

自组织的土地利用系统

朱晓华¹, 蔡运龙², 蒋为国³, 吴健生²

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 北京大学资源环境地理学系, 北京 100871;
3. 北京师范大学资源学院, 北京 100875)

摘要: 研究目的: 探索蕴含在土地利用系统中的普遍现象和机制, 是现代土地科学发展必须回答的重要命题。研究方法: 根据丹麦科学家 P·Bak、C·Tang 等提出的现代自组织理论。研究结果: 以中国土地利用数据为例, 从不同时空、不同区域、不同尺度等多个角度, 探讨了自组织的土地利用系统, 并系统给出了土地利用系统自组织性质的大量定量实证。研究结论: 土地利用系统中客观存在的自组织性质, 对于揭示蕴含在土地利用系统中的普遍现象和机制具有重要意义。

关键词: 土地利用; 普遍现象和机制; 自组织

中图分类号: P941.7

文献标识码: A

文章编号: 1001-8158(2005)02-0021-08

Self-organized Character of Land Use System

ZHU Xiao-hua¹, CAI Yun-long², JIANG Wei-guo³, WU Jian-sheng²

(1. Institute of Geographical Science and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. Department of Resource & Environment & Geography, Peking University, Beijing 100871, China; 3. College of Resources Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: The purpose of the paper is to explore universal phenomenon and mechanism in land use system, a proposition which has to be answered by modern land science. P·Bak, C·Tang et al. enunciated the self-organized theory in 1980s. Based on this theory, and as a case study of China, the self-organized character in China's land use system is analyzed in different regions, scales and periods. The quantitative proofs have been provided roundly in this paper. The self-organized character of land use system is significant to reveal the internal universal phenomenon and mechanism.

Key words: land use; universal phenomenon and mechanism; self-organized

1 前言

恩格斯早在 1873-1883 年期间撰写的《自然辩证法》一书就系统地论述了关于自然界普遍联系和发展的学说。围绕着整个世界的组织, 事实上存在着两种不同的宇宙观: 一种是静态的被组织的宇宙观, 一种是动态的自组织的宇宙观。前者认为宇宙是静止的, 其中的自然事物孤立共存, 在时间上没有演化; 后者认为一切物质产物都是物质世界自组织演化的产物, 它们在一定阶段、一定区域出现, 并表现出一些相同或相似的定量关系。在科学技术日益发达的今天, 尽管还存在着各种各样的宇宙假说, 但是自组织的宇宙观已经被基本接受, 自组织

收稿日期: 2004-10-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(40335046, 40301002)。

第一作者: 朱晓华(1972~), 男, 安徽郎溪人, 博士, 副研究员, 主要从事土地非线性结构及其尺度转换研究。

的宇宙观初步地揭示了一个自我组织、自我运动和自我发展演化的宇宙,地球的形成与演化、生命的出现、意识的形成以及科学技术的发展与演化等等无不呈现出自组织的共同特征^[1-3]。当然,对于作为人地相互作用的主要界面,土地利用系统,有理由定性推断其具有自组织性质,即使目前还缺乏大量的定量证明。

土地科学发展到今天,结合现代科学技术的发展,不仅对国民经济发展发挥了重要作用,而且其自身也在理论等多方面逐渐完善。现代土地科学在研究土地结构、土地评价、土地分等分级等问题的同时,也积极致力于探索蕴含在土地利用系统中的普遍现象和机制。根据现代系统科学,有学者认为“土地类型演替的本质是土地类型结构与功能的自组织”^[4],显然,这在很大程度上只是定性推断,还缺乏大量的定量科学证据。结合现代自组织科学理论,本文从不同区域、不同尺度、不同时空等多个角度出发,深入研究了自组织的土地利用系统。

20世纪80年代中期,丹麦科学家P·Bak等在国际《Physical Review Letters》上发表了“Self-organized criticality: an explanation of 1/f noise”(自组织临界性:1/f噪声的一种解释)一文,提出了现代自组织临界性(SOC)思想^[5]。这一思想提出后,引起了国际学术界的巨大反响,此文也被成千上万次地引用,成为当时世界的经典文献之一。自组织临界性是观察大自然的一种新方法,是回答大自然复杂性内在机制的新方法。Bak等提出的自组织理论作为关于大自然复杂性的一种新的物理规律,它涉及自然、经济与社会生活等诸多方面,已经在地震、生物灭绝、气象、人口分布和生态、脉冲星突增事件、黑洞与日辉、喜马拉雅山坍塌、岩渣沉积等诸多方面得到了诸多实证^[6-10],它告诉人们:表面复杂的自然界实际上有着十分简单的物理规律。自组织临界性是目前所知的产生复杂性的惟一的普遍机制^[5]。

将P·Bak等的自组织临界性理论与哲学意义上的自组织思想比较而言,前者侧重于试验和数量资料的验证,给出了自组织临界性的定量判定关系,虽然也提出了自组织是目前所知的产生复杂性的惟一的普遍机制,但是对于系统产生自组织临界态的条件、途径等并没有深入论述;后者则侧重哲学上的思辨,对自组织系统形成与演化的条件、途径、时空图景等关注较全,但是缺乏定量的判定。总体而言,虽然二种自组织思想产生的时间不一,考虑问题角度也不尽相同,但是P·Bak等与哲学家们的目标一致,都是为了寻找支配自然界与社会现象的普遍规律,在这一点上Bak等与哲学家们的追求不谋而合。

根据P·Bak等提出的现代自组织理论^[5],如果系统的某个量 N 能用另外一个量 s 的幂次表征出来,即 N 与 s 之间存在幂律关系,如(式1)所示,即系统具有自组织性质。

$$N(s) = s^{-\tau} \quad (\text{式1})$$

基于(式1)探讨土地利用系统的自组织性质,只需对(式1)两边同取双对数,如果线性回归分析后 $\lg N - \lg s$ 在一条直线并通过统计检验即可。

对(式1)中标度 s 的定义可有二种:第一,将 s 定义为土地图斑的面积;第二,将 s 定义为土地图斑的形状指数。两种情况下 N 均定义为具有某一特征标度的土地图斑数的频度。

图斑形状指数(Patch shape Index)将土地图斑周长与面积因素均考虑在内。以正方形为参照几何形状的斑块形状指数 S 的计算公式为^[11]:

$$S = \frac{0.25 \times P}{\sqrt{A}} \quad (\text{式2})$$

式中: P 为图斑周长, A 为图斑面积。图斑形状越复杂, S 值就越大。

2 不同区域土地利用系统中的自组织性质

首先分析具有不同地理、社会经济背景是北京、安徽、江苏、广东、贵州、新疆、西藏、辽宁等8省区的土地利用数据。表1列出了从《中国资源与环境数据库(1:100万)》中提取北京等8省区土地利用图斑总数。

不同区域由于面积等因素的影响,导致不同区域土地类型图斑总数的客观差异,西藏土地图斑总数是北京图斑总数的17倍。那么,在不同区域,在不同地理、社会经济等因素的影响下,区域土地自组织性质是否客观存

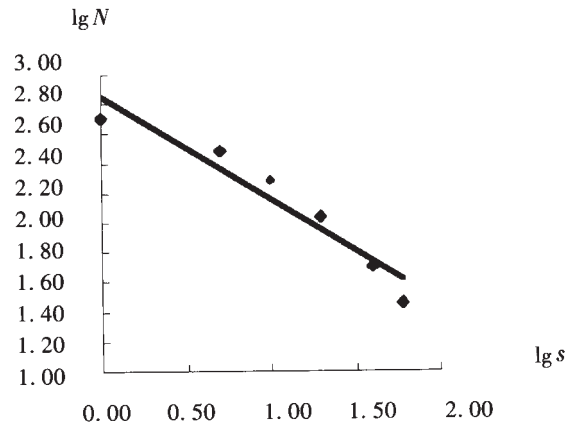


图 1 北京市图斑面积的标度 - 频度双对数散点关系

Fig. 1 Double logarithm plot of size-frequency relationship of patch areas of Beijing

表 1 北京等 8 省区土地利用图斑总数

Tab. 1 Patch number of eight provinces

区域	图斑数(块)	区域	图斑数(块)	区域	图斑数(块)	区域	图斑数(块)
北京	552	江苏	1267	贵州	5428	新疆	4954
安徽	2433	广东	4953	辽宁	2067	西藏	9386

在呢?表 2 列出了北京等 8 省区土地图斑的面积标度 - 频度统计结果。

根据表 2 可建立北京等 8 省区土地图斑面积的标度 - 频度双对数散点关系图,鉴于篇幅,图 1 仅给出北京市图斑面积的标度 - 频度计算图示。

对图 1 中系列散点进行线性回归分析,可得北京市图斑面积标度 - 频度关系式:

$$\lg N = 2.8507 - 0.6941 \lg s \quad (式 3)$$

表 2 北京等 8 省区土地图斑的面积标度 - 频度统计结果

Tab. 2 Results of size-frequency of patch areas of eight provinces

区域	标度 s - 频度 N 关系						
北京	标度(km ²)	> 1	> 5	> 10	> 20	> 40	> 60
	频度(块)	503	306	193	108	51	29
安徽	标度(km ²)	> 1	> 10	> 50	> 100	> 150	> 200
	频度(块)	2324	919	207	111	72	47
江苏	标度(km ²)	> 1	> 10	> 100	> 300	> 700	> 1000
	频度(块)	1175	429	57	29	21	14
广东	标度(km ²)	> 1	> 10	> 100	> 300	> 600	> 1000
	频度(块)	4659	1957	224	73	36	21
贵州	标度(km ²)	> 1	> 10	> 100	> 300	> 600	> 1000
	频度(块)	5128	2381	242	72	36	24
辽宁	标度(km ²)	> 1	> 10	> 100	> 300	> 600	> 800
	频度(块)	1822	818	116	48	25	17
新疆	标度(km ²)	> 1	> 10	> 100	> 1000	> 3000	> 5000
	频度(块)	4815	3786	973	195	71	43
西藏	标度(km ²)	> 1	> 10	> 10	> 200	> 1000	> 2000
	频度(块)	8988	5514	910	163	84	29

表 3 北京等 8 省区土地图斑面积的标度 - 频度关系式表

Tab. 3 Relationships of size-frequency of patch areas in eight provinces

省区	标度 - 频度关系	相关系数	省区	标度 - 频度关系	相关系数
北京	$\lg N = 2.8507 - 0.6941 \lg s$	0.9607	贵州	$\lg N = 3.9215 - 0.8232 \lg s$	0.9844
安徽	$\lg N = 3.5003 - 0.7390 \lg s$	0.9812	辽宁	$\lg N = 3.4218 - 0.7155 \lg s$	0.9869
江苏	$\lg N = 3.1419 - 0.6591 \lg s$	0.9937	新疆	$\lg N = 3.9440 - 0.5799 \lg s$	0.9741
广东	$\lg N = 3.8619 - 0.8103 \lg s$	0.9865	西藏	$\lg N = 4.2430 - 0.7671 \lg s$	0.9721

表 4 北京等 8 省区土地图斑形状指数的标度 - 频度统计结果

Tab. 4 Results of size-frequency of patch shape index of eight provinces

区域	标度 s - 频度 N 关系						
北京	标度	> 1.0	> 1.2	> 1.4	> 1.6	> 1.8	> 2.0
	频度(块)	482	324	224	174	106	78
安徽	标度	> 1	> 1.4	> 1.8	> 2	> 3	> 4
	频度(块)	2056	732	307	212	52	20
江苏	标度	> 1	> 1.4	> 1.8	> 2	> 3	> 4
	频度(块)	1016	328	133	97	26	15
广东	标度	> 1	> 2	> 3	> 4	> 5	> 6
	频度(块)	4403	633	187	82	47	31
贵州	标度	> 1	> 2	> 3	> 4	> 5	> 6
	频度(块)	5027	765	210	84	47	28
辽宁	标度	> 1	> 2	> 3	> 4	> 5	> 6
	频度(块)	1780	226	74	41	27	19
新疆	标度	> 1	> 2	> 3	> 4	> 5	> 6
	频度(块)	4580	877	296	146	86	34
西藏	标度	> 1	> 2	> 4	> 6	> 7	> 8
	频度(块)	8334	1584	230	62	31	20

表 5 北京等 8 省区土地图斑形状指数的标度 - 频度关系式表

Tab. 5 Relationships of size-frequency of patch shape index in eight provinces

省区	标度 - 频度关系	相关系数	省区	标度 - 频度关系	相关系数
北京	$\lg N = 2.7082 - 2.6584 \lg s$	0.9977	贵州	$\lg N = 3.7215 - 2.9322 \lg s$	0.9995
安徽	$\lg N = 3.3364 - 3.3734 \lg s$	0.9977	辽宁	$\lg N = 3.1746 - 2.5376 \lg s$	0.9951
江苏	$\lg N = 2.9583 - 3.1012 \lg s$	0.9963	新疆	$\lg N = 3.7057 - 2.6349 \lg s$	0.9955
广东	$\lg N = 3.6335 - 2.8023 \lg s$	0.9995	西藏	$\lg N = 4.0052 - 2.9054 \lg s$	0.9967

根据相同计算过程,可得其他区域土地图斑面积的标度 - 频度关系式(表 3)。

根据表 4,可计算得到北京等 8 省区土地图斑形状指数的标度 - 频度关系式(表 5)。

表 3 和表 5 中各式都可以通过 R 显著性检验($n=6$, $r_{0.05}=0.8114$),表明:北京 8 省区土地图斑面积或形状指数的标度与频度之间存在着显著的相关性,也就是说,在不同区域,在不同地理、社会经济等因素的影响下,区域土地利用系统中的自组织性质均客观存在。

3 不同尺度下土地利用系统中的自组织性质

在分析 1:100 万北京等 8 省区土地利用数据的基础上,下面继续分析 1:400 万、1:10 万与 1:10000 比例尺

等尺度下的土地利用系统中的自组织性质。根据《中国资源与环境数据库(1:400万)》,可提取中国土地利用图斑数的面积标度-频度统计结果(表6)形状指数标度-频度统计结果(表7)。

表6 中国土地利用总图斑数面积的标度-频度统计结果

Tab. 6 Results of size-frequency relationship of patch areas of the whole land types of China

标度(km ²)	频度(块)	标度(km ²)	频度(块)	标度(km ²)	频度(块)	标度(km ²)	频度(块)
> 50	13538	> 400	1694	> 1000	619	> 7000	90
> 100	8219	> 500	1317	> 2000	308	> 8000	82
> 150	5347	> 600	1082	> 3000	210	> 9000	74
> 200	3819	> 700	913	> 4000	162	> 10000	68
> 250	2948	> 800	786	> 5000	129	> 20000	38
> 300	2388	> 900	695	> 6000	111	> 30000	27

表7 中国土地利用总图斑数形状指数的标度-频度统计结果

Tab. 7 Results of size-frequency relationship of patch shape index of the whole land types of China

标度	频度(块)	标度	频度(块)	标度	频度(块)
> 1.0	13147	> 2.0	1275	> 6.0	69
> 1.2	7269	> 2.5	657	> 7.0	40
> 1.4	4193	> 3.0	387	> 8.0	31
> 1.6	2589	> 4.0	177	> 9.0	25
> 1.8	1759	> 5.0	106		

根据表6可得中国土地利用总图斑数面积的标度-频度关系:

$$\lg N = 5.8641 - 10.0098 \lg s \quad (\text{式 } 4)$$

根据表7可得中国土地利用总图斑数形状指数的标度-频度关系:

$$\lg N = 4.0155 - 2.8365 \lg s \quad (\text{式 } 5)$$

(式4)的相关系数为0.9987,可通过R显著性检验($n=24$, $r_{0.05}=0.4227$)(式5)的相关系数为0.9979,也可以通过R显著性检验($n=24$, $r_{0.05}=0.5324$)。

以上揭示了1:400万土地利用系统中的客观自组织性质,那么,其他尺度下土地利用系统中的标度-频度关系是否仍然客观存在?下面以从TM影像中提取的1:10万北京市和1:10000深圳市土地利用数据为例深入分析。

表8列出了1:10万北京市土地利用总图斑数的标度-频度统计结果。

表8 1:10万北京市土地利用总图斑数的标度-频度统计结果

Tab. 8 Results of size-frequency relationship of Beijing in scale 1:100,000

面积		形状指数		面积		形状指数	
标度(km ²)	频度(块)	标度(km ²)	频度(块)	标度(km ²)	频度(块)	标度(km ²)	频度(块)
> 0.5	2291	> 1.0	6703	> 20	84	> 5.0	143
> 1.0	1222	> 2.0	1853	> 30	65	> 6.0	76
> 5.0	277	> 3.0	610	> 50	39	> 7.0	46
> 10.0	158	> 4.0	258	> 100	21	> 8.0	27

根据表 8 可得到 1:10 万北京市土地利用总图斑数面积的标度 - 频度关系式:

$$\lg N_a = 3.0837 - 0.8801 \lg s \quad (\text{式 6})$$

1:10 万北京市土地利用总图斑数形状指数的标度 - 频度关系式:

$$\lg N = 3.9683 - 2.6762 \lg s \quad (\text{式 7})$$

(式 6) 和 (式 7) 的相关系数分别等于 0.9997 和 0.9934, 均可以通过 R 显著性检验 ($n=8$, $r_{0.05}=0.7067$)。

表 9 列出了 1:10000 深圳市土地利用总图斑数的标度 - 频度统计结果。

由表 9 可得到 1:10000 深圳市土地利用总图斑数面积的标度 - 频度关系式为:

$$\lg N = 2.3602 - 0.9229 \lg s \quad (\text{式 8})$$

1:10000 深圳市土地利用总图斑数形状指数的标度 - 频度关系式为:

$$\lg N = 4.2746 - 2.5301 \lg s \quad (\text{式 9})$$

(式 8) 和 (式 9) 的相关系数分别等于 0.9971 和 0.9979, 也可通过 R 显著性检验 ($n=8$, $r_{0.05}=0.7067$)。

通过 1:400 万、1:100 万、1:10 万、1:10000 土地利用总图斑数标度 - 频度关系的定量系统分析, 可以发现不同尺度下的土地利用系统中的自组织性质均客观存在。

表 9 1:10000 深圳市土地利用总图斑数的标度 - 频度统计结果

Tab. 9 Results of size-frequency relationship of Shenzhen in scale 1:10,000

面积		形状指数		面积		形状指数	
标度(km ²)	频度(块)	标度	频度	标度(km ²)	频度(块)	标度	频度(块)
> 0.01	12565	> 1.0	20100	> 2.0	116	> 5.0	291
> 0.1	2543	> 2.0	3461	> 3.0	83	> 6.0	184
> 0.5	493	> 3.0	1082	> 5.0	47	> 7.0	144
> 1.0	246	> 4.0	503	> 10.0	25	> 8.0	120

4 不同时期土地利用系统中的自组织性质

以上分析了基于空间维的土地利用系统中的自组织性质, 下面将深入分析基于时间维的土地利用系统中的自组织性质。

选取辽宁盘锦市研究土地自组织性质的动态变化。盘锦市位于辽宁省西南部, 辽河三角洲的核心地带, 濒临渤海。表 10、表 11 分别列出了从 TM 影像提取的辽宁盘锦市 1986 年、1995 年、2000 年 1:10000 比例尺土地总图斑数的面积与形状指数的标度 - 频度统计结果。

表 10 辽宁盘锦市土地图斑面积的标度 - 频度统计结果

Tab. 10 Results of size-frequency of patch areas of Panjin

标度(km ²)	1986 年频度(块)	1995 年频度(块)	2000 年频度(块)	标度(km ²)	1986 年频度(块)	1995 年频度(块)	2000 年频度(块)
> 0.1	1496	1080	1075	> 3.0	73	66	68
> 0.5	496	331	337	> 5.0	50	49	48
> 1.0	235	150	160	> 10.0	27	28	27

表 11 辽宁省盘锦市土地图斑形状指数的标度 - 频度统计结果

Tab. 11 Results of size-frequency of patch shape index of Panjing

标度	1986 年频度 (块)	1995 年频度 (块)	2000 年频度 (块)	标度	1986 年频度 (块)	1995 年频度 (块)	2000 年频度 (块)
> 1.0	1830	1370	1144	> 1.8	305	169	164
> 1.2	1013	687	647	> 2.0	235	130	125
> 1.4	634	386	375	> 3.0	68	42	41
> 1.6	438	247	242	> 4.0	31	18	17

表 12 辽宁盘锦市土地图斑的标度 - 频度统计关系

Tab. 12 Relationships of size-frequency of Panjing

图斑面积			图斑形状指数		
年份	标度 - 频度关系	相关系数	年份	标度 - 频度关系	相关系数
1986	$\lg N = -0.8990 \lg s + 2.3370$	0.9966	1986	$\lg N = -2.9316 \lg s + 3.2431$	0.9997
1995	$\lg N = -0.8008 \lg s + 2.2312$	0.9980	1995	$\lg N = -3.0632 \lg s + 3.0623$	0.9974
2000	$\lg N = -0.8080 \lg s + 2.2359$	0.9988	2000	$\lg N = -3.0093 \lg s + 3.0245$	0.9989

根据表 10、表 11,可建立辽宁盘锦市 1986 年、1995 年和 2000 年土地图斑的标度 - 频度关系(表 12)。

表 12 中各式可通过 R 显著性检验($n = 6, r_{0.05} = 0.8114$; $n = 8, r_{0.05} = 0.7067$),说明盘锦市土地结构随着时间虽然出现了变化,但是土地利用系统中的自组织性质仍然客观存在。

5 结论

以上从不同区域、不同尺度、不同时空等多个角度出发,通过大量数据定量分析了土地利用系统中的自组织性质,这就促使在土地科学研究过程中要注重土地利用系统的整体性特征,在进行土地利用系统复杂性研究的过程中,力求着眼全局,因为一个自组织系统往往服从整体的动力学规则。在土地利用研究中,不应该因为耕地、城镇用地等对于经济发展、稳定社会有着直接效应,而忽略对其他土地利用类型的整体研究,由本文分析可见,中国土地利用系统中的不同土地利用类型,不论其面积大小一般都服从共同的幂律规律。实际上,与从土地利用相关的其他数据中,也可以发现蕴含其中的幂律规律。根据《中国城市统计年鉴》,表 13 进一步列出了中国不同等级城市占有的耕地面积和土地面积。

表 13 中国不同等级城市占有的耕地面积和土地面积

Tab. 13 Cultivated land and Land areas for different scale cities of China

标度	1991 年耕地(万 km ²)	1995 年耕地(万 km ²)	1996 年耕地(万 km ²)	1995 年土地(万 km ²)	1996 年土地(万 km ²)
> 20 万人口城市	4069.470	1194.5	1170.3	54.0	53.9
> 50 万人口城市	1845.070	306.2	295.1	14.7	13.8
> 100 万人口城市	1143.330	184.4	175.0	7.6	6.8
> 200 万人口城市	347.533	98.9	89.6	3.0	3.2

表 14 中国城市规模和相应占有耕地(土地)面积之间的双对数关系

Tab. 14 Double logarithm relationships of city size and cultivated land(land) area

年份	标度 - 面积关系	相关系数
1991 年耕地	$\lg N = -1.0250 \lg s + 4.9896$	0.9792
1995 年耕地	$\lg N = -1.0625 \lg s + 4.3955$	0.9866
1996 年耕地	$\lg N = -1.0949 \lg s + 4.4318$	0.9883
1995 年土地	$\lg N = -1.2319 \lg s + 3.3130$	0.9974
1996 年土地	$\lg N = -1.2159 \lg s + 3.2716$	0.9956

根据(式1),可计算得到我国城市规模 s 和相应占有的耕地(土地)面积 N 之间的双对数关系(表14)。

表14中各式均可以通过R显著性检验($n=4$, $\alpha_{0.05}=0.9500$)。

总之,自组织理论在解释土地利用系统中的普遍现象和机制方面具有重要价值。当然,科学不断发展,自组织理论也许并不是普遍土地利用现象和机制的全部解释,即使它是当前关于土地利用普遍现象和机制的十分理想的一种解释。无论如何,自组织思想确实也为我们打开了一扇透视复杂土地巨系统内在普遍现象和机制的窗口。

参考文献(References):

- [1] 埃里克(著),曾国屏(译). 自组织的宇宙观[M]. 北京:中国社会科学出版社,1992:1-357.
- [2] 沈小峰,吴彤,曾国屏. 自组织的哲学:一种新的自然观和科学观[M]. 北京:中共中央党校出版社,1993:1-379.
- [3] 曾国屏. 自组织的自然观[M]. 北京:北京大学出版社,1996:1-336.
- [4] 倪绍祥. 土地类型与土地评价概论[M]. 北京:高等教育出版社,1999:41.
- [5] Bak P. 大自然如何工作——有关自组织临界性的科学[M]. 武汉:华中师范大学出版社,2001:1-198.
- [6] Middleton A A, Tang C. Self-organized criticality in nonconserved systems[J]. Physical Review Letters, 1995, 74(5):742-745.
- [7] Sole R V, Manrubia S C, Benton M J, Kauffman S, Bak P. Criticality and scaling in evolutionary ecology[J]. Trends in Ecology & Evolution, 1999, 14(4):156-160.
- [8] Nishikawa K I, Ohtani S. Global particle simulation for a space weather model: Present and future[J]. IEEE Transactions on Plasma Science, 2000, 28(6):1991-2006.
- [9] Gomez B, Page M, Bak P, Trustrum N. Self-organized criticality in layered lacustrine sediments formed by landsliding[J]. Geology, 2002, 30(6):519-522.
- [10] Yoshioka N. A sandpile experiment and its implications for self-organized criticality and characteristic earthquake[J]. Earth Planets and Space, 2003, 55(6):283-289.
- [11] 邬建国. 景观生态学[M]. 北京:高等教育出版社,2002:100-101.

(本文编辑 李鞠)