

文章编号:1001-5132 (2010) 01-0128-05

基于熵和灰色关联的耕地系统研究

梁 辰¹, 袁 春^{1*}, 周 伟¹, 杨 峰¹, 李 爽²

(1.中国地质大学 土地科学技术学院, 北京 100083; 2.中国地质大学 能源学院, 北京 100083)

摘要: 运用文献资料法、改进的熵值法以及灰色关联分析法确定了影响系统总熵变的各因素及其权重, 建立了熵流模型. 研究表明: 实现耕地系统集约利用的关键在于较好地控制系统内熵的增长速度, 因地制宜地从外界环境中获取负熵流. 认为基于耗散结构的熵流模型是研究耕地系统的有效方法之一, 通过熵值法和灰色关联法确定不同地区各指标的权重, 可以为耕地系统集约节约提供有效方法.

关键词: 耕地系统; 耗散结构; 熵值; 灰色关联; 集约

中图分类号: F301.5

文献标识码: A

集约利用是指在单位面积的土地上, 追加更多的人力、物力或财力和技术、经营管理, 取得更多的产出^[1]. 我国耕地面积 1.22×10^8 ha, 人均 0.09 ha, 占世界人均耕地 38%. 中国人口以每年 10% 的速度增加, 而耕地面积却以 5% 的速度减少, 因此实现耕地系统的集约节约化刻不容缓. 现有的耕地系统集约节约研究, 多集中于文献综述法、指数法、多元回归法, 元胞自动机法等. 笔者利用耗散理论, 研究影响系统熵变的因子, 根据耕地集约评价因子建立熵流模型, 以此揭示影响耕地系统状态的因素, 并通过熵变分析耕地系统状态.

1 基本原理

1.1 自组织原理与熵

普利高津把自然界自组织生产的结构分为 2 大类, 通过平衡过程的相变而形成的有序结构, 称

为平衡结构, 它基本无需与外界环境进行交换即可保持平衡. 反之, 系统在远离平衡态的条件下通过相变形成的有序结构, 称为耗散结构^[2]. 它需要与外部环境不断地进行物质、能量和信息的交换才能使结构有序.

宏观而言, 开放系统熵的改变 ds 由 2 部分组成: 一部分是系统本身不可逆过程所引起的熵增加, 标记为 $d_i s$; 另一部分是系统与外界交换物质能量等所引起的熵变化, 标记为 $d_e s$.

根据普利高津的总熵变公式^[2]: $ds = d_i s + d_e s$, 可能出现 4 种熵变. (1) $d_e s = 0$, 系统封闭, 无法与外界进行熵交换, 内部正熵不断增加, 混乱度不断增加, 最后可能产生组织退化. (2) $d_e s > 0$, 系统与外界交换到的是正熵, 总 $ds > 0$, 此时系统以更快的速度增加混乱程度, 最终走向退化. (3) $d_e s < 0$, 且 $|d_e s| < d_i s$, 从外界环境获取的负熵不足以克服内部正熵的增长, 系统最终无法发生自组织. (4) $d_e s <$

收稿日期: 2009-09-24.

宁波大学学报(理工版)网址: <http://3xb.nbu.edu.cn>

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划(2006BAB15B03).

第一作者: 梁 辰(1985 -), 男, 浙江宁波人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 自然环境评价. E-mail: mjlc7777@163.com

*通讯作者: 袁 春(1964 -), 女, 湖北黄梅人, 教授, 主要研究方向: 土地利用与生态环境等. E-mail: yuanchun@cugb.edu.cn

0, 且 $|d_e s| > d_i s$, 从外界环境获取的负熵足以克服内部正熵的增长, 系统出现减熵的过程, 即自组织过程. 因此, 如果 $d_e s < 0$, 且 $|d_e s / dt|$ 越大, 说明从外界负熵输入越多, 且速度越快, 系统总熵减小也越快, 系统混乱度越低, 有序性越高, 系统处于有利于自身发展的状态^[3].

1.2 耕地系统的耗散结构

耕地系统满足耗散结构动态有序的几个特点:

(1) 开放的系统. 耕地凝结着人类物质能量的投入, 并出产可观的产品. 同时, 耕地本身也通过生物和非生物要素与其他系统发生着物质能量的交换. (2) 远离平衡态. 耕地系统由于人为因素较大, 所以有一定的有序性, 但是宏观而言, 耕地系统要素杂, 远离平衡态. (3) 非线性相互作用. 耕地系统内部结构复杂, 气候、光照、温度、湿度等外部影响因素也相对复杂, 并存在人类对其干预, 因此, 系统内部各要素之间呈非线性关系. (4) 涨落. 耕地系统外部受自然, 社会等外界因素干扰, 内部受其他生物、非生物系统的相互作用, 因此系统内部会出现“涨落”^[2], 当涨落影响到一定阈值时, 系统会产生“巨涨落”, 从而发生跃迁, 使耕地系统朝更有序的方向发展, 形成新的耗散结构.

因此, 耕地系统总熵值是评价区域耕地系统

状态是否良好的一个重要标尺, 总熵值 $d_e s$ 为负, 且绝对值较大, 说明该地区耕地系统状态良好; 反之, 说明该地区耕地系统混乱度较大, 需要引导其向更有序的方向发展.

2 模型的构建

2.1 指标体系的构建

计算耕地系统的总熵变是一个繁琐的过程, 熵是表示混乱的度量^[3], 凡是与待评系统有物质和能量, 信息交换的都能影响系统总熵值的变化. 针对这些影响因素, 采取目标指引和因果关联相结合的复合法选取指标, 确保这些指标既可以反映质量水平也能反映数量水平(表 1). (1) 耕地投入水平(B_1)是实现耕地集约利用的主动动力, 反映着依靠科技进步和人主观意识上的进步, 通过提高耕地使用效率来实现集约利用, 尤其是对存量土地的高效利用. (2) 耕地利用水平(B_2)是反映耕地是否集约的最直接的特征, 一定程度上, 利用水平越高, 该耕地集约水平越高. (3) 耕地产出效益水平(B_3)表现为对耕地的投入所获得的产值, 取决于经营模式的投入和产出之比. (4) 耕地利用结构水平(B_4)是表征耕地的利用状况(结构和布局)在时间和空间

表 1 耕地集约利用评价体系

目标层	因素层	因子层	各因子说明
耕地集约利用 指标体系	耕地投入水平(B_1)	劳力投入(X_1)	种植业就业总人口/耕地总面积
		单位化肥投入(X_2)	化肥总投入/耕地总面积
		单位动力投入(X_3)	机械耕作总动力/耕地总面积
	耕地利用水平(B_2)	复种指数(X_4)	农作物播种总面积/耕地总面积
		灌溉指数(X_5)	有效灌溉面积/农作物播种总面积
		稳产指数(X_6)	成灾面积/播种面积
	耕地产出效益水平(B_3)	地均产值(X_7)	种植业总产值/耕地总面积
		劳均产值(X_8)	种植业总产值/种植业就业人口
		粮食安全系数(X_9)	人均粮食产量/400 kg
	耕地利用结构水平(B_4)	非农指数(X_{10})	乡村非农人口/乡村总人口
		平衡指数(X_{11})	年末耕地总量/年初耕地总量
		人均耕地指数(X_{12})	耕地总面积/乡村总人口

上的配置,是耕地集约利用的前提.

2.2 评价方法

2.2.1 评价方法的选择

多因子的综合评价方法可以综合影响耕地集约利用的各种因素,重点是确定各指标的权重.笔者采用熵值法与灰色关联分析相结合的方法,确定各因素的权重.

2.2.2 权重确定

(1) 改进的熵值法.熵值法是一种描述评价样本数据变化速率的算法^[4-8],相对于指标理想值(x),指标值(x_{ij})与其差距越大,说明其变化越快,信息熵越小,效用值越大,从而权重越大.因而对因素众多且相对较复杂的系统,利用信息熵计算各指标权重,反映各指标之间的差异程度,具有实际意义.具体算法为:(i)评价因子的无量纲化.对原始数据进行标准化处理,即指标同度量化^[9].设有 m 个评价因子 x_1, x_2, \dots, x_m , 有 n 个参评对象,则可以得出原始数据矩阵 x_{ij} . 由 $x'_{ij} = (x_{ij} - \bar{x}_j) / s_j$ (其中: \bar{x}_j 为第 j 项指标的均值, s_j 为第 j 项指标的标准差) 可得无量纲化后的各评价因子. (ii)坐标平移.为了消除各因素中的负值,将所有 x 轴平移 3, 即 $x''_{ij} = 3 + x'_{ij}$. (iii)求各因素指标的比重 $r_{ij} = x''_{ij} / \sum_{i=1}^m x''_{ij}$. (iv)求第 j 项指标的熵值 e_j , $e_j = -1 / \ln m \sum_{i=1}^m \ln r_{ij}$, 其中 e_j 在 0~1 之间, $m=8$. (v)计算 j 项的差异系数 g_j , $g_j = 1 - e_j$, 其中 g_j 越大, 指标 x_j 在各评价因子中的重要性越大. (vi)计算各项权重 w_j , $w_j = g_j / n$.

(2) 灰色关联分析法.多因素评价中,许多因素之间的关系是灰色的,很难分清哪些主导,哪些非主导,哪些因素之间关系密切,哪些不密切,所以很难用相关系数比较精确地度量其相关程度的客观大小.灰色关联分析其实质是将各因素变化特性的数据序列进行几何比较^[10],从而得到关联度.具体算法为:(i)评价因子的无量纲化,设有 m 个评价因子 x_1, x_2, \dots, x_m , 有 n 个参评对象,则可得原始数据矩阵 x_{ij} . 由 $p_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^n x_{ij}$ ($j=1, 2, \dots, n$) 可得无量纲化后的各评价因子. (ii)求绝对差 z_{ij} ,

$z_{ij} = |p_{ij} - p_{ij\max}|$ ($i=1, 2, \dots, m$), 并求其最大值 $z'_{j\max}$ 和最小值 $z'_{j\min}$, 其中 $j=1, 2, \dots, n$. (iii)求 $z'_{j\max}$, $z'_{j\min}$ ($j=1, 2, \dots, n$) 的最大值 z''_{\max} 和最小值 z''_{\min} . (iv)求关联系数,用公式 $\xi_{ij} = (z''_{\min} - 0.5z''_{\max}) / (z_{ij} + 0.5z''_{\max})$ ($i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n$). (v)求各因素的关联度 r_i , $r_i = \sum_{j=1}^n \xi_{ij} / n$, $i=1, 2, \dots, m$. r_i 越大, 指标 x_i 在各评价因子中的重要性越大^[11]. (vi)计算各项权重 w_i , $w_i = r_i / \sum_{i=1}^m r_i$. 综合 2 种算法,由加权平均的方法获得最终权重.

2.3 耕地系统熵流模型的建立

依据表 1 的 12 个评价因素,建立耕地系统熵流模型.设第 $t-1$ 年内外部熵变的影响因素为 $x_{i(t-1)}$, 第 t 年内外部熵变的影响因素为 $x_{i(t)}$. 因此,耕地系统在 t 年由内外部各因素引起熵变分别为:

$$ds_1 = d_e s_1 + d_i s_1 = f(x_{1(t-1)}, x_{1(t)}),$$

$$ds_2 = d_e s_2 + d_i s_2 = f(x_{2(t-1)}, x_{2(t)}),$$

$$ds_{12} = d_e s_{12} + d_i s_{12} = f(x_{12(t-1)}, x_{12(t)}),$$

式中 $ds_1, ds_2, \dots, ds_{12}$ 之和为系统在第 t 年的总熵变,用公式表示为:

$$ds = ds_1 + ds_2 + \dots + ds_{12} = f(x_1, x_2, \dots, x_{12}),$$

$$ds = \sum_{i=1}^{12} w_i s_i = (-1)^n w_i |x_{i(t)} - x_{i(t-1)} / x_{i(t-1)}|, \quad (1)$$

式中 w_i 为影响耕地系统状态因子的权重; s_i 为各因子引起耕地系统的熵变; $(-1)^n$ 为符号函数,当某一评价指标末状况好于初始状况时,结果为负熵, n 取 1, 反之取 $2^{[12]}$.

3 实例分析

3.1 兰州市下属 3 县耕地系统熵值计算

兰州地处黄河上游,甘肃省中部,中国西部三大高原交汇处.现辖永登、榆中和皋兰 3 县,城关、七里河、安宁、西固和红古 5 区,有 27 个乡镇, 34 个镇, 51 个街道办事处. 2007 年国民生产总值达到 732.76 亿元,农作物播种面积达到 $2.063 \times 10^5 \text{ ha}$ ^[3]. 根据兰州市统计年鉴(2000~2008 年)数据,以兰州市 3 县为评价单元,利用上述求权重方法,求得兰

州市 3 县各评价因子的最终权重(图 1)。

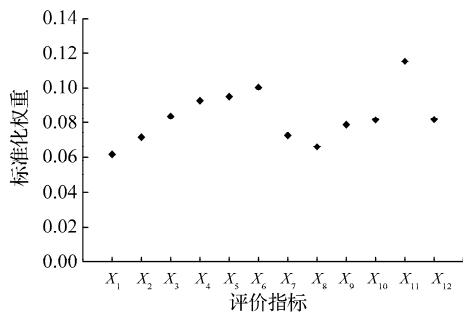


图 1 兰州市 3 县评价因子标准化权重

利用(1)式, 分别获得各评价指标的熵变量以及耕地系统的总熵变化(表 2)。

表 2 兰州市 3 县耕地系统熵值变化

指标	永登县	皋兰县	榆中县	权重值
X_1	-0.014 0	-0.011 6	-0.002 0	0.061 6
X_2	0.007 6	0.005 6	0.017 6	0.071 4
X_3	-0.011 0	-0.000 8	-0.003 9	0.083 6
X_4	-0.000 6	-0.001 5	-0.003 9	0.092 7
X_5	-0.015 8	0.015 0	0.036 8	0.094 9
X_6	-0.011 4	-0.028 1	-0.008 8	0.100 3
X_7	0.017 5	0.018 5	0.017 5	0.072 4
X_8	0.025 3	0.024 5	0.017 6	0.065 9
X_9	-0.003 3	0.006 5	-0.009 0	0.078 7
X_{10}	-0.007 7	-0.001 7	0.003 5	0.081 5
X_{11}	0.000 0	-0.000 7	-0.000 2	0.115 3
X_{12}	0.010 8	0.009 1	0.003 7	0.081 7
总熵	-0.002 5	0.034 8	0.069 2	-

3.2 评价结果分析

各因子最终权重分析结果表明, 兰州市下属 3 县, 除去因子 X_{11} (年末年初耕地总量比)占最主要权重 0.115 3 外, 单位动力投入(X_3), 复种指数(X_4), 稳产指数(X_6)和灌溉指数(X_5)是决定耕地系统熵变的最主要的 4 个权重, 其值分别为 0.083 6、0.092 7、0.100 3 和 0.094 9。

对评价因子 X_{11} 而言, 由于各地政府对耕地面积, 特别是基本农田面积保有量的限制, 以及城市化发展进程中对建设用地的大量需求, 部分耕地转化为建设用地的不可逆趋势, 耕地面积平衡指数虽然较其他各项因子占最大权重, 但却难以形

成大量的负熵输入。相比之下, 提高单位动力投入、复种指数、稳产指数和灌溉指数, 可对当地耕地系统形成可观的负熵流的输入。

兰州市下属 3 县耕地熵值评价结果显示, 2005~2008 年间, 永登县的耕地系统总熵值明显低于其他 2 县, 说明其耕地利用系统有序度较高。根据实际情况, 3 个县域的第一产业产值占生产总值比重较高。政府对农业生产较为重视, 农业从业人口 3 年间都有所增长。较其他 2 县, 永登县针对现状提出依靠科技进步, 加快耕地品种结构, 农业调整走出了新路子。比较而言 2005 年起皋兰县推行生态环境建设, 累计完成退耕还林 8.5×10^3 ha, 封山育林 1.33×10^4 ha, 大量耕地还林, 导致人均粮食产量骤减。

综上所述, 以增加单位面积动力投入和复种指数, 提高稳产指数和灌溉指数为途径的负熵流输入, 对耕地系统的总熵值变化有显著的帮助。

4 熵流模型的指导意义

从熵流模型分析, 维持耕地系统的生态平衡, 实现耕地系统的集约节约化并不是消极地维持现状, 而是对现在已利用的耕地增加劳力和资本, 来实现土地利用的集约^[13]。在控制耕地系统自身正熵增长的前提下, 依照社会经济发展和耕地本身承载力, 实现负熵流的输入。这种负熵不仅来自于自然界的光、温、水和生物的自我调节^[14], 更多来自人类的作用(投入)^[15]。

针对不同地区的实际情况, 耕地系统评价因子的权重各有不同。找准本地区的权重最大值或较大值, 因地制宜发展外界负熵流的输入, 是维持耕地系统合理有序的有效途径^[16]。特别对不发达地区, 更应抓住该地区的权重较大值, 不过分追求耕地数量的绝对平衡, 将工作重点放在对耕地系统开发力度的增强、对耕地结构的不断优化等方面, 坚持走科技农业路线来提高耕地利用效益。

参考文献:

- [1] 毕宝德. 土地经济学[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1991.
- [2] 苗东升. 系统科学精要[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2006.
- [3] 沈小峰. 耗散结构论[M]. 上海: 上海人民出版社, 1987.
- [4] 李桂花. 自组织经济理论: 和谐理性与循环累积增长[M]. 上海: 上海社会科学院出版社, 2007.
- [5] 马立平. 统计数据标准化 - 无量纲化方法 - 现代统计分析方法的学与用[J]. 北京统计, 2000(3):34-35.
- [6] 王学萌, 罗建军. 灰色系统方法简明教程[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1993.
- [7] 蔡文春, 杨德刚. 新疆耕地和粮食灰色关联分析[J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(11):54-58.
- [8] 陈荣蓉, 宋光煜, 信桂新, 等. 土地利用结构熵特征与社会经济发展关联分析——以重庆市荣昌县为例[J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2008, 30(7):138-143.
- [9] 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.
- [10] 何祖慰, 杨忠, 罗辑. 西藏昌都地区土地利用结构熵值时序分析[J]. 长江流域资源与环境, 2007, 16(2):192-195.
- [11] 兰州市统计局, 国家统计局, 兰州调查队. 兰州统计年鉴(2007~2008)[M]. 北京: 中国统计出版社, 2007.
- [12] 郭爱请, 葛京凤. 河北省城市土地集约利用潜力评价方法探讨[J]. 资源科学, 2006, 28(4):65-69.
- [13] 朱方霞, 陈华友. 确定区间数决策矩阵属性权重的方法——熵值法[J]. 安徽大学学报: 自然科学版, 2006, 30(5):47-49.
- [14] 张宁. 熵的概念研究[J]. 北京联合大学学报: 自然科学版, 2007, 21(1):1-3.
- [15] 理查得 T 伊利, 爱德华 W 莫尔豪斯. 土地经济学原理[M]. 腾维藻, 译. 北京: 商务印书馆, 1982.
- [16] 郭显光. 熵值法及其在综合评价中的应用[J]. 财贸研究, 1994, 20(6):56-60.

Probe: Arable Land Intensive Use Based on Thermodynamics Entropy of Dissipative Structure

LIANG Chen¹, YUAN Chun^{1*}, ZHOU Wei¹, YANG feng¹, Li Shuang²

(1.School of Land Science and Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2.School of Oil and Gas Field Development Engineering, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: The purpose of this study is to define the factors that influence the total change of the entropy in farmland system and set up an entropy model for analysis and research with improved entropy and gray correlation. The results indicate that the key to solve the arable land over-use problem is to control the growth speed of system internal entropy, while acquire more negative entropy from the external environment. It may conclude that, the entropy mode based on the dissipative structure theory is a way to investigate the total entropy changing in farmland system. Using the improved entropy and grey relation analysis, the factors influencing the entropy change can be obtained, with different factors for different places. In the end, some advices are presented for intensive land use.

Key word: farmland system; dissipative structure; entropy; grey relation; intensive

CLC number: F301.5

Document code: A

(责任编辑 史小丽)