

广西横县森林资源变化的非等间距灰色预测

宋星旻¹, 胡厚臻², 李 枫¹ (1. 广西林业勘测设计院, 广西南宁 530000; 2. 南宁职业技术学院, 广西南宁 530008)

摘要 运用灰色预测模型理论, 以 1990—2014 年横县少量的、不连续的森林资源指标为时间数据序列, 借助 MATLAB 软件分析横县林地面积、森林面积(有林地)、森林覆盖率和活立木总蓄积量的变化, 建立非等距灰色预测模型。根据拟合方程得到 1990—2014 年各指标的拟合值, 除 1999、2009 年的活立木蓄积量拟合误差为 10.14%、11.70% 外, 其余拟合误差都小于 10.00%, 拟合结果较好; 检验的方差比 C 都小于 0.35, 小误差概率 $P=1$, 预测等级都为一级“好”。预测结果表明, 2017—2030 年森林资源除了林地面积略有减少外, 其他都呈现增长的趋势, 但林地面积、森林面积、森林覆盖率的相对变化率都低于 1%, 而活立木总蓄积量则相较于 2017 年相对净增长率分别为 6.02%、17.15%、29.83%。说明近年来横县森林资源保护措施相对得当, 森林资源保护和经营效果显著。

关键词 森林资源; 非等间距序列; 灰色模型预测; 横县
中图分类号 S757.2 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)09-0001-03

Non-equidistance Gray Mode Forecast of Forest Resource Dynamic Changes in Hengxian, Guangxi
SONG Xing-min¹, HU Hou-zhen², LI Feng¹ (1. Guangxi Forestry Survey and Planning Institute, Nanning, Guangxi 530000; 2. Nanning College for Vocational Technology, Nanning, Guangxi 530008)

Abstract Using grey model theory, taking discontinuous forest resources index of Hengxian during 1990-2014 as the time serial data, non equidistant grey prediction model was established by analyzing Hengxian forest area land, forest area (forest), forest coverage rate and total stumpage volume changes using MATLAB software. According to fitting value of each index of the fitting equation from 1990 to 2014, the fitting error of stumpage was 10.14% and 11.70% except in 1999, 2009, the fitting error was less than 10.00%, the fitting result was better. The variance ratio C were less than 0.35, small error probability $P=1$, prediction level was one-grade. The prediction results showed that changes of forest resources form 2017 to 2030 in addition to the woodland area decreased slightly, the other was a growing trend, but the forest land area, forest area, forest coverage rate of the relative change rate was less than 1%, while net growth rates of the total stumpage volume compared to 2017 were 6.02%, 17.15%, 29.83%. In recent years, Hengxian forest resources protection measures were relatively appropriate, forest resources protection and forest resources management effect was significant.

Key words Forest resource; Non-equidistance sequence; Grey mode forecast; Hengxian

广西是我国西南地区重要的速生丰产林资源的种植地, 是西南地区乃至全国重要的木材及木制品的供应地。通过 1989—2014 年广西横县的森林资源规划设计调查、森林资源更新调查及横县林地变更和森林资源数据更新调查的数据成果, 为摸清横县林地范围、森林资源的变化情况, 评价林地保护和森林资源经营管理成效, 建立森林资源变化模型, 对未来森林资源发展做出科学预测, 对维护生态平衡、环境温度及保障木材及林产品供给具有重要的意义^[1-2]。灰色系统理论是在 1982 年由华中理工大学的邓聚龙^[3]提出的, 是借助科学的方法, 通过少量的、不完整的数据信息, 建立一定的数学模型来研究专门的问题, 对所要分析的指标建立模型, 对其未来的发展、演变及状况进行阐述和研究, 形成一定的科学假设与判断, 为解决实际问题, 制定合理的发展战略及决策提供参考^[4]。在该理论发展的 30 多年来, 许多学者对此进行了大量的研究, 特别是关于该理论对于时间序列段、统计数据少、信息不完全系统的分析和建模, 有针对性的作用, 因此该理论适用于广西横县 1990、1999、2009、2014 年的数据, 用以分析广西横县的森林资源现状, 并预测未来的发展, 以期为横县森林资源可持续发展提供参考依据^[5-6]。

1 广西壮族自治区横县森林资源发展概况

横县位于广西壮族自治区南宁市, 地跨 108°48′~109°37′E, 22°08′~23°30′N, 地处北回归线以南, 低山丘陵地貌, 属于亚热带季风气候区, 气候温和湿润, 夏长冬短, 日照

充足, 年均无霜期约 320 d, 雨量充沛, 平均每年有高达 1 304.2 mm 的降水量, 这些特点非常适合喜温作物的生长。

根据 2014 年统计, 横县总面积 3 464.3 km², 其中, 林地面积 166 375.8 hm², 全县森林覆盖率 43.5%。其中, 林地以有林地(主要为乔木林地)为主, 面积 140 312.3 hm², 占 84.33%。该县原生植被已被破坏, 只有少许原生植被残存于沟谷, 次生的桉类、马尾松林占绝对优势, 主要用材林树种有: 桉类、杉、马尾松、红锥、樟、栎类、米老排等, 活立木总蓄积量 7 638 269 m³, 其中有林地蓄积量 7 509 626 m³, 占 98.32%。1990—2014 年森林资源统计结果如表 1 所示。

表 1 1990—2014 年横县林地面积、森林面积、森林覆盖率与活立木总蓄积量统计

Table 1 Statistics of forestland area, forest area, forest cover rate and living trees volume from 1990 to 2014 in Hengxian

年份 Year	林地面积 Forestland area//hm ²	森林面积 Forest area hm ²	森林覆盖率 Forest cover rate//%	活立木 总蓄积量 Living trees volume//m ³
1990	152 362.2	88 716.6	30.1	1 935 310
1999	166 892.2	137 256.4	42.3	3 731 613
2009	169 174.3	139 695.2	43.0	6 679 275
2014	166 375.8	140 312.3	43.5	7 638 269

2 研究方法

用 Excel 2013 进行森林资源指标数据的汇总和统计。对广西壮族自治区横县 1990—2014 年的林地面积、森林面积、森林覆盖率及活立木总蓄积量运用灰色系统理论, 以时间为数据序列对森林资源的动态变化进行非等距的灰色

作者简介 宋星旻(1984—), 男, 黑龙江哈尔滨人, 工程师, 硕士, 从事林业资源调查规划设计研究。

收稿日期 2017-12-13

预测^[7]。

3 结果与分析

3.1 建立横县森林资源变化趋势预测模型

3.1.1 非等距时间数据序列构建灰色模型的步骤。以广西横县林地面积为例,建立林地面积变化趋势预测模型步骤如下:

(1)原始数据为非负数序列:

$$X^{(0)}(k_i)=[x^{(0)}(k_1),x^{(0)}(k_2),\cdots,x^{(0)}(k_n)],x^{(0)}(k)\geq 0$$

(1)

式中 $k_1=1990,k_2=1999,k_3=2009,k_4=2014$;其中,间距 Δk 不为常数时,所构建的序列即为非等间距序列。

$$\Delta k=k_i-k_{i-1},i=2,3,\cdots,n$$

(2)

以林地面积为例: $X^{(0)}(k_i)=[152\ 362.2,166\ 892.2,169\ 174.3,166\ 375.8]$ 。

(2)经过对 $X^{(0)}$ 一次累加生成 $1-AGO$ 序列 $X^{(1)}=[x^{(1)}(k_1),x^{(1)}(k_2),\cdots,x^{(1)}(k_n)]$,而 $x^{(1)}(k_i)=\sum_{j=1}^i x^{(0)}(k_j)\Delta k_j,i=2,3,\cdots,n_0$ 。

即林地面积第 1 次累加 $X^{(1)}(k_i)=[152\ 362.2,1\ 654\ 292.2,2\ 446\ 135.4,1\ 78\ 014]$ 。

(3)按照以上公式生成的 $X^{(1)}(k_i)$ 有如下白化微分方程:

$$\frac{dx^{(1)}(t)}{dt}+ax^{(1)}(t)=u,t\in[0,\infty)$$

(3)

(4)将以上公式的区间 $[k_i,k_{i+1}]$ 上积分,就会表示为:

$$\int_{k_i}^{k_{i+1}} dx^{(1)}(t)+a\int_{k_i}^{k_{i+1}} x^{(1)}(t)dt=u\int_{k_i}^{k_{i+1}} dt,k=1,2,\cdots,n-1$$

(4)

而 $x^{(1)}(k_i)=\sum_{j=1}^i x^{(0)}(k_j)\Delta k_j$,故:

$$\int_{k_i}^{k_{i+1}} dx^{(1)}(t)=x^{(1)}(k_{i+1})-x^{(1)}(k_i)=x^{(0)}(k_{i+1})\Delta k_{i+1}$$

(5)设 $z^{(1)}(k_{i+1})$ 是 $x^{(1)}(t)$ 在区间 $[k_i,k_{i+1}]$ 上的背景值,故:

$$a\int_{k_i}^{k_{i+1}} x^{(1)}(t)dt=a\int_{k_i}^{k_{i+1}} z^{(1)}(k_{i+1})dt=az^{(1)}(k_{i+1})\Delta k_{i+1}$$

$$az^{(1)}(k_{i+1})=a z^{(1)}(k_{i+1})+u,i=2,3,\cdots,n_0$$

(6)其中, $z^{(1)}(k_{i+1})$ 是 $x^{(1)}(k_i),x^{(1)}(k_{i+1})$ 2 点的平

均值:

$$z^{(1)}(k_{i+1})=\frac{x^{(1)}(k_{i+1})+x^{(1)}(k_i)}{2}\quad i=1,2,\cdots$$

(6)

所以,林地面积的 $z^{(1)}(k_{i+1})=[166\ 892.2,169\ 174.3,166\ 375.8]$ 。

(7)利用最小二乘法求参数 a,u_0 。设:

$$B=\begin{bmatrix} -z^{(1)}(k_2) & 1 \\ -z^{(1)}(k_3) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -z^{(1)}(k_n) & 1 \end{bmatrix}$$

$$y_n=[x^{(0)}(2),x^{(0)}(3),\cdots,x^{(0)}(n)]^T$$

(7)

则林地面积的矩阵

$$B=\begin{bmatrix} -903\ 377.1 & 1 \\ -2\ 500\ 263.5 & 1 \\ -3\ 762\ 074.5 & 1 \end{bmatrix}$$

林地面积 $y_n=[166\ 892.2,169\ 174.3,166\ 375.8]$ 。

得到参数辨识 $a,u;a=(B^TB)^{-1}B^Ty_n$ 。

(8)将式(7)代入式(3),并设 $t=k_i$ 时, $\hat{x}^{(0)}(k_i)=\hat{x}^{(1)}(k_i)$,得公式:

$$x^{(1)}(k_i)=(x^{(0)}(k_1)-\frac{u}{a})e^{-a(k_i-k_1)}+\frac{u}{a}$$

因为: $\hat{x}^{(0)}(k_{i+1})-x^{(1)}(k_i)=\hat{x}^{(0)}(k_{i+1})\Delta(k_{i+1})$,故:

$$\hat{x}^{(0)}(k_{i+1})=\frac{1}{\Delta_{k_{i+1}}}[\hat{x}^{(1)}(k_{i+1})-\hat{x}^{(1)}(k_i)]\Delta k_{i+1}=\frac{1}{\Delta_{k_{i+1}}}(1-e^{a\Delta k_{i+1}})(x^{(0)}(k_1-\frac{u}{a}))e^{-a(k_{i+1}-k_1)}$$

(8)

3.1.2 建立横县森林资源变化的非等距时间数据序列灰色模型。以 MATLAB 工具,按照以上构建预测模型的步骤及公式,建立广西横县非等距时间数据序列森林资源变化趋势预测模型 GM(1,1)^[8]。将横县 1990—2014 年的非等间距序列,算出非等间距序列的间隔 Δk ,按照公式对 $X^{(0)}$ 一次累加生成 $1-AGO$ 序列 $X^{(1)}=[x^{(1)}(k_1),x^{(1)}(k_2),\cdots,x^{(1)}(k_n)]$,然后利用最小二乘法求参数 a,u ,将灰参数代入公式(8)得到广西横县森林资源变化指标的时间函数方程如表 2 所示^[9]。

表 2 森林资源变化预测模型辨识参数及函数方程

Table 2 Identification parameters and functional equations of forest resources change prediction model

林地类型 Forestland type	a	u	函数方程 Functional equation
林地面积 Forestland area	0.000 111	167 745.2	$\hat{x}^{(1)}(k_i)=-1\ 515\ 211\ 016.37\times e^{-0.000\ 110\ 696(k_i-1990)}+1\ 515\ 363\ 378.39$
森林面积 Forest area	-0.001 320	136 544.8	$\hat{x}^{(1)}(k_i)=103\ 900\ 803.99\times e^{0.001\ 315\ 307(k_i-1990)}-103\ 812\ 087.39$
森林覆盖率 Forest cover rate	-0.001 650	41.946 11	$\hat{x}^{(1)}(k_i)=25\ 464.13\times e^{0.001\ 649\ 212(k_i-1990)}-25\ 434.03$
活立木总蓄积量 Living trees volume	-0.037 900	3 375 677	$\hat{x}^{(1)}(k_i)=91\ 013\ 957.82\times e^{0.037\ 895\ 472(k_i-1990)}-89\ 078\ 647.82$

3.2 非等距时间数据序列构建灰色模型精度检验

3.2.1 拟合精度误差检验。将以上参数 a,u 代入还原模型式,代入横县 1990—2014 年森林资源变化的林地面积、森林面积、森林覆盖率、活立木总蓄积量的数据求得广西横县森林资源变化指标的时间函数方程,求得各变化的拟合值。并用实际值与拟合值的差值比实际值求得相对误差如表 3 所示。

3.2.2 灰色模型预测精度检验。针对模型的预测功能需要进行非等距时间数据序列构建灰色模型精度检验^[10]。结合数据及以上的分析方法,采用灰色系统理论的后验差进行检验,首先计算原始数列的方差、标准差 S_1 、残差标准差 S_2 、方差比 C 、小误差概率 P :

残差序列: $\varepsilon_{(k_i)}^0=x^{(0)}(k_i)-\hat{x}^{(0)}(k_i)$

表 3 实际值与拟合值的相对误差

Table 3 Relative error of fitting values and true values				
林地类型 Forestland type	时间 Year	实际值 True values	拟合值 Fitting values	误差 Relative error//%
林地面积 Forestland area	1990	152 362. 2	152 362. 2	0
	1999	166 892. 2	167 644. 8	-0. 45
	2009	169 174. 3	167 468. 6	1. 01
	2014	166 375. 8	167 329. 6	-0. 57
森林面积 Forest area	1990	88 716. 6	88 716. 6	0
	1999	137 256. 4	137 473. 5	-0. 16
	2009	139 695. 2	139 202. 3	0. 35
	2014	140 312. 3	140 581. 5	-0. 19
森林覆盖率 Forest cover rate	1990	30. 1	30. 1	0
	1999	42. 3	42. 308 97	-0. 02
	2009	43. 0	42. 977 16	0. 05
	2014	43. 5	43. 511 68	-0. 03
活立木总蓄积量 Living trees volume	1990	1 935 310	1 935 310	0
	1999	3 731 613	4 110 156	-10. 14
	2009	6 679 275	5 897 935	11. 70
	2014	7 638 269	7 801 666	-2. 14

方差比: $C = S_2 / S_1$

根据后验差模型检验方法对模型的精度进行检验^[11]。根据模型计算所得的 C 越小越好,指标 P 值越大越好^[12]。其中预测的精度等级划分如表 4 所示。

表 4 预测精度等级划分
Table 4 Forecast precision grade

预测精度评价 Forecast precision evaluation	小误差概率 P Small error probability	方差比 C Variance ratio
很好 Very good	>0. 95	<0. 35
好 Good	>0. 80	<0. 50
一般 General	>0. 70	<0. 65
不好 Bad	≤0. 70	≥0. 65

根据灰色系统的后验差检验的分析方法,得广西横县森林资源变化的模型精度的检验结果(表 5),求得横县林地面积、森林面积、森林覆盖率、活立木总蓄积量的后验差检验的方差比 C 都小于 0. 35,小误差概率 $P = 1$,预测等级都为一级“好”,故建立的森林资源变化预测模型的函数方程较为可靠。

小误差概率: $P = \{ |\varepsilon^0(k_i) - \bar{\varepsilon}^{(0)}| < 0. 674 5S_1 \}$

表 5 检验精度

Table5 Verify the accuracy analysis table

指标 Index	原数据标准差 S_1	残差标准差 S_2	方差比 C Variance ratio	小误差概率 P Small error probability	预测精度 Forecasting precision
林地面积 Forestland area	7 656. 450 674	1 209. 075 081	0. 157 915 872	1	一级“好”
森林面积 Forest area	25 220. 218 71	347. 649 434 8	0. 013 784 553	1	一级“好”
森林覆盖率 Forest cover rate	6. 435 513 448	0. 015 677 591	0. 002 436 106	1	一级“好”
活立木总蓄积量 Living trees volume	2 631 950. 981	505 357. 021	0. 192 008 523	1	一级“好”

3.3 森林资源变化预测结果与分析 利用广西横县森林资源动态变化的预测模型进行非等距的灰色预测,得到横县 2017、2020、2025 和 2030 年的林地面积、森林面积、森林覆盖率、活立木总蓄积量的预测值如表 6 所示。

表 6 森林资源变化动态预测数据
Table 6 Forecast of forest resource dynamic change

预测年 Forecasting year	林地面积 Forestland area//hm ²	森林面积 Forest area hm ²	森林覆盖率 Forest cover rate//%	活立木总蓄积量 Living trees volume//m ³
2017	167 255. 519 1	141 322. 952	43. 799 592 05	9 069 908. 847
2020	167 227. 751 8	141 602. 327	43. 908 212 77	9 615 920. 665
2025	167 181. 486 7	142 069. 590	44. 090 046 13	10 625 272. 360
2030	167 135. 238 7	142 538. 909	44. 272 883 36	11 775 436. 410

通过横县森林资源变化动态预测的结果分析,广西横县的森林资源在 2017—2030 年除了林地面积略有减少,森林面积(有林地)、森林覆盖率及活立木总蓄积量则都呈增长的趋势。但其中林地面积、森林面积、森林覆盖率的相对变化率都低于 1%,说明横县的林地保护措施相对得当,林地面积相对稳定;而活立木总蓄积量则相较于 2017 年相对净增长率分别为 6. 02%、17. 15%、29. 83%,在林地面积、有林地面积减少的情况下,活立木总蓄积量则逆势增长,乔木林蓄积单产呈现增长趋势,说明随着时代的发展、营林措施的改善、树种的调整,当地对低产林进行改造,加强封山育林,并大力

发展林业,使得森林质量得到进一步提高,森林资源保护和经营效果显著。

4 结论与讨论

对于广西壮族自治区横县 1990、1999、2009、2014 年林地面积、森林面积、森林的覆盖率和活立木总蓄积量 4 年的森林资源调查数据,这种时间序列短、时间序列非连续、时间序列非等距的变化分析,应用灰色系统理论,进行横县森林资源的动态变化分析并进行非等距的灰色预测的分析过程较为简单,拟合效果较好,预测等级较高,是一种行之有效的方

蒸发;有些种类的叶片具有疣或突起,也可以起到反射太阳辐射作用^[8]。另一方面,苔藓植物的耐旱能力是由于其具有一些特殊的生理特征的结果,研究发现耐旱藓类对损伤的膜系统具有很强的修复能力,还与其细胞具有低水势的特点密切相关^[9]。

苔藓植物在干旱条件下存活可以通过失水后生长速率和叶绿素含量变化来观察,光合作用和呼吸作用常被用于测量变水植物的水分和生活力关系研究^[10]。耐旱苔藓植物在失水过程中散热能力增强,能利用不稳定的水分供给降低光损伤,从而使光合合成系统处于可恢复状态^[11-12]。

10 种藓类植物的含水量在干燥处理后均明显下降,这与苔藓植物的形态、结构特征有关。苔藓植物缺乏维管组织,个体较小,在长期适应环境过程中形成了一系列耐旱机制,并依靠这种机制调节其体内含水量从而减轻干旱胁迫所造成的伤害。其中桧叶白发藓、密枝灰藓、拟阔叶小石藓和尖叶匍灯藓在干燥处理过程中表现出较强的快速失水能力,而在随后的复水试验中,密枝灰藓、尖叶匍灯藓、拟阔叶小石藓和褶叶小墙藓则表现出快速的复水能力。10 种藓类在干旱处理 6 d 后复水 1 h 的实际光合效率都有显著性的提高,其中密枝灰藓、桧叶白发藓和尖叶匍灯藓表现最佳。在不同干燥时间下,只有密枝灰藓和拟阔叶小石藓的 NPQ 值显著上升,说明这 2 种藓类在干旱情况下仍能够通过自身的调节将多余的光能耗散掉,从而起到保护作用。

综上所述,密枝灰藓、桧叶白发藓、尖叶匍灯藓和拟阔叶小石藓 4 种藓类在该研究各种处理中均表现出较强的适应干旱环境能力,可作为今后城市绿地及园林绿化开发的理想材料。但是,该研究将 10 种藓类植物剥离基质后进行光合

作用测量会因为改变水分丧失和吸收条件进而影响到测量结果的准确性,在今后的研究中将进一步对苔藓植物进行大棚移栽,利用脉冲式叶绿素荧光计,实地测量苔藓这一类变水植物的光合作用。

参考文献

- [1] CAO T, ZHU R L, BENTIO C T, et al. A report of the first national red list of Chinese endangered bryophytes[J]. Journal of the hattori botanical laboratory, 2006, 119(99): 275–295.
- [2] 吴玉环,程佳强,冯虎元,等.耐旱藓类的抗旱生理及其机理研究[J].中国沙漠,2004,24(1):23–29.
- [3] 陈自新,苏雪痕,刘少宗,等.北京城市园林绿化生态效益的研究(3)[J].中国园林,1998,14(57):53–57.
- [4] 李帅杰,程晓陶.福建福州市屋顶绿化及雨水收集对雨洪的调节作用[J].中国防汛抗旱,2012,22(2):16–20.
- [5] VANDERPOORTEN A, GOFFINET B. Introduction to bryophytes[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2010.
- [6] KEEVER C. Establishment of *Grimmia laevigata* on bare granite[J]. Ecology, 1957, 38(3): 422–429.
- [7] MALTA N. Versuche über die Widerstandsfähigkeit der moose gegen Austrocknung[J]. Acta university latviensis, 1921, 1: 125–129.
- [8] HAMERLYNCK F P, TUBA Z, CSINTALAN Z, et al. Diurnal variation in photochemical dynamics and surface reflectance of the desiccation-tolerant moss, *Tortula ruralis* [J]. Plant ecology, 2000, 151(1): 55–63.
- [9] 吴鹏程. 苔藓植物生物学[M]. 北京: 科学出版社, 1998.
- [10] TUBA Z, CSINTALAN Z, PROCTOR M C F. Photosynthetic responses of a moss, *Tortula ruralis* ssp. *ruralis*, and the lichens *Cladonia convoluta* and *C. furcata* to water deficit and short periods of desiccation, and their eco-physiological significance: A baseline study at present-day CO₂ concentration[J]. New phytologist, 1996, 133(2): 353–361.
- [11] GREEN T G A, SCHROETER B, KAPPEN L, et al. An assessment of the relationship between chlorophyll a fluorescence and CO₂ gas exchange from field measurements on a moss and lichen[J]. Planta, 1998, 206(4): 611–618.
- [12] MARSCHALL M, PROCTOR M C F. Desiccation tolerance and recovery of the leaf liverwort *Porella platyphylla* (L.) Pfeiff.; Chlorophyll-fluorescence measurements[J]. Journal of bryology, 1999, 21(4): 257–262.

(上接第 3 页)

法。李亦秋等^[4]对 1974—2007 年山东省森林资源变化进行分析,建立非等距灰色预测模型,得到森林资源未来变化较为精确的结果。通过预测精度检测,横县森林资源的方差比 C 都小于 0.2,预测精度都为一级“好”,其中森林覆盖率的预测精度为“最好”,表示模型所得的计算值与实际值之差不太离散^[13]。预测结果显示横县森林资源的变化在 2017—2030 年间除了林地面积略有减少,森林面积(有林地)、森林覆盖率及活立木总蓄积量则都呈现增长的趋势,但林地面积、森林面积、森林覆盖率的相对变化率都低于 1%,而活立木总蓄积量则相较于 2017 年相对净增长率分别为 6.02%、17.15%、29.83%,这在一定程度上表明横县的森林资源的总体发展较为平稳,森林生产量与消耗量基本持平;林地面积减少而蓄积量增加,表明林地管护措施得当,林木的蓄积单产显著增长,活立木总蓄积量则逆势增长。而在灰色理论体系中,随着时间的发展,将会出现一些随机的扰动或驱动因素进入系统,使系统的发展发生变化,一般而言,越久远的发展,越远离时间原点,模型的预测意义就越弱^[14]。

参考文献

- [1] 尤光辉. 武汉市森林资源动态分析及林业可持续发展探讨[D]. 武汉: 华中农业大学, 2009.
- [2] 王凯, 陈涛, 罗军伟, 等. 基于 EKC 模型的山东省森林资源变化与人均 GDP 关系分析[J]. 林业经济问题, 2016, 36(3): 222–226.
- [3] 邓聚龙. 灰色系统基本方法[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2005: 12–14.
- [4] 李亦秋, 冯仲科. 山东省森林资源动态变化的非等间距灰色预测[J]. 浙江林学院学报, 2009, 26(1): 7–12.
- [5] 陈勇. 非等间距序列的灰色模型的程序实现[J]. 商洛学院学报, 2005, 19(2): 20–21.
- [6] 郑艳琳, 刘保东. 非等间距 GM(1,1) 模型的模糊优化[J]. 山东科技大学学报(自然科学版), 2004, 23(4): 75–77.
- [7] 傅泽强, 孙启宏, 蔡运龙, 等. 基于灰色系统理论的森林火灾预测模型研究[J]. 林业科学, 2002, 38(5): 95–100.
- [8] 马友平, 冯仲科, 何友均. 日本落叶松人工林生长量的灰色-马尔柯夫预测[J]. 福建林学院学报, 2007, 27(2): 151–156.
- [9] 刘思峰, 郭天榜, 党耀国, 等. 灰色系统理论及其应用[M]. 2 版. 北京: 科学出版社, 1999.
- [10] 王丰效. 多变量非等间距 GM(1,m) 模型及其应用[J]. 系统工程与电子技术, 2007, 29(3): 388–390.
- [11] 曾志三, 顾明. GM(1,1) 模型对烟草产量的灰色预测[J]. 山地农业生物学报, 2006, 25(4): 293–296.
- [12] 李振全, 徐建新, 邹向涛, 等. 灰色系统理论在农业需水量预测中的应用[J]. 中国农村水利水电, 2005(11): 24–26.
- [13] 罗佑新, 周继荣. 非等间距 GM(1,1) 模型及其在疲劳试验数据处理和疲劳试验在线监测中的应用[J]. 机械强度, 1996(3): 60–63.
- [14] 刘思峰. 灰色系统理论及其应用[M]. 5 版. 北京: 科学出版社, 2010.