

技术方法

灰色马尔可夫模型在济南市耕地预测中的应用

崔昊¹, 王筱明¹, 滕磊²

(1. 山东师范大学 人口·资源与环境学院, 山东 济南 250014; 2. 招远市国土资源局, 山东 烟台 265400)

摘要:以济南市为研究区域,分析了 1996 年至 2010 年耕地面积和人均耕地的变化态势,并运用灰色-马尔可夫预测的方法,建立划分状态的 GM(1,1)模型,对研究区域的耕地面积进行了预测。研究表明:灰色-马尔可夫模型对波动较大的数据拟合较好,在预测中具有独特的优势。另外,济南市耕地面积在 15 年的时间中呈现出波动下降变化态势,虽在近年趋于稳定,但在快速城市化、人口增长等因素的影响下,保护形势依然严峻。

关键词:耕地预测;灰色-马尔可夫;济南市

中图分类号:F301.21

文献标识码:B

耕地是最基本的自然资源,是人类生存发展的基础^[1]。我国人口众多,耕地后备资源有限,人均耕地少,因此耕地面积直接关系到我国的粮食安全。在新一轮的土地利用总体规划中,也将耕地保护、实现耕地的动态平衡放在了特别突出的位置。目前国内研究耕地数量变化主要集中在耕地变化速率^[2]、耕地变化区域差异^[2,3]和耕地变化驱动力^[2-4]三方面,其中耕地变化速率、区域变化差异主要应用耕地动态度^[2]和耕地相对变化率^[2,3]进行定量分析,耕地变化驱动力主要以相关分析^[2,3]、主成分分析为主^[4],以定性描述作为辅助。在耕地数量预测的方法上,国内学者多采用粮食需求^[5]、回归分析和灰色预测^[6]等方法。粮食需求预测考虑人均最小需求量,但忽略经济社会发展水平,得到的预测值往往偏低。回归分析和灰色预测方法比较简单,但对数据规律性要求较高,对波动较大的数据拟合比较困难。该文在分析济南市耕地历史变化趋势的基础上,结合灰色系统和马尔可夫两者的优势,利用灰色-马尔可夫模型预测了济南市 2020 年耕地面积,以期对土地利用规划的修编、耕地资源的管理有一定的指导意义。

1 研究区概况

济南市位于山东省中西部,地势南高北低,北部

为黄河平原带,中部为山前平原带,南部为低山丘陵带,耕地资源主要分布在北部和中部的平原地区。济南地处中纬度地带,属于暖温带半湿润季风型气候,其特点是季风明显,四季分明。独特的地形地质构造,使济南形成了众多泉脉,因此有“泉城”的美称。济南市作为山东省省会,是全省的政治、文化和科技中心,现辖历下区、市中区、槐荫区、天桥区、历城区、长清区 6 区,平阴县、济阳县、商河县 3 县以及章丘市,共 10 个县级行政单位,2010 年末,总人口 604.08 万人,全市面积 8 177 km²,耕地 3 623 km²。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

研究数据主要参考济南市国土部门土地调查统计数据及《济南市统计年鉴 2011》。

2.2 研究方法

2.2.1 灰色系统模型

灰色系统理论是一种研究少数据、贫信息不确定性问题的方法。灰色系统理论以“部分信息已知,部分信息未知”的“小样本”、“贫信息”不确定性系统为研究对象,主要通过对“部分”已知信息的生成、开发,提取有价值的信息,实现对系统运行行为、演化规律的正确描述和有效监控。这种方法对于规律性

* 收稿日期:2012-08-17;修订日期:2012-10-23;编辑:陶卫卫

作者简介:崔昊(1986—),男,山东济宁人,硕士,研究方向为土地评估规划与开发整理;E-mail:cuihaojn@163.com。

不很明显、影响因素多的数列进行预测具有明显的优势^[7]。

建立模型的实质是对原始数据作一次累加生成,使生成数据呈现一定规律,其相应的曲线可以用典型曲线逼近,然后用逼近的曲线作为模型,最后将模型预测值作一次累减还原,用以对系统进行预测^[8]。

设原始序列 $X^{(0)} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)\}$, 首先,作 $X^{(0)}$ 的一次累加生成数列,即 $X^{(1)} = \{x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n)\}$; 其中, $x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i)$, $k=1, 2, \dots, n$ 。对于 $X^{(1)}$, 这里可以建立公式化形式的方程 $\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = u$ (一阶非齐次微分方程) 其中 a, u 为待定参数。上式中的 a , 可以通过最小二乘法拟合得到: $\begin{bmatrix} a \\ u \end{bmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T Y$; 其中, Y 为列向量, $Y = [x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), \dots, x^{(0)}(n)]^T$, B 为构造数据矩阵。得到微分方程式所对应的时间响应函数为: $x^{(1)}(t+1) = \left[x^{(0)}(1) - \frac{u}{a} \right] e^{-at} + \frac{u}{a}$, 上式是数列预测的基础公式, 还原为预测值:

$$\begin{aligned} Y(k) &= x^{(0)}(k) = x^{(1)}(k) - x^{(1)}(k-1) \\ &= \left[x^{(0)}(1) - \frac{u}{a} \right] [1 - e^{-a}] e^{-a(k-1)} \end{aligned}$$

2.2.2 灰色-马尔可夫预测模型

灰色系统预测的优势在于短期预测, 缺点在于对长期预测和波动性较大数据列的拟合较差。马尔可夫链预测的优势在于长期预测和对随机波动性较大数据列的预测问题, 但是, 马尔可夫链预测要求对象具有平稳过程。为了提高预测精度, 把灰色 $GM(1, 1)$ 预测与马尔可夫链预测两者结合起来, 形成灰色-马尔可夫预测模型, 这样就能够用 $GM(1, 1)$ 预测揭示耕地数据列的发展变化总趋势, 用马尔可夫链预测来确定状态规律。马尔可夫链预测方法对解决无后效性的预测有独到之处, 尤其是在进行耕地总量预测时, 两者的结合可以避免考虑数据波动的影响, 同时又可以预测耕地总量减少的不同状态, 具有较大的科学性和实用性^[9]。

基本步骤: 先建立灰色 $GM(1, 1)$ 模型, 求出其预测曲线 $Y(k)$ 。然后以平滑的预测曲线 $Y(k)$ 为基准, 划分若干动态的状态区间。根据落入各状态区间的点计算出马尔可夫状态转移概率矩阵, 进而预

测未来状态, 从而得出预测值区间。结果取区间中点, 最终得到精度较高的预测值。

对于 $GM(1, 1)$ 模型的建立, 前文已经介绍, 下面介绍状态区间的划分: 以 $Y(k)$ 曲线为基准, 将 $X^{(0)}(k)$ 划分成与 $Y(k)$ 平行的 S 个条形区域, Q_1, Q_2, \dots, Q_s , S 依据研究对象和原始数据而定, 任一状态区间 Q_i 表达为: $Q_i = [Q_{i1}, Q_{i2}]$ ($i=1, 2, \dots, S$), 其中: $Q_{i1} = Y(k) + A_i, Q_{i2} = Y(k) + B_i$ (A_i, B_i 是平移常数, 可由用户根据具体情况自行确定, 一般以均匀分布为原则)。

完成状态区间的划分之后, 需要计算状态转移概率矩阵。设转移概率矩阵公式为: $P_{ij}^{(m)} = M_{ij} / M_i$, 式中: $P_{ij}^{(m)}$ 为由状态 Q_i 经过 m 步转移到 Q_j 的概率 ($i, j=1, 2, \dots, n$), n 为划分的状态数目, M_i 为原始数据按一定的概率落入状态 Q_i 的样本数, $M_{ij}(m)$ 为由状态 Q_i 经 m 步转移到 Q_j 的原始数据样本数。当状态划分不太适合, 以致某一状态中无原始数据落入时, 则可令 $P_{ij}(m) = P_{ji}(m) = 0$ 。由此, 可求出状态转移概率矩阵 $P^{(m)}$ 来预测未来状态的转向。

要预测一步只需考察一步转移概率矩阵 $P^{(1)}$, 但当状态的将来转向难以确定或者要取得多步预测值时, 则需要考察多步转移概率矩阵 $P^{(m)}$ 。计算方法一般采用比较法, 设预测对象基期处于 Q_k 状态, 考察 $P^{(1)}$, 即考察 $P^{(1)}$ 中的第 k 行, 若 $\max_j P_{kj} = P_{kd}$, 则下一时刻转移到 Q_d 状态^[10]。

确定预测值。当未来的转移状态 Q_d 确定后, 也就确定预测值的变动区间 $[Q_{1d}, Q_{2d}]$, 预测值 $Y(k)$ 取区间的中点, 则有: $Y'(k) = Y(k) + \frac{A_i + B_i}{2}$ 。

3 济南市耕地动态变化分析与预测

3.1 济南市耕地动态变化分析

选取 1996 年至 2010 年济南市耕地面积和人口数作为研究数据, 计算得到济南市人均耕地面积(表 1)。

根据表 1 中的数据, 绘制济南市耕地面积及人均耕地变化图, 能够直观的反应出济南市近 15 年耕地面积和人均耕地的变化状况。

分析图 1 数据, 可以得知济南市 15 年时间里耕地面积总体上呈现出波动下降的变化态势。1996—2003 年, 早期耕地面积缓慢减少, 中期开始缓慢上

升,后期基本上处于一个比较平稳的阶段,波动较小。2003 年之后,耕地数量开始陡然下降,经历波动之后又趋于平稳。根据数据变化规律,可以将济南市耕地总量变化大致分为 2 个阶段:

表 1 1996 年至 2010 年济南市耕地总量及人口数量

年份	耕地面积	人口	人均耕地	年份	耕地面积	人口	人均耕地
1996	374.27	543.45	1.0330	2004	365.71	590.08	0.9296
1997	373.03	549.20	1.0188	2005	366.99	597.44	0.9214
1998	372.43	553.54	1.0092	2006	361.74	603.35	0.8993
1999	373.12	557.63	1.0037	2007	358.80	604.85	0.8898
2000	373.53	562.65	0.9958	2008	361.33	603.99	0.8974
2001	373.34	569.00	0.9842	2009	361.85	603.27	0.8997
2002	373.36	575.01	0.9740	2010	362.30	604.08	0.8996
2003	372.75	582.56	0.9598				

数据来源:耕地面积数据源于济南市国土部门土地调查统计数据,人口数据源于《济南市统计年鉴 2011》。其中:耕地总量($10^3 \cdot \text{hm}^2$),人口数量($10^4 \cdot \text{人}$),人均耕地(亩/人)。

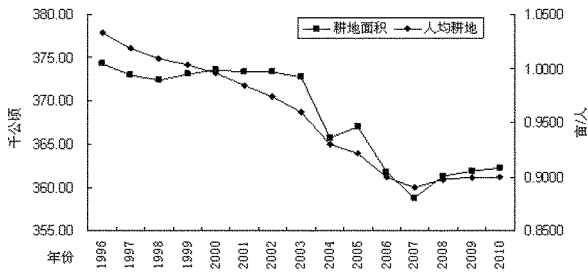


图 1 1996 年至 2010 年济南市耕地面积及人均耕地变化图

第一阶段:1996 年—2003 年,济南市耕地面积变化较小,总体平稳。这一时期经济的发展、人民生活水平的提高促使农业结构内部调整,农用地利用方向发生转变,耕地开始向园地、林地和设施农用地转化,这些因素造成了这一时期耕地数量的减少。1997 年—1998 年,国家相继发布有关耕地保护的通知,并颁布了一系列旨在加强耕地保护的法律法规,这在一定程度上缓解了耕地减少的势头,所以在 1998 年—2002 年期间出现了缓慢上升的态势,但并没有根本上遏制耕地减少的势头,2002 年之后耕地面积又开始减少。

第二阶段:2003 年—2010 年,济南市耕地面积经历了 2 次减少增加的过程,整体波动较大,后期趋于稳定。这一时期国民经济处在快速发展的阶段,城市基础设施建设加速,开发区建设也开始兴起,造成这一阶段早期耕地面积减少较快。2005 年—2007 年,房地产业发展迅速,占用了大量耕地,加之

生态退耕工作的开展,一些坡度较大、水土流失较严重的耕地被还林还草,也使耕地面积进一步减少。2007 年—2010 年,面对耕地保护的严峻形势,加大了农村建设用地整理的力度,充分挖掘耕地增加潜力,扭转了耕地减少状况,增加了 $3\,500 \text{ hm}^2$ 耕地。

济南市人均耕地面积的变化态势与耕地面积总量基本一致,但是减少趋势更加明显,1996 年—2007 年,人均耕地处于逐年减少的状态,这主要与人口的持续增长有关。从 1996 年到 2010 年,人均耕地从 1.03 亩地减少到不足 0.9 亩,已经接近联合国粮农组织确定的人均耕地 0.8 亩的警戒线,在人口增长的压力下,人均耕地面积仍有可能缓慢下降。

3.2 济南市耕地总量预测

3.2.1 建立 GM(1,1)模型

将数据输入 DPS 软件中,应用软件 DPS 中灰色系统 GM(1,1)模型的功能,得到时间响应函数为 $x^{(1)}(k+1) = -114880.23e^{-0.00327k} - 115254.50$,经过换算,可以进一步求得 GM(1,1)模型计算预测值的公式: $Y(k) = x^{(0)}(k) = -374.50e^{-0.00327k}$ 。

3.2.2 状态划分

根据 1996 年至 2010 年耕地面积在时间序列上的分布特点,平行于 $Y(k)$ 做 $Y_1 = Y(k) + 5, Y_2 = Y(k) + 2, Y_3 = Y(k) - 2.5, Y_4 = Y(k) - 5$ 四条曲线。 Y_1, Y_2, Y_3, Y_4 分布在 $Y(k)$ 两侧,将其对应的原始数据点值划分为 Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 状态(图 2)。

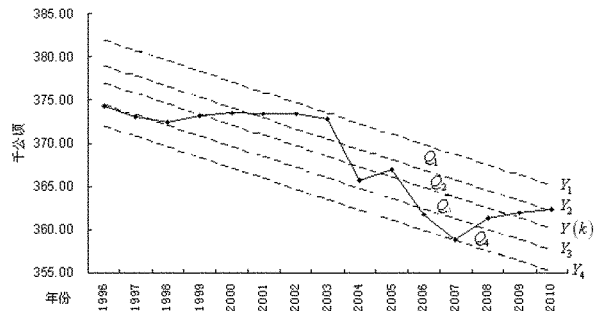


图 2 耕地状态划分图

根据图 2,确定状态转移概率矩阵。图中共有 4 个点处于 Q_1 状态,但 2010 年的转移状态未知,因此只考虑前面 3 个点转移状况,其中有 2 个点转化后仍处于 Q_1 状态,1 个点转化为 Q_2 状态,所以状态转移矩阵的第一行应为 $2/3, 0, 1/3, 0$ 。有 3 个点处于 Q_2 状态,其中有 2 个点转化为 Q_3 状态,有 1 个点转化后仍处于 Q_1 状态,所以状态转移矩阵的第二行应为 $2/3, 0, 0, 1/3$ 。仿照上面的方法,可得状态转

移矩阵的第三行为 $0, 3/4, 1/4, 0$, 第四行为 $0, 0, 1/2, 1/2$ 。因此, 状态转移概率矩阵为:

$$P_{ij} = \begin{bmatrix} 2/3 & 0 & 1/3 & 0 \\ 2/3 & 0 & 0 & 1/3 \\ 0 & 3/4 & 1/4 & 0 \\ 0 & 0 & 1/2 & 1/2 \end{bmatrix}$$

3.2.3 预测结果与分析

该文采用比较法。由图 2 可知, 2010 年处于 Q_1 状态, 要预测 2020 年的耕地面积, 需要考察十步状态转移概率矩阵来确定 $\max_j P_{ij}$ 。进一步考察十步状态转移概率矩阵第一行, 可知 2020 年仍处于 Q_1 状态, 预测值的变动区间分布在 $Y(k)$ 与 Y_1 之间。所以, $Y = Y(k) - (2+5)/2 = Y(25) - 3.5$, 计算出预测值为 $351\ 988\ \text{hm}^2$, 而 $GM(1, 1)$ 模型的预测值 $348\ 488\ \text{hm}^2$ 。济南市规划到 2020 年, 全市耕地保有量不少于 $365\ 845\ \text{hm}^2$, 规划期内全市基本农田保护面积不低于 $320\ 018\ \text{hm}^2$, 基本农田保护率不低于 87.39% 。从预测结果来看, 灰色—马尔可夫模型的预测结果更加接近规划值, 预测结果可信度较高。从当前的耕地现状及预测值来看, 济南市距离实现耕地保有量的目标仍差 $13\ 858\ \text{hm}^2$ 。考虑到统计数据偏大可能造成下降趋势较大, 从而使预测值偏小。所以认为济南市的耕地预测值与目标值虽有差距, 但是达到预期目标仍较有希望。

要完成目标需要从保护耕地和增加耕地两方面着手。首先济南市未来的土地利用应该按照严格土地利用总体规划执行, 一方面应减少建设对耕地的占用, 建设能占用未利用地的, 尽量不占耕地, 能占用质量相对较差耕地的, 就不占用质量好的耕地, 最大限度保护耕地; 另一方面要及时补充耕地, 在占一补一的原则下, 逐步将质量好的耕地调入基本农田, 调出质量差的耕地, 确保耕地数量不减少, 质量有提高, 布局更集中, 实现耕地的可持续利用。

在严格执行土地利用总体规划的基础上, 应充分利用编制农村土地整治规划这一契机, 尽快查清耕地后备资源的数量和分布状况, 研究可以复垦的废弃工矿用地和易于开发的未利用土地, 充分挖掘增加耕地的潜力^[11]。另外, 济南市城市土地集约利用的潜力很大, 应考虑城市纵向发展。在当前用地紧张的情况下, 改变过去外延扩张的用地模式, 鼓励建设中高层、高层建筑, 向上寻求发展空间^[12]。根

据地质条件, 在不影响地下水源、不破坏泉城风貌的情况下, 适当开发地下空间, 也能缓解城市用地紧张。另外应加强对城市旧城区、棚户区的改造, 对城市内部布局不合理, 利用率低的土地进行整理, 充分挖掘存量土地的利用潜力, 减少占用周边耕地。

4 结语

灰色—马尔可夫预测方法是灰色系统理论和马尔可夫链方法的结合, 应用于耕地面积预测时, 可以在一定程度上避免数据波动的影响, 同时又考虑了耕地总量在不同年份下的状态和数量, 有较大的科学性和实用性。从预测结果来看, 距离达到 2020 年规划目标仍有距离。而同期区域内人口不断增多, 耕地的需求量不断增加, 在供给和需求双重影响下, 耕地资源保护的总体形势不容乐观, 但通过加强保护力度、加快开展农村土地整治等手段, 实现预期目标仍是有希望的。

参考文献:

- [1] 姚慧敏, 张风荣, 张锡金, 朱振林, 隋学艳. 济南市耕地资源数量变化及其对粮食安全的影响[J]. 中国农学通报, 2007, 23(8): 448-452.
- [2] 张晓慧, 李洪建, 范晓辉. 山西省耕地动态变化及驱动力研究[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(11): 54-58.
- [3] 李念春, 闫弘文. 济南市耕地时空变化特征及驱动因素分析[J]. 鲁东大学学报(自然科学版), 2009, 25(3): 271-275.
- [4] 刘彦彤, 张延军. 长春市耕地动态变化及其驱动力分析[J]. 地理科学, 2011, 31(7): 868-873.
- [5] 李娜, 郑新奇, 董金玮. 济南市粮食生产与耕地变化的分析及预测[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(5): 1983-1985.
- [6] 李祥, 王心源, 顾继光, 张广胜. 基于灰色预测法的芜湖市耕地变化研究[J]. 水土保持研究, 2006, 13(5): 14-16.
- [7] 邓聚龙. 灰色系统理论教程[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1990: 189-192.
- [8] 徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 北京: 高等教育出版社, 1982: 93-98.
- [9] 倪超. $GM(1, 1)$ 模型预测呼兰区(县)土地可持续利用[J]. 国土与自然资源研究, 2010, (1): 40-41.
- [10] 贺福利, 胡勇, 陈淳. 用灰色马尔柯夫链预测模型对我国粮食产量的预测[J]. 数学的实践与认识, 2003, 33(12): 45-47.
- [11] 覃事娅, 尹惠斌, 徐朋. 土地整理综合效益评价指标体系的构建[J]. 山东国土资源, 2007, 23(2): 50-53.
- [12] 安科, 郑聪. 济南市土地利用现状探析[J]. 山东国土资源, 2012, 28(5): 60-62.

Application of Grey—Markov Model in the Predication of Farmland in Jinan City

CUI Hao¹, WANG Xiaoming¹, TENG Lei²

(1. Shandong Normal University, Shandong Jinan 250014, China; 2. Zhaoyuan Bureau of Land and Resources, Shandong Yantai 265400, China)

Abstract: Taking Jinan city as the research area, land changes of cultivated area and average capital cultivated land from 1996 to 2010 have been analyzed. By using gray predication method, division of state of GM (1,1) model has been set up, and cultivated land areas in the research area have been predicated. As showed by the result, grey—Markov model is better for volatile data fitting, and has a unique advantage in the forecast. In addition, the cultivated area of Jinan city in 15 years is showing s declining trend. Although the trend in recent years is stable, with the impact of rapid urbanization, population growth and other factors, protection situation is still grim.

Key words: Arable land; gray—Markov; forecast; Jinan city