

文章编号:1000-582X(2013)05-130-08

畜禽养殖环境系统预警方法

宋福忠^a,张代钧^a,陈德敏^b,李蜀庆^a

(重庆大学 a. 资源及环境科学学院; b. 西部环境资源法制建设研究中心, 重庆 400044)

摘要:针对畜禽养殖环境系统势函数状态特征,基于尖点突变理论提出一种畜禽养殖环境系统预警的方法。以畜禽养殖环境系统势函数为状态函数,建立势函数方程,构建尖点突变预警模型,确定尖点突变判别式,以畜禽养殖环境系统承载力为警情指标、污染排放相对强度和畜禽养殖量为警兆指标,对畜禽养殖环境系统实施V级预警。结合实例分析,结果表明尖点突变的畜禽养殖环境系统预警方法具有可行性。

关键词: 畜禽; 养殖; 环境系统; 承载力; 环境保护; 预警

中图分类号: X192

文献标志码: A

A systematic warning approach for the livestock-poultry's environmental system

SONG Fuzhong^a, ZHANG Daijun^a, CHEN Demin^b, LI Shuqing^a

(a. College of Resources and Environmental Science, Chongqing University, Chongqing 400044, China;

b. Western Center of Construction and Research about Environment and Resource Legal, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: As for the livestock-poultry's environmental system's typical feature, a systematic warning approach for the livestock-poultry's environmental system is proposed on the basis of cusp catastrophe theory. Livestock-poultry's environmental system's potential function is taken as state function, potential function's equation is established and a cusp catastrophe warning model is constructed in order to ensure the discriminate of cusp catastrophe. The carrying capacity of livestock-poultry's environmental system is taken as warning instance indexes and pollution emission relative intensity and the number of poultry feeding are taken as alarm aura, then V-level warning for livestock-poultry's environmental system is carried out. Combined with example analysis, the result shows that based on the cusp catastrophe, the warning method of livestock-poultry's environmental system's precaution is available.

Key words: livestock; aquiculture and poultry; environment system; carrying capacity; environmental protection; warning systems

畜禽养殖已成为当前主要的农业非点源污染,对水资源环境污染日益凸显,开展畜禽养殖环境系统预警是控制农业面源污染的重要举措。环境系统

预警是一个涵盖区域、城市、工业园区、企业等多尺度,涉及水体、大气、土壤、生态系统等多对象,由物理、化学、生物、社会、经济等多要素加以反映的复杂

收稿日期:2012-12-07

基金项目:“十一五”国家科技支撑计划项目(2010BAD03B02)

作者简介:宋福忠(1977-),男,重庆大学博士研究生,助理研究员,主要研究方向为环境规划管理,
(E-mail) cqsfz@cqu.edu.cn。

体系^[1],其目的是对环境质量和生态系统逆化演替、退化、恶化的及时报警^[2]。环境预警是通过环境模型模拟环境过程实现的,进而提高环境预警能力^[3]。在经济可持续发展的背景下,采用环境预警可对环境灾害进行预报,以确保人们采取有效的控制措施防治环境污染^[4]。针对畜禽养殖污染日益严重的问题,业内学者从禽畜粪污的流失量^[5]、畜禽污染调查^[6-7]、污染控制方法^[8]、减少养殖污染物排放的措施及技术^[9]等方面开展了广泛研究,其对环境系统预警问题研究鲜有报道。针对宏观尺度区域范围内畜禽养殖环境污染导致的环境问题的预警研究不足,笔者从2004年开始持续开展畜禽养殖污染调查、养殖污染控制研究,在法国数学家雷内·托姆突变理论^[10]的基础上,提出了一种新的基于尖点突变理论的畜禽养殖环境系统预警方法。通过对重庆市近年来畜禽养殖环境系统预警案例分析表明,该方法能准确的确定畜禽养殖规模,有效的辅助畜禽养殖产业发展规模的确定。

1 基本概念

1.1 预警

畜禽养殖环境系统预警是以畜禽养殖、自然环境、社会环境协调发展为核心,以养殖业发展的持久性、生态环境系统的稳定性为内容,采用科学的预警方法、指标体系、预警和信号系统,对畜禽养殖环境系统可持续发展运行过程进行监测,通过对监测结果的分析获得警源、警兆和发布警示的决策支持系统。

1.2 预警方法

预警方法是对发展可能的未来状态进行定性、定量(定时)分析方法的总称,分为定性方法、定量方法和定时方法。畜禽养殖环境系统预警方法就是依据畜禽养殖环境污染预警指标体系度量养殖活动对区域环境演化的影响分析,采用模型预警方法^[11],通过建立系统指标之间的关系来反映模拟系统的演化规律,实施定量预警。

2 畜禽养殖环境系统预警模型构建

2.1 尖点突变理论

突变理论是法国数学家雷内·托姆1972年提出用来描述突变现象的数学理论^[10],该理论着重研究连续作用导致系统不连续突变的现象,直接处理不连续突变而不涉及特殊的内在机制^[12]。尖点突变是运用较普遍的突变模型,是具有1个状态变量 X 和2个控制变量 u, v 的系统的突变^[13],所描述的突

变现象具有突跳现象、滞后现象、发散性、多模态、不可达性典型的特征^[14-15]。从尖点突变模型机^[16]的势能角度分析,尖点突变理论中应用最广泛的尖点突变的标准形式^[17]见式(1)。

$$V(x) = x^4 + ux^2 + vx. \quad (1)$$

2.2 畜禽养殖环境系统描述

畜禽养殖环境系统(livestock raise environment, LRE)是指畜禽养殖产业赖以生存和发展的因素总和,不仅包括自然环境因素,也包含与畜禽养殖活动有关的社会、经济因素;是由畜禽养殖子系统(LRS)、自然环境子系统(LRNE)和社会环境子系统(LRSE)相耦合而成一个结构复杂、因素众多、作用方式错综复杂的巨系统。LRE是由3个存在关联的部分 $e(1), e(2), e(3)$ 构成的整体,记为:

$$z(n) = \{E(n), R_n^*\}, \quad (2)$$

$$E(n) = \{e(i), i = 1, 2, 3\}. \quad (3)$$

式中: $e(i)$ 表示子系统LRS、LRSE、LRNE, R_n^* 表示 $e(1), \dots, e(i), \dots, e(n)$ 间存在的关联的集合。LRE内部状态由LRS、LRSE、LRNE的状态和状态空间构成。

$$S_n = (s_1, \dots, s_i, \dots, s_n)^T$$

$$s_i \in A_i, (i = 1, 2, \dots, n), \quad (4)$$

式中, s_i, A_i 分别表示 $e(i)$ 的状态和状态空间。LRE的行为 H_z 是指LRE的某种活动或表现, H_z 是系统关系 R 内部状态 S_n 和系统输入 I (系统输入 I 包括物质、能量和信息等)的函数。

$$H_z = F_z(R, S_n, I). \quad (5)$$

2.3 LRE变化的尖点突变理论分析

LRE对畜禽养殖发展支持能力的大小取决于系统内部各要素之间的协调关系,各要素间协调程度高、系统状态好,使得系统功能得以充分展现,即可对畜禽养殖活动形成良好的发展环境。当某个畜禽养殖环境系统的制约性状态超过一定值时,表现为养殖废物的积累、资源的匮乏,通常引发LRE的突变;反之,当LRE的支持性状态超过一定值时,表现为环境系统功能的改善,通常引发LRE向有利方面发展。从定量的角度分析,当系统支持类因素指标足以应对压力量时,表现为畜禽养殖活动对系统所造成的压力只会导致LRE很小的变化;但是,当达到某临界点时,压力类因素指标的微小扰动都会使整个系统的承载能力产生突变。畜禽养殖环境系统的某些局部变化导致全局的极大变化,这意味着承载力将因局部变化在很短的时间内有一个很大的改变,即承载力产生一个不连续变化;当畜禽养殖环境系统发生突变时,则可能会导致养殖活动对环境

的污染发生急剧恶化,并在一段时间内不能恢复。畜禽养殖环境系统的上述特征表现出突跳现象、滞后现象、多模态等突变现象的基本特征。

LRE 的状态控制空间在数学上表达为高维状态的超曲面, R^{m+n} 。其中: m 为状态变量数, n 为控制变量数(LRE 压力类因素和支持类因素)。对超曲面 R^{m+n} 的势函数求导,当 $m=1, n=2$ 时,导数为零的点有 3 种类型:极大、极小点和拐点。

LRE 演化采用某种趋势的能力可以称作 LRE 的势($V(x)$),由 LRE 各个组成部分的相对关系、相互作用及系统与环境的关系决定。 $V(x)$ 是系统状态变量 $X=\{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ 和控制变量 $U=\{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ 描述的系统行为,即 $V=f(U, X)$ 。

结合 LRE 特性,以 LRE 压力类因素函数为主控指标 $u=f_u(a)$ 、LRE 支持类因素函数为次控制指标 $v=f_v(b)$,则 LRE 的势函数为:

$$V(x) = x^4 + f_u(a)x^2 + f_v(b)x. \quad (6)$$

式中: a 为畜禽养殖环境压力类因素指标; b 为畜禽养殖环境压力类因素指标。

式(6)对状态变量 x 求导,得到突变流型或称为平衡曲面:

$$\frac{dV(x)}{dx} = 4x^3 + 2f_u(a)x^2 + f_v(b) = 0. \quad (7)$$

图 1 代表状态变量 x 在主、次控制变量变化时的情况,上、中、下三叶代表了可能的 3 个平衡状态。其中上、下两叶是渐进稳定的,代表 LRE 状态的渐变,中叶是不稳定的,当 LRE 状态位于这个位置时,系统存在突变的可能。在状态变量由上叶向下叶、下叶向上叶的变化中是一个突变过程,系统处于不稳定状态。

对势函数求二次导数,二次导数为 0 的点的方程(奇点方程):

$$\frac{d^2V(x)}{dx^2} = 12x^3 + 2f_u(a) = 0. \quad (8)$$

联立式(7)、(8),得到 LRE 状态突变区在控制变量平面投影的曲线方程(9)(分叉集方程),它将控制空间划分为 I 和 II 的 2 个区域:

$$8f_u(a)^3 + 27f_v(b)^2 = 0. \quad (9)$$

定义,

$$\Delta = 8f_u(a)^3 + 27f_v(b)^2. \quad (10)$$

式(10)为尖点突变判别式。综合图 1 做以下说明:

1) $\Delta > 0$ 时,平衡曲面方程有且只有 1 个实根, $(f_u(a), f_v(b))$ 处于 $u-v$ 平面区域 II。说明当 a 和

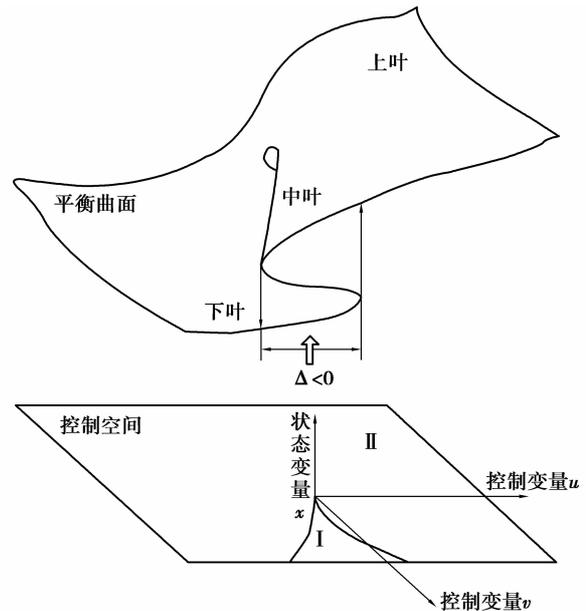


图 1 畜禽养殖环境系统尖点突变模型示意图

b 变化时,状态变量 x 在平衡曲面上是平稳变化的。

2) $\Delta = 0$, 平衡曲面方程的根分 2 种情况: $f_u(a) = 0$ 且 $f_v(b) = 0$, 方程有 3 个相同的根; $f_u(a) \neq 0$ 且 $f_v(b) \neq 0$, 方程有 3 个根, 其中 2 个相同。这时 $(f_u(a), f_v(b))$ 处于 $u-v$ 平面分叉集曲线上, 状态变量 x 处于临界状态。

3) $\Delta < 0$ 时, 平衡曲面方程有 3 个互不相等的根, 此时, $(f_u(a), f_v(b))$ 处于 $u-v$ 平面区域 I, 无论 u 或 v 怎样变动, 都会引起状态变量 x 的突变。

明显地, 当 $u = f_u(a) > 0$ 时 $v = f_v(b)$ 的变化只引起状态变量的光滑变化, 只有把 $u = f_u(a)$ 减少到负值时才可能会出现对 x 的不连续性。对于 LRE 而言, a 和 b 均大于零, 但其函数 u 和 v 可以取正负值。关于系统状态的变化趋势可以理解为, 当 a 和 b 变化引起状态势函数 $V(x)$ 的变化, u 不太大时(和 v 比较), v 起主导力量, 决定着系统的某种原有质态, 当 u 继续发展逐步成为主导力量时, 一旦 u 和 v 达到分叉集关系时, 则发生质态突变。

2.4 畜禽养殖环境系统预警模型

2.4.1 警情确定

畜禽养殖环境系统承载力(LRECC)是畜禽养殖环境系统对畜禽养殖产业发展的承载能力、畜禽养殖自然资源环境承载力(LRRECC)和畜禽养殖社会发展环境承载力(LRSECC)等组成的三维状态空间模型^[18]。LRDECC、LRRECC、LRSECC 为变量维, LRECC 为状态维, 函数表达如下:

$LRECC = F(LRDECC, LRRECC, LRSECC)$ 。(11)

采用状态空间中的原点与系统状态点构成的矢量模对 LRECC 数值量化^[18],表达式为:

$$LRECC = |M| = \sqrt{\sum_{i=1}^n \omega_i x_{ir}^2} \quad (12)$$

式中: $|M|$ 为代表系统承载力矢量的模; x_{ir} 为时段内各状态在状态空间中的坐标值 ($i=1, 2, \dots, n$); ω_i 是 x_{ir} 轴的权。

笔者选取畜禽养殖环境系统承载力作为警情指标。

2.4.2 警兆指标

选取主控指标和次控指标为警兆指标,在充分吸纳专家意见的基础上,选取压力类指标畜禽养殖量(a)和支持类指标污染排放相对强度(b)作为警兆指标。

2.4.3 预警模型

令 $y = 4x^3$, $u = f_u(a) = a k_1$ 和 $v = f_v(b) = ak_2 - k_3$, 代入式(7)尖点突变平衡曲面方程,结合畜禽养殖环境系统尖点突变平衡曲面方程建立预警模型。

$$y = -2k_1ax - k_2b + k_3 \quad (13)$$

突变判别式

$$\Delta = 8(ak_1)^3 + 27(k_2b - k_3)^2 \quad (14)$$

式(14)为 LRE 预警模型尖点突变判别式。

当 $\Delta > 0$ 时,说明当 a 和 b 变化时,状态变量 x 在平衡曲面上是平稳变化的。

当 $\Delta = 0$, 分 2 种情况: $ak_1 = 0$ 且 $k_2b - k_3 = 0$; $ak_1 \neq 0$ 且 $k_2b - k_3 \neq 0$, 状态变量 x 处于突变的边缘。

当 $\Delta < 0$ 时,此时,无论 ak_1 或 $k_2b - k_3$ 怎样变动,都会引起状态变量 x 的突变。

2.4.4 模型求解与应用

1) 变量确定。通过现状数据调查选定压力类因素指标 a 和支持类因素指标 b , 采用拟合分析法确定控制变量^[19-20]。

变量确定步骤如下:

步骤一:选出历年控制变量矩阵(A 和 B)的数据,并获得其相应的状态变量(X);

步骤二:分析历年 X 和 A 、 B 之间的关系,构造函数(A, B)= $F(X)$;

步骤三:根据步骤二函数关系计算标准控制变量值 A' 和 B' ;

步骤四:确定破坏性突变临界点的判断标准。

2) 警度划分。畜禽养殖环境系统划分为 V 级警度,如表 1 所示。

表 1 畜禽养殖环境系统警度划分

判别式	警度	预警级别
$\Delta > d_1$	无警	I
$d_1 > \Delta > d_2$	轻警	II
$d_2 > \Delta > d_3$	中警	III
$d_3 > \Delta > d_4$	重警	IV
$d_4 > \Delta$	极重警	V

3) 警兆预警范围。在警度划分的基础上,根据警度划分 d_i ($i=1, 2, 3, 4$), 通过畜禽养殖环境系统预警判别模型式(15)确定警兆指标预警范围。

3 重庆市畜禽养殖环境系统预警研究

3.1 畜禽养殖环境系统承载力指标体系

结合重庆市畜禽养殖环境系统各指标的统计数据,利用多重共线性分析,剔除交叉指标,筛选适合重庆市实际的主要指标。重庆市畜禽养殖环境系统指标体系是由 3 个子系统的 9 个评价指标系统的 27 个指标构成^[18, 21-22]。通过 2000—2009 年《重庆市统计年鉴》、《重庆农经统计数据库》、《重庆市财政年鉴》、数据统计与收集,经过归纳与整理,得到 1999—2008 年重庆市畜禽养殖环境系统承载力分析要素指标数值及其权重见表 2。

表 2 重庆市畜禽养殖环境系统承载力指标体系及其权重

指标	权重 ^{*1}	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
养殖量 D1/万头 生猪当量 ^{*2}	0.1077	3707.49	3795.74	3854.75	3939.64	4057.3	4197.68	4356.27	4274.49	3241.78	3567.6
牧业总产值 D2/万元	0.0630	1409527	1419910	1544041	1661965	1776384	2309374	2494965	2042194	2644768	3441474
养殖结构 D3/%	0.0184	0.44	0.44	0.44	0.43	0.43	0.41	0.4	0.39	0.3	0.3

续表 2

指标	权重 ^{*1}	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
土地资源消耗											
水平 D4 / (头生猪 当量 · 亩 ⁻¹)	0.0734	23.25	23.98	24.79	28.47	29.98	29.97	31.13	30.89	23.41	31.39
水资源消耗											
水平 D5 / (万头生猪 当量 · 万吨 ⁻¹)	0.0220	108.74	95.25	173.9	108.26	103.02	112.69	128.18	168.59	73.35	92.76
生物资源消耗水平											
D6 / (万头生猪 当量 · 万吨 ⁻¹)	0.0088	1233.13	1255.21	1491.32	1535.8	1633.91	2017.68	2135.75	2526.22	2430.85	2984.28
废水排放 相对强度 D7	0.1021	0.98	1.04	1.07	1.09	1.06	1.08	1.05	1.01	0.85	0.86
固废排放 相对强度 D8	0.0562	0.86	1.02	1.04	1.02	1.06	0.99	0.86	0.82	0.54	0.54
污染物排放 相对强度 D9	0.1855	4.88	4.88	4.86	4.81	4.90	4.98	5.28	5.3	4.04	4.62
耕地面积 D10 / 万公顷	0.0423	159.43	158.32	155.51	138.37	135.32	140.06	139.92	138.4	138.46	113.67
地表径流 D11 / 亿 m ³	0.0161	511.44	597.75	332.50	545.85	590.74	558.77	509.78	380.32	662.96	576.93
粮食作物产量 D12 / 万吨	0.0062	1143.05	1131.21	1035.35	1082.15	1087.20	1144.57	1168.19	808.40	1088.00	1153.2
工业废水排 放量 D13 / 万吨	0.0291	90220	84344	81214	79872	81973	83031	84885	85866	69003	67027
生活污水排 放量 D14 / 万吨	0.0186	42574	43953	45301	46394	51988	52487	60336	62621	65238	78086
化学肥料施用 量 D15 / 万吨	0.0065	71.03	72.00	72.58	73.37	71.59	77.02	79.20	80.54	84.32	88.14
农药使用量 D16 / 万吨	0.0034	1.84	1.85	1.91	1.93	1.95	1.95	1.95	1.96	2.04	2.10
地面水水质达 标率 D17 / %	0.0348	94.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100
饮用水源达 标率 D18 / %	0.0697	87.5	85.7	92.9	96.2	96.1	96.3	97.3	98.6	99.4	100
“三同时”执 行率 D19 / %	0.0022	90	95.7	99.9	100	100	100	100	100	100	100
工业企业废水排 放达标率 D20 / %	0.0045	82.3	82.6	91.0	89.4	89.9	93.4	93.7	93.9	92.1	93.5
“三废”综合利 产品产值 D21 / 万元	0.0087	80554	59593	74642	72459	71512	79932	81494	108030	165139	238383
环保投资占 GDP 比值 D22	0.0163	0.01360	0.01544	0.01727	0.01848	0.01968	0.01890	0.02122	0.02452	0.02625	0.02480
人口数 D23 / 万人	0.0110	3072.34	3091.09	3097.91	3113.83	3130.1	3144.23	3169.16	3198.87	3235.32	3257.05
工业产值 D24 / 亿元	0.0174	859	962	1073	1228	1589	2143	2526	3214	4363	5599
科技支出 D25 / %	0.0414	0.73	0.75	0.95	0.80	0.71	0.82	0.78	0.74	—	—
生产总值 D26 / 亿元	0.0087	1491.99	1603.16	1765.68	1990.01	2272.82	2692.81	3070.49	3452.14	4122.51	5096.66
人均生产总 值 D27 / (元 · 人 ⁻¹)	0.0262	5207	5616	6219	7052	8091	9624	10982	12316	14660	18025

说明：“*1”权重根据文献[18]采用层次分析法结合主成分分析确定；“*2”按照王新谋、王定勇等国内外及重庆市畜禽日排放量估算参数表将畜禽养殖量折算成生猪当量。

3.2 畜禽养殖环境系统预警

3.2.1 畜禽养殖环境系统状态参数

据表 2,得到控制变量矩阵(A 和 B)的数据。对重庆市畜禽养殖环境系统要素归一化处理,采用式(12)计算得到重庆市 1999—2008 年各年畜禽养殖环境系统实际承载力状态变量(X)。

$$A = \begin{bmatrix} 4.88 & 4.88 & 4.86 & 4.81 & 4.9 & 4.98 \\ 5.28 & 5.3 & 4.04 & 4.62 \end{bmatrix}'$$

$$B = \begin{bmatrix} 3707.49 & 3795.74 & 3854.75 & 3939.64 \\ 4057.3 & 4197.68 & 4356.27 & 4274.49 & 3241.78 \\ 3567.6 \end{bmatrix}'$$

$$X = \begin{bmatrix} 0.79 & 0.81 & 0.79 & 0.80 & 0.79 & 0.78 \\ 0.77 & 0.78 & 0.92 & 0.84 \end{bmatrix}'$$

3.2.2 预警指标拟合分析

基于 Matlab 工具编写程序采用 1999—2008 年重庆市有关数据对重庆市畜禽养殖环境系统平衡曲面方程(9)拟合,得到 $k_1 = -1.160 1$ 、 $k_2 = -0.494 1$ 和 $k_3 = -1.759$ 。模型计算值与实际值的误差见表 3。所以

$$\begin{cases} u = -1.160 1a, \\ v = -0.494 1b + 1.759. \end{cases} \quad (15)$$

表 3 畜禽养殖环境系统尖点突变平衡曲面拟合分析

年份	实值	拟合值	误差/%
1999	1.972 2	2.130 2	8.01
2000	2.125 8	2.133 0	0.34
2001	1.972 2	2.075 2	5.22
2002	2.048 0	2.078 2	1.47
2003	1.972 2	1.981 3	0.46
2004	1.898 2	1.887 8	-0.55
2005	1.826 1	1.733 9	-5.05
2006	1.898 2	1.766 6	-6.93
2007	3.114 8	3.020 6	-3.02
2008	2.370 8	2.391 6	0.88%

3.2.3 重庆市畜禽养殖环境系统稳定性分析

计算得到主控变量 u 和次控变量 v ,结果如表 4 所示。

表 4 重庆市畜禽养殖环境系统预警系统控制变量

年份	主控变量 ($u = -1.160 1a$)	次控变量 ($v = -0.494 1b + 1.759$)
1999	-1.009 30	-0.453 02
2000	-0.986 10	-0.494 26
2001	-0.974 50	-0.453 02
2002	-0.951 30	-0.473 64

续表

年份	主控变量 ($u = -1.160 1a$)	次控变量 ($v = -0.494 1b + 1.759$)
2003	-0.928 10	-0.453 02
2004	-0.893 29	-0.432 40
2005	-0.858 49	-0.411 79
2006	-0.881 69	-0.432 40
2007	-1.160 10	-0.721 07
2008	-1.055 70	-0.556 12

计算判别式 $\Delta = 8u^3 + 27v^2 = -9.561 3a^3 + 6.590 1b^2 - 46.931 4b + 83.540 2$,结果见表 5。在控制平面(u, v)绘制分叉集图(图 2),图中同时绘制出了 1999—2008 年间的(u, v)点分布。

表 5 重庆市畜禽养殖环境系统预警尖点突变判别式

年份	$\Delta = -9.561 3a^3 + 6.590 1b^2 - 46.931 4b + 83.540 2$
1999	-2.684 15
2000	-1.075 11
2001	-1.862 34
2002	-0.830 16
2003	-0.854 36
2004	-0.654 34
2005	-0.483 27
2006	-0.435 06
2007	1.548 04
2008	-1.062 37

根据表 5 可以发现,除 2007 年的 $\Delta > 0$ 之外其他年份的 $\Delta < 0$,意味着 1999—2006 年、2008 年重庆市畜禽养殖环境系统处于不稳定状态;2007 年畜禽养殖环境系统处于稳定状态。模型分析结果与重庆市近年来畜禽养殖业发展状况相符,尤其是 2007 年养殖产业发展受市场影响出现低迷状态,其对环境污染问题在一定程度上得以缓解。

3.2.4 畜禽养殖环境系统预警

确定控制变量警限的目的是分析 LRE 发生突变的可能性。突变的可能性可以通过在某一年份的判别式的正负和大小进行识别。如果判别式大于零,则系统不存在突变的可能性。判别式越接近于

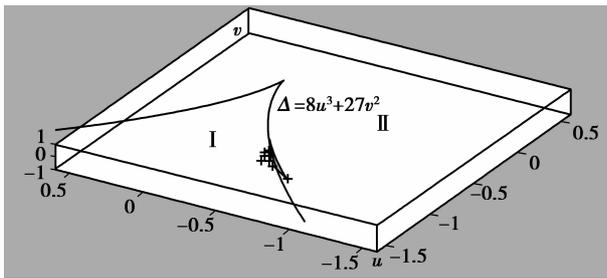


图 2 各时刻主、次控制变量与分歧点集对比分析图

零,系统发生突变的可能性越大;判别式的值越大,则系统发生突变的可能性越小。以保持良好的畜禽养殖环境为目标,本文在没有合理划分警限可借鉴方案的基础上,采取保守原则和均分法,尝试设置重庆市畜禽养殖环境系统警度如表 6 所示。

表 6 重庆市畜禽养殖环境系统警度划分

判别式	警度	预警级别
$\Delta > 1.0$	无警	I
$1.0 > \Delta > 0.5$	轻警	II
$0.5 > \Delta > 0.0$	中警	III
$0.0 > \Delta > -0.5$	重警	IV
$-0.5 > \Delta$	极重警	V

鉴于次控变量指标 b 变化不大,根据经验及其变化分析,取 $b=0.79$ 。分析主控变量指标 a 对畜禽养殖环境系统影响分析,经反算,确定各警度下对应的畜禽养殖量的值见表 7。

表 7 重庆市畜禽养殖量预警警度

判别式	警度	预警级别
$3\ 820\ \text{万头} > \text{养殖量}$	无警	I
$3\ 950\ \text{万头} > \text{养殖量} > 3\ 820\ \text{万头}$	轻警	II
$4\ 070\ \text{万头} > \text{养殖量} > 3\ 950\ \text{万头}$	中警	III
$4\ 190\ \text{万头} > \text{养殖量} > 4\ 070\ \text{万头}$	重警	IV
$\text{养殖量} > 4\ 190\ \text{万头}$	极重警	V

4 结 论

1) 畜禽养殖环境系统系统作为复杂的大系统具有突跳现象、滞后现象、多模态的特征,可以采用突变理论分析其状态变化的特征;

2) 构建尖点突变平衡曲面判别式可以实施畜禽

养殖环境系统的预警分析,运用尖点突变的方法开展某一区域的畜禽养殖环境系统系统预警可以为其畜禽养殖发展规划服务;

3) 畜禽养殖环境系统尖点突变的预警方法是以畜禽养殖环境系统系统的大系统角度分析畜禽养殖环境预警问题的,是一种宏观层面的分析方法,在运用过程中考虑了畜禽养殖、资源环境、社会环境等综合因素的作用结果,因此是一种仅限于一定宏观尺度区域范围内(例如省域范围)运用的方法;

4) 建议相关学者开展畜禽养殖承载力、畜禽养殖环境响应、环境容量指标等方面的深入研究,以提高微观区域畜禽养殖发展能力的准确性和可靠性。

参考文献:

- [1] 毕军, 曲常胜, 黄蕾. 中国环境风险预警现状及发展趋势[J]. 环境监控与预警, 2009, 1(1): 1-5.
BI Jun, QU Changsheng, HUANG Lei. Early warning of environmental risks in China [J]. Environmental Monitoring and Forewarning, 2009, 1(1): 1-5.
- [2] 陈国阶. 对环境预警的探讨[J]. 重庆环境科学, 1996, 18(5): 1-4.
CHEN Guojie. An approach on environmental warning[J]. Chongqing Environmental Science, 1996, 18(5): 1-4.
- [3] 黄佳聪, 高俊峰. 智能算法及其在环境预警中的应用[J]. 环境监控与预警, 2010, 2(3): 5-8.
HUANG Jiacong, GAO Junfeng. Application of intelligent algorithm in environmental early forewarning [J]. Environmental Monitoring and Forewarning. 2010, 2(3): 5-8.
- [4] de Soyza A G, Whitford W G, Herrick J E, et al. Early warning indicators of desertification: Examples of tests in the Chihuahuan Desert [J]. Journal of Arid Environments, 1998, 39(2): 101-112.
- [5] 刘凌岩. 大伙房水库上游禽畜业污染现状及其防治对策[J]. 环境保护科学, 2002, 28(6): 21-22.
LIU Lingyan. Pollution status of animal husbandry and its control strategy in upstream section of Dahuofang Reservoir [J]. Environmental Protection Science, 2002, 28(6): 21-22.
- [6] 路忻, 钟崇林, 赵丽莉, 等. 我国畜禽污染现状及治理对策[J]. 河南科学, 2010, 28(8): 1015-1018.
LU Xin, ZHONG Chonglin, ZHAO Lili, et al. Research of livestock pollution in China [J]. Henan Science, 2010, 28(8): 1015-1018.
- [7] 王红梅. 昆明市规模化畜禽养殖场污染现状及控制对策[J]. 云南环境科学, 2004, 23(Sup1): 79-81.
WANG Hongmei. Current situation and control countermeasures for pollution in scaled poultry and

- livestock farm [J]. Yunnan Environmental Science, 2004, 23(Sup1): 79-81.
- [8] 朱立安,王继增,胡耀国,等. 畜禽养殖非点源污染及其生态控制[J]. 水土保持通报, 2005, 25(2): 40-42.
ZHU Lian, WANG Jizeng, HU Yaoguo, et al. Non-point sources pollution from livestock and poultry and ecological control [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2005, 25(2): 40-42.
- [9] Anderson N G. Biosecurity: Health protection and sanitation strategies for cattle and general guidelines for other livestock [R]. Ontario, Canada: Également disponible en français, 2009.
- [10] Thom R. Structural Stability and Morphogenesis [M]. [S.l.]: Westview Press, 1994.
- [11] 黄继鸿,雷战波,凌超. 经济预警方法研究综述[J]. 系统工程, 2003, 21(2): 64-68.
HUANG Jihong, LEI Zhanbo, LING Chao. A survey for early warning system of economics [J]. Systems Engineering, 2003, 21(2): 64-68.
- [12] 丁庆华. 突变理论及其应用[J]. 黑龙江科技信息, 2008, 12(35): 11, 23.
DING Qinghua. Application of catastrophe theory [J]. Heilongjiang Science and Technology Information, 2008, 12(35): 11, 23.
- [13] Arnold V I. Catastrophe Theory [M]. Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1986.
- [14] 康宇虹,徐照宇. 股票价格突变模型的建立与分析[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2007, 12(7): 100-104.
KANG Yuhong, XU Zhaoyu. The application of cusp catastrophe theory in the stock price analyze [J]. Journal of Harbin University of Science and Technology, 2007, 12(7): 100-104.
- [15] 姜璐,于连宇. 初等突变理论在社会科学中的应用[J]. 系统工程理论与实践, 2002, 22(10): 113-117.
JIANG Lu, YU Lianyu. The application of primary catastrophe theory to social science [J]. Systems Engineering-theory & Practice, 2002, 22(10): 113-117.
- [16] Zeeman E C. Catastrophe Theory [J]. Scientific American, 1976, 4: 65-83.
- [17] 凌复华. 突变理论及其应用[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1987.
LING Fuhua. Application of catastrophe theory [M]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University Press, 1987.
- [18] 宋福忠. 畜禽养殖环境系统承载力及其应用—以重庆市畜禽养殖环境系统承载力分析为例[C]// 第四届中国畜牧科技论坛. 北京: 中国农业出版社, 2009: 65-76.
- [19] 汤洁,林年丰,黄奕龙. 尖点突变模型在研究洪水引起环境突变中的应用[J]. 环境科学学报, 2002, 22(4): 443-447.
TANG Jie, LIN Nianfeng, HUANG Yilong. The application of needle mutation model to the study of environmental mutation for flood [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2002, 22(4): 443-447.
- [20] 申海亮. 天津市水资源安全预警系统研究[D]. 天津: 天津大学, 2007.
- [21] 胡雪枫. 重庆市畜禽养殖区域环境承载力研究及污染防治对策[D]. 重庆: 重庆大学, 2006.
- [22] 王星. 区域畜禽养殖产业可持续发展研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2008.

(编辑 郑洁)