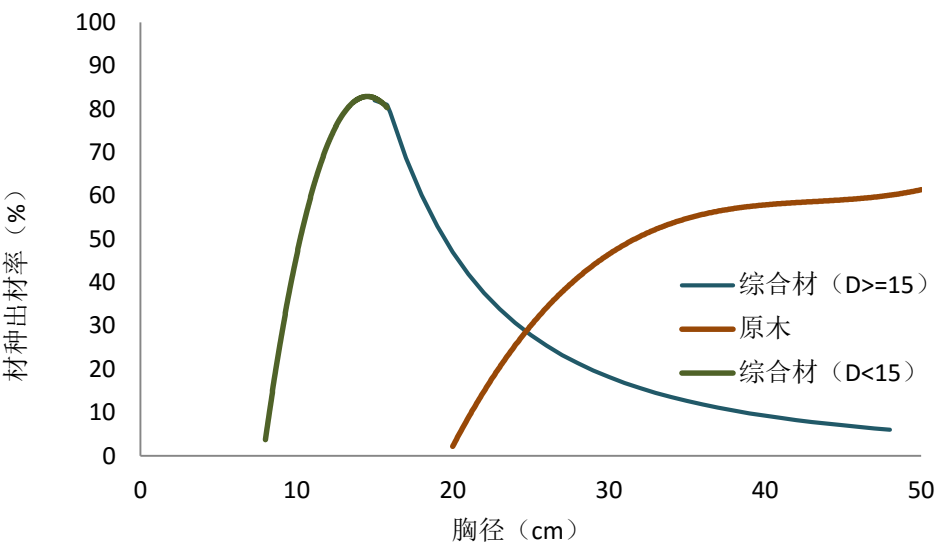


图 7 各材种出材率

注：V（原木） = 0.0042*D³ - 0.5405*D² + 23.521*D - 285.41

V（综合材，D<15cm） = 0.035*D³ - 3.156*D² + 69.525*D - 368.39

V（综合材，D>=15cm） = 48699*D^{-2.322}

表 10 最优主伐年龄

树种	折现率	当前年龄 (年)	最优主伐年龄 (年)	每公顷林木资源评估值 (元)
油松	3%	35		
油松	6%	35		
油松	10%	35		
华山松	3%	40		
华山松	6%	40		
华山松	10%	40		
锐齿栎	3%	20		
锐齿栎	6%	20		
锐齿栎	10%	20		

（制表人：_____）

7. 预测主伐时三种林分生长的可视化图像如下（10 分）：

图 8 油松主伐年龄时林分状况

图 9 华山松主伐年龄时林分状况

图 10 锐齿栎主伐年龄时林分状况

（制图人：_____）

本次资产评估采用不同贴现率（6%、3%和 10%）进行计算，分别得到三种折现率下的同龄林与异龄林林木资产评估结果。

8. 同龄林处于中龄林阶段，采用获现值法评价该林分林木价值。同龄林森林资源资产评估计算过程如下（10 分）：

表 11 同龄林资产评估

林分 类型	折现 率	主伐 年龄 (年)	主伐时 蓄积量 (m ³ /ha)	原木 纯收入 (元 /m ³)	综合材 纯收入 (元 /m ³)	管护成本合 计 (元/ha)	资产评估 值 (元)
油 1	0.03						
油 1	0.06						
油 1	0.10						
华 1	0.03						
华 1	0.06						
华 1	0.10						
锐 1	0.03						
锐 1	0.06						
锐 1	0.10						

（核算人：_____）

9. 异龄林资产评估以林分均值计算：天然异龄林择伐周期为 10 年，择伐木材平均收获量为 25 m³/ha，油松出材率原木 25 %，综合材 30%，华山松出材率原木 25 %，综合材 30%，锐齿栎出材率原木 15%，综合材 20%。据调查，林区内异龄林 2013 年已完成择伐。异龄林森林资源资产评估计算过程如下（10 分）：

表 12 异龄林资产评估

林分类型	折现率	择伐纯收入 (元/ha)	资产评估值 (元)
油 2	0.03		
油 2	0.06		
油 2	0.10		
华 2	0.03		
华 2	0.06		
华 2	0.10		
锐 2	0.03		
锐 2	0.06		
锐 2	0.10		

(核算人: _____)

10. 若林场计划在 5 年后对同龄林进行间伐作业, 15 年后进行主伐作业。从经济收益 (折现率 3%) 和碳固存 (间伐后至主伐 10 年间) 两个目标同等重要的角度, 计算最适的间伐强度 (按抚育规程要求, 间伐强度不超过 30%)。

表 13 间伐强度设计

林分类型	间伐强度	碳固存量	木材收益近现值
油 1			
华 1			
锐 1			

(核算人: _____)

附录 森林调查测算常用表

测树学主要测计量及其单位符号

测计量	惯用符号	米 制		英 制	
		计量单位	符号	计量单位	符号
树干直径	D、d	厘米	cm	英寸	in
林分平均直径	Dg	厘米	cm	英寸	in
林分算术平均直径	$\bar{D}$	厘米	cm	英寸	in
树干断面积	g	平方米	m ²	平方英尺	ft ²
林分总断面积	G	平方米	m ²	平方英尺	ft ²
林分平均断面积	$\bar{g}$	平方米	m ²	平方英尺	ft ²
林分每公顷林木断面积	G/ha	平方米	m ² /ha	平方英尺每英亩	ft ² /acre
树干全部或局部长度	L 或 l	米	m	英尺	ft
树木全高或某部位高度	H 或 h	米	m	英尺	ft
林分平均高	H _D	米	m	英尺	ft
林分算术平均高	$\bar{H}$	米	m	英尺	ft
林分优势木平均高	H _T	米	m	英尺	ft
树干全部或局部材积	V 或 v	立方米	m ³	立方英尺、板英尺	ft ³ 、board feet
林分或森林蓄积	M	立方米	m ³	立方英尺、板英尺	ft ³ 、board feet
林分每公顷林木蓄积量	M/ha	立方米	m ³ /ha	立方英尺、板英尺 (每英亩)	ft ³ 、board feet (/acre)
材积(连年)生长量	Zv	立方米	m ³	立方英尺、板英尺	ft ³ 、board feet
林木年龄	a	年	a	年	yr
林分年龄	A	年	a	年	yr

秦岭林区油松立地指数表

The site index table of *Pinus tabulaeformis*

基准年龄: 30 年

年龄	立地指数和树高值 Site index and tree height/m				
Age /a	8 m	10 m	12 m	14 m	16 m
10	1.4~2.7	2.8~4.0	4.1~5.4	5.5~6.7	6.8~8.1
15	2.9~4.3	4.4~5.9	6.0~7.4	7.5~8.9	9.0~10.4
20	4.4~6.0	6.1~7.7	7.8~9.4	9.5~11.1	11.2~12.7
25	5.8~7.5	7.6~9.4	9.5~11.3	11.4~13.1	13.2~15.0
30	7.0~8.9	9.0~10.9	11.0~13.0	13.1~15.0	15.1~17.0
35	8.1~10.1	10.2~12.3	12.4~14.4	14.5~16.5	16.6~18.6
40	9.0~11.1	11.2~13.3	13.4~15.6	15.7~17.8	17.9~20.0
45	9.7~11.9	12.0~14.2	14.3~16.5	16.6~18.7	18.8~21.0
50	10.3~12.5	12.6~14.8	14.9~17.1	17.2~19.4	19.5~21.7
55	10.7~13.0	13.1~15.3	15.4~17.6	17.7~19.9	20.0~22.2
60	11.1~13.3	13.4~15.6	15.7~17.9	18.0~20.2	20.3~22.5
65	11.3~13.5	13.6~15.8	15.9~18.1	18.2~20.4	20.5~22.7
70	11.5~13.7	13.8~16.0	16.1~18.2	18.3~20.5	20.6~22.8

(吴恒等, 2015)

秦岭林区华山松立地指数表

The site index table of *Pinus armandii*

基准年龄：30 年

年龄	立地指数及树高值 Site index and tree height				
Age /a	8 m	10 m	12 m	14 m	16 m
6	0~0.1	0.1~0.9	1~1.8	1.9~2.7	2.8~3.6
10	1.0~2.1	2.2~3.4	3.5~4.6	4.7~5.9	6.0~7.1
14	2.8~4.2	4.3~5.6	5.7~7.1	7.2~8.6	8.7~10.1
18	4.2~5.8	5.9~7.4	7.5~9.1	9.2~10.7	10.8~12.4
22	5.4~7.1	7.2~8.9	9.0~10.6	10.7~12.4	12.5~14.2
26	6.3~8.1	8.2~10.0	10.1~11.9	12.0~13.8	13.9~15.7
30	7.0~8.9	9.0~10.9	11.0~12.9	13.0~14.9	15.0~16.9
34	7.6~9.6	9.7~11.7	11.8~13.7	13.8~15.8	15.9~17.9
38	8.1~10.1	10.2~12.3	12.4~14.4	14.5~16.6	16.7~18.8
42	8.5~10.6	10.7~12.8	12.9~15.0	15.1~17.3	17.4~19.5
46	8.8~11.0	11.1~13.3	13.4~15.6	15.7~17.9	18.0~20.2
50	9.1~11.3	11.4~13.7	13.8~16.0	16.1~18.4	18.5~20.7
54	9.3~11.6	11.7~14.0	14.1~16.4	16.5~18.8	18.9~21.2
58	9.5~11.9	12.0~14.3	14.4~16.8	16.9~19.2	19.3~21.7
62	9.7~12.1	12.2~14.6	14.7~17.1	17.2~19.6	19.7~22.1
66	9.8~12.3	12.4~14.8	14.9~17.4	17.5~19.9	20.0~22.4
70	10.0~12.5	12.6~15.0	15.1~17.6	17.7~20.2	20.3~22.8

(生态仿真优化实验室编)

秦岭林区锐齿栎立地指数表

The site index table of *Quercus aliena* var. *acuteserrata*

基准年龄：40 年

年龄	立地指数及树高值 Site index and tree height				
Age /a	9 m	11 m	13 m	15 m	17 m
6	0.1~1.3	1.4~2.6	2.7~3.8	3.9~5.1	5.2~6.3
10	1.8~3.2	3.3~4.6	4.7~6.1	6.2~7.5	7.6~9.0
14	3.3~4.8	4.9~6.4	6.5~8.0	8.1~9.6	9.7~11.1
18	4.6~6.2	6.3~7.8	7.9~9.5	9.6~11.2	11.3~12.9
22	5.6~7.2	7.3~9.0	9.1~10.8	10.9~12.5	12.6~14.3
26	6.4~8.1	8.2~9.9	10.0~11.8	11.9~13.6	13.7~15.4
30	7.0~8.8	8.9~10.7	10.8~12.6	12.7~14.5	14.6~16.3
34	7.5~9.3	9.4~11.3	11.4~13.2	13.3~15.1	15.2~17.1
38	7.9~9.7	9.8~11.7	11.8~13.7	13.8~15.7	15.8~17.7
42	8.1~10.0	10.1~12.1	12.2~14.1	14.2~16.1	16.2~18.1
46	8.3~10.3	10.4~12.3	12.4~14.4	14.5~16.4	16.5~18.5
50	8.5~10.5	10.6~12.5	12.6~14.6	14.7~16.7	16.8~18.8
54	8.6~10.6	10.7~12.7	12.8~14.8	14.9~16.9	17.0~19.1
58	8.6~10.7	10.8~12.8	12.9~15.0	15.1~17.1	17.2~19.3
62	8.7~10.8	10.9~12.9	13.0~15.1	15.2~17.3	17.4~19.4
66	8.7~10.8	10.9~13.0	13.1~15.2	15.3~17.4	17.5~19.6
70	8.7~10.8	10.9~13.1	13.2~15.3	15.4~17.5	17.6~19.7

(生态仿真优化实验室编)

秦岭林区落叶松立地指数表

The site index table of *Larix principis-rupprechtii*

基准年龄: 20 年

年龄	立地指数和树高值 Site index and tree height/m				
Age/a	8 m	9 m	10 m	11 m	12 m
5	0.3~1.3	1.4~2.4	2.5~3.4	3.5~4.5	4.6~5.6
10	2.1~3.1	3.22~4.1	4.2~5.2	5.3~6.2	6.3~7.2
15	4.5~5.5	5.6~6.5	6.6~7.5	7.6~8.5	8.6~9.5
20	7.5~8.4	8.5~9.4	9.5~10.4	10.5~11.4	11.5~12.4
25	10.9~11.8	11.9~12.8	12.9~13.7	13.8~14.7	14.8~15.7
30	14.3~15.1	15.2~16.1	16.2~17.1	17.2~18.1	18.2~19.0
35	17.3~18.1	18.2~19.1	19.2~20.1	20.2~21.0	21.1~22.0
40	19.7~20.6	20.7~21.5	21.6~22.5	22.6~23.4	23.5~24.4
45	21.5~22.4	22.5~23.3	23.4~24.3	24.4~25.2	25.3~26.1
50	22.8~23.6	23.7~24.6	24.7~25.5	25.6~26.4	26.5~27.4

(吴恒等, 2015)

秦岭林区油松立地形表

The site form table of *Pinus tabulaeformis*

基准胸径：20cm

胸径	立地形及树高值 Site form and tree height				
DBH /cm	11 m	13 m	15 m	17 m	19 m
6	2.9~4.8	4.9~6.8	6.9~8.7	8.8~10.7	10.8~12.6
10	6.3~8.2	8.3~10.2	10.3~12.2	12.3~14.1	14.2~16.1
14	8.3~10.2	10.3~12.2	12.3~14.2	14.3~16.1	16.2~18.1
18	9.5~11.4	11.5~13.4	13.5~15.4	15.5~17.4	17.5~19.4
22	10.4~12.3	12.4~14.3	14.4~16.3	16.4~18.3	18.4~20.3
26	11.0~12.9	13.0~14.9	15.0~16.9	17.0~19.0	19.1~21.0
30	11.5~13.4	13.5~15.4	15.5~17.4	17.5~19.5	19.6~21.5
34	11.9~13.8	13.9~15.8	15.9~17.8	17.9~19.8	19.9~21.9
38	12.2~14.1	14.2~16.1	16.2~18.1	18.2~20.2	20.3~22.2
42	12.4~14.3	14.4~16.4	16.5~18.4	18.5~20.4	20.5~22.4
46	12.6~14.5	14.6~16.6	16.7~18.6	18.7~20.6	20.7~22.7
50	12.8~14.7	14.8~16.8	16.9~18.8	18.9~20.8	20.9~22.9

(生态仿真优化实验室编)

秦岭林区华山松立地形表

The site form table of *Pinus armandii*

基准胸径: 20cm

胸径	立地形和树高值 Site form and tree height/m				
DBH /cm	8 m	10 m	12 m	14 m	16 m
5	0.8~2.5	2.6~4.4	4.5~6.2	6.3~8.0	8.1~9.8
8	2.6~4.4	4.5~6.2	6.3~8.1	8.2~10.0	10.1~11.9
11	4.0~5.8	5.9~7.7	7.8~9.6	9.7~11.5	11.6~13.5
14	5.1~7.0	7.1~8.9	9.0~10.9	11.0~12.8	12.9~14.8
17	6.1~8.0	8.1~10.0	10.1~11.9	12.0~13.9	14.0~15.9
20	7.0~8.9	9.0~10.9	11.0~12.9	13.0~14.9	15.0~16.9
23	7.7~9.6	9.7~11.6	11.7~13.7	13.8~15.7	15.8~17.7
26	8.4~10.3	10.4~12.4	12.5~14.4	14.5~16.4	16.5~18.5
29	9.0~11.0	11.1~13.0	13.1~15.1	15.2~17.1	17.2~19.2
32	9.6~11.5	11.6~13.6	13.7~15.7	15.8~17.7	17.8~19.8
35	10.1~12.1	12.2~14.1	14.2~16.2	16.3~18.3	18.4~20.4
38	10.6~12.6	12.7~14.6	14.7~16.7	16.8~18.8	18.9~20.9
41	11.0~13.0	13.1~15.1	15.2~17.2	17.3~19.3	19.4~21.4

(吴恒等, 2015)

秦岭林区锐齿栎立地形表

The site form table of *Quercus aliena* var. *acuteserrata*

基准胸径: 12cm

胸径	立地形和树高值 Site form and tree height/m				
DBH /cm	6 m	8 m	10 m	12 m	14 m
6	0.8~3.4	3.5~6.1	6.2~8.7	8.8~11.4	11.5~11.4
9	3.3~5.5	5.6~7.7	7.8~10.0	10.1~12.2	12.3~12.2
12	5.0~6.9	7.0~8.9	9.0~10.9	11.0~12.9	13.0~12.9
15	6.3~8.0	8.1~9.9	10.0~11.7	11.8~13.6	13.7~13.6
18	7.2~8.9	9.0~10.6	10.7~12.4	12.5~14.1	14.2~14.1
21	8.0~9.6	9.7~11.3	11.4~12.9	13.0~14.6	14.7~14.6
24	8.7~10.2	10.3~11.8	11.9~13.4	13.5~15.0	15.1~15.0
27	9.3~10.7	10.8~12.3	12.4~13.8	13.9~15.4	15.5~15.4
30	9.8~11.2	11.3~12.7	12.8~14.2	14.3~15.7	15.8~15.7
33	10.2~11.6	11.7~13.1	13.2~14.6	14.7~16.0	16.1~16.0
36	10.6~12.0	12.1~13.4	13.5~14.9	15.0~16.3	16.4~16.3
39	10.9~12.3	12.4~13.7	13.8~15.1	15.2~16.6	16.7~16.6
42	11.3~12.6	12.7~14.0	14.1~15.4	15.5~16.8	16.9~16.8
45	11.5~12.8	12.9~14.2	14.3~15.6	15.7~17.0	17.1~17.0
48	11.8~13.1	13.2~14.4	14.5~15.8	15.9~17.2	17.3~17.2
51	12.0~13.3	13.4~14.6	14.7~16.0	16.1~17.4	17.5~17.4
54	12.2~13.5	13.6~14.8	14.9~16.2	16.3~17.5	17.6~17.5
57	12.4~13.7	13.8~15.0	15.1~16.3	16.4~17.7	17.8~17.7

(吴恒等, 2015)

苏联实生林地位级表

年龄	实 生 林 高 度 (M)							年龄
	I a	I	II	III	IV	V	Va	
10	5 - 4	4 - 3	3 - 2	2 - 1				10
20	12 - 10	9 - 8	7 - 6	6 - 5	4 - 3	2	1	20
30	16 - 14	13 - 12	11 - 10	9 - 8	7 - 6	5 - 4	3 - 2	30
40	20 - 18	17 - 15	14 - 13	12 - 11	9 - 8	7 - 5	4 - 3	40
50	24 - 21	20 - 18	17 - 15	14 - 12	11 - 9	8 - 6	5 - 4	50
60	28 - 24	23 - 20	19 - 17	16 - 14	13 - 11	10 - 8	7 - 5	60
70	30 - 26	25 - 22	21 - 19	18 - 16	15 - 12	11 - 9	8 - 6	70
80	32 - 28	27 - 24	23 - 21	20 - 17	16 - 14	13 - 11	10 - 7	80
90	34 - 30	29 - 26	25 - 23	22 - 19	18 - 15	14 - 12	11 - 8	90
100	35 - 31	30 - 27	26 - 24	23 - 20	19 - 16	15 - 13	12 - 9	100
110	36 - 32	31 - 29	28 - 25	24 - 21	20 - 17	16 - 13	12 - 10	110
120	38 - 34	33 - 30	29 - 26	25 - 22	21 - 18	17 - 14	13 - 10	120
130	38 - 34	33 - 30	29 - 26	25 - 22	21 - 18	17 - 14	13 - 10	130
140	39 - 35	34 - 31	30 - 27	26 - 23	22 - 18	17 - 14	13 - 10	140
150	39 - 35	34 - 31	30 - 27	26 - 23	22 - 19	18 - 14	13 - 10	150
160	40 - 36	35 - 31	30 - 27	26 - 23	22 - 19	18 - 14	13 - 10	160

注：① 陕西省在森林调查中针叶树一般用实生林地位级表；阔叶树一般用萌生林地位级表。

② 地位级是依林分中优势森林树种的年龄和树高确定。

③ 例：80 年油松的树高是 12 米时属 V 地位级。

苏联萌生林地位级表

年龄	实 生 林 高 度 (M)							年龄
	I a	I	II	III	IV	V	Va	
5	5	4	3	2	1.5	1		5
10	7	6	5	4	3	2	1	10
15	11	10 - 9	8 - 7	6	5	4 - 3	2 - 1.5	15
20	14	13 - 12	11 - 10	9 - 8	7 - 6	5 - 4	3 - 2	20
25	16	15 - 13	12 - 11	10 - 9	8 - 7	6 - 5	4 - 3	25
30	18	17 - 16	15 - 13	12 - 11	10 - 8	7 - 6	5 - 4	30
35	20	19 - 17	16 - 14	13 - 12	11 - 10	9 - 7	6 - 5	35
40	21	20 - 19	18 - 16	15 - 13	12 - 11	10 - 8	7 - 5	40
45	23	22 - 20	19 - 17	16 - 14	13 - 11.5	11 - 8.5	8 - 5.5	45
50	25	24 - 21	20 - 18	17 - 15	14 - 12	11 - 8.5	8 - 6	50
55	26	25 - 23	22 - 19	18 - 16	15 - 13	12 - 9	8 - 6	55
60	27	26 - 24	23 - 20	19 - 16.5	16 - 13.5	13 - 9.5	9 - 6.5	60
65	28	27 - 24.5	24 - 21	20 - 17	16 - 13.5	13 - 10	9 - 7	65
70	28.5	28 - 25	24 - 21.5	21 - 18	17 - 14	13 - 10.5	10 - 7.5	70
75	29	28 - 25.5	25 - 22	21 - 18.5	18 - 14.5	14 - 11	10 - 8	75
80	30	29 - 26	25 - 23	22 - 19	18 - 15	14 - 12	11 - 8.5	80
85	31	30 - 27	26 - 23.5	23 - 20	19 - 15.5	15 - 13	12 - 8.5	85
90	31	30 - 27	26 - 23.5	23 - 20	19 - 15.5	15 - 13	12 - 8.5	90
100	31	30 - 28	27 - 24	23 - 21	20 - 16	15 - 13	12 - 8.5	100
110	32	31 - 28.5	28 - 25	24 - 21	20 - 17	16 - 13.5	13 - 9	110
120	33	32 - 29	28 - 26	25 - 22	21 - 18	17 - 13.5	13 - 9	120

秦岭林区松栎林现实林分收获表

下列秦岭林区油松、华山松、锐齿栎现实林分收获表均由生态仿真优化实验室编制。

秦岭林区油松现实林分收获表（I 地位级）

The yield table of *Pinus tabulaeformis*

地位级指数：13m；初始林分密度：1500

年龄 (yr)	平均 树高 (m)	平均 胸径 (cm)	林分断 面积 (m ³ /ha)	林分密 度(株 /ha)	平均单株 材积(m ³ / 株)	林分蓄 积量 (m ³ /ha)	平均生 长量 (m ³ /ha)	连年生 长量 (m ³ /ha)	蓄积生 长率 (%)
20	10.1	12.1	17.21	1500	0.0647	97.0	4.9		
25	11.7	15.0	19.47	1109	0.1106	122.7	4.9	5.1	4.7
30	13.0	17.2	21.14	907	0.1604	145.5	4.8	4.6	3.4
35	14.2	19.1	22.43	785	0.2112	165.8	4.7	4.1	2.6
40	15.3	20.6	23.44	705	0.2612	184.2	4.6	3.7	2.1
45	16.2	21.8	24.26	648	0.3096	200.7	4.5	3.3	1.7
50	17.1	22.9	24.93	606	0.3560	215.8	4.3	3.0	1.4
55	17.9	23.8	25.50	574	0.4001	229.5	4.2	2.8	1.2
60	18.7	24.6	25.98	548	0.4418	242.2	4.0	2.5	1.1
65	19.4	25.2	26.40	527	0.4814	253.8	3.9	2.3	0.9
70	20.0	25.8	26.76	510	0.5187	264.6	3.8	2.2	0.8
75	20.6	26.4	27.07	496	0.5540	274.6	3.7	2.0	0.7
80	21.1	26.8	27.35	483	0.5874	283.9	3.5	1.9	0.7

秦岭林区油松现实林分收获表（Ⅰ地位级）

The yield table of *Pinus tabulaeformis*

地位级指数：13m；初始林分密度：1000 株/ha

年龄 (yr)	平均 树高 (m)	平均 胸径 (cm)	林分断 面积 (m ³ /ha)	林分密 度(株 /ha)	平均单株 材积(m ³ / 株)	林分蓄 积量 (m ³ /ha)	平均生 长量 (m ³ /ha)	连年生 长量 (m ³ /ha)	蓄积生 长率 (%)
20	10.1	13.2	13.78	1000	0.0777	77.7	3.9		
25	11.7	16.1	16.30	802	0.1281	102.7	4.1	5.0	5.5
30	13.0	18.3	18.23	692	0.1813	125.5	4.2	4.5	4.0
35	14.2	20.1	19.75	623	0.2346	146.1	4.2	4.1	3.0
40	15.3	21.5	20.97	575	0.2864	164.8	4.1	3.7	2.4
45	16.2	22.7	21.98	541	0.3360	181.9	4.0	3.4	2.0
50	17.1	23.7	22.81	515	0.3831	197.4	3.9	3.1	1.6
55	17.9	24.6	23.52	495	0.4277	211.7	3.8	2.9	1.4
60	18.7	25.3	24.13	479	0.4698	224.9	3.7	2.6	1.2
65	19.4	26.0	24.65	465	0.5094	237.0	3.6	2.4	1.1
70	20.0	26.5	25.11	454	0.5467	248.3	3.5	2.3	0.9
75	20.6	27.0	25.52	445	0.5819	258.8	3.5	2.1	0.8
80	21.1	27.5	25.88	437	0.6150	268.5	3.4	2.0	0.7

秦岭林区油松现实林分收获表（Ⅱ地位级）

The yield table of *Pinus tabulaeformis*

地位级指数：11m；初始林分密度：1500 株/ha

年龄 (yr)	平均 树高 (m)	平均 胸径 (cm)	林分断 面积 (m ³ /ha)	林分密 度(株 /ha)	平均单株 材积(m ³ / 株)	林分蓄 积量 (m ³ /ha)	平均生 长量 (m ³ /ha)	连年生 长量 (m ³ /ha)	蓄积生 长率 (%)
20	8.6	11.8	16.41	1500	0.0544	81.6	4.1		
25	9.9	14.6	18.67	1121	0.0921	103.3	4.1	4.3	4.7
30	11.0	16.8	20.35	923	0.1327	122.5	4.1	3.9	3.4
35	12.0	18.5	21.64	803	0.1739	139.7	4.0	3.4	2.6
40	12.9	20.0	22.66	724	0.2143	155.2	3.9	3.1	2.1
45	13.7	21.2	23.49	668	0.2532	169.1	3.8	2.8	1.7
50	14.5	22.2	24.17	626	0.2904	181.8	3.6	2.5	1.4
55	15.2	23.0	24.74	594	0.3258	193.4	3.5	2.3	1.2
60	15.8	23.8	25.23	568	0.3592	204.0	3.4	2.1	1.1
65	16.4	24.4	25.65	547	0.3907	213.8	3.3	2.0	0.9
70	16.9	25.0	26.02	530	0.4205	222.9	3.2	1.8	0.8
75	17.4	25.5	26.34	515	0.4487	231.3	3.1	1.7	0.7
80	17.9	26.0	26.63	503	0.4753	239.1	3.0	1.6	0.7

秦岭林区油松现实林分收获表（Ⅱ地位级）

The yield table of *Pinus tabulaeformis*

地位级指数：11m；初始林分密度：1000 株/ha

年龄 (yr)	平均 树高 (m)	平均 胸径 (cm)	林分断 面积 (m ³ /ha)	林分密 度(株 /ha)	平均单株 材积(m ³ / 株)	林分蓄 积量 (m ³ /ha)	平均生 长量 (m ³ /ha)	连年生 长量 (m ³ /ha)	蓄积生 长率 (%)
20	8.6	12.9	13.08	1000	0.0650	65.0	3.3		
25	9.9	15.6	15.57	810	0.1062	86.1	3.4	4.2	5.6
30	11.0	17.8	17.49	704	0.1495	105.3	3.5	3.8	4.0
35	12.0	19.5	19.01	637	0.1925	122.7	3.5	3.5	3.1
40	12.9	20.9	20.23	591	0.2343	138.5	3.5	3.2	2.4
45	13.7	22.0	21.23	558	0.2741	152.9	3.4	2.9	2.0
50	14.5	23.0	22.07	532	0.3119	166.0	3.3	2.6	1.6
55	15.2	23.8	22.78	512	0.3476	178.1	3.2	2.4	1.4
60	15.8	24.5	23.39	496	0.3812	189.1	3.2	2.2	1.2
65	16.4	25.1	23.92	483	0.4128	199.4	3.1	2.0	1.1
70	16.9	25.6	24.39	472	0.4425	208.9	3.0	1.9	0.9
75	17.4	26.1	24.79	463	0.4705	217.7	2.9	1.8	0.8
80	17.9	26.5	25.16	455	0.4969	225.9	2.8	1.6	0.7

秦岭林区油松现实林分收获表（Ⅲ地位级）

The yield table of *Pinus tabulaeformis*

地位级指数：9m；初始林分密度：1500 株/ha

年龄 (yr)	平均 树高 (m)	平均 胸径 (cm)	林分断 面积 (m ³ /ha)	林分密 度(株 /ha)	平均单株 材积(m ³ / 株)	林分蓄 积量 (m ³ /ha)	平均生 长量 (m ³ /ha)	连年生 长量 (m ³ /ha)	蓄积生 长率 (%)
20	7.0	115.5	15.49	1500	0.0444	66.6	3.3		
25	8.1	14.1	17.74	1136	0.0744	84.4	3.4	3.6	4.7
30	9.0	16.2	19.43	943	0.1063	100.2	3.3	3.2	3.4
35	9.8	17.9	20.72	826	0.1384	114.3	3.3	2.8	2.6
40	10.6	19.2	21.75	748	0.1698	126.9	3.2	2.5	2.1
45	11.2	20.4	22.59	692	0.1999	138.4	3.1	2.3	1.7
50	11.9	21.3	23.28	651	0.2286	148.7	3.0	2.1	1.4
55	12.4	22.2	23.86	618	0.2557	158.2	2.9	1.9	1.2
60	12.9	22.9	24.35	593	0.2813	166.8	2.8	1.7	1.1
65	13.4	23.5	24.78	572	0.3055	174.8	2.7	1.6	0.9
70	13.8	24.0	25.15	555	0.3283	182.2	2.6	1.5	0.8
75	14.3	24.5	25.48	540	0.3498	189.0	2.5	1.4	0.7
80	14.6	24.9	25.77	528	0.3701	195.4	2.4	1.3	0.7

秦岭林区油松现实林分收获表（Ⅲ地位级）

The yield table of *Pinus tabulaeformis*

地位级指数：9m；初始林分密度：1000 株/ha

年龄 (yr)	平均 树高 (m)	平均 胸径 (cm)	林分断 面积 (m ³ /ha)	林分密 度(株 /ha)	平均单株 材积(m ³ / 株)	林分蓄 积量 (m ³ /ha)	平均生 长量 (m ³ /ha)	连年生 长量 (m ³ /ha)	蓄积生 长率 (%)
20	7.0	12.5	12.27	1000	0.0528	52.8	2.6		
25	8.1	15.1	14.72	821	0.0854	70.1	2.8	3.5	5.6
30	9.0	17.2	16.63	720	0.1192	85.8	2.9	3.1	4.0
35	9.8	18.8	18.14	655	0.1527	100.0	2.9	2.9	3.1
40	10.6	20.1	19.36	611	0.1850	113.0	2.8	2.6	2.4
45	11.2	21.2	20.36	578	0.2158	124.7	2.8	2.4	2.0
50	11.9	22.1	21.20	553	0.2449	135.5	2.7	2.1	1.6
55	12.4	22.9	21.92	534	0.2723	145.3	2.6	2.0	1.4
60	12.9	23.5	22.53	518	0.2980	154.3	2.6	1.8	1.2
65	13.4	24.1	23.07	505	0.3222	162.7	2.5	1.7	1.1
70	13.8	24.6	23.53	494	0.3449	170.4	2.4	1.5	0.9
75	14.3	25.1	23.94	485	0.3662	177.6	2.4	1.4	0.8
80	14.6	25.5	24.31	477	0.3864	184.3	2.3	1.3	0.7

秦岭林区华山松现实林分收获表（I 地位级）

The yield table of *Pinus armandii*

地位级指数：13m；初始林分密度：1500

年龄 (yr)	平均 树高 (m)	平均 胸径 (cm)	林分断 面积 (m ³ /ha)	林分密 度(株 /ha)	平均单株 材积(m ³ / 株)	林分蓄 积量 (m ³ /ha)	平均生 长量 (m ³ /ha)	连年生 长量 (m ³ /ha)	蓄积生 长率 (%)
20	10.1	11.5	15.57	1500	0.0583	87.5	4.4		
25	11.6	14.5	17.67	1075	0.1035	111.3	4.5	4.8	4.8
30	13.0	16.9	19.23	862	0.1535	132.3	4.4	4.2	3.4
35	14.2	18.8	20.42	735	0.2050	150.8	4.3	3.7	2.6
40	15.2	20.4	21.37	653	0.2559	167.1	4.2	3.3	2.1
45	16.1	21.8	22.13	595	0.3050	181.6	4.0	2.9	1.7
50	16.9	22.9	22.76	553	0.3518	194.6	3.9	2.6	1.4
55	17.6	23.9	23.29	521	0.3961	206.2	3.7	2.3	1.2
60	18.2	24.7	23.74	495	0.4377	216.7	3.6	2.1	1.0
65	18.8	25.5	24.13	474	0.4768	226.2	3.5	1.9	0.9
70	19.3	26.1	24.47	457	0.5134	234.8	3.4	1.7	0.7
75	19.8	26.7	24.77	443	0.5477	242.7	3.2	1.6	0.7
80	20.2	27.2	25.03	431	0.5799	249.9	3.1	1.4	0.6

秦岭林区华山松现实林分收获表（I 地位级）

The yield table of *Pinus armandii*

地位级指数：13m；初始林分密度：1000 株/ha

年龄 (yr)	平均 树高 (m)	平均 胸径 (cm)	林分断 面积 (m ³ /ha)	林分密 度(株 /ha)	平均单株 材积(m ³ / 株)	林分蓄 积量 (m ³ /ha)	平均生 长量 (m ³ /ha)	连年生 长量 (m ³ /ha)	蓄积生 长率 (%)
20	10.1	12.1	11.55	1000	0.0649	64.9	3.2		
25	11.6	15.1	13.92	778	0.1127	87.6	3.5	4.6	6.0
30	13.0	17.5	15.76	658	0.1649	108.4	3.6	4.2	4.2
35	14.2	19.4	17.22	583	0.2179	127.1	3.6	3.7	3.2
40	15.2	21.0	18.40	533	0.2699	143.9	3.6	3.4	2.5
45	16.1	22.3	19.38	497	0.3198	159.1	3.5	3.0	2.0
50	16.9	23.4	20.20	470	0.3672	172.7	3.5	2.7	1.6
55	17.6	24.3	20.90	449	0.4118	185.0	3.4	2.5	1.4
60	18.2	25.2	21.50	432	0.4536	196.2	3.3	2.2	1.2
65	18.8	25.9	22.02	419	0.4927	206.3	3.2	2.0	1.0
70	19.3	26.5	22.47	407	0.5293	215.6	3.1	1.9	0.9
75	19.8	27.1	22.87	398	0.5636	224.1	3.0	1.7	0.8
80	20.2	27.6	23.23	389	0.5956	231.9	2.9	1.6	0.7

秦岭林区华山松现实林分收获表（Ⅱ地位级）

The yield table of *Pinus armandii*

地位级指数：11m；初始林分密度：1500 株/ha

年龄 (yr)	平均 树高 (m)	平均 胸径 (cm)	林分断 面积 (m ³ /ha)	林分密 度(株 /ha)	平均单株 材积(m ³ / 株)	林分蓄 积量 (m ³ /ha)	平均生 长量 (m ³ /ha)	连年生 长量 (m ³ /ha)	蓄积生 长率 (%)
20	8.5	11.2	14.75	1500	0.0487	73.1	3.7		
25	9.9	14.1	16.79	1081	0.0859	92.8	3.7	4.0	4.8
30	11.0	16.4	18.31	868	0.1270	110.2	3.7	3.5	3.4
35	12.0	18.3	19.48	743	0.1690	125.5	3.6	3.1	2.6
40	12.9	19.8	20.40	660	0.2105	139.0	3.5	2.7	2.0
45	13.6	21.1	21.15	603	0.2505	151.0	3.4	2.4	1.7
50	14.3	22.2	21.76	560	0.2886	161.7	3.2	2.1	1.4
55	14.9	23.2	22.28	528	0.3245	171.3	3.1	1.9	1.2
60	15.4	24.0	22.73	502	0.3583	180.0	3.0	1.7	1.0
65	15.9	24.7	23.11	482	0.3899	187.8	2.9	1.6	0.9
70	16.3	25.3	23.44	465	0.4196	194.9	2.8	1.4	0.7
75	16.7	25.9	23.73	450	0.4473	201.5	2.7	1.3	0.7
80	17.1	26.4	23.99	438	0.4733	207.4	2.6	1.2	0.6

秦岭林区华山松现实林分收获表（Ⅱ地位级）

The yield table of *Pinus armandii*

地位级指数：11m；初始林分密度：1000 株/ha

年龄 (yr)	平均 树高 (m)	平均 胸径 (cm)	林分断 面积 (m ³ /ha)	林分密 度(株 /ha)	平均单株 材积(m ³ / 株)	林分蓄 积量 (m ³ /ha)	平均生 长量 (m ³ /ha)	连年生 长量 (m ³ /ha)	蓄积生 长率 (%)
20	8.5	11.8	10.92	1000	0.0541	54.1	2.7		
25	9.9	14.7	13.21	781	0.0935	73.0	2.9	3.8	5.9
30	11.0	17.0	14.99	663	0.1362	90.2	3.0	3.4	4.2
35	12.0	18.8	16.40	589	0.1795	105.7	3.0	3.1	3.2
40	12.9	20.4	17.55	539	0.2219	119.6	3.0	2.8	2.5
45	13.6	21.6	18.50	503	0.2625	132.2	2.9	2.5	2.0
50	14.3	22.7	19.30	477	0.3010	143.4	2.9	2.3	1.6
55	14.9	23.6	19.98	456	0.3371	153.6	2.8	2.0	1.4
60	15.4	24.4	20.56	439	0.3710	162.8	2.7	1.8	1.2
65	15.9	25.1	21.07	425	0.4027	171.2	2.6	1.7	1.0
70	16.3	25.7	21.51	414	0.4324	178.9	2.6	1.5	0.9
75	16.7	26.3	21.90	404	0.4600	185.9	2.5	1.4	0.8
80	17.1	26.7	22.25	396	0.4859	192.4	2.4	1.3	0.7

秦岭林区华山松现实林分收获表（Ⅲ地位级）

The yield table of *Pinus armandii*

地位级指数：9m；初始林分密度：1500 株/ha

年龄 (yr)	平均 树高 (m)	平均 胸径 (cm)	林分断 面积 (m ³ /ha)	林分密 度(株 /ha)	平均单株 材积(m ³ / 株)	林分蓄 积量 (m ³ /ha)	平均生 长量 (m ³ /ha)	连年生 长量 (m ³ /ha)	蓄积生 长率 (%)
20	7.0	10.8	13.82	1500	0.0395	59.2	3.0		
25	8.1	13.6	15.79	1086	0.0692	75.1	3.0	3.2	4.7
30	9.0	15.8	17.26	876	0.1017	89.1	3.0	2.8	3.4
35	9.8	17.7	18.39	751	0.1349	101.3	2.9	2.4	2.6
40	10.5	19.2	19.29	669	0.1675	112.1	2.8	2.2	2.0
45	11.1	20.4	20.01	612	0.1989	121.7	2.7	1.9	1.6
50	11.7	21.5	20.62	569	0.2287	130.2	2.6	1.7	1.4
55	12.2	22.4	21.12	537	0.2567	137.8	2.5	1.5	1.1
60	12.6	23.2	21.55	511	0.2831	144.7	2.4	1.4	1.0
65	13.0	23.9	21.92	490	0.3078	151.0	2.3	1.2	0.8
70	13.4	24.5	22.25	473	0.3309	156.6	2.2	1.1	0.7
75	13.7	25.0	22.53	459	0.3525	161.8	2.2	1.0	0.6
80	14.0	25.5	22.78	447	0.3727	166.5	2.1	0.9	0.6

秦岭林区华山松现实林分收获表（Ⅲ地位级）

The yield table of *Pinus armandii*

地位级指数：9m；初始林分密度：1000 株/ha

年龄 (yr)	平均 树高 (m)	平均 胸径 (cm)	林分断 面积 (m ³ /ha)	林分密 度(株 /ha)	平均单株 材积(m ³ / 株)	林分蓄 积量 (m ³ /ha)	平均生 长量 (m ³ /ha)	连年生 长量 (m ³ /ha)	蓄积生 长率 (%)
20	7.0	11.4	10.21	1000	0.0438	43.8	2.2		
25	8.1	14.2	12.39	785	0.0751	59.0	2.4	3.0	5.9
30	9.0	16.4	14.10	668	0.1089	72.8	2.4	2.8	4.2
35	9.8	18.2	15.47	595	0.1431	85.2	2.4	2.5	3.1
40	10.5	19.7	16.58	546	0.1764	96.3	2.4	2.2	2.5
45	11.1	20.9	17.49	511	0.2082	106.3	2.4	2.0	2.0
50	11.7	21.9	18.26	484	0.2383	115.3	2.3	1.8	1.6
55	12.2	22.8	18.92	463	0.2665	123.5	2.2	1.6	1.4
60	12.6	23.6	19.48	447	0.2930	130.8	2.2	1.5	1.2
65	13.0	24.2	19.97	433	0.3177	137.5	2.1	1.3	1.0
70	13.4	24.8	20.40	422	0.3407	143.6	2.1	1.2	0.9
75	13.7	25.3	20.78	412	0.3623	149.2	2.0	1.1	0.8
80	14.0	25.8	21.12	404	0.3824	154.4	1.9	1.0	0.7

秦岭林区锐齿栎现实林分收获表（Ⅱ地位级）

The yield table of *Quercus aliena* var. *acuteserrata*

地位级指数：10.5m；初始林分密度：2000

年龄 (yr)	平均 树高 (m)	平均 胸径 (cm)	林分断 面积 (m ³ /ha)	林分密 度(株 /ha)	平均单株 材积(m ³ / 株)	林分蓄 积量 (m ³ /ha)	平均生 长量 (m ³ /ha)	连年生 长量 (m ³ /ha)	蓄积生 长率 (%)
20	10.5	8.0	10.04	2000	0.0290	58.1	2.9		
25	11.8	11.7	12.14	1120	0.0690	77.2	3.1	3.8	5.7
30	12.9	15.2	13.78	760	0.1235	93.9	3.1	3.3	3.9
35	13.7	18.2	15.08	577	0.1877	108.3	3.1	2.9	2.8
40	14.4	20.9	16.14	469	0.2574	120.7	3.0	2.5	2.2
45	15.0	23.3	17.01	399	0.3294	131.5	2.9	2.2	1.7
50	15.5	25.4	17.74	351	0.4014	140.8	2.8	1.9	1.4
55	15.9	27.2	18.37	316	0.4721	149.0	2.7	1.6	1.1
60	16.2	28.9	18.90	289	0.5405	156.3	2.6	1.4	0.9
65	16.5	30.3	19.37	268	0.6061	162.7	2.5	1.3	0.8
70	16.8	31.6	19.78	252	0.6687	168.4	2.4	1.1	0.7
75	17.0	32.8	20.14	238	0.7282	173.5	2.3	1.0	0.6
80	17.2	33.9	20.46	227	0.7846	178.1	2.2	0.9	0.5

秦岭林区锐齿栎现实林分收获表（Ⅱ地位级）

The yield table of *Quercus aliena* var. *acuteserrata*

地位级指数：10.5m；初始林分密度：1500 株/ha

年龄 (yr)	平均 树高 (m)	平均 胸径 (cm)	林分断 面积 (m ³ /ha)	林分密 度(株 /ha)	平均单株 材积(m ³ / 株)	林分蓄 积量 (m ³ /ha)	平均生 长量 (m ³ /ha)	连年生 长量 (m ³ /ha)	蓄积生 长率 (%)
20	10.5	8.1	7.72	1500	0.0298	44.7	2.2		
25	11.8	11.9	9.84	889	0.0704	62.6	2.5	3.6	6.7
30	12.9	15.3	11.57	628	0.1256	78.9	2.6	3.2	4.6
35	13.7	18.4	12.98	489	0.1905	93.2	2.7	2.9	3.3
40	14.4	21.1	14.16	406	0.2608	105.9	2.6	2.5	2.5
45	15.0	23.4	15.14	351	0.3332	117.0	2.6	2.2	2.0
50	15.5	25.5	15.98	313	0.4056	126.8	2.5	2.0	1.6
55	15.9	27.3	16.70	284	0.4766	135.5	2.5	1.7	1.3
60	16.2	29.0	17.32	263	0.5452	143.2	2.4	1.5	1.1
65	16.5	30.4	17.87	246	0.6110	150.1	2.3	1.4	0.9
70	16.8	31.7	18.35	232	0.6737	156.2	2.2	1.2	0.8
75	17.0	32.9	18.78	221	0.7333	161.8	2.2	1.1	0.7
80	17.2	34.0	19.16	211	0.7897	166.8	2.1	1.0	0.6

秦岭林区锐齿栎现实林分收获表（Ⅲ地位级）

The yield table of *Quercus aliena* var. *acuteserrata*

地位级指数：8.6m；初始林分密度：2000 株/ha

年龄 (yr)	平均 树高 (m)	平均 胸径 (cm)	林分断 面积 (m ³ /ha)	林分密 度(株 /ha)	平均单株 材积(m ³ / 株)	林分蓄 积量 (m ³ /ha)	平均生 长量 (m ³ /ha)	连年生 长量 (m ³ /ha)	蓄积生 长率 (%)
20	8.6	7.8	9.51	2000	0.0236	47.3	2.4		
25	9.7	11.4	11.49	1118	0.0559	62.5	2.5	3.0	5.6
30	10.5	14.8	13.03	759	0.0999	75.8	2.5	2.6	3.8
35	11.2	17.8	14.25	575	0.1515	87.2	2.5	2.3	2.8
40	11.8	20.4	15.25	467	0.2075	97.0	2.4	2.0	2.1
45	12.3	22.7	16.07	398	0.2652	105.4	2.3	1.7	1.7
50	12.7	24.7	16.75	349	0.3229	112.8	2.3	1.5	1.4
55	13.0	26.5	17.34	314	0.3794	119.3	2.2	1.3	1.1
60	13.3	28.1	17.84	288	0.4342	125.0	2.1	1.1	0.9
65	13.5	29.5	18.28	267	0.4866	130.0	2.0	1.0	0.8
70	13.8	30.8	18.66	251	0.5367	134.5	1.9	0.9	0.7
75	14.0	31.9	19.00	237	0.5842	138.5	1.8	0.8	0.6
80	14.1	33.0	19.30	226	0.6293	142.1	1.8	0.7	0.5

秦岭林区锐齿栎现实林分收获表（Ⅲ地位级）

The yield table of *Quercus aliena* var. *acuteserrata*

地位级指数：8.6m；初始林分密度：1500 株/ha

年龄 (yr)	平均 树高 (m)	平均 胸径 (cm)	林分断 面积 (m ³ /ha)	林分密 度(株 /ha)	平均单株 材积(m ³ / 株)	林分蓄 积量 (m ³ /ha)	平均生 长量 (m ³ /ha)	连年生 长量 (m ³ /ha)	蓄积生 长率 (%)
20	8.6	7.9	7.32	1500	0.0243	36.4	1.8		
25	9.7	11.6	9.32	888	0.0571	50.7	2.0	2.9	6.6
30	10.5	14.9	10.94	626	0.1016	63.6	2.1	2.6	4.5
35	11.2	17.9	12.27	488	0.1538	75.1	2.1	2.3	3.3
40	11.8	20.5	13.38	405	0.2102	85.1	2.1	2.0	2.5
45	12.3	22.8	14.30	350	0.2683	93.9	2.1	1.8	2.0
50	12.7	24.8	15.09	311	0.3263	101.6	2.0	1.5	1.6
55	13.0	26.6	15.76	283	0.3831	108.4	2.0	1.4	1.3
60	13.3	28.2	16.35	261	0.4379	114.5	1.9	1.2	1.1
65	13.5	29.6	16.86	245	0.4905	119.9	1.8	1.1	0.9
70	13.8	30.9	17.32	231	0.5407	124.8	1.8	1.0	0.8
75	14.0	32.1	17.72	220	0.5883	129.2	1.7	0.9	0.7
80	14.1	33.1	18.08	210	0.6334	133.1	1.7	0.8	0.6

秦岭林区锐齿栎现实林分收获表（Ⅳ地位级）

The yield table of *Quercus aliena* var. *acuteserrata*

地位级指数：7m；初始林分密度：2000 株/ha

年龄 (yr)	平均 树高 (m)	平均 胸径 (cm)	林分断 面积 (m ³ /ha)	林分密 度(株 /ha)	平均单株 材积(m ³ / 株)	林分蓄 积量 (m ³ /ha)	平均生 长量 (m ³ /ha)	连年生 长量 (m ³ /ha)	蓄积生 长率 (%)
20	7.0	7.6	9.00	2000	0.0193	38.6	1.9		
25	7.9	11.1	10.85	1117	0.0454	50.7	2.0	2.4	5.4
30	8.6	14.4	12.30	757	0.0808	61.2	2.0	2.1	3.7
35	9.1	17.3	13.45	573	0.1224	70.2	2.0	1.8	2.7
40	9.6	19.8	14.38	466	0.1672	77.9	1.9	1.5	2.1
45	10.0	22.1	15.15	396	0.2135	84.5	1.9	1.3	1.6
50	10.3	24.0	15.79	348	0.2596	90.3	1.8	1.2	1.3
55	10.6	25.8	16.34	313	0.3048	95.4	1.7	1.0	1.1
60	10.8	27.3	16.81	286	0.3485	99.9	1.7	0.9	0.9
65	11.0	28.7	17.22	266	0.3904	103.8	1.6	0.8	0.8
70	11.2	30.0	17.57	249	0.4304	107.3	1.5	0.7	0.7
75	11.4	31.1	17.89	236	0.4683	110.5	1.5	0.6	0.6
80	11.5	32.1	18.17	225	0.5042	113.3	1.4	0.6	0.5

秦岭林区锐齿栎现实林分收获表（Ⅳ地位级）

The yield table of *Quercus aliena* var. *acuteserrata*

地位级指数：7m；初始林分密度：1500 株/ha

年龄 (yr)	平均 树高 (m)	平均 胸径 (cm)	林分断 面积 (m ³ /ha)	林分密 度(株 /ha)	平均单株 材积(m ³ / 株)	林分蓄 积量 (m ³ /ha)	平均生 长量 (m ³ /ha)	连年生 长量 (m ³ /ha)	蓄积生 长率 (%)
20	7.0	7.7	6.93	1500	0.0198	29.7	1.5		
25	7.9	11.2	8.81	887	0.0464	41.1	1.6	2.3	6.5
30	8.6	14.5	10.33	625	0.0823	51.4	1.7	2.1	4.4
35	9.1	17.4	11.58	487	0.1242	60.4	1.7	1.8	3.2
40	9.6	20.0	12.62	403	0.1695	68.3	1.7	1.6	2.5
45	10.0	22.2	13.48	349	0.2160	75.3	1.7	1.4	1.9
50	10.3	24.2	14.22	310	0.2624	81.4	1.6	1.2	1.6
55	10.6	25.9	14.86	282	0.3078	86.7	1.6	1.1	1.3
60	10.8	27.5	15.40	260	0.3516	91.5	1.5	1.0	1.1
65	11.0	28.8	15.89	243	0.3936	95.8	1.5	0.9	0.9
70	11.2	30.1	16.31	230	0.4336	99.6	1.4	0.8	0.8
75	11.4	31.2	16.69	218	0.4716	103.0	1.4	0.7	0.7
80	11.5	32.2	17.02	209	0.5075	106.1	1.3	0.6	0.6

陕西省主要树种龄组划分表

树种	起源	龄级 期限	龄组及年龄				
			幼龄林	中龄林	近熟林	成熟林	过熟林
云杉、铁杉、落叶松、冷杉、侧柏、杜松	天然	20	1 - 40	41 - 60	61 - 80	81 - 120	121 以上
	人工	10	1 - 20	21 - 60	61 - 80	81 - 100	101 以上
油松、华山松、白皮松、马尾松	天然	10	1 - 20	21 - 40	41 - 50	51 - 70	71 以上
	人工	10	1 - 20	21 - 40	41 - 50	51 - 60	61 以上
红桦、白桦、光皮桦、栎类等硬阔叶树	天然	10	1 - 20	21 - 40	41 - 50	51 - 60	61 以上
	人工	10	1 - 10	11 - 20	21 - 30	31 - 40	41 以上
杨类、柳树、泡桐及其它软阔叶树	天然	10	1 - 10	11 - 20	21 - 30	31 - 40	41 以上
	人工	5	1 - 10	11 - 15	16 - 20	21 - 25	26 以上
杉木	天然	10	1 - 10	11 - 20	21 - 30	31 - 40	41 以上
	人工	5	1 - 10	11 - 20	21 - 25	26 - 30	31 以上
刺槐	人工	5	1 - 10	11 - 20	21 - 25	26 - 30	31 以上
竹子		2	1 - 2	3 - 4	5 - 6	7 - 8	9 以上

陕西森林优势树种组的划分及其顺序表

序号	优 势 树 种 组
1	冷杉；
2	云杉；
3	柏类（包括杜松）；
4	铁杉；
5	落叶松；
6	油松（包括白皮松、樟子松、黑松）；
7	华山松；
8	马尾松（包括云南松）；
9	杉木（包括水杉）；
10	栎类（包括各种栎类树种）；
11	桦类（包括白桦、红桦、光皮桦等桦树）；
12	杨类（包括山杨、卜氏杨、青杨、小叶杨及其他杨类）；
13	硬阔（包括刺槐、中槐、楸树、千金榆、樟、榆、臭椿等）；
14	软阔（包括柳、泡桐、枫杨、椴树、槭树、五角枫等）；
15	小径竹（包括慈竹、水竹、木竹、苦竹等）；
16	大径竹（包括毛竹、斑竹等）。

（摘自《陕西省森林资源调查补充技术规程》 省林业厅 1983.6.15）

陕西省主要树种平均实验形数表

树种	冷杉 云杉	华山松 铁杉 泡桐	油松	山杨 光皮桦	栎类	红桦 白桦 马尾松 杂木 刺槐	侧柏
平均实 验形数 f_0	0.45	0.43	0.42	0.41	0.40	0.39	0.38

注：

- 一、 栎类包括锐齿栎、槲栎、枹树（栎）、栓皮栎、麻栎等。杂木包括漆树、柳、槭、鹅耳枥、千金榆、榆、五角枫等。
- 二、 平均实验形数用来计算林分蓄积量，也可代替材积表来计算每木检尺的蓄积量，以及单株材积。计算公式：

$$V = (H + 3) \times G \times f_0$$

式中，V 为蓄积量，H 为平均树高，G 为胸高断面积， f_0 为平均实验形数。

例：已测得华山松林分平均树高为 15 米，每公顷断面积为 28 平方米，则

$$\text{每公顷蓄积量} = (15 + 3) \times 28 \times 0.43 = 217 \text{ 立方米}$$

陕西省二元立木材积方程

基于材积方程可计算单木材积与林分蓄积。二元材积模型是根据材积与胸径、树高两个因子的回归关系而拟合的树木单株材积模型，是编制二元材积表的基础。二元材积方程基于形数计算方法： $V = G \cdot H \cdot f_{1.3}$

其中 V 为材积， $f_{1.3}$ 为 1.3m 高度的形数。

(1) 秦岭、巴山、关山地区油松： $f_{1.3} = 0.71900D^{-0.09214}H^{-0.03059}$

(2) 秦岭、巴山、关山地区华山松： $f_{1.3} = 0.68917D^{-0.18723}H^{0.10529}$

(3) 秦岭、巴山、关山地区栎类： $f_{1.3} = 0.72770D^{-0.16639}H^{0.01493}$

(4) 秦岭、巴山、关山地区桦类： $f_{1.3} = 0.05243D^{-0.13367}H^{0.14526}$

(5) 秦岭、巴山、关山地区杨类： $f_{1.3} = 0.99575D^{-0.00885}H^{-0.24569}$

(6) 秦岭、巴山、关山地区阔杂： $f_{1.3} = 0.66275D^{-0.18862}H^{-0.00755}$

(7) 桥山、黄龙山地区栎类： $f_{1.3} = 0.77267D^{-0.010067}H^{-0.05273}$

(8) 桥山、黄龙山地区杨类： $f_{1.3} = 0.78438D^{-0.07453}H^{-0.09236}$

(9) 桥山、黄龙山地区白桦： $f_{1.3} = 0.7391D^{-0.22027}H^{0.064443}$

(10) 杉木： $f_{1.3} = 0.53643 - 0.0013223D + 0.77058\frac{1}{H} - 0.046331 \log D$

(11) 马尾松： $f_{1.3} = 0.77825D^{-0.16660}H^{-0.01591}$

(以上选自《陕西省二元立木材积表》 陕西省林业勘察设计院编 1975 年)

秦岭林区主要树种林分断面积与蓄积量标准表

(疏密度 1.0)

单位：树高（米）；断面积（平方米）；蓄积量（立方米）

陕北林区主要树种林分断面积与蓄积量标准表

(疏密度 1.0)

单位：树高（米）；断面积（平方米）；蓄积量（立方米）

平均树高	油 松		山 杨		栎 类		白 桦		侧 柏		平均树高
	断面积	蓄积量	断面积	蓄积量	断面积	蓄积量	断面积	蓄积量	断面积	蓄积量	
4	14.1	41	9.7	28			10.1	28	15.7	42	4
5	15.4	52	10.9	36	16.7	53	11.2	35	16.4	50	5
6	16.7	63	12.0	44	17.6	63	12.3	43	17.1	58	6
7	18.0	76	13.2	54	18.4	74	13.5	53	17.7	67	7
8	19.2	89	14.3	64	19.1	84	14.6	63	18.3	76	8
9	20.4	103	15.5	76	19.8	95	15.7	73	18.8	86	9
10	21.4	117	16.7	89	20.4	106	16.8	85	19.2	95	10
11	22.4	132	17.8	102	21.0	118	17.9	98	19.6	104	11
12	23.3	147	19.0	117	21.5	129	19.0	111	19.9	113	12
13	24.2	163	20.2	133	22.0	141	20.0	125	20.1	122	13
14	25.0	179	21.4	149			21.0	139			14
15	25.7	194	22.5	166			22.1	155			15
16	26.3	210	23.7	185			23.1	171			16
17	26.9	226	24.9	204			24.1	188			17
18	27.5	243	26.0	224			25.1	206			18
19	28.0	259	27.2	245			26.1	224			19

标准表是用来计算林分疏密度与蓄积量的数表。

例 1：已测得陕北林区某油松林分平均树高是 11 米，胸高断面积是每公顷 16 平方米，查陕北林区油松标准表 11 米高处断面积为 22.4，蓄积量为 132 立方米。则计算疏密度= $16.0 \div 22.4 = 0.71$ ，每公顷蓄积量= $0.71 \times 132 = 94$ 立方米。

例 2：如进行目测调查，在陕北林区某油松林分中目测平均树高是 13 米，疏密度是 0.6，查油松标准表 13 米高处蓄积量是 163，则每公顷蓄积量= $163 \times 0.6 = 98$ 立方米。

(摘自《陕西林业工作手册》 省林业厅编 1964.8.15)

参考文献

- Alder, D., Synnott, T. J. 1992. Permanent sample plot techniques for mixed tropical forest.
- Bellhouse, D. 1988. 6 Systematic sampling. Handbook of statistics, 6, 125-145.
- Bitterlich, W. 1952. Die winkelzählprobe. Forstwissenschaftliches Centralblatt, 71(7), 215-225.
- Bowley, A. L. 1912. The measurement of employment: an experiment. Journal of the Royal Statistical Society, 75(8), 791-829.
- Buckland, W. R. 1951. A review of the literature of systematic sampling. Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological), 208-215.
- Buongiorno, J., Gilles, J. K. 2003. Decision methods for forest resource managers: Academic Press.
- Burkhardt, H. E., Tomé M. 2012. Modeling forest trees and stands: Springer Science & Business Media.
- Davis, L. S., Norman Johnson, K., Bettinger, P. S., Howard, T. E., Alván Encinas, L., Salazar, M., . . . Hyde, W. 2001. Forest management: to sustain ecological, economic, and social values: Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima (Perú).
- Finney, D. 1948. Random and systematic sampling in timber surveys. Forestry, 22(1), 64-99.
- Grosenbaugh, L. 1952. Plotless timber estimates--new, fast, easy. Journal of Forestry, 50(1), 32-37.
- Kangas, A., Maltamo, M. 2006. Forest inventory: methodology and applications (Vol. 10): Springer Science & Business Media.
- Liang, J., Buongiorno, J., Monserud, R. A., Kruger, E. L., Zhou, M. 2007. Effects of diversity of tree species and size on forest basal area growth, recruitment, and mortality. Forest Ecology and Management, 243(1), 116-127.
- Loetsch, F., Zohrer, F., Haller, K., Panzer, K. (1973). Forest Inventory Volume II: JSTOR.
- Neyman, J. 1934. On the two different aspects of the representative method: the method of stratified sampling and the method of purposive selection. Journal of the Royal Statistical Society, 97(4), 558-625.
- Pukkala, T., Lahde, E., Laiho, O. 2009. Growth and yield models for uneven-sized forest stands in Finland. Forest Ecology and Management, 258(3), 207-216.
- Vanclay, J. K. 1994. Modelling forest growth and yield: applications to mixed tropical forests. School of Environmental Science and Management Papers, 537.
- Weiskittel, A. R., Hann, D. W., Kershaw Jr, J. A., Vanclay, J. K. 2011. Forest growth and yield modeling: John Wiley & Sons.
- West, P. W., West, P. W. 2009. Tree and forest measurement: Springer.
- Yang, Y., Monserud, R. A., Huang, S. 2004. An evaluation of diagnostic tests and their roles in validating forest biometric models. Canadian journal of forest research, 34(3), 619-629.
- 陈存根, 龚立群, 彭鸿, 刘晓正. 1996. 秦岭锐齿栎林的生物量和生产力. 西北林学院学报 (S1), 103-114.

- 陈存根, 彭鸿. 1996. 秦岭火地塘林区主要森林类型的现存量和生产力. 西北林学院学报 (S1), 92-102.
- 侯琳. (2009). 秦岭火地塘林区天然次生油松林碳平衡研究. (博士), 西北农林科技大学. Available from Cnki
- 侯琳, 雷瑞德, 王得祥, 尚廉斌, 赵辉. 2009. 秦岭火地塘林区油松群落乔木层的碳密度. 东北林业大学学报(01), 23-25.
- 孟宪宇. 2006. 测树学: 中国林业出版社.
- 陕西省林业勘察设计院. 1975. 陕西省二元立木材积表.
- 陕西省林业厅. 1964. 陕西林业工作手册.
- 陕西省林业厅. 1985. 林业工作手册.
- 吴恒, 党坤良, 田相林, 孙帅超, 陈书军, 赵鹏祥, 曹田健. 2015. 秦岭林区天然次生林与人工林立地质量评价. 林业科学(04), 78-88.

后记

西北农林科技大学生态仿真优化实验室在教学科研实践过程中，陆续整理汇编了“森林资源监测与评价实验指导书”，该汇编侧重方法与应用，不仅可为实验指导，亦可作为林业生产、科学研究和调查规划的参考。由于时间、经验有限，难免谬误不足之处，还请读者不吝赐教，以便修正。

在编辑过程中，得到了西北林业规划设计院、陕西省森林资源管理局、宁东林业局、辛家山林业局、小陇山林业科学研究所、陕西秦岭森林生态系统国家野外科学观测研究站、西北农林科技大学火地塘教学试验林场和广大林业工作者的大力支持和帮助，在此一并致谢。

生态仿真优化实验室

二〇一六年五月

Simulation Optimization Lab
College of Forestry
Northwest A & F University
Yangling, Shaanxi 712100, China
<http://www.optifor.cn>
