

基于加速遗传算法的区域生态 足迹预测一般回归模型*

吴开亚¹, 金菊良²

(1. 复旦大学公共管理与公共政策创新基地, 上海 200433;

2. 合肥工业大学土木与水利工程学院, 安徽 合肥 230009)

摘要: 为选择区域生态足迹的预测模型结构的合理形式, 提出把一般回归模型(GRA)作为区域生态足迹预测模型结构, 用加速遗传算法(AGA)进行高精度GRA统一建模的新方案, 从而建立了基于AGA的区域生态足迹一般回归模型(AGA-GRA)。AGA-GRA的实证结果说明: 在2005-2020年期间, 安徽省人均生态足迹将由1.724 6升至2.148 6 hm^2 , 平均年增长率为1.48%; 人均生态承载力由0.415 8降至0.338 8 hm^2 , 平均年减少率为1.36%; 人均生态赤字由1.323 7升至1.876 0 hm^2 , 平均年增长率为2.35%; 万元GDP生态足迹由1.836 7降至0.395 9 $\text{hm}^2/\text{万元}$, 平均年减少率为9.73%。安徽省的人均生态赤字仍在不断加剧, 说明现有的社会经济发展模式是不可持续的。AGA-GRA克服了普通时间序列分析和回归分析模型中预先确定简单函数曲线则预测误差大而预先确定复杂曲线则模型求解困难之间的矛盾, 提高了模型拟合和预测能力。

关键词: 生态足迹; 动态预测; 一般回归模型; 加速遗传算法

中图分类号: X171.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2008) 02-0118-05

某研究时期内生产研究区域人口所消费的资源 and 能源, 以及吸纳这些人口所产生的废弃物所需要的生物生产性土地(主要为耕地、草地、林地、化石能源用地、建筑用地和水域)的总面积, 称为区域生态足迹(ecological footprint)^[1-3]。与生态足迹需求相对应的生态承载力, 是指区域能够提供给人类的生态生产性土地的总和。生态足迹与生态承载力之差称为生态赤字, 它定量刻画了区域生态环境可持续利用和区域可持续发展的综合状态, 具有区域间的可比性、可持续发展判别的直观性和计算方法的可验证性等显著优点, 已成为可持续发展规划与管理的基本测算工具^[2-5]。预测区域生态足迹的变化趋势, 揭示人口经济社会发展和科技进步对生态足迹的影响、增强生态足迹对区域可持续发展未来趋势的动态预测功能, 为区域可持续发展规划与管理提供重要的决策信息, 已成为当前研究的重要课题^[1,5-7]。目前, 预测区域生态足迹的常用方法是时间序列分析和回归分析方法^[6-9]。由于受人口、经济和社会发展和科技进步等众多因子的综合作用, 不同区域或不同阶段的生态足迹时间序列往往呈现线性、指数、对数、乘幂、多项式和双曲线等多种不同的函数形式。为选择区域生态足迹

预测模型结构的合理形式, 进一步挖掘生态足迹时间序列的变化信息, 减少主观因素的不确定性和建模工作量, 提高预测模型适应不同区域或不同阶段的生态足迹时间序列变化的拟合和预测能力, 本文探讨了能包含直线、指数、抛物线、双曲线等众多模型形式的一般回归模型(general regression analysis model, GRA)在区域生态足迹预测中的适用性, 针对GRA建模过程的复杂性^[10], 提出了用加速遗传算法(Accelerating Genetic Algorithm, AGA)^[11]进行高精度GRA统一建模的新方案(AGA-GRA), 最后应用于安徽省生态足迹、生态承载力、生态赤字和万元GDP生态足迹时间序列的预测分析中。

1 一般回归模型的建立

基于加速遗传算法的区域生态足迹预测一般回归模型(AGA-GRA)的建立过程包括2个步骤:

(1) 确定区域生态足迹预测模型的结构形式。设区域生态足迹 t 时刻的时间序列值为 y_t , $t \geq 0$, 其中0时刻的值 $y_0 > 0$ 。又设相对量 y_t/y_0 的导数为^[10]

* 收稿日期: 2007-06-06

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50579009, 70771035); 教育部人文社会科学规划基金资助项目(05JA840011)

作者简介: 吴开亚(1968年生), 男, 博士, 副教授; 通讯联系人: 金菊良; E-mail: jinjl66@126.com

$$\frac{d(y_t/y_0)}{dt} = a(y_t/y_0)^b \quad (1)$$

式中, y_0 , a 和 b 为模型参数。对式 (1) 进行积分, 可推得区域生态足迹的一般回归模型为^[10]

$$y_t = \begin{cases} y_0 e^{at} & (b = 1) \\ y_0 [1 + a(1-b)t]^{-\frac{1}{1-b}} & (b \neq 1) \end{cases} \quad (2)$$

可以证明式 (2) 对 b 而言是连续的^[10]。式 (2) 中有 3 个待定参数^[10]: y_0 的大小和正负决定于坐标系的位置, 可以通过变换坐标系使得模型曲线经过点 $(0, y_0)$, 且 $y_0 > 0$; a 表示曲线的变化方向, 当 $a > 0$ 时曲线是上升的, 当 $a < 0$ 时曲线是下降的, 当 $a = 0$ 时曲线是常数; 在 a 确定的情况下, b 决定曲线的变化速度和曲线形状, b 取不同的值可分别表示直线、指数、对数、乘幂、多项式和双曲线等多种不同形状的曲线形式, 这使得一般回归模型具有比较广泛的适应性。

(2) 用加速遗传算法 (AGA) 直接在模型拟合误差最小准则下同时优化估计一般回归模型中的 3 个待定参数。鉴于区域生态足迹时间序列的样本容量一般较小, 为控制大的拟合误差, 目标函数取为^[10]:

$$\min f(y_0, a, b) = \sum_{i=1}^n |y_i - y_{0,i}| \quad (3)$$

式中, y_i 为式 (2) 的模型计算值, 它是以 y_0 , a 和 b 为变量的函数, $y_{0,i}$ 为与 y_i 同时刻的实际值。模拟生物优胜劣汰规则与群体染色体信息交换机制的 AGA 是一种通用的全局性优化方法, 用 AGA 可较方便地求解式 (3) 的优化问题^[11]。

2 实例分析——以安徽省为例

2.1 研究区概况与数据来源

安徽省的总面积为 $1\,396 \times 10^4 \text{ km}^2$, 约占全国总土地面积的 1.46%; 2004 年总人口 6 416 万, 人口密度约为全国平均人口密度的 3 倍多; 人均土地 0.23 km^2 , 约为全国平均水平的 1/3; GDP 总量达 4 812.65 亿元, 人均 GDP 为全国人均水平的 73.55%。本研究区域地理位置特殊, 自然条件复杂, 生态系统多样, 它对长江三角洲乃至华东地区的资源支持和可持续发展均具有重要意义。计算生态足迹所需数据包括消费的自然资源和能源数据及各类土地利用数据。消费数据通常包括粮食、水果、蔬菜、肉类、林产品、水产品、能源、建筑用地等, 土地利用类型包括农业用地、牧业用地、建筑用地、林业用地、水域和能源用地。本研究将安徽省人口消费分为粮食 (10 项)、水果 (8 项)、干果 (8 项)、蔬菜 (11 项)、纤维作物 (5 项)、

油料作物 (4 项)、肉类 (4 项)、奶 (1 项)、木材 (4 项)、能源 (7 项)、水产品 (1 项) 和杂类 (6 项) 等 12 类 69 项指标; 土地利用类型分为耕地、林地、草地、水域、化石能源和建筑用地共 6 大类。计算中采用了可变的世界单产法, 其中生物资源和能源各年的世界平均产量取自联合国粮农组织 (FAO) 统计数据^[12]; 生物资源消费数据、能源消费数据和人口数据取自安徽统计年鉴 1991 - 2005 年^[13]、以及部分年份的中国农村统计年鉴、中国农业统计年鉴; 土地利用数据取自中国统计年鉴 1991 - 2005 年^[14]。计算生态承载力所采用的均衡因子和产量因子均取自 WWF 的 Living Planet Report 2002^[15]。因均衡因子随年份变化较小, 不同年份的同一土地利用类型采用同一均衡因子。耕地、草地和水域的产量因子按 FAO 数据库中的中国单产与世界单产比率进行计算, 随年份而变化; 林产品的单产由于数据可获性的限制及其对计算结果影响较小, 不随年份而变化 (表 1)。在进行生态足迹与生态承载力比较时, 将生物多样性保护面积 (占 12%) 从生态承载力中单独剔除。由于统计数据中的贸易进出口数据比较笼统, 缺乏省内外贸易调整资料, 计算中没有考虑贸易调整部分。

表 1 1999 年均衡因子和产量因子

Tab. 1 Equivalence factors and yield factors in 1999

项目	耕地	草地	林地	水域	建筑用地	能源用地
产量因子	可变	可变	0.6	可变	0.91	0.6
均衡因子	2.11	0.47	1.35	0.35	2.11	1.35

2.2 安徽省生态足迹 AGA - GRA 预测模型的建立

1990 - 2004 年安徽省的生态足迹、生态承载力、生态赤字和万元 GDP 生态足迹时间序列 (表 2、图 1 和 2) 说明, 安徽省人均生态足迹、人均生态承载力、人均生态赤字和万元 GDP 生态足迹时间序列的变化特性可用式 (2) 描述, 经用 AGA 优化估计模型参数, 最终建立了这 4 个时间序列的 AGA - GRA 预测模型 (表 3), 这些模型 1990 - 2004 年的计算结果及其相对误差如表 2 所示。

2.3 2005 - 2020 年安徽省生态足迹预测分析

表 2 和表 3 说明, AGA - GRA 模型能较好地反映这 4 个时间序列 1990 - 2004 年的变化特性, 假设安徽省未来 16 年内的人口增长率、消费模式、土地等状况仍保持 1990 - 2004 年间的发展态势, 用表 3 中的 AGA - GRA 模型预测 2005 - 2020 年人均生态足迹、人均生态承载力、人均生态赤字和万元 GDP 生态足迹, 结果见图 1 和图 2。图 1 和图 2

表 2 安徽省人均生态足迹、人均生态承载力、人均生态赤字和万元 GDP 生态足迹
1990 - 2004 年实际值及其 AGA - GRA 计算值

Tab. 2 Practice and computed values of AGA - GRA of ecological footprint per capita, ecological capacity per capita, ecological deficit per capita and ecological footprint per 10 thousand Yuan GDP of Anhui province from 1990 to 2004

年份	生态足迹			生态承载力			生态赤字			万元 GDP 生态足迹		
	实际值 $\text{hm}^2 \cdot \text{cap}^{-1}$	计算值	相对误差 %	实际值 $\text{hm}^2 \cdot \text{cap}^{-1}$	计算值	相对误差 %	实际值 $\text{hm}^2 \cdot \text{cap}^{-1}$	计算值	相对误差 %	实际值 $\text{hm}^2 \cdot \text{cap}^{-1}$	计算值	相对误差 %
1990	1.0121	0.9049	-10.60	0.5108	0.5106	-0.04	0.5014	0.3476	-30.68	8.5601	8.4721	-1.03
1991	0.8800	1.0026	12.66	0.5024	0.5036	0.25	0.3876	0.4680	20.74	7.6431	7.6527	0.13
1992	1.0132	1.0861	7.20	0.4947	0.4968	0.41	0.5184	0.5660	9.17	7.2912	6.9122	-5.20
1993	1.1221	1.1596	3.35	0.4899	0.4900	0.02	0.6322	0.6511	2.99	6.2851	6.2433	-0.66
1994	1.1281	1.2258	8.66	0.4846	0.4833	-0.25	0.6435	0.7275	13.05	4.4332	5.6389	27.20
1995	1.2898	1.2862	-0.28	0.4783	0.4768	-0.32	0.8115	0.7974	-1.73	3.7940	5.0928	34.23
1996	1.4086	1.3421	-4.72	0.4737	0.4703	-0.72	0.9349	0.8624	-7.75	3.5708	4.5996	28.81
1997	1.4974	1.3941	-6.90	0.4599	0.4639	0.86	1.0395	0.9235	-11.16	3.3451	4.1540	24.18
1998	1.4816	1.4430	-2.61	0.4575	0.4576	0.01	1.0241	0.9812	-4.19	3.1656	3.7515	18.51
1999	1.5347	1.4891	-2.97	0.4515	0.4514	-0.03	1.0831	1.0361	-4.35	3.1782	3.3879	6.60
2000	1.5328	1.5329	0.00	0.4485	0.4452	-0.73	1.0843	1.0885	0.39	3.0609	3.0594	-0.05
2001	1.5710	1.5745	0.23	0.4432	0.4392	-0.91	1.1277	1.1389	0.99	2.9176	2.7628	-5.31
2002	1.6381	1.6143	-1.45	0.4383	0.4332	-1.16	1.1998	1.1874	-1.03	2.8287	2.4948	-11.80
2003	1.6461	1.6525	0.39	0.4115	0.4273	3.85	1.2346	1.2343	-0.02	2.5501	2.2528	-11.66
2004	1.6523	1.6892	2.24	0.4125	0.4215	2.18	1.2397	1.2797	3.22	2.1270	2.0342	-4.36

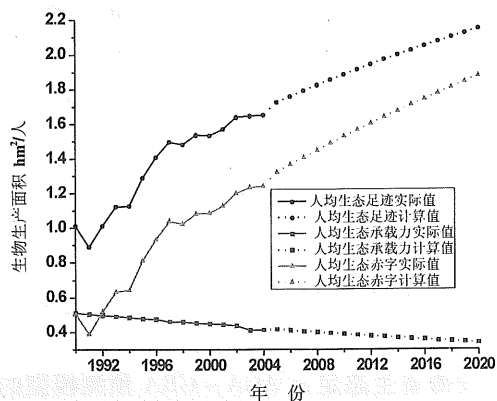


图 1 1990 - 2004 安徽省人均生态足迹、人均生态承载力

Fig. 1 Ecological footprint per capita, capacity per caand deficit of Anhui province from 1990 - 2004

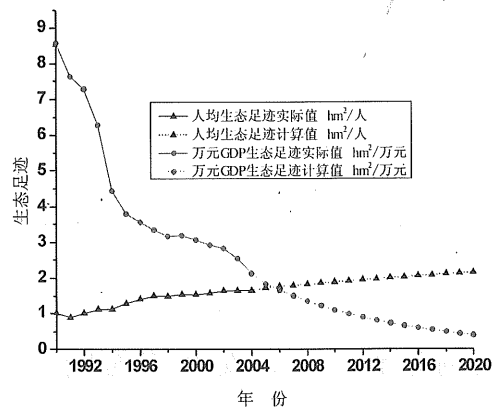


图 2 1990 - 2004 年安徽省人均生态足迹和万元 GDP 生态足迹

Fig. 2 GDP per capita, ecological footprint per capita and ecological footprint per 10 thousand Yuan GDP of Anhui province from 1990 - 2004

表 3 安徽省人均生态足迹、人均生态承载力、人均生态赤字及
万元 GDP 生态足迹时间序列的一般回归模型

Tab. 3 General regression analysis models of ecological footprint per capita, ecological capacity per capita, ecological deficit per capita and ecological footprint per 10 thousand Yuan GDP of Anhui province

时间序列	γ_0	a	b	AGA - GRA 模型	平均绝对误差/	平均相对误差/%
人均生态足迹	0.7839	0.1759	-1.7492	$\gamma = 0.7839(1 + 0.48358t)^{0.3637}$	0.0504 hm^2/cap	4.28
人均生态承载力	0.5176	-0.0137	1.0091	$\gamma = 0.5176(1 + 0.000125t)^{-109.8901}$	0.0034 hm^2/cap	0.78
人均生态赤字	0.1680	1.5455	-0.8669	$\gamma = 0.1680(1 + 2.88529t)^{0.5356}$	0.0497 hm^2/cap	7.43
万元 GDP 生态足迹	9.3793	-0.1017	0.9975	$\gamma = 9.3793(1 - 0.00025t)^{400.0000}$	0.4358 $\text{hm}^2/\text{万元}$	11.98

说明: ①2005 - 2020 年间安徽省人均生态足迹由 1.724 6 升至 2.148 6 hm^2 , 平均年增长率为 1.48%, 低于 1990 - 2004 年间的平均年增长率 3.56%。②人均生态承载力由 0.415 8 降至 0.338 7 hm^2 , 平均年减少率为 1.36%, 略低于 1990 - 2004 年间的平均年减少率 1.51%。③人均生态赤字由 1.323 7 hm^2 升至 1.876 0 hm^2 , 平均年增长率为 2.35%, 低于 1990 - 2004 年间的平均年增长率 6.68%。④万元 GDP 生态足迹由 1.836 7 $\text{hm}^2/\text{万元}$ 降至 0.395 9 $\text{hm}^2/\text{万元}$, 平均年减少率为 9.73%, 略高于 1990 - 2004 年间的平均年减少率 9.47%。⑤在现有发展模式下, 2005 - 2020 年的人均生态足迹和人均生态赤字的增长速度虽有所减缓, 但由于社会经济的迅速发展, 生态环境负荷不断加大, 仍无法避免人均生态赤字不断加剧的事实, 实现区域可持续发展的困难越来越大。⑥若将研究时段的安徽省生态承载力作为基准, 则同时段的生态足迹与生态承载力的比值可表示安徽省对生物生产性土地的相对需求量。结果表明, 1990 年和 2004 年安徽省分别需 1.98 个和 4.01 个安徽省的生物生产性土地来提供所消费的生物资源; 预计 2010、2015 和 2020 年安徽省分别需 4.85 个、5.58 个和 6.34 个安徽省的生物生产性土地来提供所消费的生物资源。尽管 2001 年安徽省人均生态足迹水平为 1.57 hm^2/cap , 低于 2.2 hm^2/cap 的世界平均水平^[16], 但人均生态赤字 1.13 hm^2/cap 已显著高于 0.4 hm^2/cap 的世界平均水平^[16]。可见, 安徽省生态赤字问题的实质不是生态足迹过大, 而是生态承载力过小, 也就是土地的平均产出率较低。这主要是由于安徽为经济发展相对比较落后的农业大省, 科技发展水平相对较低, 生物资源和能源消耗量大。

3 结 论

(1) 针对区域生态足迹过程受人口、经济、社会发展和科技进步等众多因素的综合影响、变化复杂的特点, 提出把能包含直线、指数、抛物线、双曲线等众多模型形式的一般回归模型 (GRA) 作为区域生态足迹预测模型结构。为减少 GRA 建模过程的不确定性和工作量, 提高模型拟合和预测能力, 提出用加速遗传算法 (AGA) 进行高精度 GRA 统一建模的新方案, 从而建立了基于加速遗传算法的区域生态足迹预测一般回归模型 (AGA - GRA)。

(2) AGA - GRA 的应用结果说明: 安徽省在 2005 - 2020 年期间, 人均生态足迹将由 1.724 6 升

至 2.148 6 hm^2 , 平均年增长率为 1.48%; 人均生态承载力由 0.415 8 降至 0.338 7 hm^2 , 平均年减少率为 1.36%; 人均生态赤字由 1.323 7 升至 1.876 0 hm^2 , 平均年增长率为 2.35%; 万元 GDP 生态足迹由 1.836 7 降至 0.395 9 $\text{hm}^2/\text{万元}$, 平均年减少率为 9.73%。在现有发展模式下, 虽然 2005 - 2020 年的人均生态足迹和人均生态赤字的增长速度有所减缓, 但由于社会经济的迅速发展, 生态环境负荷不断加大, 人均生态赤字仍在不断加剧, 实现区域可持续发展的困难越来越大。

(3) AGA - GRA 克服了普通时间序列分析和回归分析模型中预先确定简单函数曲线则预测误差大而预先确定复杂曲线则模型求解困难之间的矛盾, 提高了模型拟合和预测能力, 为一般区域生态足迹动态预测提供了一条新途径。

参考文献:

- [1] 蒋依依, 王仰麟, 卜心国, 等. 国内外生态足迹模型应用的回顾与展望[J]. 地理科学进展, 2005, 24(2): 13 - 23.
JIANG Yi-yi, WANG Yang-lin, PU Xin-guo, et al. Review and prospect of the application of ecological footprint Model[J]. Progress in Geography, 2005, 24(2): 13 - 23.
- [2] REES W E. Ecological footprint and appropriated carrying capacity: What urban economics leaves out[J]. Environment and Urbanization, 1992, 4(2): 121 - 130.
- [3] WACKERNAGEL M, REES W E. Our ecological footprint: Reducing human impact on the earth[M]. Gabriola Island: New Society Publishers, 1996.
- [4] 吴开亚, 王玲杰. 生态足迹及其影响因子的偏最小二乘回归模型与应用[J]. 资源科学, 2006, 28(6): 182 - 188.
WU Kai-ya, WANG Ling-jie. Partial least square regression model of ecological footprint and its influencing factors [J]. Resource Science, 2006, 28(6): 182 - 188.
- [5] 章锦河, 张捷. 国外生态足迹模型修正与前沿研究进展[J]. 资源科学, 2006, 28(6): 196 - 203.
ZHANG Jin-he, ZHANG Jie. Research progress and model modification of ecological footprint [J]. Resource Science, 2006, 28(6): 196 - 203.
- [6] 韩晓卓, 张彦宇, 李自珍. 生态足迹时间序列趋势外推分析的一种新方法及其应用[J]. 草业学报, 2006, 15(5): 129 - 134.
HAN Xiao-zhuo, ZHANG Yan-yu, LI Zi-zhen. A new approach to trend extrapolation of time series of ecological footprint and its application[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2006, 15(5): 129 - 134.
- [7] 胡永红, 吴志峰, 李定强, 等. 基于 ARIMA 模型的区域水生态足迹时间序列分析[J]. 生态环境, 2006, 15(1): 94 - 98.

- HU Yong-hong, WU Zhi-feng, LI Ding-qiang. Measuring sustainable development of water resources with aquatic ecological footprint in Guangzhou based on ARIMA model [J]. Ecology and Environment, 2006, 15(1): 94-98.
- [8] 斯蒿, 林年丰, 汤洁, 等. 生态足迹法在可持续发展度量及趋势预测中的应用[J]. 干旱区资源与环境, 2006, 20(3): 37-42.
- SI Ai, LIN Nian-feng, TANG Jie, et al. The application of ecological footprint to the measurement of sustainable development and trend forecast [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2006, 20(3): 37-42.
- [9] 蒋依依, 王仰麟, 张源. 滇西北生态脆弱区生态足迹动态变化与预测研究 - 以云南省丽江纳西族自治县为例[J]. 生态学杂志, 2005, 24(12): 1418-1424.
- JIANG Yi-yi, WANG Yang-lin, ZHANG Yuan. Dynamic change and its prediction of ecological footprint in ecotone of Yunnan province: A case study of Lijiang Naxi Autonomous County [J]. Chinese Journal of Ecology, 2005, 24(12): 1418-1424.
- [10] 姜海波, 李艳茹. 通用回归分析模型[J]. 数学的实践与认识, 2006, 36(1): 174-180.
- JIANG Hai-bo, LI Yan-ru. General mathematical model in regression analysis [J]. Mathematics in Practice and Theory, 2006, 36(1): 174-180.
- [11] 金菊良, 魏一鸣. 复杂系统广义智能评价方法与应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- JIN Ju-liang, Wei Yi-ming. Generalizes intelligent assessment methods for complex systems and applications [M]. Science Press of China, 2007.
- [12] Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO statistical database: agricultural data [DB/OL]. <http://faostat.fao.org/faostat/collections?version=ext&hasbulk=0&subset=agriculture>, 2005-03-08.
- [13] 安徽省统计局. 安徽统计年鉴 1991-2005 [M]. 北京: 中国统计出版社, 1991-2005.
- Statistical Bureau of Anhui. Anhui Statistical Yearbook 1991-2005 [M]. Beijing: China Statistics Press, 1991-2005.
- [14] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴 1991-2005 [M]. 北京: 中国统计出版社, 1991-2005.
- National Bureau of Statistics of China. China Statistics Yearbook 1991-2004 [M]. Beijing: China Statistics Press, 1991-2005.
- [15] World Wildlife Fund. Living planet report. 2002 [EB/OL]. <http://www.panda.org/downloads/general/lpr2002.pdf>, 2002-10-10.
- [16] 刘宇辉. 中国 1961~2001 年人地协调度演变分析 - 基于生态足迹模型的研究 [J]. 经济地理, 2005, 25(2): 219-222, 235.
- LIU Yu-hui. The analysis of China's human-environment relationship fluctuations between 1961-2001: Study based on the EF (ecological footprint) model [J]. Economic Geography. 2005, 25(2): 219-222, 235.

Accelerating Genetic Algorithm Based General Regression Analysis Model of Predicting Regional Ecological Footprint

WU Kai-ya¹, JIN Ju-liang²

(1. National Innovative Institute for Public Management and Public Policy, Fudan University, Shanghai 200433;
2. School of Civil Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: In order to choose rational structure of prediction model, a general regression analysis model was suggested as the prediction model structure of regional ecological footprint, and accelerating genetic algorithm was used to optimize the model parameters, and then a scheme of accelerating genetic algorithm based general regression analysis model for predicting dynamic change of regional ecological footprint, named AGA-GRA for short, was established. The AGA-GRA was applied to forecasting dynamic change of the ecological footprint of Anhui province. The results show that the ecological footprint per capita will increase from 1.7246 hm² in 2005 to 2.1486 hm² in 2020 with average annual increase rate of 1.48%; the ecological capacity per capita will decrease from 0.4158 hm² in 2005 to 0.3388 hm² in 2020 with average annual decrease rate of 1.36%; the ecological deficit per capita will increase from 1.3237 hm² in 2005 to 1.8760 hm² in 2020 with average annual increase rate of 2.35%, the ecological footprint per 10 thousand Yuan GDP will decrease from 1.8367 hm² in 2005 to 0.3959 hm² in 2020 with average annual decrease rate of 9.73%. The average personal ecological deficit of the province is increasing year by year, and the present developing model of economy and society is not sustainable. The conflict between predefined simple function curve inducing big error and complex function curve inducing modeling difficulty can be overcome, the fitting and forecasting power of model can be advanced by using AGA-GRA.

Key words: ecological footprint; prediction of dynamic change; general regression analysis model; accelerating genetic algorithm