

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

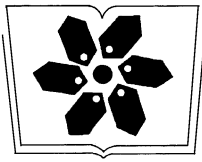
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第7期 Vol.33 No.7 **2013**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 7 期

2013 年 4 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 线虫转型发育和寄主识别的化学通讯研究进展..... 张 宾,胡春祥,石 进,等 (2003)
- 生物物种资源监测原则与指标及抽样设计方法..... 徐海根,丁 晖,吴 军,等 (2013)

个体与基础生态

- 呼伦贝尔草原人为火空间分布格局..... 张正祥,张洪岩,李冬雪,等 (2023)
- 青藏高原草地地下生物量与环境因子的关系..... 杨秀静,黄 玫,王军邦,等 (2032)
- 1961—2010 年桂林气温和地温的变化特征 陈 超,周广胜 (2043)
- 黄泥河自然保护区狗冬季卧息地选择..... 朱洪强,葛志勇,刘 庚,等 (2054)
- 青藏高原草地植物叶解剖特征..... 李全发,王宝娟,安丽华,等 (2062)
- 青藏高原高寒草甸夏季植被特征及对模拟增温的短期响应..... 徐满厚,薛 娴 (2071)
- 高温影响番茄小孢子发育的细胞学研究..... 彭 真,程 琳,何艳军,等 (2084)
- 黄土丘陵半干旱区柠条林株高生长过程新模型..... 赵 龙,王振凤,郭忠升,等 (2093)
- 柝属 7 种植物种子的发芽抑制物质研究..... 李庆梅,刘 艳,刘广全,等 (2104)
- 水分胁迫和杀真菌剂对黄顶菊生长和抗旱性的影响..... 陈冬青,皇甫超河,刘红梅,等 (2113)
- 铜尾矿废弃地与相邻生境土壤种子库特征的比较..... 沈章军,欧祖兰,田胜尼,等 (2121)
- 云雾山典型草原火烧不同恢复年限土壤化学性质变化..... 李 媛,程积民,魏 琳,等 (2131)
- 根系分区交替灌溉条件下水肥供应对番茄果实硝酸盐含量的影响..... 周振江,牛晓丽,李 瑞,等 (2139)
- 喀斯特山区土地利用对土壤团聚体有机碳和活性有机碳特征的影响..... 李 娟,廖洪凯,龙 健,等 (2147)
- 自生固氮菌活化土壤无机磷研究..... 张 亮,杨宇虹,李 倩,等 (2157)
- 德国鳶尾对 Cd 胁迫的生理生态响应及积累特性 张呈祥,陈为峰 (2165)
- 施污土壤重金属有效态分布及生物有效性..... 铁 梅,宋琳琳,惠秀娟,等 (2173)
- 基于叶面积指数改进的直角双曲线模型在玉米农田生态系统中的应用..... 孙敬松,周广胜 (2182)
- 中稻田三种飞虱的捕食性天敌优势种及农药对天敌的影响..... 林 源,周夏芝,毕守东,等 (2189)

种群、群落和生态系统

- 珠江口超微型浮游植物时空分布及其与环境因子的关系..... 张 霞,黄小平,施 震,等 (2200)
- 输水前后塔里木河下游物种多样性与水因子的关系..... 陈永金,刘加珍,陈亚宁,等 (2212)
- 南海西北部陆架区鱼类的种类组成与群落格局..... 王雪辉,林昭进,杜飞雁,等 (2225)
- 滇西北高原碧塔湖滨沼泽植物群落分布与演替 韩大勇,杨永兴,杨 杨 (2236)
- 石羊河下游白刺灌丛演替过程中群落结构及数量特征..... 靳虎甲,马全林,何明珠,等 (2248)

资源与产业生态

- 土壤深松和补灌对小麦干物质生产及水分利用率的影响..... 郑成岩,于振文,张永丽,等 (2260)

豆科绿肥及施氮量对旱地麦田土壤主要肥力性状的影响..... 张达斌,姚鹏伟,李 婧,等 (2272)

沟壑全覆盖种植方式对旱地玉米生长及水分利用效率的影响..... 李 荣,侯贤清,贾志宽,等 (2282)

城乡与社会生态

北京北护城河河岸带的温湿度调节效应 吴芳芳,张 娜,陈晓燕 (2292)

西安太阳总辐射时空变化特征及对城市发展的响应..... 张宏利,张纳伟锐,刘敏茹,等 (2304)

研究简报

安徽琅琊山大型真菌区系多样性..... 柴新义,许雪峰,汪美英,等 (2314)

中国生态学会 2013 年学术年会征稿通知 (2320)

第七届现代生态学讲座、第四届国际青年生态学者论坛通知 (I)

中、美生态学会联合招聘国际期刊主编 (i)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 318 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-04



封面图说: 金灿灿的小麦熟了——小麦是世界上最早栽培的农作物之一,是一种在世界各地广泛种植的禾本科植物,起源于中东地区。全世界大概有 43 个国家,近 35%—40% 的人口以小麦为主要粮食。小麦是禾谷类作物中抗寒能力较强的越冬作物,具有一定的耐旱和耐盐碱能力。中国的小麦分布于全国各地,主要集中于东北平原、华北平原和长江中下游一带。小麦秋季播种、冬季生长、春季开花、夏季结实。子粒含有丰富的淀粉、较多的蛋白质、少量的脂肪,还有多种矿物质元素和维生素 B,是一种营养丰富、经济价值较高的粮食。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201112191929

赵龙, 王振凤, 郭忠升, 郭满才, 袁志发. 黄土丘陵半干旱区柠条林株高生长过程新模型. 生态学报, 2013, 33(7): 2093-2103.

Zhao L, Wang Z F, Guo Z S, Guo M C, Yuan Z F. A new plant height growth process model of *Caragana* forest in semi-arid loess hilly region. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(7): 2093-2103.

黄土丘陵半干旱区柠条林株高生长过程新模型

赵 龙¹, 王振凤¹, 郭忠升^{2,3,*}, 郭满才¹, 袁志发¹

(1. 西北农林科技大学理学院, 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学水土保持研究所, 杨凌 712100;

3. 中国科学院水利部水土保持研究所, 杨凌 712100)

摘要: 黄土丘陵半干旱区柠条林的株高生长不随时间单调增加, 在生长末期因生长动力小于生长阻力, 株高随时间小幅度减小。采用宁夏固原上黄生态站柠条林的生长观测资料, 以经典 Logistic 方程为基础, 添加了生长阻力因素, 建立了柠条林生长的改进模型, 使得生长速率在生长末期出现负值; 并以高密度柠条成林多年生长观测数据为依据, 建立了连年生长模型。用数学建模和统计检验的方法对数据进行处理, 其结果表明, 改进模型较 Logistic 方程具有更高的拟合度和相关系数。建立的模型与传统生长方程不同, 由于微分方程中引入了阻力因子, 故生长曲线中存在极值坐标且不具有严格单调性。将多年的株高生长曲线综合到一个坐标系内后, 新模型中位置参数 a 与内禀增长率 b 的比值随着生长呈现逐渐增大的趋势。改进模型的生长顶点出现在 8 月, 与柠条林株高的实际生长过程吻合; 计算了新模型的生长顶点与生长期结束时的株高的差值, 并将该值记为生长损失。由于柠条林的灌丛较为矮小, 在越冬时干梢现象对株高的影响不可忽略, 该过程导致生长方程中第二年初始点小于第一年最末点; 在考虑了该现象后所建立的连年生长模型中, 2002 年和 2003 年干梢现象的终止点位于 2 月, 与植物生长的节律吻合。本研究为描述半干旱区灌木林生长过程提供了依据。

关键词: 柠条; 株高生长; 过程模型; 麦夸法

A new plant height growth process model of *Caragana* forest in semi-arid loess hilly region

ZHAO Long¹, WANG Zhenfeng¹, GUO Zhongsheng^{2,3,*}, GUO Mancui¹, YUAN Zhifa¹

1 College of Science, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling Shanxi 712100 China

2 Institute of Soil and Water Conservation, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling Shanxi 712100 China

3 Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Science and Ministry of Water resource, Yangling Shanxi 712100 China

Abstract: Height growth of *Caragana korshinskii* in semi-arid loess hilly region was not always monotonous increasing with time. Because growth power was less than growth resistance in late growth stage, plant height weakly reduced with time. In this article, two growth model were established. Adding a growth resistance factor to the classical Logistic model, the first one was improved growth model, which made growth rate negative in late growth stage. The second one was multi-year growth model, which was based on the growth observation data of ripe *Caragana korshinskii* with a high density of 87 brush per 100 square. The result showed that the improved model had higher goodness of fit and correlation coefficient than that of Logistic model using modeling data to fit and test data to verify. Model established in this article was different with classic plant growth model. Because resistance factor was introduced into differential equation, growth curve, where extreme coordinate exist, was not strict monotonous. Because multi year height growth curves were synthesized into one coordinate system, the ratio of position parameter a and intrinsic growth rate b in new model became more and more large with growth.

基金项目: 国家自然科学基金(41071193); 中央高校基本科研业务经费专项资金资助(QN2010101)

收稿日期: 2011-12-19; **修订日期:** 2012-10-26

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhongshengguo@sohu.com

Growth vertex appeared in middle ten days of August, which was consistent with the actual growth process of height. The difference of growth vertex and plant height in late growth stage, which was called growth loss, was calculated. Because *Caragana korshinskii* shrub was low, the process that dry topped phenomenon of *Caragana korshinskii* could influence on plant height in winter could not be ignored. This process caused the height at initial growth point in second year lower than that at last growth point in first year. In consideration of dry topped phenomenon, termination point of the winter drying phenomenon in multi-year growth model from 2002 to 2003 located in February, which was consistent with the rhythm of plant growth. This research provided evidence for describing growth process of shrub in semi-arid region.

Key Words: *Caragana korshinskii*; plant height growth; process model; Levenberg-Marquardt method

柠条(*Caragana korshinskii*)是锦鸡儿属的一种植物,是我国西北、东北、华北地区营造水土保持和防风固沙林的主要灌木树种^[1]。柠条林生长状况关系到半干旱地区的植被恢复和生态环境建设。利用数学模型描述植物生长过程是一种常用方法^[2]。通常以“S”型曲线模拟植物生长过程^[3-5],最普遍使用的是1838年由Verhulst提出的Logistic方程。该模型反映了生命体生长过程中的较简单的密度制约关系,然而自然界中生命体生长指标的变化较为复杂,这种简单的变化关系已经不能满足对实验数据处理的要求,许多研究者对该模型实行多种变形^[6-11]。但由于生长环境非常复杂,有关植物在极高的密度制约下生长曲线的单调性发生改变的报道较为少见。在黄土丘陵半干旱地区,柠条在1年内的生长并非严格单调增加,其生活史较长。柠条生长不仅有日变化^[12-13],季节变化,而且还有年际变化。本研究通过分析半干旱区柠条生长过程,试图建立柠条林1年和多年生长模型,为多年生植物生长过程模拟、植被恢复^[14]和生态环境建设提供参考。

1 研究区概况

研究区位于黄土高原西部的宁夏固原市原州区河川乡固原生态试验站上黄生态实验站。区内地势起伏,沟壑纵横,水土流失严重,地理位置为东经106°26′—106°30′,北纬35°59′—36°02′,区内沟沿线以上坡度较缓,沟沿线以下坡度大于25°。海拔高度约1534—1824m。年均气温7.0℃,1983—2001年平均年降雨量415.6mm,降水年变率22.8%。无霜期152d,土壤为黄土母质发育的黄绵土。试验地的草本植物主要有长芒草(*Stipa bungeana*)、阿尔太狗娃花(*Heteropappus altaicus*)、茼蒿(*Artemisia giraldii*)、百里香(*Thymus mongolicus*)等。

2 试验设计

柠条成林选在黑刺岭东坡中部坡度较缓,海拔约1650m,1986年在黑刺岭建有大量柠条林,2002年4月对16年生柠条成林进行面上调查,选择立地条件相对均一的缓坡地段为实验样地,并对柠条成林进行疏伐处理,保存密度为87、71、51、32、16丛/100m²^[1,15-16]。幼林小区设在黑刺岭中下部多年撂荒地上,坡度8°—10°。将撂荒地分成5个5m×20m=100m²的矩形密度处理小区,密度处理之间间隔1m。5个密度小区播种量分别为2.0、1.5、1.0、0.5kg/100m²和撂荒地对照组。2002年6月24日撒播柠条种子,2002年9月中旬采用样线法调查不同播量小区的柠条幼林密度。柠条成林2002年到2004年的生长指标测定从4月中旬到10月,每个密度处理选取具有平均冠幅的样丛10个,在每个样丛内选择一个平均基径和最大基径的枝条作为样枝,选择一个平均高和平均基径的枝条作为样枝,样本共40株。对样枝和基径观测部位进行标记。每年在生长季节每隔15d测定一次单枝基径、株高。基径用游标卡尺测定,株高用卷尺测定。40株样本中30株作为建模数据,10株作为检验数据。

3 结果与分析

3.1 Logistic 模型

Logistic模型解析表达式为:

$$y = \frac{k}{1 + \exp(a - bt)} \quad (1)$$

式中, t 为时间, y 为植株株高 ($y > 0$), k, a, b 为方程的参数, 其中 k 表示一定时期内的生长上限 ($k > 0$), b 表示内禀增长率 ($b > 0$), a 表示与曲线位置有关的参数。

以密度为 87 丛/100m² 的柠条成林作为研究对象, 上黄地区柠条枝条叶芽的萌动时间为 4 月中旬, 以 2002 年 4 月 15 日作为生长起始时间, 为避免时间轴过长, 设以后每隔 1 天增加 0.1。按照上述做法累计, 2002 年存在观测记录的时间点为: 2.8、4.3、6.2、7.7、9.2、10.8、12.3、14、15.4、17。将 2002 年和 2003 年的休眠期也按照每隔 1 天增加 0.1 继续累计, 可得 2003 年、2004 年数值观测点分别为: 2003 年 39.7、41.2、42.8、44.4、45.9、47.9、48.9、50.8、53.7; 2004 年 73.3、76.3、79.4、82.4、85.6、88.6。

用 Levenberg-Marquardt 法分别对 2002 年、2003 年、2004 年的观测值进行拟合, 其结果如下:

$$\text{2002 年的生长方程为} \quad y = \frac{109.309038}{1 + \exp(-1.075122 - 0.406631t)} \quad R^2 = 0.968041$$

$$\text{2003 年的生长方程为} \quad y = \frac{113.581920}{1 + \exp(10.113800 - 0.328060t)} \quad R^2 = 0.966982$$

$$\text{2004 年的生长方程为} \quad y = \frac{118.021216}{1 + \exp(6.433820 - 0.123946t)} \quad R^2 = 0.967016$$

2002—2004 年 3a 的函数图象见图 1。

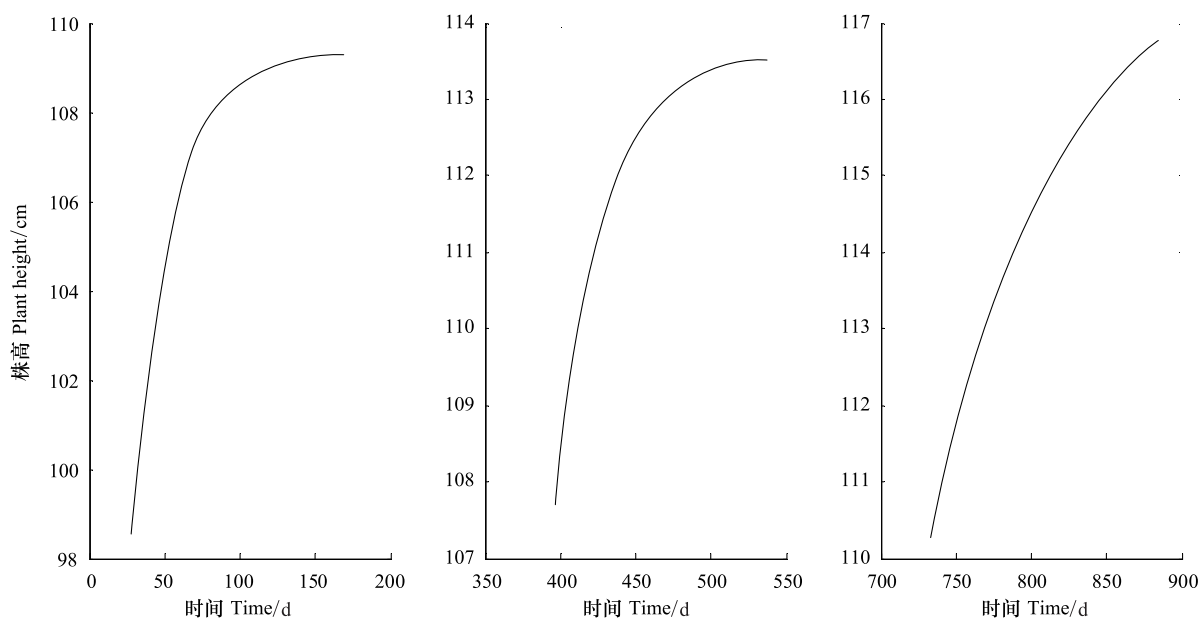


图 1 2002 年、2003 年、2004 年生长曲线图

Fig. 1 The growth curve of caragana in 2002, 2003, 2004

3.2 改进模型

对模型(1)求导数得 Logistic 方程的微分形式为:

$$\frac{dy}{dt} = by\left(\frac{k-y}{k}\right) \quad (2)$$

$$\text{相对生长速率与生长量的关系为:} \quad \frac{1}{y} \frac{dy}{dt} = b \frac{k-y}{k} \quad (3)$$

$$\text{相对生长速率与时间的关系为:} \quad \frac{1}{y} \frac{dy}{dt} = \frac{b \exp(a-bt)}{1 + \exp(a-bt)} \quad (4)$$

以 2002 年生长拟合结果为例画出(4)式的图像见图 2。

经典 Logistic 模型的机理为: 生长速率与生长空间 $k-y$ 成正比, 与当前生长量 y 成反比; 相对生长速率仅与 $k-y$ 成正比。经典 Logistic 模型仅以当前生长量为限制因子, 与时间无关, 称为自治的。 $k-y$ 可看作是密度对于

生命体生长的线性制约,通常情况下引入新的参数将 Logistic 模型变形,使得线性制约部分成为非线性的^[7-8,11]。由于植物生长是一个复杂过程,受多个因素影响,是多种机理共同作用的结果^[2]。植物体本身存在着新陈代谢过程,在生长期进行光合作用和呼吸作用。新陈代谢对植物生长的影响随时间而变化。

观察该密度下的柠条林生长,发现到 8 月或 9 月时,受气候和土壤干旱的影响,林地出现大面积落叶现象,到 10 月时,叶子全部落完,此时生长期结束。进入落叶期时,光合速率下降,呼吸速率也下降,光合速率小于呼吸速率,枝条含水量下降和干旱导致植物体萎缩,株高随时间小幅度减少。可见柠条生长随季节变化过程中,一直存在着环境阻力,并且落叶时的阻力对柠条生长影响显著,使该时期生长速率和相对生长速率均表现为负值。

考虑到上述过程,将 Logistic 模型相对生长速率表达式(4)改为:

$$\frac{1}{y} \frac{dy}{dt} = \frac{b \exp(a - bt)}{1 + \exp(a - bt)} - c \quad (5)$$

其中 c 表示阻力常数 $c > 0$ 。即

$$\frac{dy}{y} = \left(\frac{b \exp(a - bt)}{1 + \exp(a - bt)} - c \right) dt \quad (6)$$

两边积分得

$$\ln y = \left(\ln \frac{1}{1 + \exp(a - bt)} \right) - ct + C$$

整理得

$$y = \frac{K \exp(-ct)}{1 + \exp(a - bt)} \quad (7)$$

式中,参数 K, a 为常数, b 为内禀增长率 ($b > 0$), c 表示生长阻力因子 ($c > 0$)。 K, a 均表示与曲线位置有关的参数。

方程分为两部分:第一部分为 $f_1(t) = \frac{K}{1 + \exp(a - bt)}$,第二部分为 $f_2(t) = \exp(-ct)$ 。

第一部分为生长部分,以生长量为限制因子;第二部分为生长阻力,与时间有关。

对方程(7)求导得: $\frac{dy}{dt} = \frac{(-1)K(-b)\exp(a - bt)}{(1 + \exp(a - bt))^2} \exp(-ct) + \frac{K(-c)\exp(-ct)}{1 + \exp(a - bt)}$

$$\frac{dy}{dt} = y \left(\frac{b \exp(a - bt)}{1 + \exp(a - bt)} - c \right) \quad (8)$$

方程(7)在生长区间内为连续函数,存在极值点,令导数为零得:

$$t = \frac{1}{b} \left(a - \ln \left(\frac{c}{b - c} \right) \right) \quad (9)$$

此时极值点存在,必须有 $b > c$,表示生长初期和旺盛生长时期的内禀生长速率须大于生长阻力。

整理(8)式可得 $\frac{1}{y} \frac{dy}{dt} = \frac{1}{f_1(t)} \frac{df_1(t)}{dt} + \frac{1}{f_2(t)} \frac{df_2(t)}{dt}$

改进模型的相对生长率等于生长部分的相对生长速率与阻力部分的相对变化率之和。当生长动力大于阻力时,植物表现为生长,株高生长增加;当生长动力小于生长阻力时,阻碍生长,株高生长减少。生长末期的密度制约强度对株高生长的影响显著,使得生长曲线的单调性发生改变。

极值纵坐标为年生长最大点,记为生长顶点;是改进模型函数在定义域内最大值。超过最大值之后株高生长开始减少,直至生长期结束。将生长顶点与生长期结束时植株高度之差称为生长过程中的生长损失。

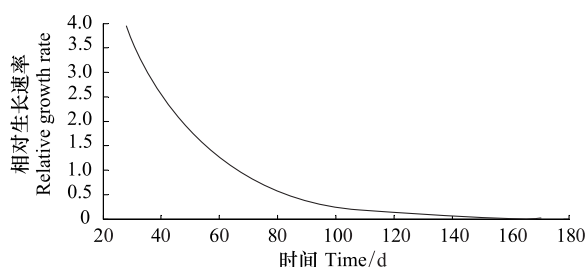


图2 2002年相对生长速率随时间的变化关系

Fig. 2 The relationship between relative growth rate and time in 2002

由于改进模型的微分表达式使用了相对生长速率与时间的关系式,故新模型中 K 与原始 Logistic 模型的参数 k 不同,改进模型中参数 K 是根据积分常数得到,与曲线在坐标系内的相对位置有关。Logistic 模型参数 k 仅表示上渐进值,而改进模型中 K, a, b, c 共同决定了生长顶点。在对不同年柠条林生长的拟合过程中,所得到的参数 a 与 b 的比值决定了生长曲线在横坐标轴上的相对位置。

以 2002 年和 2003 年的观测值为例,用 Levenberg-Marquardt 法进行拟合^[17-18],时间的取值同上节,得到以下结果:

$$\text{2002 年的拟合结果} \quad y = \frac{126.861420 \exp(-0.008167t)}{1 + \exp(-0.874831 - 0.178279t)} \quad R^2 = 0.968066$$

画出此函数的图像和相对生长速率与时间的关系见图 3。

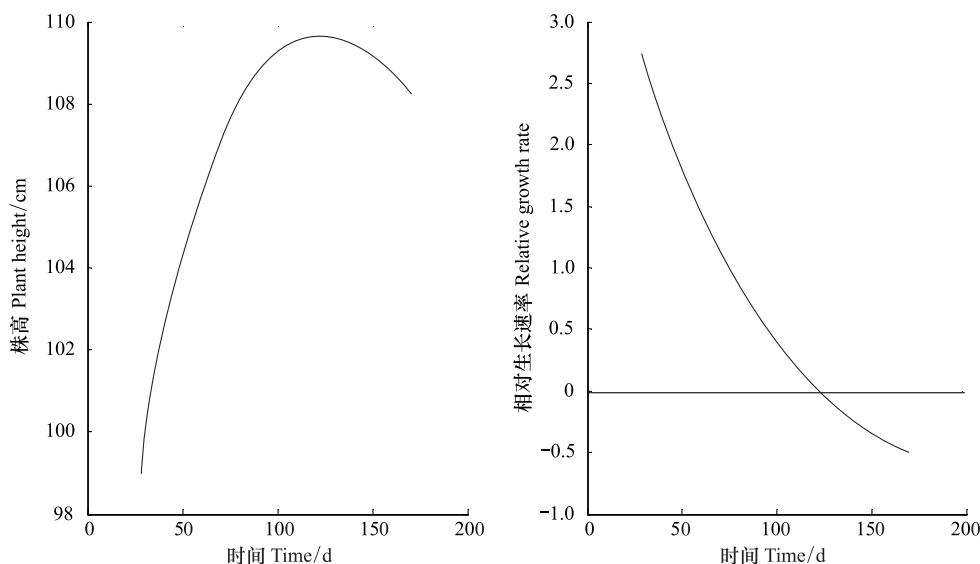


图 3 2002 年高生长和相对生长速率随时间的变化

Fig. 3 The change of height and relative growth rate with time in 2002

拟合结果代入(9)式得 $t = 12.124485$, 对应的真实时间为 8 月 13 日, 在此之后方程(7)中株高的阻力因子具有显著作用, 阻碍生长。将 $t = 12.124485$ 代入新模型, 得生长顶点为 109.638069 cm, 又将 $t = 17$ 代入新模型, 得最终株高值为 108.237665 cm, 生长损失为 1.400403 cm。

$$\text{2003 年的拟合结果} \quad y = \frac{277.874407 \exp(-0.014796t)}{1 + \exp(2.843486 - 0.092655t)} \quad R^2 = 0.967016$$

画出此函数的图像和相对生长速率与时间的关系见图 4。

拟合结果代入(9)式得 $t = 48.610664$, 对应的真实时间为 8 月 14 日, 在此之后方程(7)中株高的阻力因子具有显著作用, 阻碍生长。将 $t = 48.610664$ 代入新模型, 得生长顶点为 113.742512 cm, 又将 $t = 17$ 代入新模型, 得最终株高值为 112.230081 cm, 生长损失为 1.512430 cm。

从 Logistic 模型的模拟结果中可看出, 上渐进值 k 随着年度逐渐增加, 而在改进模型中参数 K 也随着柠条生长逐年增加。

从模型函数(7)中生长部分的分母中存在如下等式:

$$a - bt = -b\left(t - \frac{a}{b}\right)$$

比较不同生长年中 a 除以 b 的值可得出模型函数(7)在横轴上相对位置的变化情况, 不同生长年中参数 a 与 b 的比值见表 1。

同一个模型不同年的 a 与 b 的比值均逐渐增大, 这与上节中坐标轴的设定是相符合的, 由于 2002 年的生

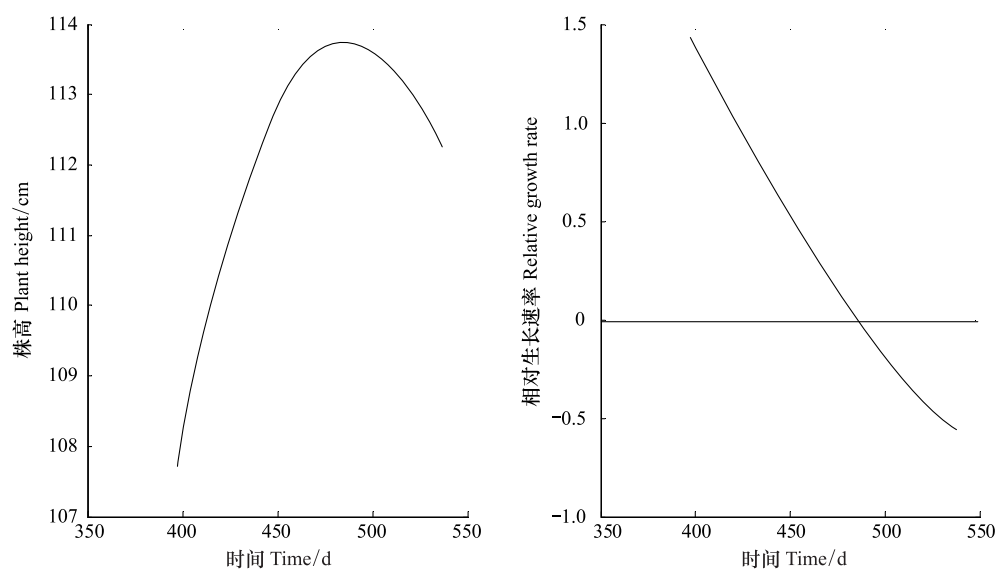


图 4 2003 年生长方程及相对生长速率随时间的变化关系

Fig. 4 The change of height and relative growth rate with time in 2003

长起始时间是从零开始计算,故 2002 年的模拟结果中参数 a 很有可能出现负值的情形。按照上节中数值时间点的累计方法,当 a 与 b 的比值增大时,生长曲线沿平行于横轴的方向向右移动,故 2003 年和 2004 年的比值一定大于零。

表 1 在不同年内两种模型的参数 a 与 b 的比值

Table 1 In different years, the ratio of parameters a and b for two models

模型 Model	2002 年	2003 年	2004 年
逻辑斯蒂模型 Logistic model	-2.643974	30.829113	51.908361
改进模型 Improved model	-4.907076	30.688959	

用检验数据对两个模型的模拟值分别进行检验,求出 2002 年和 2003 年模拟值与观测值之间的相关系数(表 2)。

表 2 两年中两个模型模拟值与观测值的相关系数

Table 2 Correlation coefficient of observed value and simulated value for two models in two years

模型 Model	2002 年	2003 年
逻辑斯蒂模型 Logistic model	0.918108	0.751557
改进模型 Improved model	0.942188	0.801042

从表 2 中可看出 2002 年和 2003 年 Logistic 模型的相关系数较高,而改进模型的相关系数均大于 Logistic 模型的相关系数。表明引入生长阻力因子 c 后,可以更好地反映 1 年内株高的变化规律。

两年中改进模型拟合结果的残差分析图^[19-20]见图 5,图 6。

对比图 3 和图 4 可看出,2002 年和 2003 年柠条成林生长情况存在一定程度的差异,这是由于试验地处于半干旱区,土壤储水量长期不足,降水量对柠条生长影响显著。2002 年和 2003 年的降雨量如图 7 所示,这两个生长年中 2002 年 6 月的降水量为全年最大,2003 年 8 月的降水量为全年最大。2002 年 6 月的降水充足,而且该时间的柠条全部展叶,高生长处于全年生长较快的速生期;降水促进了柠条生长,该年度降水在当年就被柠条林充分利用。而在 2003 年生长初期土壤含水量较低,6 月降水明显不足,在大量需要水分的速生期,该地区柠条林未能得到有效降水,柠条生长受到影响。虽然 2003 年为丰水年,但是 8 月时的降水才达到全年

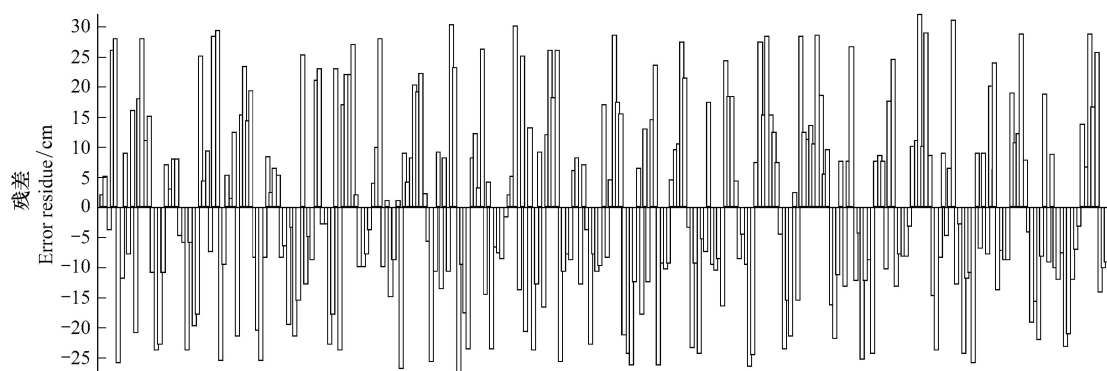


图5 2002年改进模型的残差分析图

Fig. 5 The residual analysis diagram of improved model in 2002

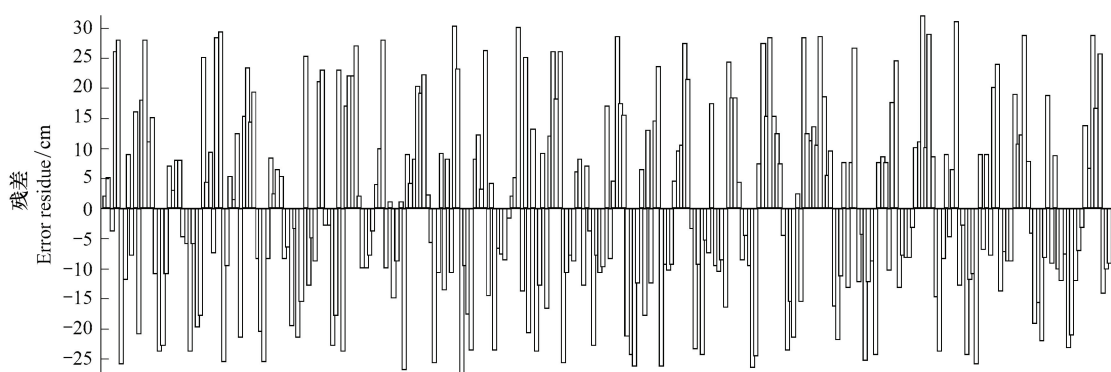


图6 2003年改进模型的残差分析图

Fig. 6 The residual analysis diagram of improved model in 2003

最大,此时柠条生长处于生长后期,8月长势小于6月长势。考察柠条成林的年生长过程,发现8月中旬时该密度处理小区柠条林落叶最严重,枝条与叶片含水率下降,部分叶片变黄^[1],2003年8月的最大降水未得到充分利用;从极值点的计算结果中得出,两个极值点对应的真实时间均位于8月中旬。

从上述分析能够得出2002年柠条林对降水量的利用程度大于2003年的,2003年的充足降水在当年未得到有效利用,降水储存在土层中供给下一年的柠条林生长。所以2003年柠条林生长的阻力较2002年大,从拟合结果中可看出生长的阻力因子 $c_{2003} > c_{2002}$ 成立;因降雨的限制作用,2003年柠条林生长的动力较2002年小,从拟合结果中可看出内禀增长率参数 $b_{2003} < b_{2002}$ 成立。因此不同年内的柠条成林生长呈现各自的特点,从生长方程上看2002年生长量大于2003年的;从相对生长率的图像上看,2002年变化幅度也大于2003年的;与实际的生长过程符合。

3.3 连年生长模型

上节的研究结果表明上黄生态站的柠条林生长在一年内的变化不具有严格单调性,在生长季末期株高小幅度变小,但柠条为多年生灌木树种,仅1a观测结果不能充分说明该地区柠条林的生长情况,有必要探讨林地的年际变化。

在2002年的模型中最后一个观测点为10月初的观测值,也即将 $t = 17$ 代入模型(7),2002年拟合结果为

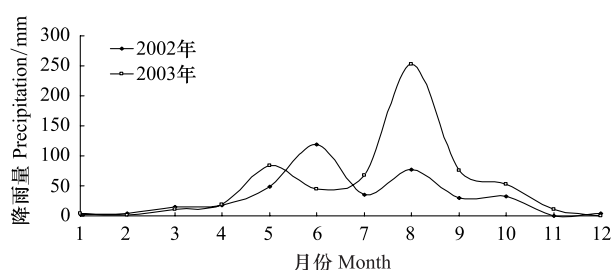


图7 2002年和2003年的降水量

Fig. 7 The monthly change of precipitation in 2002, 2003

$y = 108.237665$; 2003 年模型中最初一个观测点为 5 月中旬的观测值, 将 $t = 39.7$ 代入模型(7), 2003 年拟合结果为 $y = 107.701089$; 2003 年模型中最后一个观测点为 10 月初观测值, 将 $t = 53.7$ 代入模型(7), 2003 年拟合结果为 $y = 112.230081$; 利用第 3 节的 2004 年的拟合结果得出最初观测点为 $t = 73.3$ 时, $y = 110.243308$ 。

对比这 3a 生长段的两个间隔区: 株高在第 1 年生长期末的函数值总大于第 2 年初的函数值, 表明该地区柠条林生长的年际变化也不具有严格单调性, 连年生长过程中也存在随时间递减情形。具体考察柠条林在休眠期的变化情况发现, 进入 10 月初后, 试验地地处宁南山区, 天气转冷, 气候干燥。试验地 2002 年和 2003 年全年的月平均温度变化情况如图 8、图 9(以 2002 年 1 月记为 1, 每隔 1 个月增加 1)。从图中看出这 2a 的 12 月和 1 月的平均温度在 -5°C 左右, 气温较低, 柠条容易受冻害^[12-13], 日最低温度可达 -15°C 。冬季的温度较低, 气候干燥, 顶芽在冬季极易失水而干缩导致柠条顶枝上部的一小段枝条及芽越冬后死亡, 这种现象称为干梢现象。

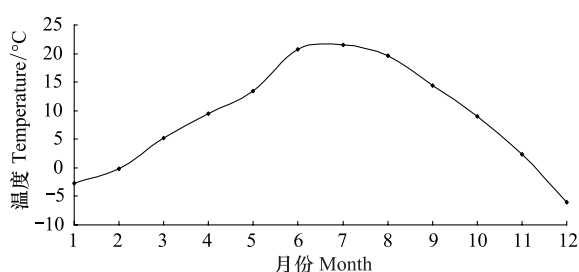


图 8 2002 年 1 月至 2002 年 12 月平均温度变化情况

Fig. 8 Changes in monthly mean temperature during JAN 2002 to DEC 2002

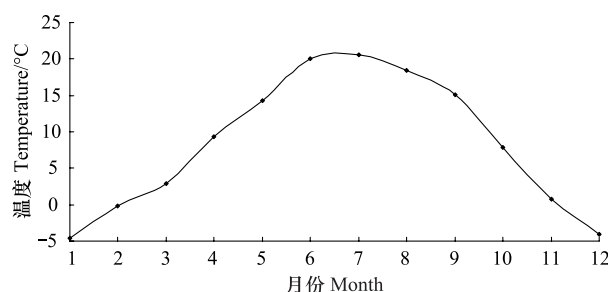


图 9 2003 年 1 月至 2003 年 12 月平均温度变化情况

Fig. 9 Changes in monthly mean temperature during JAN 2003 to DEC 2003

干梢现象导致第 2 年活芽出现高度普遍低于上年生长期末活芽出现高度, 这使得年际变化曲线的冬季部分也存在着一段时间的逐渐减小。柠条多年生长是一个连续过程, 无论是生长过程、落叶过程还是干梢过程, 这些过程均缓慢进行, 所以年际变化曲线应具有连续性, 至少是分段连续的。从总体来看, 第 2 年株高要大于第 1 年株高, 也就是说, 柠条林在冬季经历的干梢过程有一个限度, 当柠条经历了非常寒冷、干旱的冬季时期后, 干梢过程会停止。所以研究相邻年生长曲线的光滑连接和干梢的终止点是有意义的。

为此提出 2002 年和 2003 年两个生长年的分段函数^[21]如下:

$$y = \begin{cases} y_1(t), t \in [2.8, 17] \\ y_2(t), t \in (17, 39.7) \\ y_3(t), t \in [39.7, 53.7] \end{cases} \quad (10)$$

$y_1(t)$, $y_3(t)$ 为上节中所得的拟合结果, 由于植物体生长的连续性, 故该分段函数在节点处也应满足连续性并且是光滑的, $y_2(t)$ 应满足如下条件:

$$\begin{cases} y_1(17) = y_2(17) \\ y_3(39.7) = y_2(39.7) \\ y'_1(17) = y'_2(17) \\ y'_3(39.7) = y'_2(39.7) \end{cases} \quad (11)$$

设 $y_2(t)$ 为三次多项式函数, 解析式为 $y_2(t) = at^3 + bt^2 + ct + d$, 将 $y_2(t)$ 代入条件(11)可得:

$$\begin{cases} d + 17c + 289b + 4913a = y_1(17) = 108.237665 \\ d + 39.7c + 1576.09b + 62570.773a = y_3(39.7) = 107.701089 \\ c + 34b + 867a = y'_1(t) = -0.503369 \\ c + 79.4b + 4728.27a = y'_3(39.7) = 1.426166 \end{cases}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 17 & 289 & 4913 \\ 1 & 39.7 & 1576.09 & 62570.773 \\ 0 & 1 & 34 & 867 \\ 0 & 1 & 79.4 & 4728.27 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d \\ c \\ b \\ a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 108.237665 \\ 107.701089 \\ -0.503369 \\ 1.426166 \end{bmatrix}$$

按照求解代数余子式的算法对上述矩阵求逆,结果如下:

$$\begin{bmatrix} d \\ c \\ b \\ a \end{bmatrix} = \frac{1}{22.7^3} \begin{bmatrix} -17809.817 & 29506.9 & -608213.131 & -260443.91 \\ 4049.4 & -4049.4 & 66417.703 & 37200.76 \\ -170.1 & 170.1 & -2188.28 & -1672.99 \\ 2 & -2 & 22.7 & 22.7 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 108.237665 \\ 107.701089 \\ -0.503369 \\ 1.426166 \end{bmatrix}$$

最终得到 $y_2(t)$ 的解析式为:

$$y_2(t) = \frac{1}{22.7^3} (22.020652t^3 - 1375.721208t^2 + 21794.664475t + 1184951.627745)$$

同理,若以 2003 年和 2004 年的柠条生长作为研究对象也可建立分段模型如下:

$$y = \begin{cases} y_3(t), t \in [39.7, 53.7] \\ y_4(t), t \in (53.7, 73.3) \\ y_5(t), t \in [73.3, 88.6] \end{cases} \quad (12)$$

其中 $y_5(t)$ 为第三节的结果, $y_4(t)$ 的解析式如下:

$$y_4(t) = \frac{1}{19.6^3} (10.684110t^3 - 1755.148151t^2 + 91871.465654t - 681632.911827)$$

综合(10)、(12)两式得出 3a 的生长方程为:

$$y = \begin{cases} \frac{126.861420 \exp(-0.008167t)}{1 + \exp(-0.874831 - 0.178279t)}, t \in [0, 17] \\ \frac{(22.020652t^3 - 1375.721208t^2 + 21794.664475t + 1184951.627745)}{22.7^3}, t \in (17, 39.7) \\ \frac{277.874407 \exp(-0.014796t)}{1 + \exp(2.843486 - 0.092655t)}, t \in [39.7, 53.7] \\ \frac{(10.684110t^3 - 1755.148151t^2 + 91871.465654t - 681632.911827)}{19.6^3}, t \in (53.7, 73.3) \\ \frac{118.021216}{1 + \exp(6.433820 - 0.123946t)}, t \in [73.3, 88.6] \end{cases}$$

画出该函数图像如图 10 所示,连年生长模型中共有极值点 4 个,从小到大排列依次为 t_1, t_2, t_3, t_4 其中 t_1, t_3 已经在上节中求出, t_2, t_4 应分别从 $y_2(t), y_4(t)$ 中求出。

由 $y_i(t) = at^3 + bt^2 + ct + d, i = 2, 4$

得 $y'_i(t) = 3at^2 + 2bt + c$

令 $y'_i = 0$, 解一元二次方程可得 t_2, t_4 。

令 $y'_2 = 0$, 经求解得两根为 31.010788、10.638636, 由 t_2 的取值范围知 $t_2 = 31.010788$ 。

令 $y'_4 = 0$, 经求解得两根为 66.258120、43.259543, 由 t_4 的取值范围知 $t_4 = 66.258120$ 。

t_2, t_4 可看作干梢的终止点, 由 t_2, t_4 的数值推算其所对应的真实时间分别为: 2003 年 2 月 18 日和 2004 年 2 月 6 日。柠条在生长期结束之后, 进入冬季休眠期, 受干旱和寒冷的影响^[12-13], 再加上该地区冬季的风力较大, 出现了干梢现象, 使得新生枝条上部一小段死亡, 因干梢所引起的株高减少量在冬季随时间缓慢增加, 当达到 t_2, t_4 所对应的时间时, 干梢过程基本结束, 进入下一年生长。

4 讨论

经典生长方程有 Logistic, Gompertz, Bertalanffy, Mitscherlich, Richard, Weibull 等模型^[3,5], 建立方程时均以严格的单调增加为基础; 经典生长方程中密度对生长的制约强度始终小于生长动力。因 Logistic 模型应用广泛, 在研究生命体生长时考虑用引入新参数或添加生长机理等方法在该模型基础上变形^[6,11-12]。上述变形也没有改变模型函数在定义域上的单调性。应用生长方程来描述植物生长过程时, 大多以乔木为研究对象; 以灌木为研究对象的报道较为少见。相比于乔木林, 灌木林在生长期密度对生长指标的干预更加明显, 在生长期中, 受环境(低温和干旱)的影响, 有可能生长指标随时间减小。

柠条的生长环境复杂多变, 特别在黄土丘陵半干旱地区, 柠条林的生长过程表现出一定的复杂性。柠条在生长期受气候变化和新陈代谢的影响, 使得株高生长在生长期末不再随着时间的推移而单调增加; 在休眠期受环境阻力的影响, 而且在该时期出现干梢现象, 降低株高生长, 休眠期的干梢现象在以往的研究中较少体现。

本研究将生长阻力考虑到模型内, 假定生长过程中阻力的作用是一个常数, 令相对生长速率出现负值, 并积分得到了新的生长模型。不同生长年中参数模拟值不同, 参数的变化趋势与年生长的特殊规律紧密联系。改进模型中的参数 K 较原 Logistic 模型发生了变化; 本文所涉及两个模型的参数 a 解释为位置参数, 与对人口数量变化, 害虫密度变化规律的研究方法不同, 他们将 a 看做与初始密度和最大容纳量有关的参数^[23], 故种群生态学中 Logistic 的参数不都是独立的^[24]。而本文中曲线拟合时, 模型参数均看作是相互独立的, 且 a 与 b 的比值呈现出一定的变化规律。本文所建立的改进模型只针对密度为 87 丛/100m² 柠条成林, 而疏伐处理后确定的密度梯度较大, 在年生长末期(8 月到 9 月), 低密度处理林地生长情况与高密度的不同, 落叶程度较轻, 部分枝条未落叶; 所以在生长末期低密度柠条林的光合速率不一定小于呼吸速率, 其密度制约强度小于高密度的, 在低密度条件下新模型是否适用有待进一步确定, 因此改进模型存在密度适用范围。从图 3、图 4 可以看出, 受降雨影响 2002 年总生长量明显高于 2003 年的。由于柠条为多年生灌木, 在黄土丘陵半干旱地区, 柠条的生长不仅具有季节变化, 而且还有年际变化, 因此在模拟柠条生长过程时, 不仅要考虑柠条的季节变化, 而且还要考虑年际变化。

本文通过对多年生柠条生长资料的分析, 推导了一种模拟柠条生长的 Logistic 模型的改进模型和连年生长模型。新模型可用来分析柠条幼林的生长情况, 例如新生林中生长拐点、速生区间的确定等^[25]; Logistic 曲线是关于拐点对称的, 而改进模型的拐点距离生长起始点较近, 所以新模型与年生长的实际过程更为接近。从目前的分析结果来看, 该模型能较好地拟合半干旱地区柠条生长过程; 其是否适合于柠条生活史或半干旱地区其他多年生植物生长过程, 有待进一步研究。

References:

- [1] Guo Z S. Vegetation Carrying Capacity of Soil Water in A Semi-arid Loess Region of Loess hilly in the Loess Plateau, [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2004.
- [2] Lu E S, Guo M C, Song S D, Yuan Z F. A kind of non-autonomous Logistic growth curve and its application Journal of Northwest Science and Technology University of Agriculture and Forest (Natural Science Edition), 2002, 30(4): 127-129.
- [3] Liu P, Ma L Y, Jia L M. Study on individual tree height growth model for Pinus tabulaeformis plantation. Forest resource management, 2008, (5): 50-56
- [4] Xing L F, Sun M G, Wang Y J. Richards growth model of living-organism. Journal of biomathematics, 1998, 13(3): 348-353.
- [5] Duan A G, Zhang A G, Tong S Z. Application of Six Growth Equations on Stands Diameter Structure of Chinese Fir Plantations. Forest Research,

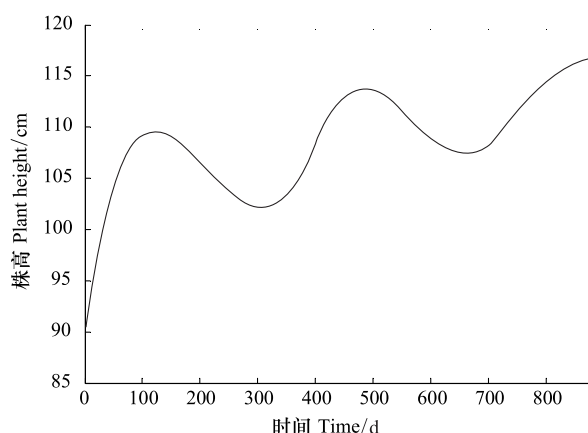


图 10 2002 年到 2004 年的连年生长模型

Fig. 10 The growth curve for caragana in 2002 to 2004

- 2003,16(4):423-429.
- [6] Zhang D Y, Zhao S L. Study on the model of forest population density change during self-thinning. *Scientia silvae sinicae*, 1985, 21(4):369-374
- [7] Li X Y, Zhao S L, You Z L. A self-adaptive model of population growth and its parameter estimation, *Acta Ecologica Sinica*, 1997, 17(3):311-316
- [8] Liu J F, Hong W, Li J H, Zheng Y M. Population ecology of *Castanopsis kawakamii*. Growth dynamics of dominance of *Castanopsis kawakamii* population. *Chinese journal of applied ecology*, 1998, 9(5):453-457
- [9] Seiichi Sakanoue. Extended logistic model for growth of single-species populations. *Ecological Modelling*, 2007, 205:159-168
- [10] John H M, John J. An open-ended logistic-based growth function: Analytical solutions and power-law logistic model. *Ecological Modeling*, 2007, 204:531-534
- [11] Yu A H. A study on Logistic Model. [D], Nanjing, Nanjing Forestry University, 2003
- [12] Li Y Y, Shi H, Zhang A B, Tan H C. Daily Changes in Radial Growth of Several Tree Stems and Their Response to Environmental Factors in Loess Hilly Region. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2007, 21(6):170-173.
- [13] Zweifel R, Häslér R. Frost-induced reversible shrinkage of bark of mature subalpine conifers. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2000, (102):213-222.
- [14] Jiang F Q, Lu F Y. The model of estimating above-ground biomass of *Caragana Microphylla* brush. *Acta Ecologica Sinica*, 1982, 2(2):103-110
- [15] Guo Z S, Shao M A. Use of the Theory of Soil Water Carrying Capacity for Vegetation in Practice. *Journal of Natural Resource*, 2009, 24(12):2187-2193.
- [16] Guo Z S, Shao M A. Preliminary Study of Vegetation Carrying Capacity of Soil Water (VCCSW). *Science and Technology Review*, 2006, 24(2):56-59.
- [17] Zhou J Y, Song S D, Yuan Z F, Hu Y. Fitting curve for compartmental analysis by Marquardt's Algorithm. *Journal of Northwest Science and technology University of Agriculture and Forest*, 1996, 24(1):75-78.
- [18] Wang M M, Li D M. Fitting logistic curve by Marquardt's Algorithm. *Acta Ecologica Sinica*, 1986, 6(2):142-147.
- [19] K. Rennolls. Forest height growth modeling. *Forest Ecology and Management*, 1995 (71):217-225
- [20] Liu P, Wang Y T, Ma L Y. Dynamic prediction and verification of individual tree DBH growth process of *pinus tabulaeformis* plantation. *Journal of Northwest Forestry University* 2010, 25(4):139-143.
- [21] Yuan Z F, Xie K R. Several kinds of methods of fitness of multiple growth curve. *Acta Northwest Agriculture University*, 1986, 14(2):62-69.
- [22] Zhou Y X, Song S D, Fan J F. The analysis of high growing curve in seedling period of *Paulownia*. *Shanxi Forest Science and Technology*, 1996, 11(3):1-4.
- [23] Deng M M, Gao H H, Li D, Hu X S, Hu Z Q, Zhao H Y. Effects of temperature on body color in *Sitobion avenae*. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(23):7203-7210.
- [24] Yuan Z F, Zhou J Y. *Multivariate Statistical Analysis 1sted*. Beijing: Science Press, 2003:142-147.
- [25] Zhang L X, Liu X Z. The analysis and application of the two important characteristic points on Logistic curve. *Journal of Heibei Forestry College*. 1992, 7(2):154-158.

参考文献:

- [1] 郭忠升. 黄土丘陵半干旱区土壤水分植被承载力研究, [D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2004
- [2] 卢恩双, 郭满才, 宋世德, 袁志发. 一类非自治的 Logistic 生长曲线及其应用. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2002, 30(4):127-129
- [3] 刘平, 马履一, 贾黎明. 油松人工林单木树高生长模型研究, *林业资源管理*, 2008, (5):50-56
- [4] 邢黎峰, 孙明高, 王元军. 生物生长的 Richard 模型. *生物数学学报*, 1998, 13(3):348-353
- [5] 段爱国, 张建国, 童书振. 6 种生长方程在杉木人工林分直径结构上的应用. *林业科学*, 2003, 169(4):423-429
- [6] 张大勇, 赵松岭. 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
- [7] 李新运, 赵善伦, 尤作亮. 一种自适应的种群增长模型及参数估计. *生态学报*, 1997, 17(3):311-316
- [8] 刘金福, 洪伟, 李家和, 郑燕明. 格氏栲种群生态学研究 3 格氏栲种群优势度增长动态规律研究. *应用生态学报*, 1998, 9(5):453-457
- [11] 余爱华. Logistic 模型的研究. [D], 南京:南京林业大学, 2003
- [12] 李秧秧, 石辉, 张安邦, 谭红朝. 黄土丘陵区几种林木茎干径向生长的日变化及其对环境因素的响应. *水土保持学报*, 2007, 21(6):170-173
- [14] 姜凤岐, 卢风勇. 小叶锦鸡儿灌丛地上生物量的预测模式. *生态学报*, 1982, 2(2):103-110
- [15] 郭忠升, 邵明安. 土壤水分植被承载力研究成果在实践中的应用. *自然资源学报*, 2009, 24(12):2187-2193
- [16] 郭忠升, 邵明安. 土壤水分植被承载力初步研究. *科技导报*, 2006, 24(2):56-59
- [17] 周静芋, 宋世德, 袁志发, 胡莹. 用麦夸法进行室分析曲线拟合. *西北农业大学学报*, 1996, 24(1):75-78
- [18] 王莽莽, 李典谟. 用麦夸方法最优拟合逻辑斯蒂曲线. *生态学报*, 1986, 6(2):142-147
- [20] 刘平, 王玉涛, 马履一. 油松人工林单木胸径生长过程模拟及检验, *西北林学院学报*. 2010, 25(4):139-143
- [21] 袁志发, 颜科让. 几种常用的多阶段增长曲线的拟合方法. *西北农林科技大学学报*, 1986, 14(2):62-69
- [22] 周永学, 宋世德, 樊军锋. 泡桐苗期高生长曲线的拟合及其分析. *陕西林业科技*, 1996, 11(3):1-4
- [23] 邓明明, 高欢欢, 李丹, 胡想顺, 胡祖庆, 赵慧燕. 温度对麦长管蚜体色变化的影响. *生态学报*, 2011, 31(23):7203-7210.
- [24] 袁志发, 周静芋. *多元统计分析*. 1 版. 北京:科学出版社, 2003:142-147
- [25] 张连翔, 刘学增. 逻辑斯蒂曲线上两个重要特征点的分析及其应用. *河北林学院报*, 1992, 7(2):154-158.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 7 April, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Research progress on chemical communication of development and host-finding of nematodes ZHANG Bin, HU Chunxiang, SHI Jin, et al (2003)
- Principles, indicators and sampling methods for species monitoring XU Haigen, DING Hui, WU Jun, et al (2013)

Autecology & Fundamentals

- Spatial distribution pattern of human-caused fires in Hulunbeir grassland ZHANG Zhengxiang, ZHANG Hongyan, LI Dongxue, et al (2023)
- Belowground biomass in Tibetan grasslands and its environmental control factors YANG Xiuqing, HUANG Mei, WANG Junbang, et al (2032)
- Analysis on variation characteristics of air temperature and ground temperature in Guilin from 1961 to 2010 CHEN Chao, ZHOU Guangsheng (2043)
- Winter bed-site selection by roe deer (*Capreolus capreolus*) in Huangnihe Nature Reserve ZHU Hongqiang, GE Zhiyong, LIU Geng, et al (2054)
- Leaf anatomical characteristics of the plants of grasslands in the Tibetan Plateau LI Quanfa, WANG Baojuan, AN Lihua, et al (2062)
- A research on summer vegetation characteristics & short-time responses to experimental warming of alpine meadow in the Qinghai-Tibetan Plateau XU Manhou, XUE Xian (2071)
- Cytological study on microsporogenesis of *Solanum lycopersicum* var. Micro-Tom under high temperature stress PENG Zhen, CHENG Lin, HE Yanjun, et al (2084)
- A new plant height growth process model of *Caragana* forest in semi-arid loess hilly region ZHAO Long, WANG Zhenfeng, GUO Zhongsheng, et al (2093)
- Germination inhibitory substances extracted from the seed of seven species of *Quercus* LI Qingmei, LIU Yan, LIU Guangquan, et al (2104)
- Effects of water stress and fungicide on the growth and drought resistance of *Flaveria bidentis* CHEN Dongqing, HUANGFU Chaohe, LIU Hongmei, et al (2113)
- Characters of soil seed bank in copper tailings and its adjacent habitat ... SHEN Zhangjun, OU Zulan, TIAN Shengni, et al (2121)
- Changes of soil chemical properties after different burning years in typical steppe of Yunwun Mountains LI Yuan, CHENG Jimin, WEI Lin, et al (2131)
- Effects of water and fertilizers on nitrate content in tomato fruits under alternate partial root-zone irrigation ZHOU Zhenjiang, NIU Xiaoli, LI Rui, et al (2139)
- Effect of land use on the characteristics of organic carbon and labile organic carbon in soil aggregates in Karst mountain areas LI Juan, LIAO Hongkai, LONG Jian, et al (2147)
- Mobilization of inorganic phosphorus from soils by five azotobacters ZHANG Liang, YANG Yuhong, LI Qian, et al (2157)
- Physiological-ecological responses of *Iris germanica* L. to Cd stress and its accumulation of Cd ZHANG Chengxiang, CHEN Weifeng (2165)
- The available forms and bioavailability of heavy metals in soil amended with sewage sludge TIE Mei, SONG Linlin, HUI Xiujuan, et al (2173)
- LAI-based photosynthetic light response model and its application in a rainfed maize ecosystem SUN Jingsong, ZHOU Guangsheng (2182)
- The dominant species of predatory natural enemies of three kinds of planthoppers and impact of pesticides on natural enemies in paddy field LIN Yuan, ZHOU Xiazhi, BI Shoudong, et al (2189)

Population, Community and Ecosystem

- Spatial and temporal variation of picophytoplankton in the Pearl River Estuary ZHANG Xia, HUANG Xiaoping, SHI Zhen, et al (2200)

Analysis of the relationship between species diversity and hydrologic factors during an interval of intermittent water delivery at the Lower Reaches of Tarim River, China	CHEN Yongjin, LIU Jiazhen, CHEN Yaning, et al (2212)
Fish species composition and community pattern in the continental shelf of northwestern South China Sea	WANG Xuehui, LIN Zhaojin, DU Feiyan, et al (2225)
Distribution and succession of plant communities in Lake Bita coastal swamp on the plateau region, northwestern Yunnan	HAN Dayong, YANG Yongxing, YANG Yang (2236)
Analysis on community structure and quantitative characteristics of <i>Nitraria tangutorum</i> nebkhas at different succession stage in lower reaches of Shiyang River	JIN Hujia, MA Quanlin, HE Mingzhu, et al (2248)
Resource and Industrial Ecology	
Effects of subsoiling and supplemental irrigation on dry matter production and water use efficiency in wheat	ZHENG Chengyan, YU Zhenwen, ZHANG Yongli, et al (2260)
Effects of two years' incorporation of leguminous green manure on soil properties of a wheat field in dryland conditions	ZHANG Dabin, YAO Pengwei, LI Jing, et al (2272)
Effects of planting with ridge and furrow mulching on maize growth, yield and water use efficiency in dryland farming	LI Rong, HOU Xianqing, JIA Zhikuan, et al (2282)
Urban, Rural and Social Ecology	
Effects of riparian buffers of North Mort of Beijing on air temperature and relative humidity	WU Fangfang, ZHANG Na, CHEN Xiaoyan (2292)
Characteristics of spatial and temporal variations of global solar radiation in Xi'an and relevant response in urban development	ZHANG Hongli, ZHANG Naweirui, LIU Minru, et al (2304)
Research Notes	
A analysis of macrofungal flora diversity in Langyashan Nature Reserve, Anhui Province, China	CHAI Xinyi, XU Xuefeng, WANG Meiyang, et al (2314)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索自然奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 陈利顶

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 7 期 (2013 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 7 (April, 2013)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元