

陕西不同地区栓皮栎种群增长 模拟与预测预报的研究^{*}

韩照祥¹, 张文辉¹, 山 仑²

(1 西北农林科技大学 生命科学学院, 陕西杨陵 712100; 2 中国科学院、水利部 水土保持研究所, 陕西杨陵 712100)

摘 要: 时间序列分析可以通过差分、周期的方法, 对植物种群的增长进行模拟与预测。在陕西的秦岭、汉中、黄龙地区选择林相整齐、有代表性的地段作为标准地, 设置样方 40 个, 对各样方内的林木进行每木检尺, 通过优势木解析的方法, 测得栓皮栎种群胸径的实际生长量, 运用起伏型时间序列分析, 建立了栓皮栎种群个体年龄与胸径生长的时间序列模型, 四个模型所得的各个样地栓皮栎胸径生长的模拟值与实际值进行比较, 其模拟平均误差都在 1.5% 以内, 平均精度达到 97.8%, 模拟效果较好。经检验, 该模型预测胸径的生长量具有较好的可靠性和精度高等优点, 从而丰富和发展了种群增长模拟与预测预报的方法。

关键词: 栓皮栎; 种群; 时间序列; 预报

中图分类号: Q948.12⁺ 1 文献标识码: A

Study on simulation and prediction of *Quercus variabilis* population increase in different regions in Shaanxi

HAN Zhao-xiang¹, ZHANG Wen-hui¹, SHAN Lun²

(1 College of Life Science, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2 Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Shaanxi, Yangling 712100, China)

Abstract: Time series model can simulate and predict the increase of *Quercus variabilis* population by the difference, periodic method. We choose the forest appearance tidiness, representative stands serving as standard plots, 40 stands were set up at Qinling, Hanzhong, Huanghong in Shaanxi respectively, measure every tree in the stands, measure the actual increase by the dominance tree, the time series model of individual age and diameter of *Quercus variabilis* was established according to the actual diameter of *Quercus variabilis* population by the fluctuant time series, the comparison of simulation and reality value of the every stand of *Quercus variabilis* population diameter increase through the four models, the average simulation difference within 1.5%, the accuracy is 97.8%, the simulation effect is better. The model was reliable and accurate, it can be used to forecast of diameter growth and can amplify and develop the methods of population's development and prediction.

Key words: *Quercus variabilis*; population; time series; prediction

栓皮栎(*Quercus variabilis*) 属于壳斗科(Fagaceae) 栎属(*Quercus* Linn.), 是我国华北以南各大林区的主要造林树种, 分布在 22 个省区。是我国落

叶阔叶林的一个建群种, 对涵养水源、保持水土、增加土壤肥力和维持生态平衡等方面具有重要的意义^[1]。同时, 由于栓皮栎经济价值高, 受到人为破坏

* 收稿日期: 2002-10-25; 修改稿收到日期: 2003-03-28

基金项目: 中国科学院知识创新项目(kzcx-106-02)

作者简介: 韩照祥(1969-), 男(汉族), 博士。主要从事植物生态学和分子生态学研究。

的现象非常严重, 从其分布中心到分布边缘, 栓皮栎林生产力有逐渐退缩转移的趋势, 栓皮栎种群的稳定性正受到严重破坏. 如何维持其林分健康、活力、更新能力及生产力, 解决目前生产实际中的突出问题. 本研究从栓皮栎种群的增长动态出发, 运用时间序列分析法, 建立栓皮栎种群增长的数学模型, 为栓皮栎种群的生态恢复和低产林分改造提供理论依据.

1 研究区自然概况

栓皮栎在陕西的分布是以秦岭为中心, 向北以黄龙地区为分布边缘, 也是气候条件从亚热带湿润气候区向半湿润气候区的过渡区域^[2,8]. 因此, 本研究根据栓皮栎分布的环境梯度差异, 分别在秦岭、汉中及黄龙地区设置样地. 秦岭是横贯陕西中南部的—条山脉, 位于 32°50′ ~ 34°55′ N, 106°22′ ~ 110°36′ E 之间, 它是防阻东南热湿气流向北渗透和屏蔽北方干冷气流向南侵袭的屏障, 因而是造成西北特别是陕西干旱气候的重要原因. 使得秦岭成为亚热带和暖温带的分界线, 同时又是黄河、长江二水系的分水岭^[3]. 本地区的研究样地位于秦岭北坡的楼观台(样地 A) 和马岔沟(样地 B), A 地区土壤在海拔 500 m 以下为草甸褐色土, 海拔 500 ~ 1 000 m 为碳酸盐褐色土, 海拔 1 000 ~ 1 500 m 为典型褐色土, B 地区土壤为褐色土. A、B 两区气候属于温带、暖温带气候. 年平均气温 6.4℃, 最高平均气温 29.4℃, 最低平均气温 -19℃(1 月), 年降水量 1 001.7 mm 左右. A 样地中的栓皮栎平均胸径 17.2 cm, 平均树高 16.5 m, 总郁闭度 0.90, 乔木郁闭度 0.82, 灌木郁闭度 0.67, 草本郁闭度 0.13. B 样地中的栓皮栎平均胸径 16.5 cm, 平均树高 16.0 m, 总郁闭度 0.80, A、B 两区乔木层常见的伴生树种有槲栎(*Q. aliena*)、槲树(*Q. dentata*)、麻栎(*Q. acutissima*)、山合欢(*Albizia kalkora*)、黄连木(*Pistacia chinensis*)等. 林下灌木比较稀疏, 分布均匀, 优势种不明显, 常见的有胡枝子(*Lespedeza bicolor*)、榛子(*Corylus heterophylla*)、黄蔷薇(*Rosa hugonis*)、光叶黄栌(*Cotinus coggygria* var. *cinerea*)、绣线菊(*Spiraea canescens* var. *oblanceolata*)、六道木(*Abelia biflora*)、连翘(*Forsythia suspensa*)等.

草本层以禾本科的长芒草(*Stipa bungeana*)、白羊草(*Bothriochloa ischaemum*)和莎草科的苔草(*Carex* spp.)为多. 汉中地区位于 33°10′ ~ 33°50′ N, 106°30′ ~ 107°10′ E 之间, 样地设在汉中勉县的土

关铺(C 样地), 土壤为黄棕土. 本区是陕西最暖温的地区, 年平均气温 13 ~ 16℃, 1 月平均气温在 2℃以上, 7 月平均气温 24 ~ 28℃. 年降水量 800 mm 左右. 本样地栓皮栎平均胸径 16.0 cm, 平均树高 15.5 m, 总郁闭度 0.75. 常见的林下灌木有胡枝子(*Lespedeza bicolor*)、黄蔷薇(*Rosa hugonis*)、棕桐(*Trachycarpus fortunei*)、榛子(*Corylus heterophylla*)等. 黄龙自然保护区(样地 D)位于 35°25′ ~ 35°41′ N, 110°0′ ~ 110°13′ E 之间, 本区气候为典型的大陆性气候, 年平均气温 10℃, 最高 7 月份平均气温 23.4℃, 年降水量 680 mm 左右. 样地中栓皮栎平均胸径 15.5 cm, 平均树高 15.0 m, 总郁闭度 0.70. 伴生树种有山杨(*Populus davidiana*)、白桦(*Betula platyphylla*)等乔木.

2 研究方法与样地选择

2.1 研究方法

在对栓皮栎种群增长模拟与预测的研究中, 选用起伏型时间序列分析法, 它是一种用差分使序列变为符合傅里叶级数型变化的新方法^[4,7]. 其方法: 设 $R = \{r_0, r_1, r_2, \dots, r_t, \dots, r_N\}$, $t = 0, 1, \dots, N$, 为起伏时间序列. 对 r_t 进行差分处理后, 序列 r_t 在一阶差分处理后遵从以下微分方程:

$$\frac{dr}{dt} = \sum_{i=1}^k (a_i \cos \Phi t + b_i \sin \Phi t) = a_0 + \sum_{i=0}^k (a_i \cos \Phi t + b_i \sin \Phi t) \quad (1)$$

$$\Phi = 2\pi k/N + 1 (t = 0, 1, 2, \dots, N; K = N/2)$$

分别用向前差分 $\Delta_j r_t$ 和向后差分 $\Delta_k r_t$ 代替上式中的 dr , $\Delta_t = 1$ 代替 dt , 则上式可写成:

$$\Delta_j r_t = a_0 + \sum_{i=0}^k (a_i \cos \Phi t + b_i \sin \Phi t)$$

$$\Delta_k r_t = a_0 + \sum_{i=0}^k (a_i \cos \Phi t + b_i \sin \Phi t) \quad (t = 1, 2, \dots, N - 1)$$

令预报误差: $\epsilon_t = \Delta_j r_t - a_0 - \sum_{i=0}^k (a_i \cos \Phi t + b_i \sin \Phi t)$

$$\epsilon_{t+1} = \Delta_k r_{t+1} - a_0 - \sum_{i=0}^k (a_i \cos \Phi t + b_i \sin \Phi t)$$

则总的误差: $e^2 = \sum_{i=0}^k (\epsilon_{t+1} + \epsilon_t)$

用最小二乘法求出 $\hat{a}_0, \hat{a}_i, \hat{b}_i$. 并借助 Mathematica 4.0 软件和计算机可以得到:

$$r_t = r_0 + a_0 t + \sum_{i=0}^k \frac{a_i}{\Phi} \sin \Phi t + \sum_{i=0}^k \frac{b_i}{\Phi} (1 - \cos \Phi t), (t = 0, 1, 2, \dots, N) \quad (2)$$

利用上式即可对栓皮栎种群增长进行拟合和预测。

2.2 标准地选择

选择林相整齐、有代表性的地段作为标准地, 共设置样方 40 个 (20 m × 20 m), 对各样方内的林木进行每木检尺 (树高、胸径、枝下高、冠幅), 按 100 m² 选择 1 株优势木进行解析 (每个样方选择 3 株), 从胸径 1.3 m 处每隔 2.6 m 锯一个圆盘, 厚度为 2 ~ 5 cm, 各圆盘在双筒显微镜下用测微尺测量年轮宽度, 精确到 0.01 cm, 绘制年轮生长曲线。

3 栓皮栎种群生长的起伏型时间序列模型及检验

3.1 各样地实际年轮宽度随时间变化的分析

用起伏型时间序列分析方法预测栓皮栎种群增长动态时, 通常是预测其胸径生长动态, 为了剔除其树龄的影响, 一般采用年轮指数 (W) 作为因变量, 且

$W =$ 年轮的实际宽度 (w) / 树龄因子生长的年轮宽度 (w_i), 并用指数方程 $w_i = ab^x$ 进行拟合^[5,6,9]。各样地的回归方程见表 1。

由于栓皮栎的生长除了依赖于其本身的遗传特征外, 还与水文、气象和土壤等多个因子有关^[10]。在一定区域内, 由于当地的气候条件发生变化, 会对栓皮栎种群胸径的生长有显著的影响。对于所研究的区域来说, 我们收集了 40 年样地的气象资料, 栓皮栎种群胸径的生长随当地气候条件的变化而波动。如图 1、3、5、7。因为栓皮栎种群的胸径生长的速生期在 10 ~ 30 年, 本模型是利用 20 ~ 45 年的生长量建模的, 所以, 表面看来, 各样地栓皮栎种群胸径的生长量随时间的推移有逐渐减小的趋势。

表 1 各样地回归方程

Table 1 The regression equation of each plot

样地名称 Plot name	回归方程 Regression equation	相关系数 Correlation coefficient
样地 A Plot A	$W_A = 19.6220 + 0.9397x$	0.9340
样地 B Plot B	$W_B = 20.9980 + 0.9401x$	0.9450
样地 C Plot C	$W_C = 20.9607 + 0.9377x$	0.9600
样地 D Plot D	$W_D = 18.2958 + 0.9438x$	0.9450

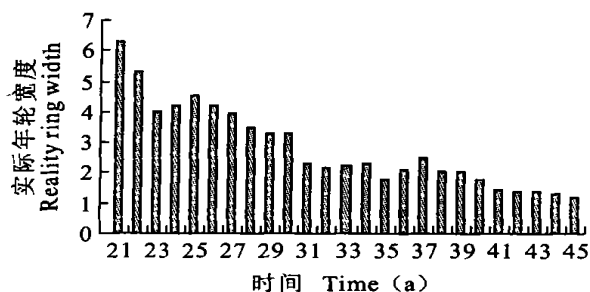


图 1 A 样地实际年轮宽度随时间变化图

Fig. 1 Graph of reality ring width following time for plot A

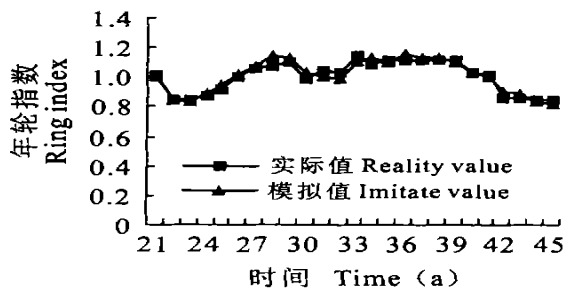


图 2 A 样地实际值与模拟值的比较

Fig. 2 Comparison of reality and imitate value for plot A

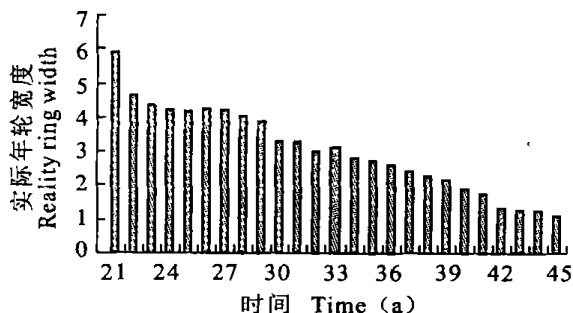


图 3 B 样地实际年轮宽度随时间变化图

Fig. 3 Graph of reality ring width following time for plot B

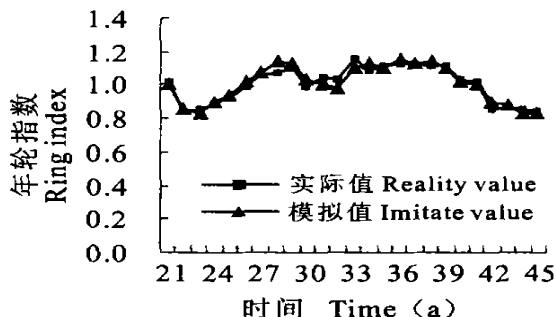


图 4 B 样地实际值与模拟值的比较

Fig. 4 Comparison of reality and imitate value for plot B

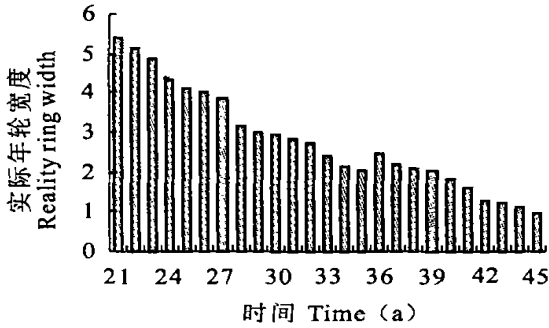


图5 C样地实际年轮宽度随时间变化图

Fig.5 Graph of reality ring width following time for plot C

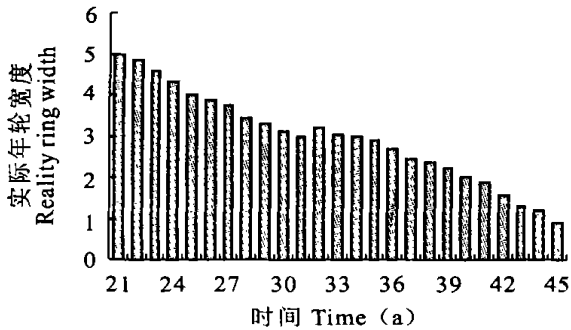


图7 D样地实际年轮宽度随时间变化图

Fig.7 Graph of reality ring width following time for plot D

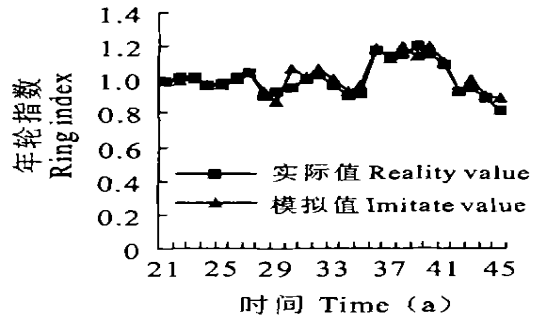


图6 C样地实际值与模拟值的比较

Fig.6 Comparison of reality and imitate value for plot C

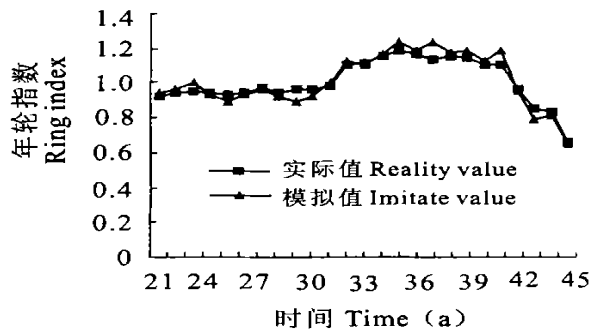


图8 D样地实际值与模拟值的比较

Fig.8 Comparison of reality and imitate value for plot D

3.2 各样地的起伏型时间序列模型

由于所选样地树龄大都在十几年以上,因此,用20~45年的栓皮栎胸径生长作为其建模数据, $N=24$, 时间序列为25, 取 $K=12$, $\Phi_i = 2\pi i/25$ ($i=1, 2, \dots, K$). 用 Mathematica 4.0 软件和 SPSS 11.0 求得各系数并代入(2)式, 可获得各样地栓皮栎增长的起伏型时间序列模型.

各样地的时间序列模型如下:

$$\hat{r}_{At} = 1.1324 + 0.1823t + \sum_{i=1}^{12} \frac{\hat{a}_i}{\Phi} \sin \Phi t + \sum_{i=1}^{12} \frac{\hat{b}_i}{\Phi} (1 - \cos \Phi t) \quad (\text{A 样地模型})$$

$$\hat{r}_{Bt} = 1.0853 + 0.1398t + \sum_{i=1}^{12} \frac{\hat{a}_i}{\Phi} \sin \Phi t + \sum_{i=1}^{12} \frac{\hat{b}_i}{\Phi} (1 - \cos \Phi t) \quad (\text{B 样地模型})$$

$$\hat{r}_{Ct} = 1.0124 + 0.3401t + \sum_{i=1}^{12} \frac{\hat{a}_i}{\Phi} \sin \Phi t + \sum_{i=1}^{12} \frac{\hat{b}_i}{\Phi} (1 - \cos \Phi t) \quad (\text{C 样地模型})$$

$$\hat{r}_{Dt} = 1.0021 + 0.2319t + \sum_{i=1}^{12} \frac{\hat{a}_i}{\Phi} \sin \Phi t + \sum_{i=1}^{12} \frac{\hat{b}_i}{\Phi} (1 - \cos \Phi t) \quad (\text{D 样地模型})$$

$$\sum_{i=1}^{12} \frac{\hat{b}_i}{\Phi} (1 - \cos \Phi t) \quad (\text{D 样地模型})$$

3.3 模型的检验

经以上4个模型所得的各个样地栓皮栎胸径生长的模拟值与实际值进行比较, 其模拟平均误差都在1.5%以内, 平均精度达到97.8%, 模拟效果较好. 将每个样地的实际值与模拟值作图比较, 两曲线吻合较理想(图2、4、6、8). 同时, 借助所建模型对没有参加建模的46~60年胸径的生长量进行检验, 与实际值比较, 相对误差基本都小于3%, 15年胸径生长的平均预报精度均达96%, 预报精度较高, 误差较小. 可以在生物学、林学、生态学及相关领域建模研究中应用, 具有广阔的应用前景.

4 结论

(1) 本研究用起伏型时间序列对栓皮栎种群胸径生长进行模拟预测, 比用其它方法建立的模型模拟精度高.

(2) 根据起伏型时间序列方法, 科学运用已知实

际年轮数据预测未来栓皮栎胸径生长量, 可克服实际调查中资料不全的缺陷。

(3) 起伏型时间序列的时序模型为趋势性时序模型, 在理论上要求 N 充分大, 但栓皮栎林生长时序的长度 N 较短, 这在应用中造成了困难。然而由于栓皮栎林生长规律性强, 变化单一, 在不满足 N 的条件下, 运用起伏型时间序列建模, 也可提取足够

的信息, 对未来栓皮栎胸径生长状况做出预测。

(4) 运用时间和胸径的组合建立的起伏型时间序列模型须在栓皮栎正常生长发育的条件下使用, 当气候出现异常时, 模型需要矫正才能使用。

(5) 起伏型时间序列模型适合于材质坚硬、生命周期较长的乔木个体胸径生长量的预测。

参考文献:

- [1] DING G J (丁贵杰). Growth and yield model system for mason pine plantation[J]. *Sci. Silvae Sin.* (林业科学), 1997, 33(1): 57- 66(in Chinese).
- [2] KRAMER H. Wald wachstum slehref[M]. Hamburg and Behin: Paul Parey, 1988: 68.
- [3] WEST P W, BOROUPH C J. Tree suppression and the self-thinning in even-aged monocultures of *Pinus radiata* D. Don. [J]. *Ann. Bot.*, 1983, 52: 149- 158.
- [4] ZEID B. Self-thinning and stand density[J]. *For. Sci.*, 1991, 37(2): 513- 523.
- [5] PIENAAR L V PMRC. Yield production system for slash pine plantation in the atlantic coast flatwoods[C]. PMRC Technical Report. School of Forest Resoures, University of Georgia, Athens, Georgia, 1990.
- [6] SHORT E A, BURKHART H E. Predicting grown-height increment for thinned and unithinned loblolly pine plantations[J]. *For. Sci.*, 1992, 38(3): 594- 610.
- [7] BAILEY R L, DELL T R. Quantifying diameter distributions with the Weibull funtion[J]. *For. sci.*, 1998, 19(2): 97- 104.
- [8] LIU J F (刘金福). Time series model of individual age and diameter in *Ccastanopsis kawamii* population[J]. *Acta Phytoecol. Sin.* (植物生态学报), 1999, 23(3): 283- 288(in Chinese).
- [9] ROBERT A M. Time-series analyses of tree ring chronologies[J]. *Forest. Sci.*, 1986, 32(2):
- [10] BOX G E P, JENKINS G M. Time series analysis: foresting and control[J]. *Holden-Day San Francisco*, 1970.

封面植物介绍——星叶草

星叶草(*Circaeaster agrestis* Maxim.) 为一年生小草本, 高 3~10 cm。叶簇生于茎顶端, 楔形, 基部渐狭, 缘具齿, 叶脉二叉状分枝。两性花小, 簇生于叶丛中, 无花瓣, 具 2(3) 萼片; 雄蕊 1~2(3), 线形; 心皮 1~3, 离生, 无花柱, 子房具 1 枚下垂的胚珠。瘦果狭长, 不裂, 常被钩状毛。种子具细胞型胚乳, 胚圆柱状, 子叶短。生于海拔 1 600~4 000 m 山谷沟边、林中及湿草地。产陕西南部、甘肃南部、青海南部、四川西部、云南、西藏东部及新疆西部, 也见于不丹、锡金、尼泊尔等国。

尽管星叶草植株矮小, 但其具有与银杏(*Ginkgo biloba* L.) 相似的开放的二叉状分枝叶脉而备受植物学家的关注, 是古老、独特的原始花被类植物, 被列为国家二级保护植物。近年来, 多数学者倾向于将其从毛茛科中分出, 列为中国特有的单种科之一。