

黄山松种群数量动态研究^{*}

吴承祯 洪 伟 林成来

(福建林学院资源与环境系, 南平 353001)

摘 要 针对有限空间种群增长的逻辑斯谛模型的缺陷, 本文应用广义的逻辑斯谛曲线研究了龙栖山自然保护区黄山松种群数量动态, 并指出了黄山松在不同林型下和同一林型不同密度下的断面积最大增长速度的径级范围。结果表明, 广义的逻辑斯谛曲线能很好地拟合黄山松种群数量动态规律, 从而为黄山松的生产和经营管理提供了理论依据。

关键词 黄山松; 种群动态; 胸高断面积; G-logistic 模型

中图分类号 Q145; S718.5

黄山松(*Pinus taiwanensis*)又称台湾松, 为我国特有树种, 是高海拔山地重要的绿化和造林树种。迄今为止, 黄山松种群生态学研究鲜见报道^[1]。本文通过对福建省龙栖山自然保护区黄山松种群不同状态下林分生长状况进行调查, 分析林分胸高断面积的数量动态规律, 为该区域天然黄山松林的合理保护与经营提供科学依据, 并丰富黄山松种群生态学研究内容。

1 研究区域自然概况

龙栖山自然保护区地处福建西北部的将乐县境内, 26°23'~26°34'N, 117°11'~117°21'E 之间。保护区内山脉走向基本平行于西邻的武夷山脉和东邻的戴云山脉, 最高峰 1 620.4 m。由于地形、植被等因素的影响, 气温、降水量差异较大。海拔 1 000 m 以下地区, 年平均气温 14.6~18.8℃; 海拔 1000 m 以上地区, 年平均气温小于 14℃。年降水量 1 600~1 800 mm, 以 5~6 月最多。土壤以黄壤为主, 随着海拔的上升, 气温降低, 降水量逐渐增多, 土壤出现红壤—黄红壤—黄壤的规律性变化。植被为原始亚热带常绿阔叶林和常绿针叶林。

2 研究方法

于 1996 年 5 月, 在福建省将乐县龙栖山自然保护区选择原始黄山松种群为研究对象,

收稿日期: 1997-09-01; 修回日期: 1998-03-10

^{*}福建省财政厅重点资助项目

第 1 作者简介: 吴承祯, 男, 1970 年生, 讲师, 在职博士生

分黄山松纯林、近纯林、黄山松与马尾松混交林 3 种不同林型及纯林的 3 种不同密度的黄山松林分, 分别选择典型的代表性地段, 设置 4 个 20 m×20 m 的标准地, 进行每木检尺, 并取土样进行室内分析, 同时进行林下植被调查。

自 Pearl 等提出用 logistic 方程描述有限空间中的种群生长^[2]以来, 该方程在动植物研究中取得了满意效果^[1, 3~5]。其形式为

$$dS/dt = rS(1 - S/K) \quad (1)$$

其中: r 为内禀增长率; K 为一定环境条件下种群环境容纳量; S 为 t 时刻的种群数量。(1) 式表明种群数量增长量最大速率在 $K/2$ 处即 logistic 曲线的拐点处^[6]。但是现实中的种群数量的增长量最大速率不一定恰好在 $K/2$ 处, 它可能在 $K/2$ 之前, 也可能在 $K/2$ 之后处。因此必须选择一个拐点变化范围更大的曲线来描述这种种群生长过程。张大勇^[7] 提出用下式描述上述增长情况。

$$dS/dt = rS(1 - S/K)^\theta \quad (2)$$

θ 是一个常数。方程(2) 建议种群的最大增长速率在 $K/(1 + \theta)^{1/\theta}$ 处达到。即如果 $\theta > 1$, 那么拐点在 $K/2$ 之后, 反之在 $K/2$ 之前。因此可以说(2) 式是种群数量动态变化的一个较好的数学描述式。其积分形式为

$$S = K/(1 + e^{-at})^\theta \quad (3)$$

这里 a, r, K, θ 为参数, 并称(3) 式为 generalized logistic 曲线 (G-logistic)。本文应用(3) 式研究黄山松种群数量动态规律, 并以林木胸高断面积代替种群数量。为此, 以空间序列来代替时间序列以建立新的时间顺序关系。将林木按照胸径大小分级, 每级间隔为 4 cm。0~4 cm 记为第 1 径级, 4~8 cm 为第 2 径级, 依此类推即可。把林木径级从小到大的顺序看作是时间顺序关系^[4]。令时间单位为径级年, 由于第 i 径级年对应的林木胸径径级是 i 级, 故这里是一一对应关系。

统计调查标准地各径级林木的胸高断面积, 计算各径级胸高断面积的初值(S_i'), 累加第 1 径级至第 i 径级的胸高断面积的初值, 则为林分在第 i 级的基面积 \tilde{S}_i , 即 $\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^i S_j'$ 为林分到 i 径级的林木胸高断面积总量。表 1~2 列出了不同林型及纯林不同密度黄山松林分的各径级胸高断面积 \tilde{S}_i 之值。

将时间单位为径级年的时序关系所对应的林木种群的胸高断面积数值用遗传算法^[8~10] 最优拟合, 便得到黄山松种群胸高断面积的 G-logistic 模型。对于(3) 式, 经数学讨论可得, 当 $S = K/(1 + \theta)^{1/\theta}$ 时, 胸高断面积具有最大增长速度 $\frac{dS}{dt} \Big|_{\max} = \frac{rK((1 + \theta)^{1/\theta} - 1)}{(1 + \theta)^{2/\theta}}$, 所对应的时间为 $t = \frac{a - \ln[(1 + \theta)^{1/\theta} - 1]}{r}$ 。

3 结果与分析

3.1 不同林型黄山松林

3.1.1 黄山松纯林 由表 1 数据, 经遗传算法最优拟合得下式: $S_1 = 45.371 0/(1 +$

表 1 黄山松不同林型各径级断面积 \tilde{S}_i 值

Table 1 The basic area value \tilde{S}_i of each BHD grade in different *Pinus taiwanensis* forest types $m^2 \cdot hm^{-2}$

断面积序列	纯 林	近 纯 林	黄山松马尾松混交林
\tilde{S}_1	0	0.025 0	0.145 0
\tilde{S}_2	0.640 0	0.332 5	0.575 0
\tilde{S}_3	2.152 5	2.175 0	2.135 0
\tilde{S}_4	10.597 5	8.447 5	4.645 0
\tilde{S}_5	20.340 0	18.610 0	9.737 5
\tilde{S}_6	28.590 0	29.080 0	14.645 0
\tilde{S}_7	33.950 0	33.087 5	23.207 5
\tilde{S}_8	40.907 5	36.562 5	29.962 5
\tilde{S}_9	43.070 0	38.940 0	36.272 5
\tilde{S}_{10}		38.940 0	39.197 5
\tilde{S}_{11}		42.335 0	41.730 0
\tilde{S}_{12}		42.335 0	
\tilde{S}_{13}		47.440 0	

表 2 不同密度黄山松纯林各径级断面积 \tilde{S}_i 值

Table 2 The basic area value \tilde{S}_i of each BHD grade in pure *Pinus taiwanensis* forest with different densities $m^2 \cdot hm^{-2}$

断面积序列	2 115 株 $\cdot hm^{-2}$	1 620 株 $\cdot hm^{-2}$	1 080 株 $\cdot hm^{-2}$
\tilde{S}_1	0.020 0	0.027 5	0
\tilde{S}_2	0.872 5	0.577 5	0.625 0
\tilde{S}_3	5.407 5	2.407 5	0.672 5
\tilde{S}_4	15.307 5	9.885 0	6.040 0
\tilde{S}_5	22.470 0	23.332 5	16.825 0
\tilde{S}_6	32.302 5	31.052 5	28.295 0
\tilde{S}_7	39.207 5	37.307 5	37.252 5
\tilde{S}_8	40.802 5		38.825 0
\tilde{S}_9	45.307 5		41.015 0
\tilde{S}_{10}			43.600 0
\tilde{S}_{11}			47.077 5
\tilde{S}_{12}			51.070 0

$e^{2.9822-0.7275t} t^{2.0621}$; $r=0.9951$ 。黄山松纯林胸高断面积最大增长速度 $\left. \frac{dS_1}{dt} \right|_{\max} = 8.0352$ $m^2/$ 径级年, 对应时间 $t=4.5491$ 径级年, 换算成胸径数值为 18.2 cm, 介于 16.0~20.0 cm 范围之内。因此, 当胸径值低于 16.0~20.0 cm 范围时, 黄山松种群胸高断面积随时间增加

而增加, 其增长速度的加速度为正; 当胸径处于 11.0~20.0 cm 时, 黄山松纯林的增长速度达到最大, 加速度为零, 这是 G-logistic 曲线的拐点; 胸径超过 16.0~20.0 cm 时, 种群胸断面积增长速度减慢, 加速度为负值。

3.1.2 黄山松近纯林 $S_2 = 42.5605 / (1 + e^{2.5164 - 0.7110t})^{2.7835}$; $r = 0.9889$ 。黄山松近纯林林分胸高断面积最大增长速度 $\frac{dS_2}{dt} \Big|_{\max} = 7.1298 \text{ m}^2/\text{径级年}$, 对应时间 $t = 4.2275$ 径级年, 换算成胸径值为 16.91 cm, 介于 16.0~20.0 cm 范围之内。同样, 可以得到黄山松近纯林林分的胸径在小于、等于、大于 16.0~20.0 cm 时相对应的种群胸高断面积增长速度的加速度分别为正值、零和负值。

3.1.3 黄山松与马尾松混交林 $S_3 = 45.9468 / (1 + e^{3.3583 - 0.5778t})^{1.7049}$; $r = 0.9993$ 。混交林黄山松胸高断面积最大增长速度 $\frac{dS_3}{dt} \Big|_{\max} = 6.5476 \text{ m}^2/\text{径级年}$, 对应时间 $t = 6.2157$ 径级年, 换算成胸径值为 24.8 cm, 介于 24.0~28.0 cm 之间。因此, 黄山松与马尾松混交林的黄山松林分胸径值小于、等于、大于 24.0~28.0 cm 时, 相对应的种群胸高断面积增长速度的加速度依次为正值、零和负值。

为此, ①从 3 种林型的黄山松种群胸高断面积增长的 G-Logistic 模型可以看出, 黄山松混交林黄山松种群胸高断面积环境容纳量为 45.9468 m^2 , 高于黄山松纯林 (45.3710 m^2), 也高于黄山松近纯林 (42.5605 m^2), 说明黄山松与马尾松混交有利于黄山松种群的生长。②从内禀增长率分析可以看出, 黄山松纯林具有胸高断面积增长速度优势, 由环境容纳量、内禀增长率以及最大增长速度三要素可以看出, 黄山松混交林要达到黄山松种群可能最大胸径高断面积比纯林及近纯林所需时间要长得多。

3.2 不同密度的黄山松纯林

3.2.1 密度为 2115 株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 黄山松纯林 由表 2 数据经遗传算法最优拟合得: $S_4 = 46.9834 / (1 + e^{2.2047 - 0.6689t})^{2.9320}$; $r = 0.9966$ 。密度为 2115 株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 的黄山松纯林种群胸高断面积最大增长速度 $\frac{dS_4}{dt} \Big|_{\max} = 7.3502 \text{ m}^2/\text{径级年}$, 对应时间 $t = 3.8030$ 径级年, 换算成胸径值为 15.2 cm, 介于 12.0~16.0 cm 范围内。因此, 当该密度状态下的黄山松林分胸径低于 12.0~16.0 cm 时, 种群胸高断面积随时间增长而增长, 其增长的加速度为正; 当胸径处于 12.0~16.0 cm 时, 其增长速度达到最大, 加速度为零, 这是 G-logistic 曲线的拐点; 当胸径超过 12.0~16.0 cm 时, 种群胸高断面积增长速度减慢, 加速度为负值。

3.2.2 密度为 1620 株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 黄山松纯林 $S_5 = 40.4084 / (1 + e^{3.8733 - 1.0337t})^{2.3894}$; $r = 0.9985$ 。密度为 1620 株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 黄山松纯林种群胸高断面积最大增长速度 $\frac{dS_5}{dt} \Big|_{\max} = 9.9499 \text{ m}^2/\text{径级年}$, 对应时间 $t = 4.1391$ 径级年, 换算成胸径值为 16.56 cm, 介于 16.0~20.0 cm 范围内。因此, 该类型林分黄山松种群胸径小于、等于、大于 16.0~20.0 cm 时, 对应种群胸高断面积增长速度的加速度分别为正值、零和负值。

3.2.3 密度为 1080 株 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 黄山松纯林 $S_6 = 48.0629 / (1 + e^{1.5247 - 0.6516t})^{3.6549}$; $r = 0.9873$ 。因此, 该黄山松种群胸高断面积最大增长速度 $\frac{dS_6}{dt} \Big|_{\max} = 7.0613 \text{ m}^2/\text{径级年}$, 对

应时间 $t = 3.3347$ 径级年, 换算成胸径值为 10.00 cm , 介于 $8.0 \sim 12.0 \text{ cm}$ 范围。故当该黄山松种群胸径小于、等于和大于 $8.0 \sim 12.0 \text{ cm}$ 时, 对应种群胸高断面积增长速度的加速度分别为正值、零和负值。

3 种不同密度的黄山松纯林种群胸高断面积增长的 G-logistic 模型分析、对比表明, 密度为 $1080 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的黄山松纯林种群胸高断面积环境容量为 48.0629 m^2 , 比其他两者略高, 说明在 3 种不同密度的黄山松纯林中, 其处于最优地位。从内禀增长率来看, 密度为 $1620 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 黄山松纯林内禀增长率最大 (1.0337), 说明在生长前期, 其胸高断面积增长速度明显高于其他两者; 从最大增长速度看, $\left. \frac{dS_5}{dt} \right|_{\max} = 9.9449 > \left. \frac{dS_4}{dt} \right|_{\max} = 7.3502 > \left. \frac{dS_6}{dt} \right|_{\max} = 7.0613$, 说明在达到相同的增长速度时, 所需时间密度为 $1080 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2} >$ 密度为 $2115 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2} > 1620 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

4 讨论

在原始状态下, 黄山松种群在空间上分布的各个不同大小等级能够代表时间上的顺序发生的不同等级水平, 即黄山松种群胸高断面积的空间分布可以看成是种群以时间顺序发生的各个阶段具有的胸高断面积水平, 这就是本文的基本思路。

从结果分析可以看出: 以黄山松为优势种的 3 种林型中, 黄山松混交林胸高断面积环境容纳量为最大, 但达到该点所需时间较长, 而从总体上看, 黄山松纯林种群胸高断面积增长占优势; 在不同密度的纯林中, 又以密度为 $1080 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 黄山松处于最优地位。

G-logistic 曲线为非线性模型, 其拟合方法常用麦夸方法, 但麦夸方法计算复杂。本文采用遗传算法实现其最优拟合, 效果很理想。

参 考 文 献

- 1 洪伟, 吴承祯, 林成来等. 龙栖山黄山松种群优势度增长规律研究. 福建林学院学报, 1997, 17 (2): 1~5
- 2 Pearl R, Read L J. On the rate of growth of the population of the United states since 1790 and its mathematical representation. *Prec Nat Acaõ Sã*, 1920, 6: 275~288
- 3 吴秉礼, 谈克平, 赵志炜. 森林资源保护与管理的数学模型. 林业科学, 1986, 22 (2): 135~140
- 4 曹广侠, 曾觉民. 云冷杉林建群种的种群优势度增长动态研究. 植物生态学与地植物学学报, 1991, 15 (3): 207~215
- 5 兰斌, 洪伟. 闽北森林资源管理的数学模型. 福建林学院学报, 1996, 16 (1): 66~70
- 6 潘辉, 洪伟. 三次设计拟合 logistic 曲线的研究. 生物数学学报, 1992, (3): 1~7
- 7 张大勇, 赵松龄. 森林自疏过程中密度变化规律的研究. 林业科学, 1985, 21 (4): 369~374
- 8 吴承祯, 洪伟. 用遗传算法改进约束条件下造林规划设计的研究. 林业科学, 1997, 33 (2): 133~141
- 9 吴承祯, 洪伟. 一元材积方程 $V = aD^b$ 的遗传算法最优拟合研究. 西南林学院学报, 1996, 16 (3): 166~171
- 10 洪伟, 吴承祯. Taylor 幂法则模型的遗传算法最优拟合研究. 福建林学院学报, 1997, 17 (1): 1~5

Wu Chengzhen (Fujian College of Forestry, Nanping 353001, PRC), Hong Wei, and Lin

Chenglai. Study on quantitative dynamics of *Pinus taiwanensis* population. *Journal of*

Zhejiang Forestry College, 1998, **15** (3): 274 ~259

Abstract: Based on analysing the shortcomings of the logistic model which is a limited space growth model for population, the paper deals with the quantitative dynamics of *Pinus taiwanensis* population in Longxi Mountains Natural Reserve by a generalized logistic curve, and points out the highest growth rate at breast-height diameter range in different community types of *Pinus taiwanensis* forest and in pure forests with different densities. The results show that generalized logistic curve do fit the quantitative dynamics of the population. This study provides a theoretical basis on the production and management of *Pinus taiwanensis*.

Key words: *Pinus taiwanensis*; population dynamics; basic area at breast-height; G-logistic model

Shashi Kant 博士一行 2 人来我院开展合作研究

加拿大多伦多大学林业经济专家 Shashi Kant 博士一行 2 人 1998 年 6 月 8 日来我院, 进行为期 2 个月的合作研究。主要研究内容为中国、印度竹类生产和消费体系的比较研究。合作研究期间, 2 位外国专家将与我院有关教师座谈, 并走访临安市竹类生产重点乡镇, 了解当地竹类生产、经营和消费的现状等。

6 月 21 日晚 Shashi Kant 博士应邀为我院师生作了题为《世界林业研究的最新进展》的学术报告。

(凌申坤)