

福建省土地生态安全动态评价

徐道炜, 刘金福, 洪伟, 吴承祯

(福建农林大学 林学院, 福建 福州 350002)

摘要: 应用突变级数法对福建省土地生态安全(2000—2008年)进行了定量评估和动态趋势分析。该方法避免了人为制定权重的主观性及主观判断安全标准的不确定性。结果表明,福建省土地生态安全在逐年改善,从一般安全级(Ⅲ级)转变为较安全级(Ⅳ级)。这种转变主要建立在社会经济系统和环境调控系统安全不断改善的基础上,而自然环境系统始终在一般安全等级(Ⅲ)间波动。其中,环境压力子系统从2003年开始迅速下降,人口压力子系统始终处于上下波动,土地生态安全形势不容乐观。

关键词: 突变级数法; 土地生态安全; 福建省

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)05-0115-05

中图分类号: X826

Evaluation on Land Ecological Security of Fujian Province

XU Dao-wei, LIU Jin-fu, HONG Wei, WU Cheng-zhen

(College of Forestry, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002, China)

Abstract: The land ecological security status and trends of Fujian Province from 2000 to 2008 were evaluated using the quantitative catastrophe progression method(CPM). The CPM avoids the subjectivity in traditional weighting evaluation methods and has less uncertainty in making the standard of security. The results show that the land ecological security of the province was improved gradually from acceptably secure(Ⅲ) to fairly secure(Ⅳ). The increasing security was mainly based on the improving socioeconomic system and environmental control system, while the natural environment system was still fluctuating around acceptably secure(Ⅲ). Specifically, the security of the environment stress subsystem decreased rapidly from 2003, and that of the population pressure subsystem experienced ups and downs. The land ecological security is not optimistic in the future.

Keywords: catastrophe progression method; land ecological security; Fujian Province

土地是人类赖以生存和发展的物质基础,为人类社会经济与农业可持续发展提供稳定、均衡、充裕的自然资源。如何通过对土地资源的合理利用和管理,使土地生态系统能保持其结构与功能不受威胁或少受威胁的健康平衡状态^[1],成为学者们广泛关注的问题。目前有关土地生态系统安全评价的理论和方法尚未成熟,主要集中在3点:(1)评价指标体系不统一,多数评价体系从“自然—经济—社会”指标体系^[2]、“压力—状态—响应”指标体系^[3]以及土地资源“数量—质量—承载力”^[4]等体系展开评价。(2)安全等级标准判定尚未达成一致,主要有基准值法和等级标准法^[5-6],但多数学者只是简单地将 $[0,1]$ 按等间距或不等间距方法划分为5个等级作为土地生态安全等级标准,缺乏理论依据。(3)目前主要利用加权函数法、层次分析法^[5-6]、模糊评价法等^[7]对一个区域

或几个区域进行横向评价^[6],评价理论缺乏系统突变特性。生态系统是一个动态过程,系统受到外界干扰而具有累加性,当累加达到一定程度或某一要素产生重大干扰超过系统临界值,系统将会崩溃^[8]。为此,笔者应用突变理论探讨土地生态系统安全状况,动态评价2000—2008年福建省土地生态安全,探讨土地生态安全发展趋势,科学地揭示土地生态安全演变规律。

1 突变理论与突变级数法

突变理论主要由结构稳定的拓扑概念发展而来,用来描述、评价、预测自然现象与社会活动中事物连续性中断的质变过程。由突变理论中突变模型衍生出来的突变级数法广泛应用于多准则决策问题^[9]。

1.1 构建突变模型评价指标体系

依评价系统总体要求,对评价总指标进行多层次

收稿日期:2010-10-08

修回日期:2011-01-21

作者简介:徐道炜(1981—),男(汉族),福建省福州市人,硕士,讲师,主要从事生物统计学方面的研究。E-mail: xudaowei2004446@126.com。

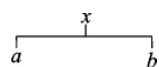
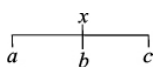
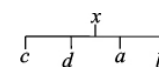
通信作者:刘金福(1966—),男(汉族),福建省福州市人,教授,博士生导师,从事生物统计、野生动植物保护与利用等方面研究。E-mail: fjljf@126.com。

矛盾分解,排列成倒树状目标层次结构,分解到可计量的子指标时,分解就可停止,由于一般突变系统的控制变量不超过 4 个,则相应各层指标(单指标的子指标)分解不能超过 4 个。

1.2 确定突变模型类型进行综合评价

尖点突变模型、燕尾突变模型、蝴蝶突变模型是 3 种常见突变模型,各种模型的具体内容及特点如表 1 所示。

表 1 突变模型相关公式

突变类型	尖点突变	燕尾突变	蝴蝶突变
势函数	$f(x) = \frac{x^4}{4} + \frac{ax^2}{2} + bx$	$f(x) = \frac{x^5}{5} + \frac{ax^3}{3} + \frac{bx^2}{2} + cx$	$f(x) = \frac{x^6}{6} + \frac{ax^4}{4} + \frac{bx^3}{3} + \frac{cx^2}{2} + dx$
分歧集方程	$a = -6x^2, b = 8x^3$	$a = -6x^2, b = 8x^3, c = -3x^4$	$a = -10x^2, b = 20x^3, c = -15x^4, d = 4x^5$
控制变量			
重要性排序	$a < b$	$a < b < c$	$c < d < a < b$
归一公式	$x_a = \sqrt{a}, x_b = \sqrt[3]{b}$	$x_a = \sqrt{a}, x_b = \sqrt[3]{b}, x_c = \sqrt[4]{c}$	$x_a = \sqrt{a}, x_b = \sqrt[3]{b}, x_c = \sqrt[4]{c}, x_d = \sqrt[5]{d}$

注: $f(x)$ 为突变系统势函数; x 为状态变量; a, b, c, d 为状态变量的控制变量。可将各模型主要控制变量、次要控制变量进行排序。若一个指标分解为 2 个子指标、3 个子指标或者 4 个子指标,则该系统分别视为尖点突变系统、燕尾突变系统、蝴蝶突变系统。

依突变理论,联立 $f'(x) = 0$ 和 $f''(x) = 0$ 得到突变系统分歧点集方程,当诸控制变量满足此方程时,系统会发生突变。通过分解形式的分歧点集方程导出归一公式,由此得到不同层次状态变量的隶属函数。若同一对象控制变量之间存在明显相互关联,该对象各控制变量为互补型,对应状态变量按平均值法取得,否则各控制变量为非互补型,状态变量按“大中取小”原则取得。对系统进行量化递归运算,求出系统总隶属函数值,对各评价对象按其总隶属函数值大小进行优劣排序。

级标准分为 5 个等级,即 I 很不安全,II 较不安全,III 一般安全,IV 较安全,V 很安全。具体各指标等级标准见表 3。

根据归一公式特点,将底层各指标 5 个等级相对隶属度范围分别取为 $[0, 0.2), [0.2, 0.4), [0.4, 0.6), [0.6, 0.8), [0.8, 1]$,则当底层指标隶属度均为 $x(x=0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1)$ 时,可计算各层指标隶属度及总隶属度^[10](见表 4)。

2 福建省土地生态安全动态评价

2.3 原始数据及其隶属度矩阵建立

2.1 土地生态安全指标体系构建

数据主要来源于《福建省统计年鉴》(2000—2008 年)、《中国区域经济统计年鉴》(2000—2008 年)、《福建省农村统计年鉴》(2000—2008 年),表 2 部分指标由各年鉴数据计算而得。

结合福建省土地资源状况、社会经济发展水平和专家建议,依据科学性、可操作性、相对完备性、相对独立性等原则,从自然环境系统(包括土地利用结构、环境压力 2 个方面 7 个指标)、社会经济系统(包括经济结构、人口压力 2 个方面 7 个指标)、环境调控系统(包括环境治理、环境调整 2 个方面 5 个指标)共 19 个指标构建评价体系(见表 2)。

突变级数法要求指标在 0~1 范围内取值,初始级数绝对值需按照“越大越好”原则,底层指标初始级数可用相对隶属函数取得。假设指标值 x 落在第 i 个等级范围(I, II, III, IV, V)内,该等级对应相对隶属度范围为 $[0.2(i-1), 0.2i)$,则正趋向性指标和负趋向性指标的相对隶属度计算公式分别为:

$$0.2(i-1) + 0.2 \frac{x-x(i)}{x(i+1)-x(i)},$$

$$0.2(i-1) + 0.2 \frac{x(i+1)-x}{x(i+1)-x(i)}$$

由此可得原始数据隶属度矩阵。

采用德尔菲法分别确定第 II, III, IV 级指标重要性,重要指标在前面,次要指标在后面。指标分为正安全趋向性指标和负安全趋向性指标,用“+”和“-”表示。正安全趋向性指标值越大,表明土地生态安全状况越好;负安全趋向性指标值越大,表明土地生态安全状况越差。

2.4 评价结果与分析

2.2 各层指标等级标准划分

由原始数据隶属度矩阵,可得福建省 2000—2008 年土地生态安全总隶属度和二级隶属度(见表 5)。

自然环境方面的等级标准根据国家、行业的标准以及科学研究判定的生态效应等确定;社会经济方面的等级标准参照国家、地区、行业的平均水平以及国际通行标准等确定。将土地生态安全评价指标的等

从表 5 中 A 指标可得,2000—2008 年福建省土地生态安全趋势(见图 1)。由 B_1, B_2, B_3 指标可得第 II 级指标变化趋势(见图 2);由 III 级指标隶属度(略)可得第 III 级指标变化趋势(见图 3)。

表 2 土地生态安全评价指标体系

第一层 (I 级指标)	第二层 (II 级指标)	第三层 (III 级指标)	第四层(IV 级指标)	指标 类型
土地生态 安全 A	自然环境系统 B ₁	土地利用结构 C ₁	耕地面积比重 D ₁ /%	+
			建成区绿化覆盖率 D ₂ /%	+
			森林覆盖率 D ₃ /%	+
		环境压力 C ₂	单位面积化肥负荷 D ₄ /(t·hm ⁻²)	-
			单位面积农药负荷 D ₅ /(kg·hm ⁻²)	-
			水土流失面积比重 D ₆ /%	-
	社会经济系统 B ₂	经济结构 C ₃	工业固废排放密度 D ₇ /(t·km ⁻²)	-
			经济密度 D ₈ /(元·km ⁻²)	+
			人均 GDP D ₉ /千元	+
		人口压力 C ₄	第三产业比重 D ₁₀ /%	+
			人口密度 D ₁₁ /(人·km ⁻²)	-
			人口自然增长率 D ₁₂ /%	-
	环境调控系统 B ₃	环境治理 C ₅	城市化水平 D ₁₃ /%	+
			人均耕地面积 D ₁₄ /hm ²	+
			环保投资占 GDP 比重 D ₁₅ /%	+
		环境调整 C ₆	工业固废综合利用率 D ₁₆ /%	+
			工业废水达标排放率 D ₁₇ /%	+
			机耕程度 D ₁₈ /%	+
			农业机械化水平 D ₁₉ /(kW·hm ⁻²)	+

表 3 土地生态安全评价等级及指标取值范围

指标	土地生态安全等级				
	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
D ₁	[0, 5)	[5, 15)	[15, 25)	[25, 35)	[35, 50]
D ₂	[0, 8)	[8, 16)	[16, 24)	[24, 32)	[32, 40]
D ₃	[0, 20)	[20, 25)	[25, 35)	[35, 50)	[50, 70]
D ₄	[0.8, 1]	[0.6, 0.8)	[0.4, 0.6)	[0.2, 0.4)	[0, 0.2)
D ₅	[40, 50]	[30, 40)	[20, 30)	[10, 20)	[0, 10)
D ₆	[20, 30]	[15, 20)	[10, 15)	[5, 10)	[0, 5)
D ₇	[600, 800]	[450, 600)	[300, 450)	[150, 300)	[0, 150)
D ₈	[0, 100)	[100, 300)	[300, 500)	[500, 800)	[800, 1000]
D ₉	[0, 6)	[6, 12)	[12, 20)	[20, 30)	[30, 40]
D ₁₀	[0, 15)	[15, 30)	[30, 45)	[45, 60)	[60, 80]
D ₁₁	[500, 700]	[350, 500)	[200, 350)	[100, 200)	[0, 100)
D ₁₂	[8, 10]	[6, 8)	[4, 6)	[2, 4)	[0, 2)
D ₁₃	[0, 15)	[15, 30)	[30, 45)	[45, 60)	[60, 75]
D ₁₄	[0, 0.02)	[0.02, 0.04)	[0.04, 0.06)	[0.06, 0.08)	[0.08, 1]
D ₁₅	[0, 0.6)	[0.6, 1.2)	[1.2, 1.8)	[1.8, 2.4)	[2.4, 3]
D ₁₆	[0, 50)	[50, 60)	[60, 70)	[70, 80)	[80, 100]
D ₁₇	[0, 60)	[60, 70)	[70, 80)	[80, 90)	[90, 100]
D ₁₈	[0, 20)	[20, 40)	[40, 60)	[60, 80)	[80, 100]
D ₁₉	[0, 3)	[3, 4)	[4, 5)	[5, 6)	[6, 8]

表 4 土地生态安全评价等级标准

安全等级	常规值	A	B ₁	B ₂	B ₃
I	[0, 0.2)	[0, 0.921)	[0, 0.800)	[0, 0.800)	[0, 0.778)
II	[0.2, 0.4)	[0.921, 0.953)	[0.800, 0.879)	[0.800, 0.879)	[0.778, 0.865)
III	[0.4, 0.6)	[0.953, 0.973)	[0.879, 0.930)	[0.879, 0.930)	[0.865, 0.922)
IV	[0.6, 0.8)	[0.973, 0.988)	[0.930, 0.969)	[0.930, 0.969)	[0.922, 0.965)
V	[0.8, 1]	[0.988, 1]	[0.969, 1]	[0.969, 1]	[0.965, 1]

注:A 为土地生态安全; B₁ 为自然环境系统; B₂ 为社会经济系统; B₃ 为环境调控系统。下同。

表 5 2000—2008 年福建省土地生态安全总隶属度和 II 级隶属度

指标	2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年
A	0.960 9	0.962 9	0.963 6	0.967 1	0.968 9	0.970 0	0.970 6	0.971 7	0.973 2
B ₁	0.924 0	0.920 8	0.925 8	0.927 6	0.929 1	0.927 1	0.925 4	0.923 3	0.923 5
B ₂	0.889 8	0.893 4	0.897 8	0.901 8	0.907 8	0.913 5	0.920 3	0.928 7	0.936 3
B ₃	0.848 4	0.870 2	0.863 4	0.893 3	0.902 1	0.910 7	0.911 9	0.917 5	0.923 2

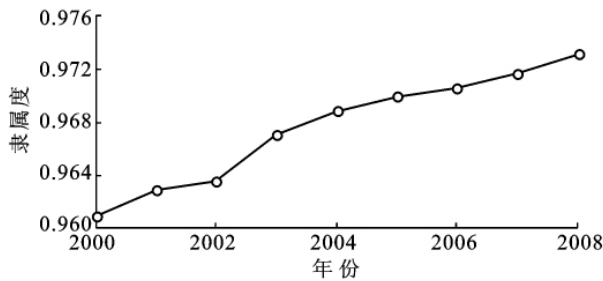


图 1 2000—2008 年福建省土地生态安全趋势

由图 1 可知,福建省土地生态安全总隶属度逐年提高,土地生态安全不断改善,从 III 一般安全转变为 IV 较安全。从图 2 变化趋势可见,土地生态安全不断改善主要依赖于社会经济系统和环境调控系统推动

作用,而自然环境系统生态安全未见改观。

自然环境系统始终在 III 一般安全等级间波动。由图 3a,3b 可知,土地利用结构子系统逐年改善,主要得益于建成区绿化覆盖率和森林覆盖率不断提高,分别由 2000 年 32.5% 和 60.5% 提高到 2008 年 38.86% 和 63.11%;但环境压力子系统从 2003 年开始迅速下降,主要由于化肥和农药大量施用,以及随着工业快速发展工业三废排放密度骤增,导致大量土地受到污染,严重影响土地可持续利用,即农药施用量由 2000 年 19 kg/hm² 增加到 2008 年 26 kg/hm²,工业固废排放密度由 2003 年 240.39 t/km² 提高到 2008 年 433.13 t/km²。2 个子系统相互作用使自然环境系统生态安全始终上下波动,且有下降趋势。

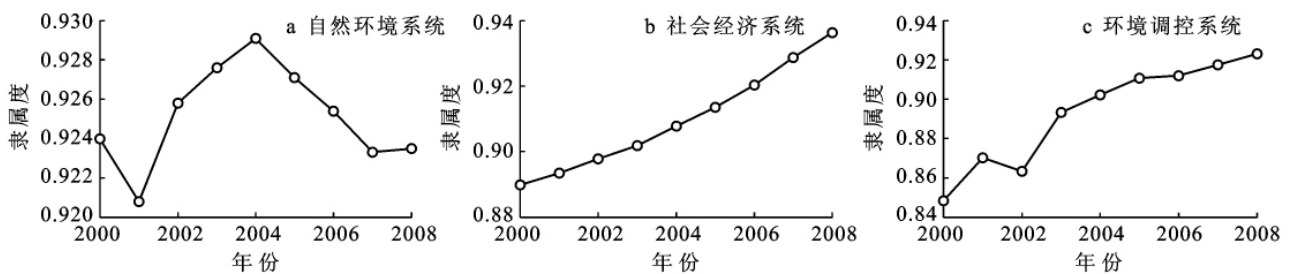


图 2 2000—2008 年福建省土地生态安全第 II 级指标变化趋势

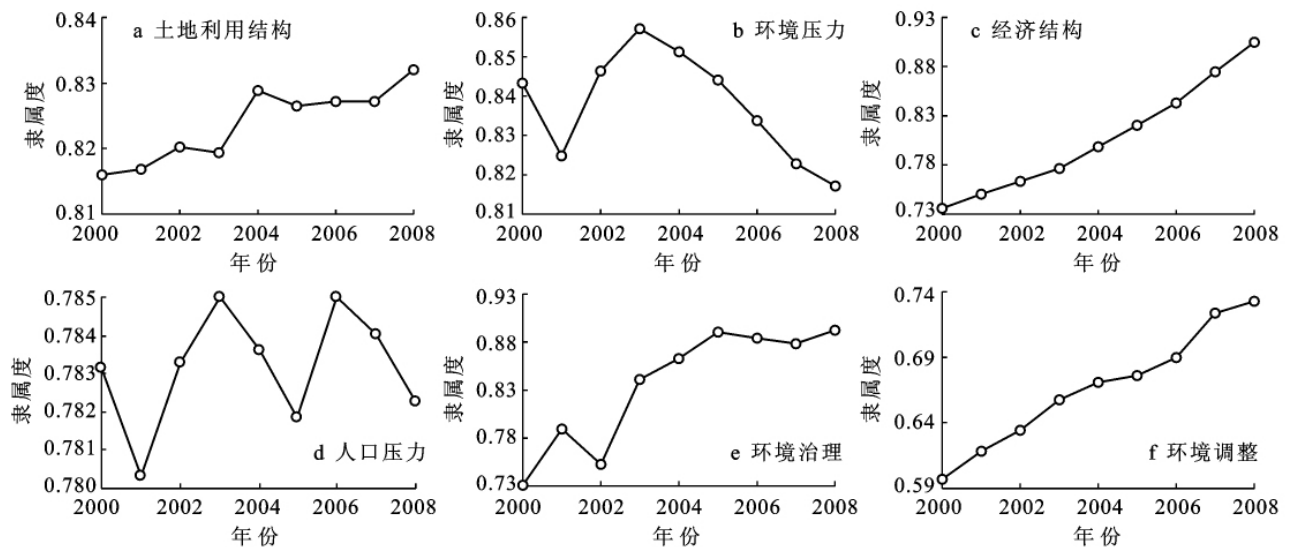


图 3 2000—2008 年福建省土地生态安全第 III 级指标变化趋势

社会经济系统逐年递增趋势明显,由Ⅲ一般安全提升为Ⅳ较安全。从图 3c,3d 可知,社会经济系统改善主要依赖于经济结构优化和经济快速增长,2000—2008 年福建省 GDP 平均每年以 11.8% 速度增长,经济密度和人均 GDP 分别由 2000 年 303.59 元/km² 和 11 194 元提高到 2008 年 872.82 元/km² 和 30 123 元,分别增长 2.87 和 2.69 倍。而人口压力始终处于上下波动,没有明显改善,主要由于经济快速发展所导致的大量外来劳动力涌入和耕地被大量占用,以及人口自然增长率提高导致土地生态安全的人口压力加大。

环境调控系统安全状况改变非常明显,由Ⅱ较不安全提升为Ⅳ较安全。图 3e,3f 可知,得益于环境治理和环境调整子系统的生态安全不断改善。政府对环境保护日益重视,环保投资逐年大幅增加,企业原材料和能源利用率大幅提高,即工业固废综合利用率由 2000 年 41.6% 提高到 2008 年 72.86%,有效减少了环境污染。不断提高农业机械化水平,由 2000 年 3.13 kW/hm² 提高到 2008 年 5 kW/hm²。改革传统耕作方式,大力发展保护性耕作和保护性农业,取得显著经济效益和生态效益。

3 结论

突变级数法避免了主观判断健康标准的不确定性对评价结果客观性影响,无需对指标赋权重值,很大程度减少了人为赋权的主观性。结果表明:福建省土地生态安全逐年不断改善,从Ⅲ一般安全转变为Ⅳ较安全,主要建立在社会经济系统和环境调控系统安全不断改善基础上,而自然环境系统始终在Ⅲ一般安全等级间波动。其中,人口压力子系统始终处于上下波动,没有明显改善,环境压力子系统生态安全从 2003 年开始迅速下降,经济社会快速发展导致土地资源环境压力不断增加。一旦社会经济发展所需自然资源超出土地供给能力范围,福建省土地生态安全将面临严峻考验。

(1) 加强环境治理和环境调整力度,减轻土地污染。加大原中央苏区县水土流失综合治理力度,努力改善农业生产条件和生态环境。落实《福建省固体废物污染环境防治若干规定》,建立重点减排企业的集体约谈制度,开展重点污染源核查。加大农资投入管理,大规模使用有机化肥和生物农药等对土地生态系

统具有良好作用的高新技术产品,积极建设无公害农产品产地,最大程度降低土地的污染。

(2) 统筹土地生态安全与经济发展,实施土地生态保护规划。进一步实施《福建省村庄环境综合整治规划》,加强土地生态功能规划,指导经济布局和生态建设。坚决放弃高能耗的粗放发展模式,以“中国·海峡项目成果交易会”为平台,积极引进污染减排、污染防治等领域先进技术,推进对外环保技术交流与项目合作,根本上解决对土地的破坏及生态污染问题。

(3) 大力开展土地生态保护宣传,提高全民生态环境意识。充分利用新闻媒体普及环保知识,在福建省环保公益日以及世界环境日等积极开展系列土地保护宣教活动,让环境教育深入人心。完善城市环境综合整治工作定量考核制度,建立健全土地生态保护的法律法规,严肃查处环境违法违纪案件,严厉打击环境违法行为,切实维护群众环境权益。

[参 考 文 献]

- [1] 张虹波,刘黎明,张军连,等. 黄土丘陵区土地资源生态安全及其动态评价[J]. 资源科学,2007,29(4):193-200.
- [2] 张小虎,雷国平,袁磊,等. 黑龙江省土地生态安全评价[J]. 中国人口·资源与环境,2009,19(1):88-93.
- [3] 赵凤琴,汤洁,王晨野,等. 生态脆弱地区土地生态环境安全初探[J]. 水土保持通报,2005,25(1):99-10.
- [4] 郭凤芝. 土地资源安全评价的几个理论问题[J]. 山西财经大学学报,2004,26(3):61-65.
- [5] 张军以,苏维词. 三峡库区土地生态安全评价[J]. 广东农业科学,2009(9):211-214.
- [6] 吴开亚,金菊良. 区域生态安全评价的熵组合权重属性识别模型[J]. 地理科学,2008,28(6):754-758.
- [7] 方丽婷,张俊平,胡月明. 基于模糊综合评判法的封开县土地生态安全评价[J]. 广东农业科学,2009(10):179-183.
- [8] Costanza R. Toward an operational definition of ecosystem health[M]//Cosanza R, Norton B D(eds). Ecosystem Health: New Goals for Environmental Management. Washington D C: Island Press, 1992:239-256.
- [9] Thom R. Catastrophe theory[M]// Thom R(ed). Structural Stability and Morphogenesis. Benjamin: Reading Mass, 1972:34-43.
- [10] 魏婷,朱晓东,李杨帆. 基于突变级数法的厦门城市生态系统健康评价[J]. 生态学报,2008,28(12):6312-6320.