第3卷 第5期　　林业科学研究　　Vol. 3, No.5
1990年10月　　FOREST RESEARCH　　Oct., 1990

杨树溃疡病引致幼树生长量损失模型研究及其对生物学规律的解释*

张 淑 娟
（中国林业科学研究院资源信息研究所）

曾大鹏　戴玉成　　刘春静
（中国林业科学研究院林业研究所）　（辽宁省铁岭市林业科学研究所）

摘要　在研究杨树溃疡病导致幼树生长量损失的过程中，找到一个适用的回归模型。经数学检验，回归曲线形状合理，各项指标均较好。此外，使用此模型能从数学上精确地描述生长量变化的生物学规律，这对生产部门预测病害可能造成的损失，掌握防治指标及估算防治经济效益具有重要意义。

关键词　生长量损失模型；生物学特征；杨树溃疡病

杨树溃疡病（*Dothorella gregraria* Sacc.）是杨树的一种重要病害。为了更有效地控制该病造成的危害，本项研究根据它对幼树生长量影响的实测数据，通过反复分析对比，不断探索，找到了一种简单实用的回归模型，可用来估测不同病情下生长量减少的规律。与著名的Logistic生长模型进行比较，本文提出的模型在此项研究中表现出较好的特性。

一、实验数据处理

本项研究的部分结果及本文中的数据来源已在有关文章中叙述[1]。试验品种选取感病程度中等偏重的小×黑、加杨及美×5_{59}三种。调查因子由两部分组成：

1. 生长量调查　测量树高(cm)及胸径(cm)作为因变量，整理成3个因子：

y_1——株高年增长量(cm)；

y_2——胸径年增长量(cm)；

y_3——材积年增长量(cm^3)(由计算得出)。

2. 病情调查　选择以下5个病情因子做为自变量：

x_1——水泡型溃疡斑个数；

x_2——胸径以下大型溃疡斑面积(cm^2)；

本文于1990年3月27日收到。

*本文系国家"七五"攻关项目——专题"华北地区光肩星天牛溃疡病为主的杨树病虫害综合防治技术研究"的内容之一。

本项研究得到中国林科院唐守正研究员、华网坤副研究员的帮助，在此表示感谢。

x_3——胸径以上大型溃疡斑面积(cm^2)；

x_4——x_2+x_3；

x_5——胸径以下大型溃疡斑面积与胸径以下树周面积的比值(%)。

在各品种中，淘汰树干虫害严重者及个别数据不完整者，最后测得样本数据分别为：小×黑，42株；加杨，64株；美×5_{59}，65株。

为便于实际测量及推广应用，应在能准确估测病情的前提下，尽量减少测量因子。为此，采用了相关分析的办法，从8个因子中找出自变量与因变量之间最显著相关的一对因子。三个品种相关分析结果相同，即胸径以下大型溃疡斑面积与其树周面积的比值与胸径年增长量之间的相关系数最大，因此选取 x_5 及 y_2 作为分析病情对生长量影响的主要因子（表1）。

表1　　病情与生长量因子相关分析结果

树　种	生长量因子	病情因子 x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	相关最显著因子
美×5_{59}	y_1	0.1652	−0.2596	0.0910	−0.1383	−0.2865	(x_5, y_2)
	y_2	0.0831	−0.6784	0.0165	−0.5256	−0.7323	
	y_3	0.0779	−0.2538	−0.0201	−0.2161	−0.2815	
加　杨	y_1	0	−0.6148	0.1485	−0.5372	−0.6783	(x_5, y_2)
	y_2	0	−0.8242	0.1010	−0.7503	−0.8684	
	y_3	0	−0.5585	0.0637	−0.5099	−0.5777	
小×黑	y_1	−0.0053	−0.3166	−0.1083	−0.3313	−0.3551	(x_5, y_2)
	y_2	0.4003	−0.7028	0.0258	−0.6611	−0.7543	
	y_3	0.0963	−0.2908	0.0607	−0.2595	−0.3472	

为便于分析自变量 x_5 与因变量 y_2 之间的关系，将数据以自变量 x_5 为标准进行分组，分组步长选择1%，将组内的 x_5 及对应的 y_2 取其平均值作为回归模型的样本数据。分组结果见参考文献[1]。

二、生长量损失模型

当样本数据准备好后，关键在于选择好的数学模型，并进行曲线拟合。一个好的模型不仅要求对样本资料有较宽的适应性、较高的相关系数 R、较小的剩余均方差 Se，更重要的是曲线的形状应符合植物病理学原理。本项研究中，曾对包含有 Logistic 生长模型在内的众多模型进行了对比分析，希望找出较好的一个。经过反复试验，最后得到一种较为简单实用的回归模型：

$$y=a+b/(c+x^d)$$

其中 a、b、c、d 为回归参数，由实测样本数据 x 和 y 回归得到。本文把它叫做生长量损失模型，简称为GL模型。

本项研究采用了三个不同品种、不同病情下的实测分组数据进行回归分析，发现GL模型具有较高的相关系数及较小的剩余均方差(表2)。为便于应用，表中同时给出 $d=2$ 及 $d=3$ 时的回归结果。作为对比，表中也列出了Logistic生长模型的回归结果。

表2 回归结果比较

树种	回归参数 \ 公式	GL 2 $y=a+\frac{b}{c+x^2}$	GL 3 $y=a+\frac{b}{c+x^3}$	GLD $y=a+\frac{b}{c+x^d}$	LOGISTIC $y=\frac{K}{1+M_E^{-rx}}$
美×5_{59}	a	−0.154 06	−0.011 64	−0.018 89	M=0.048 39
	b	118.521 94	748.591 65	0.969 33	r = −0.368 55
	c	102.911 30	780.938 10	0.001 55	K=1.075 69
	d	2	3	2.909 04	
	R	0.939 49	0.942 08	0.942 10	0.860 68
	Se	0.014 5	0.013 95	0.013 95	0.016 89
加杨	a	−0.413 60	−0.105 93	−0.130 93	M=0.067 07
	b	278.321 13	1729.951 96	1.753 68	r = −0.362 10
	c	133.011 50	1004.543 00	0.001 34	K=1.950 08
	d	2	3	2.859 02	
	R	0.951 06	0.952 66	0.952 71	0.912 08
	Se	0.047 94	0.045 59	0.045 54	0.065 35
小×黑	a	−0.084 87	0.005 47	−0.231 53	M=0.141 20
	b	110.169 72	901.102 46	1.011 68	r = −0.273 55
	c	131.454 80	1274.675 00	0.019 68	K=0.999 98
	d	2	3	1.495 44	
	R	0.897 32	0.886 84	0.899 42	0.828 66
	Se	0.018 14	0.019 90	0.017 81	0.026 09

用三个品种的分组均值数据对回归模型GL进行曲线适合性检查，结果见表3。其中计算得到的F值是个统计量，F的数值越小越好。构成统计量的原理及公式见参考文献〔2〕。由表3中的3组数据可以看出，计算得到的F值均小于查表得到的f值，这表明3个回归模型均具有合适的曲线形状(图1)。

表3 曲线适合性检验结果

树种	计算的F值	样本数	查$\alpha=0.05$时的F分布表
美×5_{59}	0.895 287	17	$f(2,15)=3.68$
加杨	0.678 569	16	$f(2,14)=3.74$
小×黑	1.805 719	19	$f(2,17)=3.59$

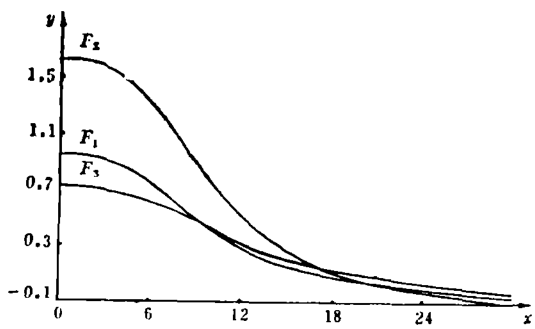

图1 GL模型回归曲线

三、GL模型的生物学特性

GL模型能从数学上精确地描述生长量变化的生物学规律，可从以下几方面进行讨论。

1. 生长量方程 GL方程的曲线呈反“S”型，较好地符合生长量变化的自然规律(图2)。当$x=0$时，$y=y_0=a+b/c$，表示无病时的生长量。当$y=0$时，$x=D_x=(-b/a-c)^{1/d}$，表示停止生长时的病情。

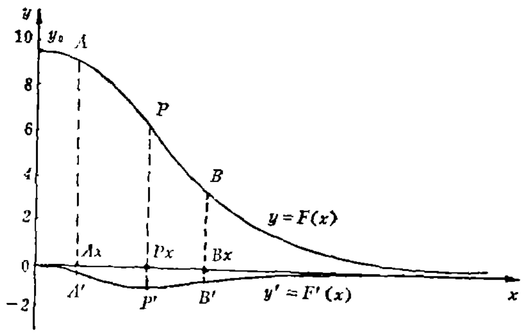

图2　生长曲线y与生长率曲线y'

2. **GL生长率方程**　生长率方程描述生长量变化的速度，由GL模型求y对x的一阶导函数得到：

$$y'=-bdx^{d-1}/(c+x^d)^2$$

令$y'=0$，可求出当$x=0$时，曲线达极大值y_0，刚好表示未发病时生长量最大。

3. **生长率变化速度方程**　生长率变化速度方程可以由GL生长量方程求y对x的二阶导函数得到：

$$y''=bdx^{d-2}[(d+1)x^d-c(d-1)]/(c+x^d)^3$$

令$y''=0$，可求出生长率变化曲线的极值点P'，此点对应GL生长量曲线y的拐点P，实际意义为在曲线拐点处的生长量下降速度最快。拐点P坐标的计算公式为：

$$P_x=[c(d-1)/(d+1)]^{1/d}$$

$$P_y=a+b(d+1)/2cd$$

4. **生长量损失最迅速区间的定义及求法**　从图2可见生长率曲线y'还有自己的两个拐点A'和B'，它们分别对应生长量曲线y上的点A和B。对应的x坐标值为A_x，B_x。定义区间(A_x，B_x)为生长量快速下降区间。根据此定义，只要令GL曲线方程y对x的三阶导函数值为0，即可求出对应的A_x及B_x值。

$$y'''=\frac{bdx^{d-3}[4c(d^2-1)x^d-(d+1)(d+2)x^{2d}-c^2(d-1)(d-2)]}{(c+x^d)^4}$$

令$y'''=0$，$x^d=X$，可求出：

$$4c(d^2-1)X-(d+1)(d+2)X^2-c^2(d-1)(d-2)=0$$

$$X_{1,2}=\frac{2c(d^2-1)\pm cd\sqrt{3(d^2-1)}}{(d+1)(d+2)}$$

当$d^2>1$时，可求出：

$$A_x=X_2{}^{1/d}\quad B_x=X_1{}^{1/d}$$

以上结果均是由方程$y=a+b/(c+x^d)$推出。若使用方程$y=a'+b'/(1+c'x^{d'})$时，只要做一变换即可，即令$b'=b/c$；$c'=1/c$；$a'=a$；$d'=d$。表4中给出变量的各阶导数为0时，对应曲线上关键点坐标计算公式。将回归参数a、b、c、d代入公式即可求出相应数值。这些数值对预测病害可能造成的损失，掌握防治指标及估算防治效果具有重要参考价值。

四、生长量损失估测

根据GL生长量损失回归模型

$$y=a+b/(c+x^d)\qquad (x\geqslant 0)$$

对任一实测病情因子x可求出对应的生长量y的估计值$\hat{y}$。反之，从GL生长量损失回归模型不难求出其反函数方程：

$$x=[(b/(y-a)-1)/c]^{1/d}\qquad (y\geqslant 0)$$

对任一实测生长量 y 的值，可由反函数方程求出对应的病情因子 x 的估计值 $\hat{x}$。

根据表4中给出的关键点计算公式，可将各树种的回归系数代入求出对应的阈值，这些数值可供估测病情时参考。下面给出按病情因子分级和按生长量分级的二种估测病情对生长量影响的参考方案(表5)。

表4　GL曲线上关键点计算公式

公式	$y=a+b/(c+x^d)$		$y=a+b/(c+x^3)$		$y=a+b/(c+x^2)$	
坐标 / 关键点	x	y	x	y	x	y
D_x	$(-b/a-c)^{\frac{1}{d}}$	0	$(-b/a-c)^{\frac{1}{3}}$	0	$(-b/a-c)^{\frac{1}{2}}$	0
$y_0=y_{max}$	0	$a+b/c$	0	$a+b/c$	0	$a+b/c$
P	$[c(d-1)/(d+1)]^{\frac{1}{d}}$	$a+b(d+1)/2cd$	$(c/2)^{\frac{1}{3}}$	$a+2b/3c$	$(c/3)^{\frac{1}{2}}$	$a+3b/4c$
A_x	$\left[\frac{2c(d^2-1)-cd\sqrt{3(d^2-1)}}{(d+1)(d+2)}\right]^{\frac{1}{d}}$		$\left(\frac{8-3\sqrt{6}}{10}\cdot c\right)^{\frac{1}{3}}$		0	
B_x	$\left[\frac{2c(d^2-1)+cd\sqrt{3(d^2-1)}}{(d+1)(d+2)}\right]^{\frac{1}{d}}$		$\left(\frac{8+3\sqrt{6}}{10}\cdot c\right)^{\frac{1}{3}}$		$c^{\frac{1}{2}}$	

表5　二种分级参考方案

级别	按病情因子分级	按生长量分级
Ⅰ级	$0\leqslant x\leqslant A_x$	$A_y\leqslant y$
Ⅱ级	$A_x<x\leqslant P_x$	$P_y\leqslant y<A_y$
Ⅲ级	$P_x<x\leqslant B_x$	$B_y\leqslant y<P_y$
Ⅳ级	$B_x<x\leqslant x_D$	$0\leqslant y<B_y$

其分级含义分别为：

Ⅰ级：病情较轻，生长量下降缓慢；

Ⅱ级：病情加重，生长量下降迅速；

Ⅲ级：病情严重，生长量下降迅速；

Ⅳ级：病情很重，生长量下降缓慢，趋于停止。

五、结　语

本文在杨树溃疡病引致幼树生长量损失的实测数据基础上，提出GL生长量损失估测模型，对该模型的特点及应用做了初步探讨。对该模型在其它树种、其它病情及各种条件下的适用性有待进行更深入的研究。

参考文献

[1] 曾大鹏等，1990，杨树溃疡病引致幼树生长量损失估测，林业科学研究，3(4)：330～334。

[2] 郎奎健等，1989，IBMPC系列程序集，中国林业出版社。

STUDY ON GROWTH LOSS MODEL OF YOUNG POPLAR CAUSED BY *DOTHORELLA GREGRARIA*

Zhang Shujuan

(*The Research Institute of Forest Resource Information Techniques CAF*)

Zeng Dapeng Dai Yucheng

(*The Research Institute of Forestry CAF*)

Liu Chunjing

(*Forestry Research Institute of Tielin City, Liaoning Province*)

Abstract A kind of suitable regressive model was found in the research of growth loss of young poplars infected by *Dothorella gregraria*. Statistical examination showed that the models have higher interrelation between variables, less residuals and better regressive curved lines than many other tested models. Besides, the models can exactly describe biological regularity of growth change. The results are of importance for some production departments to predict the growth and yield loss caused by some plant diseaes, master prevention indices and estimate economic benifits.

Key words growth loss model; biological regularity; *Dothorella gregraria*

向林业干部推荐一本好书——介绍《干部必读——现代林业知识》

林业，在国民经济中的地位日益重要。林业生产，正处于全面发展的新时期。向广大群众普及林业知识，提高林业生产的科技水平，已成为促进林业发展的当务之急。中国林学会科普工作委员会及时邀集全国几十位专家学者编写了《干部必读——现代林业知识》一书，以应形势的需要，达到传播知识，绿化祖国，振兴林业，发展经济的目的。

《现代林业知识》是一本集科学性、思想性、系统性、实用性于一体，面向生产，注重实用的类似林业小百科的工具书。它的特点是：

（一）知识新颖、信息量大。除提供必要的林业基础知识外，重点介绍80年代以来林业最新科技知识和生产经验，包括：①国内外林业概况及今后发展趋势；②森林的多种效益；③保护森林资源；④发展森林资源；⑤综合经营；⑥园林绿化；⑦自然保护；⑧采伐与更新；⑨木材加工技术；⑩林产化工技术，共十大部分，对读者的工作和学习大有裨益。

（二）编排创新，检索方便。本书不是以音序、笔划排列，而是以设题答卷的形式，将林业知识按不同学科细分为500多条独立的知识主题，帮助读者释疑解惑，提供信息。当读者找到需要的条目时，在该条目的前后还能出现相关的条目，这样，可获得更系统的知识。

此外，本书用通俗确切的文字，深入浅出地介绍林业各种知识，可适合广大群众和各级干部阅读。请读者不妨一阅，方知开卷有益。 （凌 云）