

# 非采伐性的收获预测模型\*

李 坚

(浙江林学院, 临安 311300)

Ford-Robertson, J B Wattres, M P

(英国阿伯丁大学)

**摘要** 本文通过对全英国超短轮伐萌生林地上生物量的研究, 建立了预估枝条生物量的通用模型。分别不同年龄的柳树和杨树无性系在不同地区抽取了19个数据系列。对各无性系分别1年生、2年生和4年生的柳树建立了模型, 对1到4年生柳树和3年生杨树也建立了通用模型。从准确度和相关系数方面对这些模型进行了比较。胸径是预测枝条干重的最佳的独立变量。建立了一个积性无截距通用模型来预估柳树和杨树所有的无性系的生物量。通过对新从1到3年生柳树无性系检验发现该模型的准确度为92%。该模型的适用性尚待以后验证。

**关键词** 柳属; 杨属; 生物量; 数学模型; 收获

**中图分类号** S758

## 1 概况

评估超短轮伐林生物量的常用方法是用采伐性的抽样调查, 即采伐随机的样本并称重, 然后推算全林的生物量。用大样本来推算全林的采伐性抽样一般是比较准确的, 但是, 对全部3~5年生的林地的枝条采伐, 运出并称重是费时、费力的工作。因此, 有必要寻找一种有效的方法在非采伐的状态下来预测林分生物量。首先应建立一个预估枝条生物量的模型, 然后根据枝条预估结果可以推测全林生物量。本文从全部林分的角度对枝条模型的建立进行了探讨。

## 2 材料和方法

阿伯丁大学林学系木材供应研究组所管理着的人工林在1990冬季和1991年春季采伐收获, 使得整个抽样和预估与实际总质量相比较的实施相对容易和可行。人工林地点和基本情况如下。

Long Ashton, Avon (LA), 2年生和4年生柳树(*Salix*), 株行距为1.0m×1.0m。

---

收稿日期: 1995-06-01

\*英国能源部技术资助局和北爱尔兰高地公司基金资助项目

Swanbourne, Buckinghamshire(SW): 3年生杨树(*Populus*), 株行距为 $1.0\text{m} \times 1.5\text{m}$ 。

Kincardine, Invernessshire(KC): 1年生柳树, 株行距为 $0.70\text{m} \times 0.35\text{m}$ 。

Castlarchale, Co. Fermanagh(CA): 1年生柳树, 株行距为 $1.0\text{m} \times 0.5\text{m}$ 。

在 Long Ashton 和 Swanbourne 所有无性系均是有施肥和未施肥两种。在 Kincardine, 有 5 个无性系, 在 Castlarchdale 抽取了 2 个柳树无性系, 但由于数据不完整, 在以后的分析中被舍去。

从不同的立地条件下按随机号码的方法抽取了枝条样本, 舍去林边行的中签枝条。每根样品枝条按以下因子进行量测。①高度。②直径: 5 cm 高处; 10 cm 高处; 1/4高处; 80 cm 高处; 胸高处; 1/2高处。③鲜重(采后立刻称重)。

所有样品枝条均是在基部手工采取并以 $0.5\text{g}$  的精度立即称重。高度测量精确到厘米, 用轮尺测量直径, 并精确到毫米。将各无性系枝条的小样装袋, 然后送实验室干燥, 测定含水率。

人工林其余部分在两周后采伐, 并测出各无性系的准确质量, 可以和生物量预测模型得到的结果相比较。

以前有些学者对地上生物量估测做过研究<sup>[1]</sup>。Hytonen 等人认为分别不同的无性系在不同立地条件下, 用回归的方法最为准确<sup>[2]</sup>。也有用其他方法来进行预估的, 如以用测定枝条体积来推测其干重的。大多数的方法从理论上来说是非常完美的, 但实施是十分困难的, 因为有些因子的测定是很困难和费时的。因此, 以测定单根枝条的干重来测算单株及推算单位面积地上生物量的方法是最佳方法。对枝条干重和高或不同位置的直径进行回归分析, 分别对各无性系及样地进行分析, 分别以下 4 个模型对单个因子或综合因子来分析: ①线性  $Y = aX + b$ ; ②积性:  $Y = (\log a)X^b + c$ ; ③指数性:  $Y = e^{(aX+b)}$ ; ④积性无截距:  $Y = (\log a)X^b$ 。

### 3 结果

各树种及无性系的高径比之间没有因地域不同而产生显著性差异, 特别是 1 年生和 2 年生的枝条。因为随着年龄的增加, 枝条的高径比就越小。这是由于在枝条的早期主要是高生长而后期主要是径生长而引起的。高径比与年龄存在着负相关关系。随着杨树径级增大, 需要更多的因子来模拟其枝条的形状。

另一个要考虑的因子是含水率。含水率的变化主要是由林龄的不同和采伐季节不同而引起的。例如, 在 1991 年初, Kincardine 1 年生柳树的含水率是 65.76%, 而在第 2 年仅为 59.99%。施肥也影响着枝条的含水率和高径比。因为施肥促进了枝条的生长(特别是高生长), 并在早期使材质更紧密。本次研究枝条含水率为 53.19%~69.23%, 平均为 60.35%。

分别各无性系的因子对上述 4 个模型进行检验, 建立了各测量因子和干重的回归关系, 并依最大相关系数选择最佳模型。这些选出模型的相关系数均大于 90%, 一些甚至大于 95%。

表 2 列出: ①对每个数据系列给出一个最佳模型、相关系数和常数; ②按林龄和地点分属给出通用模型; ③柳树通用的最佳模型。每个模型以前面列出的号码来代替。每个模型的相关系数也在表中列出。

本次实验也采用了多元回归模型, 得到了两个或多个因子与干重的最佳相关关系, 但这

表 1 各无性系的高径比

Table 1 Height: diameter ratios for all clones

地 点	无 性 系	各高度直径的高径比高度/m				
		10 cm	胸 径	1/4 高	1/2 高	高 度/m
CA	全 部	187		218		
KC	BowlesPH	190	336	235		2.10
KC	Candida	135	272	163		1.74
KC	Dacyclados	152	270	192		2.22
KC	Mullatin	208	325	250		2.16
KC	Stipularis	174	320	222		1.78
LA	Bowles(2N)	201	274	246		3.32
LA	Bowles(2F)	201	288	245		3.35
LA	Bowles(4F)	176	245	231		4.88
LA	Bowles(4N)	174	248	233		4.04
SW	75.028/3(3N)	116	190		175	3.19
SW	75.028/3(3F)	108	201		186	3.67
SW	Beaupre(3N)	110	172		197	3.38
SW	Beaupre(3F)	125	246		207	4.18
SW	Boelare(3N)	106	238		194	3.53
SW	Boelare(3F)	122	294		202	2.97
SW	Dorschkamp(3N)	134	228		202	3.41
SW	Dorschkamp(3F)	123	202		186	3.65
SW	Rap(3N)	104	201		235	4.06
SW	Rap(3F)	117	208		172	4.25

些模型与单因子模型之间无明显差异。一些多元模型的相关系数相当高。例如，在一些无性系中，枝条干重与直径的平方乘以高度的相关系数达99%。然而，这些额外的因子会使野外调查增加大量的工作量。或由于测量枝条的数量的减少而使精度降低。

这些回归模型和因子是按19个数据系列来进行比较的。每个系列代表一个无性系、处理、年龄或地点。因为缺少了胸径的数据，将采自CA的数据舍去。按综合评估的方法来选择最佳模型和最佳因子，选择的依据是相关系数和 $R^2$ 值。

表3列出各因子最佳适合某模型的次数。右侧的栏目列出每个模型最适合4个因子的次数。这里相关系数小于0.75的模型已经除去。

根据表3，最佳的测量因子是胸径和10 cm高处直径。可以明显的看出胸高直径是与干重的最通用和相关性最强的因子，占全部因子的一半。这里积性无截距模型是最成功的和适合性最好的。由于胸径比较容易测量并与干重有较高的相关性，所以该因子是估测萌芽林生物量的理想因子。

英国林业委员会分别为各无性系建立了积性模型。将这些模型与本次研究进行了比较，发现这些模型仅在系数上存在差别，但图形趋势几乎是相同的。这些差异主要是由以下原因引起的：①枝条的年龄不同；②含水率的差异；③栽植距离不同；④试验地的地理位置不同；⑤施肥情况；⑥采伐季节；⑦立地条件的不同；⑧种或无性系的不同；⑨气候变化或病虫害的影响；⑩杂草的影响。

所有这些因子均可能会影响生长率，所以模型的系数会产生波动。换言之，专为某无性

**表 2 各无性系及地点的模型**  
Table 2 Models for all clons and sites

地 点	无性系(年龄*)	模型号	因 子	a	b	相关系数
SW	75.028/3(3N)	3	胸 径	-3.270 97	0.105 21	0.982 1
	75.028/3(3F)	3	胸 径	-3.235 38	0.105 21	0.982 1
	Boelare(3N)	4	胸 径	-9.409 62	2.422 03	0.985 5
	Boelare(3F)	3	胸 径	-3.259 61	0.109 77	0.970 6
	Beaupre(3F)	3	胸 径	-2.710 33	0.088 20	0.892 3
	Beaupre(3N)	4	胸 径	-5.887 52	1.787 94	0.974 9
	Dorschkamp	4	10cm 径	-8.561 35	2.335 49	0.985 7
		4	胸 径	-4.950 14	1.433 59	0.897 4
	Dorschkamp(3N)	4	胸 径	-6.487 16	1.935 54	0.981 6
	Rap(3F)	4	胸 径	-5.409 81	1.573 94	0.894 0
	Rap(3N)	4	10cm 径	-8.909 80	2.345 80	0.992 5
		3	胸 径	-2.742 29	0.082 73	0.981 0
	3 年生杨树	4		$Y = 0.003 052 2 \times DBH^{1.663 23}$		0.941 9
LA	Bowles(2F)	4	胸 径	-7.312 51	2.158 18	0.900 6
	Bowles(2N)	4	胸 径	-8.027 42	2.403 52	0.966 6
	2 年生柳树	4		$Y = 0.004 851 0 \times DBH^{2.665 50}$		0.927 1
	Bowles(4F)	4	胸 径	-8.457 68	2.559 95	0.989 3
	Bowles(4N)	4	10cm 径	-9.348 54	2.596 81	0.974 3
		3	胸 径	-3.534 50	0.118 60	0.978 9
	4 年生柳树	4		$Y = 0.000 374 5 \times DBH^{2.383 64}$		0.978 9
KC	LA 通用模型	4		$Y = 0.000 394 1 \times DBH^{2.355 80}$		0.965 1
	Bowles(1)	1	胸 径	-27.612 20	9.301 80	0.941 0
	Candida(1)	3	胸 径	1.600 50	0.275 10	0.940 8
	Dasyclados(1)	1	胸 径	-49.037 00	12.432 70	0.850 8
	Mullatin(1)	3	胸 径	1.717 28	0.238 60	0.935 3
	Stipularis(1)	4	10cm 径	-1.789 65	1.997 60	0.831 3
		4	胸 径	0.831 90	1.171 30	0.802 5
1 年生柳树		4		$Y = 0.001 384 5 \times DBH^{1.620 89}$		0.870 0
	1 ~ 4 年生柳树	4		$Y = 0.000 417 7 \times DBH^{2.304 02}$		0.964 4

\*年龄以年为单位, F 表示施过肥, N 表示未施肥

**表 3 因子和模型的比较**  
Table 3 Comparison of the factors and models

模 型	因 子					最佳次数
	胸 径	10cm 径	1/2 高 径	高 度		
1	8	8	2	1	2	
2	11	1	5	2	14	
3	10	1	2	6	13	
4	8	8	1	2	20	
总 放	37	18	10	11		

系建立的模型在特定的年龄和地点是适用的, 但对同样的无性系, 在不同的地点或在同样的

地点而随着年龄的增加，就不一定适用了。

建立一个通用于杨、柳萌芽林的生物量通用模型是非常必要的，尽管该模型对某类无性系可能会有些偏差。像常规林业中编制材积表一样，需要大量的生物量数据。本次研究将800份枝条数据按径级(1 mm)划分，然后建立枝条胸径和干重的关系，发现下列两个模型是较准确的。

$$\text{① 积性无截距模型: } Y = 0.002\ 018\ 79 \times DBH^{1.884\ 72}$$

$$\text{② 指数模型: } Y = e^{0.098\ 152\ 3DBH - 3.167\ 63}$$

#### 4 评价

由模型得出的估计值与观测的平均值相当接近(表4)。随着枝条生长而产生含水率和削度的变化，可能会使积性模型对于小枝条的偏高估计和对大枝条的偏低估计。对1年生的萌芽林来说，特别是对生长不良的林分来说，相关系数是偏低的。按来自KC的数据和对该无性系模型计算，实验相关系数为0.5，即由于枝条均比较小，计算出的数据相当于实际生物量的两倍。这是一个极端的例子。对于1年生的萌芽林来说还未达到预测生物量的年龄，对于4年生的萌芽林来说，由于有较多的龄级分布，不会存在这种问题。

**表4 两个模型的生物量估计**

Table 4 Biomass estimates (oven dry kg) from models

模 型	数 �据 数	相关系数	R <sup>2</sup> 值	F 值
1	50	0.971 0	0.942 8	799.90
2	50	0.966 2	0.933 5	637.56

#### 5 讨论

这些模型是采自1991年初的数据分别不同无性系而得出的。在1992年用采到的更多数据对这些模型进行检验。这些数据是采自Guisachan 3年生的5个柳树无性系和KC的1年生的6个柳树无性系。该公式中(*o*)新观测值，(*e*)希望值，准确度公式如下。

$$\text{准确度} = \frac{o - e}{(o + e)/2} \times 100\%.$$

对每个新数据系列用其最适宜公式及通用公式(公式1)进行比较，大多数公式计算的准确度大于90%(表5和表6)。

从表5和表6得出，通用模型对多数无性系来说准确度相对较高，平均值超过92.25%。其他模型也显示了较高的准确度，虽然比通用模型略为逊色，但对杨、柳地上部分生物量的预估也有一个较好的结果。

**表 5 1 年生柳树(KC)准确度评估**

Table 5 Accuracy evaluation for 1 year old willow (Kincardine)

**表 6 3 年生柳树准确度评估**

Table 6 Accuracy evaluation for 3 year old willow (Guisachan)

无性系	模型检验/%		无性系	模型检验/%		
	1年生柳树模型	通用模型		柳树模型	4年生柳树模型	通用模型
Bowles 杂种	93.45	97.00	683	60.45	93.70	95.58
Mullatin	96.58	80.08	Bowles 杂种	88.18	98.14	89.40
Stipularis	93.84	83.58	Campbell	79.13	93.04	98.01
Dasyclados	79.38	99.29	Dasyclados	73.24	88.00	89.18
Gigantea	95.51	98.16	Stipularis	76.47	87.87	88.93
Campbell	96.44	98.58	平均	79.49	92.15	92.25
平均	92.53	92.78				

## 6 结论

根据样本水平和需要的准确度，建立一个在不同水平的，包括各无性系、年龄、位置等条件上的通用模型是可行的。这些模型可以覆盖一定的地域和林龄。由于上述的各种影响会使人工林发生变化，而针对某一地域和某年龄的无性系制定特别的公式就显得没有意义。所以需要建立一个用单一的容易测量的因子来预估干重的模型。这里找到了一个估测枝条干重的胸径与干重的相当紧密的关系。

通过一个较广范围的输入数据，可以建立全英国范围内用枝条胸径来估测短轮伐萌芽林(杨树和柳树)干重的模型，从这些数据和林内成活率来预测全林地上部分的生物量。该模型可以为生产者和买主提供一种较为简便的方法来估计林内的产量，而省去了必须用采伐来确定产量的方法。

然而，正如前面所提及的那样，随着枝条的生长在高径比方面存在较大的差异。对于那些这里没有涉及的大龄枝条来说，可能会更加复杂。解决这些问题的途径就是要进一步研究这些无性系的生长习性和枝条形状和各种因素对其生长的影响。在今后的研究中将会对这些问题作进一步的研究。

**致谢** 本文作者对 Paul Story 的帮助表示感谢。

## 参 考 文 献

- Potter C. Coppice as Energy Crops. ETWU B 1078. *Contractor (Forestry Commission) Report to Department of Energy*, 1990
- Hytonen J, Lumme I and Tormala T. Comparison of Methods for Estimating Willow Biomass. *Biomass*, 1987, 14: 39~49

Li Jian (Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, PRC), Ford-Robertson J B, and Wattres M P. **Non-Destructive Sampling for Yield Estimation.** *J Zhejiang For Coll*, 1995, 12(4):353~359

**Abstract:** A general model was sought to estimate the shoot biomass of short rotation coppice crops in the UK. Different aged shoots of willow and poplar clones were sampled from different sites to produce 19 data sets. Models were created for each clone, separately for 1-, 2-and 4-year old willow, and general models for 1 to 4 year willows, and 3 year old poplars. The models were compared with regard to accuracy and correlation coefficient. The diameter at breast height was chosen as the best independent variable to estimate the shoot weight. A general multiplicative model without intercept was created for all the willows and poplars sampled. The model was evaluated and was found to have average accuracy of 92% when tested with new data from 1- and 3-year old willow clones. The model requires further validation.

**Key words:** *Salix; Populus; biomass; mathematical models; harvesting*

## 欢迎订阅《浙江林学院学报》

《浙江林学院学报》是全国林业类核心期刊之一，被评为首届浙江省优秀科技期刊，首届全国优秀科技期刊，全国优秀学报。主要刊登林学、经济林、园林、生态、林产加工、森林病虫防治、林木遗传育种、林业经济、林业机械、木材加工、水土保持等方面的学术论文、科研报告和研究简报等，供农林科技工作者、园林绿化和规划设计人员、大专院校师生、基层干部、农林科技专业户及科技情报人员参阅。季刊。季末月中旬出版。公开发行。每期定价2.40元，全年9.60元。欢迎订阅，欢迎投稿。

国内订户请向浙江林学院学报编辑部索取订单，也可直接汇款订购。邮汇：浙江临安浙江林学院学报编辑部，邮政编码：311300。信汇：浙江林学院，临安农业银行，帐号：86181210004800。

国外读者请向中国出版对外贸易总公司联系办理。