

基于信息熵的徐州市 土地利用结构分析及其 GM 预测

戎晓红, 李春侠, 张晓燕

(徐州工业职业技术学院 信息管理学院, 江苏 徐州 221140)

摘 要:根据信息熵理论,从土地利用结构信息熵、均衡度、优势度的角度分析了徐州市 2005—2009 年土地利用结构的变化,对影响信息熵值大小的土地利用类型做了初步探讨,并运用灰色系统理论的 GM(1,1)模型,对 2010—2015 年徐州市的信息熵、均衡度和优势度进行预测。结果表明:信息熵呈现逐年递增的趋势,土地利用结构逐渐由有序向相对无序状态发展;均衡度逐年递增,优势度逐年递减,说明徐州市土地利用结构正在向平衡状态不断演化。

关键词:土地利用结构;信息熵;GM(1,1)模型;江苏徐州

中图分类号:F301(253)

文献标识码:A

文章编号:1009-4210(2013)01-072-06

土地利用结构的调整是一种人为对土地利用系统实施的干预,其不同时空尺度上会影响土地利用系统的有序程度,这种有序程度一般用信息熵来描述^[1]。信息熵反映的是一定区域各种土地利用类型的动态演变规律及其转换程度,对信息熵的研究能够指导和优化区域土地利用结构调整^[2]。谭永忠等^[3]以杭州市所属 5 个县市为例运用信息熵分析总结了区域土地利用结构的利用演变程度;耿红^[4]利用信息熵对武汉市土地利用结构进行了合理性分析;钱小龙等^[5]对徐州市土地利用结构信息熵变化及驱动力进行分析,并运用非线性回归模型对 9 类土地进行了预测。本文通过计算徐州市 2005—2009 年土地利用结构信息熵,分析信息熵变化与土

地利用类型变化的规律,找出徐州土地利用结构存在的问题。并利用 GM(1,1)模型对徐州市信息熵、均衡度、优势度进行预测,旨在推测徐州市未来土地利用的变化趋势,从而为该市土地利用结构调整、规划等工作提供理论依据。

1 研究区概况

徐州市位于江苏省西北部,东经 $116^{\circ}22' \sim 118^{\circ}40'$ 、北纬 $33^{\circ}43' \sim 34^{\circ}58'$ 之间,东西长约 210 km,南北宽约 140 km,土地总面积 11 258 km²,占江苏省总面积的 11%。徐州地处苏、鲁、豫、皖四省交界,为东部沿海和中部地带、上海经济区与环渤海经济

收稿日期:2012-06-11;改回日期:2012-12-22

基金项目:江苏省高校哲学社会科学研究基金项目(2011SJD790037)

作者简介:戎晓红(1979—),女,讲师,从事土地资源资产管理研究。

圈的结合部。据第六次人口普查,徐州常住人口为 858.05 万人。2011 年全市实现地区生产总值 3 551.65 亿元,其中,一产完成增加值 334.54 亿元;二产完成增加值 1 777.05 亿元;三产完成增加值 1 440.06 亿元。2011 年实现财政总收入 555.33 亿元,一般预算收入 318.42 亿元。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

采用徐州市 2005—2009 年土地利用变更数据作为研究的基础数据。土地利用面积按耕地、园地、林地、牧草地、城镇及工矿用地、交通过地、水域、未利用土地、其他 9 大类进行统计分析。

2.2 土地利用结构信息熵

依照 Shannon 熵定义土地利用结构信息熵为:

$$H = - \sum_{i=1}^n P_i \ln P_i = - \sum_{i=1}^n (A_i / \sum_{i=1}^n A_i) \ln (A_i / \sum_{i=1}^n A_i) \quad (n = 1, 2, \dots, 9) \quad (1)$$

式中: P_i 为各土地利用类型占该区域土地总面积的比例; A_i 为各种土地类型的面积; H 为信息熵, 它的大小反应了区域土地利用类型的多少和各类用地面积分布的均匀程度^[3]。信息熵越高, 表明一个系统越有序; 反之, 系统越混乱。

2.3 均衡度和优势度

均衡度、优势度描述了土地利用类型之间面积大小的差异, 以及各职能类型的结构格局。均衡度 E 的表达式为:

$$E = - \sum_{i=1}^n P_i \ln P_i / \ln N \quad (n = 1, 2, \dots, 9) \quad (2)$$

式中: N 为土地利用类型总的数目, 本文 $N=9$ 。

优势度 D 的表达式为:

$$D = 1 - E \quad (3)$$

优势度反映了区域内一种或几种土地类型支配该区域土地类型的程度, 与多样性成反比^[4]。

2.4 GM(1,1) 灰色模型及检验^[1]

2.4.1 GM(1,1) 灰色模型

设原始时间数列 $X^{(0)}$:

$$X_{(k)}^{(0)} = \{X_{(1)}^{(0)}, X_{(2)}^{(0)}, \dots, X_{(n)}^{(0)}\} \quad (4)$$

首先对 $X^{(0)}$ 进行一次累加生成一次累加序列:

$X^{(1)} = \{X_{(k)}^{(1)}, k=1, 2, \dots, n\}$, 其中:

$$X_{(k)}^{(1)} = \sum_{i=1}^k X_{(i)}^{(0)} \quad (k=1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

采用一阶单变量微分方程进行拟合, 得到白化形式灰色动态模型为:

$$dX^{(1)} / dt + aX^{(1)} = u \quad (6)$$

式中: a 为发展系数; u 为灰色作用量; t 为时间。

设 $\hat{a}$ 为待估参量, 记 $\hat{a} = [a, u]^T$, 用最小二乘法求解:

$$\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y_N \quad (7)$$

式中: B 为累加生成矩阵; Y_N 为原始数据序列去掉第一个数值之后构成的向量。两者构造为:

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}(X_{(1)}^{(1)} + X_{(2)}^{(1)}) & 1 \\ -\frac{1}{2}(X_{(2)}^{(1)} + X_{(3)}^{(1)}) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}(X_{(n-1)}^{(1)} + X_{(n)}^{(1)}) & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$Y_N = [X_{(2)}^{(0)}, X_{(3)}^{(0)}, \dots, X_{(n)}^{(0)}]^T$$

上述白化微分方程的解为(离散响应):

$$\hat{X}_{(k+1)}^{(1)} = (X_{(1)}^{(0)} - \frac{u}{a})e^{-ak} + \frac{u}{a} \quad (9)$$

其实际预测值可用下列得出:

$$\hat{X}_{(k+1)}^{(0)} = \hat{X}_{(k+1)}^{(1)} - \hat{X}_{(k)}^{(1)} \quad (k=1, 2, \dots, n) \quad (10)$$

2.4.2 模型检验

(1) 残差检验。相对误差为:

$$\omega^{(0)}(i) = \left| \frac{x^{(0)}(i) - \hat{x}^{(0)}(i)}{x^{(0)}(i)} \right|$$
$$(k = 1, 2, \cdots, n) \tag{11}$$

(2)后验差检验。方差比为：

$$c = S_1/S_0 \tag{12}$$

小误差概率为：

$$p = \{|\epsilon^{(0)} - \bar{\epsilon}^{(0)}| < 0.674\,5S_0\} \tag{13}$$

根据预测精度等级划分表(表 1)确定模型的精度。

表 1 预测精度等级划分

小误差概率 p 值	方差比 c 值	预测精度等级
> 0.95	< 0.35	好
> 0.80	< 0.5	合格
> 0.70	< 0.65	勉强合格
≤ 0.70	≥ 0.65	不合格

3 结果分析

根据以上公式,计算徐州市 2005—2009 年土地利用结构信息熵值、均衡度和优势度(表 2)。

表 2 徐州市 2005—2009 年土地利用结构及信息熵、均衡度和优势度

土地利用结构/%	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年
耕地	53.724 4	53.653 6	53.353 9	53.433 2	53.403 2
园地	6.662 2	6.722 2	6.703 2	6.698 5	6.688 9
林地	3.759 4	3.759 8	3.746 9	3.744 8	3.740 7
牧草地	0.006 3	0.006 3	0.006 3	0.005 4	0.005 4
城镇及工矿	4.010 2	4.080 1	4.146 3	4.384 2	4.419 2
交通用地	1.337 6	1.356 1	1.353 4	1.365 9	1.386 6
水域	2.290 9	2.306 4	2.298 4	2.295 4	2.317 3
未利用地	6.713 3	6.462 2	6.653 0	6.426 4	6.405 3
其他	21.495 5	21.653 3	21.738 6	21.646 3	21.633 6
信息熵	1.423 2	1.427 1	1.429 0	1.429 5	1.431 0
均衡度	0.647 7	0.649 5	0.650 4	0.650 6	0.651 3
优势度	0.352 3	0.350 5	0.349 6	0.349 4	0.348 7

由表 2 可知,2005 年以来,农业生产用地主要包括耕地、园地、林地、牧草地整体趋于减少,而城镇及工矿用地,以及交通用地整体趋于增加,特别是 2007 年以后,增加趋势更加明显。另外,水域面积有所增加,而未利用地减少。究其原因主要是徐州经济的快速发展,占用了大量的农业生产用地。而城市生态环境改造和农业产业结构调整也使未利用地得到适当开发,并增加了水域环境。整个徐州市的土地利用结构处于不断变化中。整体来看,徐州市 2005—2009 年土地利用结构信息

熵增加 0.55%,均衡度增加了 0.80%;而优势度则减少了 1.02%。表明徐州市近年来土地利用结构正在朝着均衡的状态发展,各类型土地的面积差别也越来越小,土地利用结构的均质性在逐渐增强。优势度不断下降,说明随着徐州市经济发展,各土地利用结构之间更趋于平衡,该市土地资源开发利用结构正向更加合理、均衡的发展方向演化。

运用相关系数分析徐州市 9 类土地利用类型与信息熵之间的关联程度(表 3)。

表 3 土地类型与信息熵之间的关联程度

土地类型	耕地	园地	林地	牧草地	城镇及工矿	交通用地	水域	未利用地	其他用地
相关系数	-0.885 3	0.483 8	-0.580 8	-0.688 5	0.861 3	0.889 9	0.652 3	-0.722 8	0.731 3

由表 3 可知,面积总体呈上升趋势的土地利用类型与信息熵成正相关,而面积总体呈下降趋势的土地利用类型与信息熵呈负相关^[8]。与信息熵关联程度最大的是交通用地、耕地和城镇工矿用地,关联度较小的土地利用类型是园地、林地,说明徐州市土地利用结构信息熵的大小不仅和面积比重有关,而且还与比重变化有关。

徐州市土地利用结构信息熵增加的主要原因是农业结构调整和建设用地的增加,耕地的变化强度逐年增强。自 2005 年以来徐州市耕地资源流失现象严重,随着经济发展,特别是新城区的建设占用了大量的耕地。此外,未利用地的开发速度十分迅速,2005 年以来未利用地每年平均以 2.8% 的速度下降,徐州市土地后备资源短缺问题将越来越突出;从经济结构来看,徐州市正处于城市化快速发展时期,城镇用地不断增加,但其增长的幅度在逐渐地减少,究其原因主要是棚户区改造,最大限度地盘活土地资源,可见城市建设用地的集约利用成效显著;交通用地的增加主要是通过未利用地的开发来平衡,是人们生活条件的不断提高及经济发展的结果。

4 信息熵变化预测

通过 GM(1,1)建立了未来土地利用结构信息熵的模型为:

$$\begin{cases} \hat{X}_{(k+1)}^{(1)} = 1\,585.312\,1\,e^{0.000\,9k} - 1\,583.888\,9 \\ \hat{X}_{(k+1)}^{(0)} = \hat{X}_{(k+1)}^{(1)} - \hat{X}_{(k)}^{(1)} \end{cases}$$

$(k=1,2,\cdots,N)$ (14)

通过检验,说明模型精度高,可以用来预测未来的信息熵、均衡度和优势度(表 4)。运用预测模型预测 2010—2015 年徐州市土地利用信息熵、均衡度、优势度的(表 5)。

表 4 土地利用结构信息熵、均衡度和优势度的模型参数及检验

	$[a\ u]^T$	c	p	模型等级
信息熵	$[-0.000\,9\ 1.425\,5]^T$	0.095 4	1	好
均衡度	$[-0.000\,9\ 0.648\,8]^T$	0.103 3	1	好
优势度	$[-0.001\,6\ 0.351\,2]^T$	0.103 1	1	好

表 5 徐州市 2005—2015 年土地利用结构信息熵、均衡度和优势度

年份	信息熵			均衡度			优势度		
	绝对误差	实际值	预测值	绝对误差	实际值	预测值	绝对误差	实际值	预测值
2005	0	1.423 2	1.423 2	0	0.647 7	0.647 7	0	0.352 3	0.352 3
2006	-0.000 220 5	1.427 1	1.427 3	-0.000 11	0.649 5	0.649 6	0.000 11	0.350 5	0.350 4
2007	0.000 460 6	1.429 0	1.428 5	0.000 23	0.650 4	0.650 2	-0.000 23	0.349 6	0.349 8
2008	-0.000 259 4	1.429 5	1.429 8	-0.000 13	0.650 6	0.650 7	0.000 131	0.349 4	0.349 3
2009	0.000 019 7	1.431 0	1.431 0	0.000 009 9	0.651 3	0.651 3	-0.000 010 3	0.348 7	0.348 7
2010			1.432 2			0.651 9			0.348 2
2011			1.433 4			0.652 4			0.347 6
2012			1.434 6			0.653 0			0.347 0
2013			1.435 9			0.653 5			0.346 5
2014			1.437 1			0.654 1			0.345 9
2015			1.438 3			0.654 7			0.345 4

由图 1 可知,2005—2015 年信息熵呈单一递增趋势,说明徐州市土地利用类型的复杂程度越来越高,人类对土地利用的干扰程度不断加强,土地利用以往有序格局逐渐被打破并向无序化方向发展^[7]。

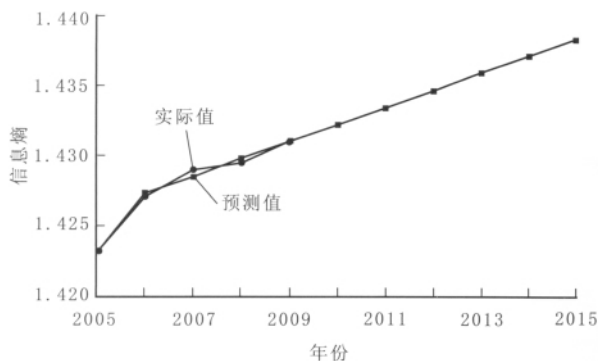


图 1 徐州市 2005—2015 年土地利用信息熵趋势

通过对徐州市各类土地利用类型与信息熵进行相关性分析,可知面积总体呈上升趋势的土地利用类型与信息熵成正相关,而面积总体呈下降趋势的土地利用类型与信息熵成负相关。农业结构调整和建设用地的增加是徐州市土地利用结构信息熵增加的主要原因。

均衡度是实际熵与最大熵值之比,由图 2 曲线可以看出,从 2005 年的 0.647 7 增加到 2015 年的 0.654 7,徐州市土地利用结构均衡值平稳增长,土地利用类型结构正在向平衡状态不断演化,这也正表明了徐州的经济、环境等方面都在不断朝良好的方向发展。特别是近年来,农用地整理补充耕地力

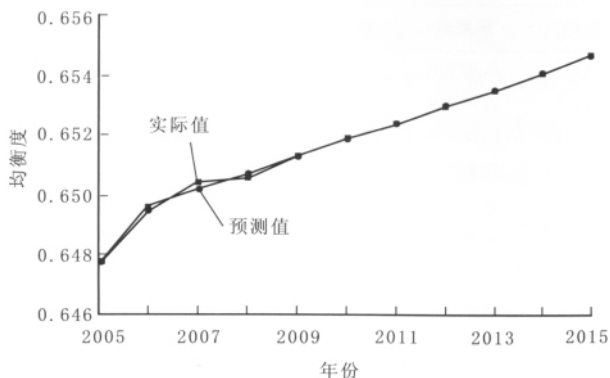


图 2 徐州市 2005—2015 年土地利用均衡度趋势

度不断加大,以保持耕地的比例稳定,提高优质耕地比重。不断将低效利用的其他农用地转变为林地,提高林地比例,更加充分地发挥农用地的生产、生活、生态功能。

由图 3 可知,2005—2015 年徐州市土地利用结构优势度逐渐递减,这也从另一方面反映了土地利用结构的多样化,多种产业协调发展。在土地整理方面,继续有计划地对采煤塌陷地进行复垦整理,对关闭破产矿山土地进行盘活利用,同时,积极稳步地推进农村居民点拆并整理,以最大限度地挖掘土地利用的潜力,节约土地资源。

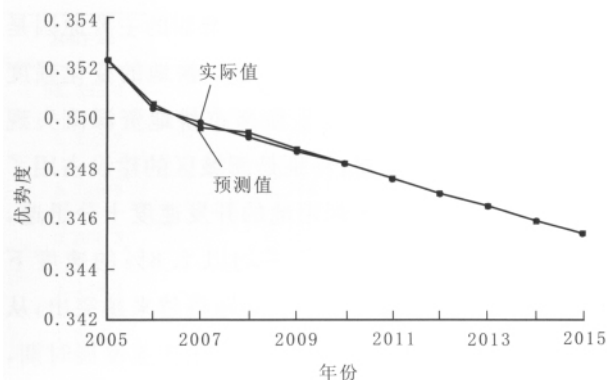


图 3 徐州市 2005—2015 年土地利用优势度趋势

5 结论

(1)运用信息熵理论对徐州市土地利用结构进行分析,结果与实际现状具有较好的一致性;建立 GM 模型,对徐州市土地利用结构的信息熵、均衡度和优势度进行了预测,较好地预测了其未来的发展趋势。

(2)徐州市信息熵 2005—2015 年单调递增,说明徐州市土地利用结构的变化受到人为因素的影响;均衡度不断增加,优势度不断递减也说明徐州市土地利用结构多样化的趋势,土地利用类型越来越复杂,多种产业协调均衡发展。

(3)交通用地、耕地和城镇工矿用地类型和信息熵的关联程度较大,而园地、林地与信息熵关联程度较小,说明徐州市土地利用结构信息熵的大小不仅

和面积比重有关,而且还与比重变化有关。

(4)2005—2009 年徐州市土地利用变化在不同的地类之间存在着明显的差异;未利用地开发速度十分迅速,土地后备资源短缺问题将越来越突出。城镇及工矿用地逐年增加,但其增长幅度逐渐减少。

参考文献:

- [1] 闫沛禄. 基于信息熵的酒泉市土地利用结构分析及其灰色预测[J]. 甘肃农业大学学报, 2011, 46(6): 129—134.
- [2] 姬桂珍, 吴承祯, 洪伟, 等. 武夷山市土地利用结构信息熵动态研究[J]. 安全与环境学报, 2004, 4(4): 41—44.
- [3] 谭永忠, 吴次芳. 区域土地利用结构的信息熵分异规律研究[J]. 自然资源学报, 2003, 18(1): 112—117.
- [4] 耿红, 唐旭, 马玲, 等. 基于信息熵的城市土地利用结构合理性分析[J]. 国土资源科技管理, 2006, 23(1): 84—87.
- [5] 钱小龙, 管华, 张国成, 等. 徐州城市土地利用结构信息熵变化及驱动力分析[J]. 徐州师范大学学报, 2008, 26(1): 60—63.
- [6] 陈彦光, 刘继生. 城市土地利用结构和形态的定量描述: 从信息熵到分维数[J]. 地理研究, 2001, 5(2): 146.
- [7] 朱晓熠, 刘咏梅. 基于信息熵的南京市土地利用结构分析[J]. 安徽农学通报, 2010, 16(5): 16—18.
- [8] 王晓娇, 陈英. 基于信息熵的张掖市土地利用结构分析及其灰色预测[J]. 干旱区研究, 2011, 28(1): 92—97.

Analysis of Land Use Structure and GM Prediction in Xuzhou City Based on Information Entropy

RONG Xiao-hong, LI Chun-xia, ZHANG Xiao-yan

(Department of Information Management, Xuzhou College of Industrial Technology, Xuzhou 221140, China)

Abstract: Based on entropy theory, this paper studies the variation of land use structure information entropy, the equilibrium degree and the dominance degree in Xuzhou City from 2005 to 2009, discusses the types of land use affecting the values of information entropy, and predicts the information entropy, equilibrium degree and dominance degree from 2010 to 2015 using the GM (1,1) model of Grey System Theory. The results show that information entropy has been increasing year by year and the land use structure in Xuzhou City gradually developed from an ordered state to a relatively disordered state, and that the equilibrium degree has increased every year and dominance degree decreased year by year, proving that land use structure in Xuzhou City has been evolving to equilibrium.

Key words: land use structure; information entropy; GM (1,1) model; Xuzhou City