

# 黑龙江省畜禽养殖环境承载能力分析及其预测

王洋, 李翠霞

(东北农业大学 经济管理学院, 黑龙江 哈尔滨 150030)

**摘要:** 运用系统分析方法及灰色预测模型, 对黑龙江省畜禽养殖环境承载能力进行了分析和预测。分析结果表明, 目前黑龙江省畜禽养殖环境承载能力较强, 但呈现明显的下降趋势。按目前的模式和速度发展, 如不对畜禽排泄物进行任何处理, 预测至 2015 年, 黑龙江省畜禽养殖环境承载能力下降至警戒值以下; 如果将 70% 的畜禽排泄物转化为能源、饲料、肥料等, 预测黑龙江省畜禽养殖环境承载能力下降至警戒值以下的年份为 2017 年。因此, 畜禽排泄物污染问题对于黑龙江省这样一个自然资源丰富的畜牧大省仍是一个必须重视的问题。

**关键词:** 畜禽养殖业; 环境承载能力; 系统分析方法; 灰色预测模型

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2009)01-0187-05

中图分类号: F205 X713

## Analysis and Forecast of the Carrying Capacity of Livestock-breeding Environment in Heilongjiang Province

WANG Yang, LI Cui-xia

(College of Economics and Management, Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang 150030, China)

**Abstract:** Taking Heilongjiang Province for an example and using analysis model and grey forecast model, we analyze and forecast the carrying capacity of livestock-breeding environment. Some conclusions can be drawn as follows: The carrying capacity of livestock-breeding environment in the province is strong, but it has appeared a decreasing tendency. According to the present breeding model and the speed of development, the carrying capacity will be below the security line by 2015, if we do nothing for animal excrement. If we take some measures to change 70 percent of animal excrement into energy, feed and fertilizer, the carrying capacity will be below the security line by 2017. For Heilongjiang Province being a big livestock husbandry province with rich natural resources, we should still pay great attention to animal excrement pollution.

**Keywords:** livestock-breeding industry; environmental carrying capacity; analysis method; grey forecast model

随着世界各国经济的迅速发展, 人类面临资源短缺的同时, 大气、水体、土壤、固体废弃物的污染对人类生存构成了严重威胁, 于是环境承载能力的概念应运而生。1990 年, 朱宝树<sup>[1]</sup> 首先提出了中国人口高负荷与环境承载力问题。1991 年, 曾维华、叶文虎等<sup>[2]</sup> 学者进行了环境承载力内涵及研究方法的探讨。1996 年, 彭再德等<sup>[3]</sup> 进行了区域环境承载力理论及量化方法的研究。2002 年, 《中国大百科全书·环境科学》中正式给出了环境承载力的定义。国外很多国家也一直在用此理论来指导国内的社会经济活动。由此可见, 环境承载力从概念的提出到现在, 已广泛地应用于国内外的环境管理与环境规划之中。

### 1 畜禽养殖环境承载能力评价模型的建立

由于目前尚未形成统一的畜禽养殖环境承载能力的计算方法, 因此, 在借鉴国内外环境承载能力评价模型研究成果的基础上, 结合黑龙江省实际情况和数据的可获取性, 本研究采用了系统分析模型作为畜禽养殖环境承载能力评价模型。

#### 1.1 模型选取

假设第  $j$  个年份环境承载力为  $b_j$  ( $j=1, 2, 3, \dots, m$ ), 第  $j$  个年份畜禽养殖环境承载能力又由  $n$  个具

收稿日期: 2008-05-25

修回日期: 2008-10-06

资助项目: 黑龙江省研究生创新科研项目“黑龙江省畜禽排泄物处理的经济分析”(YJSCX2007-0069 HLLJ)

作者简介: 王洋(1983—), 女(汉族), 吉林省永吉县人, 博士研究生, 研究方向为农业经济管理。E-mail: wyang305@163.com。

通信作者: 李翠霞(1969—), 女(汉族), 辽宁省法库县人, 教授, 博士生导师, 从事农业经济理论与政策、畜牧经济理论与实践等方面的教学与科学研究。E-mail: 883lcx@163.com。

体指标所确定的分量组成, 即有:  $b_j = (b_{1j}, b_{2j}, b_{3j}, \dots, b_{nj})$ 。  $B_{ij}$  代表第  $i$  个指标第  $j$  年份下具体指标值, 则对于限制类指标来讲, 有如下式子成立:

$$b_j = B_{ij} / \sum_{j=1}^m B_{ij}, \quad i=1, 2, 3, \dots, n \quad (1)$$

对于发展类指标来讲, 有如下公式成立:

$$b_j = 1 / (1 + \frac{B_{i1}}{B_{i2}} + \frac{B_{i2}}{B_{i3}} + \dots + \frac{B_{im}}{B_{i1}}), \quad m \neq j \quad (2)$$

这样, 第  $j$  个环境承载力的大小可以用下列式子来衡量:

$$R = b_j = \sqrt[n]{\sum_{j=1}^n b_j^2} \quad (3)$$

## 1.2 指标体系

1.2.1 体系构成 指标体系由 8 项指标构成, 分别为畜禽养殖数量 (以生猪当量计), 地表径流量 ( $10^8 \text{ m}^3$ ), 分别为年末实有耕地面积 ( $10^4 \text{ hm}^2$ ), BOD 产生量 ( $10^4 \text{ t}$ ), COD 产生量 ( $10^4 \text{ t}$ ),  $\text{NH}_3\text{-N}$  产生量 ( $10^4 \text{ t}$ ), TP 产生量 ( $10^4 \text{ t}$ ), TN 产生量 ( $10^4 \text{ t}$ )。

1.2.2 指标解释 畜禽养殖环境承载力指标可分为两类, 一类是与畜禽养殖系统环境有关的变量指标即限制类指标, 描述环境资源的客观条件; 另一类是人口、社会、经济活动方面的指标即发展类指标, 描述社会经济发展的规模大小<sup>[4]</sup>。

(1) 限制类指标。① 地表径流量: 指在一定时间段内通过某一过水断面的水量, 用以反映一个国家或地区水资源的丰缺程度。选取该项指标的目的在于为反映黑龙江省水环境对畜禽排泄物的容纳能力。

② 年末实有耕地面积: 指在统计年末经过开垦用以种植各种农作物并经常进行耕耘的土地面积。选取该项指标的目的在于为反映黑龙江省土壤对畜禽排泄物的消纳能力<sup>[5]</sup>。

(2) 发展类指标。① 畜禽养殖数量 (以生猪当量为计量单位): 指按一定标准将其它畜禽数量折合成猪的数量, 以衡量畜禽养殖业的规模。选取其目的是为了反映畜禽养殖业规模对环境的冲击程度。

② 各类污染物的产生量: 指畜禽排泄物本身产生的 BOD, COD,  $\text{NH}_3\text{-N}$  等污染物的量。选取其目的是为了反映畜禽养殖活动对水环境和土壤环境的冲击程度。

## 2 黑龙江省畜禽养殖环境承载力分析及预测

2.1 自然状态的畜禽养殖环境承载力分析及预测 自然环境具有消纳畜禽排泄物的能力, 但此能力也是有限的。此部分主要研究在不对畜禽排泄物进行任何处理的情况下, 黑龙江省畜禽养殖环境承载能

力的大小, 并预测何时该承载能力下降至警戒值。

### 2.1.1 畜禽养殖环境承载力分析

(1) 基础数据。根据所选指标, 结合相关资料, 得到表 1 所示基础数据。

(2) 数据处理。将所选 8 个指标分别定义为  $a, b, c, d, e, f, g, h$ ; 由前述计算公式得出如下环境承载力分量及综合值 (表 2)。

其中: ① 数据来源于黑龙江统计年鉴, 部分数据经计算后得出。② 畜禽养殖数量的适宜值与警戒值选取: 按照《畜禽养殖业污染物排放标准》, 将牛、羊、家禽的养殖数量换算成猪, 比例如下: 30 只蛋鸡 = 1 头猪, 60 只肉鸡 = 1 头猪, 1 头奶牛 = 10 头猪, 1 头肉牛 = 5 头猪, 3 只羊 = 1 头猪 (根据黑龙江省家禽实际养殖情况, 家禽按 1/3 肉鸡, 2/3 蛋鸡进行计算)。适宜值按 15 生猪当量 /  $\text{hm}^2$  计算, 警戒值按 25 生猪当量 /  $\text{hm}^2$  计算; 地表径流量的适宜值与警戒值分别取历年最大值与最小值; 年末常用耕地面积的适宜值依据《黑龙江省国民经济和社会发展“九五”计划和 2010 年远景发展纲要》中提出的到 2010 年全省耕地面积应保持在  $1.20 \times 10^7 \text{ hm}^2$ , 警戒值取历年最小值; BOD 产生量、COD 产生量、 $\text{NH}_3\text{-N}$  产生量、TP 产生量、TN 产生量适宜值与警戒值依据是: 适宜值取 15 生猪当量 /  $\text{hm}^2$ , 警戒值取 25 生猪当量 /  $\text{hm}^2$  计算而得, 其中耕地面积都取各年平均值  $1.00 \times 10^7 \text{ hm}^2$ 。

(3) 结果分析。由数据处理结果可以看出, 根据黑龙江省畜禽养殖数量、畜禽排泄物产生量及耕地面积、地表径流量等自然资源状况, 如果不对畜禽排泄物进行任何处理, 仅靠自然环境消纳, 得出黑龙江省畜禽养殖环境承载力  $R$  (无量纲) 适宜值为 0.225, 警戒值为 0.139。  $R$  值越大, 表明畜禽养殖环境承载能力越强。当  $R \geq 0.225$  时, 表明当前畜禽养殖业环境承载力较强; 当  $0.139 \leq R < 0.225$  时, 表明当前畜禽养殖环境承载力较弱; 当  $R < 0.139$  时, 表明当前畜禽养殖环境承载能力很弱。1998—2005 年, 黑龙江省历年  $R$  值依次为 0.381, 0.355, 0.352, 0.340, 0.316, 0.289, 0.253, 0.249。可以看出, 目前黑龙江省畜禽养殖环境承载力较强, 但呈逐渐减弱趋势 (图 1), 如果按照目前的模式和速度发展下去, 若干年后, 黑龙江省畜禽养殖环境承载力必将下降到适宜值以下, 甚至低于警戒值。

2.1.2 畜禽养殖环境承载力预测 社会、经济、生态环境系统都是灰色系统, 对这些系统的分析和预测, 都属于灰色系统预测。本研究将采用 GM (1, 1) 灰色模型预测黑龙江省畜禽养殖环境承载力。

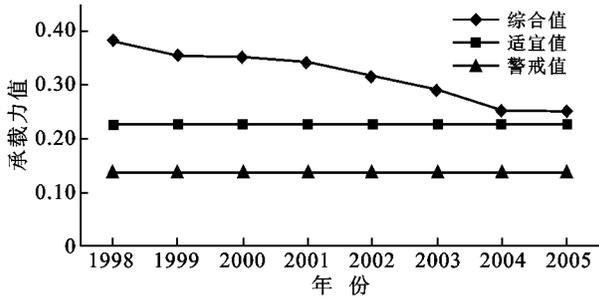


图 1 黑龙江省畜禽养殖环境承载能力变化趋势

由于客观事物发展过程的复杂多样, 各种变量之间相互联系、相互影响、相互制约的关系难以清楚, 在

某些情况下, 要建立因子预测模型是很难的, 甚至是不可能的。而用灰色系统理论建立的 GM 模型为预测事物的发展变化提供了新的理论和方法。只要将 GM (1, 1)模型与不同的数据生成处理相结合, 就能做出不同要求的预测<sup>[9]</sup>。

(1) 预测分析。按照灰色预测模型方法, 以  $X^{(0)} = \{0.381, 0.355, 0.352, 0.340, 0.316, 0.289, 0.253, 0.249\}$  为原始数据列进行计算, 最终得出时间响应函数为:

$$X^{(1)}(K+1) = -5.922\ 240\ 557\ 3e^{-0.064\ 6k} + 6.303\ 405\ 573 \quad (4)$$

将数据代入式(4), 得到黑龙江省畜禽养殖环境承载能力实际值与预测值如表 3 所示。

表 1 黑龙江省畜禽养殖环境承载能力评价指标体系基本数据(自然状态)

年份	畜禽养殖数量/ 10 <sup>4</sup> 头	地表径流量/ 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	年末常用耕地 面积/ 10 <sup>4</sup> hm <sup>2</sup>	BOD 产生量/ 10 <sup>4</sup> t	COD 产生量/ 10 <sup>4</sup> t	NH <sub>3</sub> -N 产生量/ 10 <sup>4</sup> t	TP 产生量/ 10 <sup>4</sup> t	TN 产生量/ 10 <sup>4</sup> t
1998	4 072.0	846.7	924.0	114.7	141.0	13.8	6.5	33.3
1999	4 166.5	423.7	926.5	116.5	143.0	13.9	6.6	33.7
2000	4 275.2	479.2	961.7	119.1	145.8	14.2	6.7	34.3
2001	4 473.9	464.8	960.1	123.5	151.2	14.7	7.0	35.6
2002	4 817.9	467.3	951.2	134.2	164.9	16.1	7.6	39.1
2003	5 823.7	694.1	969.0	158.4	195.0	19.1	9.0	46.5
2004	6 659.8	530.6	990.5	181.6	223.5	21.8	10.3	53.3
2005	7 281.7	612.0	1 151.6	199.1	245.1	23.9	11.3	58.3
适宜值	15 019.5	846.7	1 190.5	390.2	399.7	31.1	25.5	67.7
警戒值	25 032.5	423.7	924.0	650.3	666.2	51.8	42.5	112.8

表 2 黑龙江省不同年份畜禽养殖环境承载力分量及综合值(自然状态)

年份	畜禽养殖数量/ 10 <sup>4</sup> 头	地表径流量/ 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	年末常用耕地 面积/ 10 <sup>4</sup> hm <sup>2</sup>	BOD 产生量/ 10 <sup>4</sup> t	COD 产生量/ 10 <sup>4</sup> t	NH <sub>3</sub> -N 产生量/ 10 <sup>4</sup> t	TP 产生量/ 10 <sup>4</sup> t	TN 产生量/ 10 <sup>4</sup> t	R
1998	0.143	0.146	0.093	0.140	0.138	0.135	0.141	0.134	0.381
1999	0.140	0.073	0.093	0.138	0.136	0.134	0.139	0.133	0.355
2000	0.136	0.083	0.097	0.135	0.134	0.131	0.137	0.130	0.352
2001	0.130	0.080	0.097	0.130	0.129	0.127	0.131	0.126	0.340
2002	0.121	0.081	0.096	0.120	0.118	0.116	0.121	0.114	0.316
2003	0.100	0.120	0.097	0.102	0.100	0.098	0.102	0.096	0.289
2004	0.087	0.092	0.100	0.089	0.087	0.086	0.089	0.084	0.253
2005	0.080	0.106	0.116	0.083	0.082	0.081	0.083	0.080	0.249
适宜值	0.039	0.146	0.120	0.041	0.049	0.060	0.036	0.066	0.225
警戒值	0.023	0.073	0.093	0.025	0.029	0.036	0.022	0.040	0.139

通过检验, 生成数列相对误差最大值为 2.038 0%, 还原数列相对误差最大值为 5.928 9%, 因此, 可以认为预测结果较接近真实值, 该预测为有效预测。

(2) 结果分析。如表 3 所示, 目前黑龙江省畜禽养殖环境承载能力较强, 但已呈现出明显下降趋势, 如果不对畜禽排泄物进行任何处理, 仅靠自然环境自身的吸纳能力, 预计至 2015 年, 黑龙江省畜禽养殖环境承载能力值为 0.132, 低于警戒值 0.139。

## 2.2 基于畜禽排泄物处理的畜禽养殖环境承载能力分析 & 预测

在上述研究分析中, 如果不对畜禽排泄物进行任何处理, 按照目前的模式和速度发展下去, 至 2015 年, 黑龙江省畜禽养殖环境承载能力将下降至警戒值以下。但是, 如果采取一定的处理方法, 如将畜禽排泄物转化成为能源、饲料、肥料等, 将减轻其对环境造成的压力。

### 2.2.1 畜禽养殖环境承载能力分析

(1) 基础数据。假设采取一定方式将 70% 的畜禽排泄物转化为能源、饲料或肥料,那么相应的畜禽排泄物污染物的产生量会减少,具体数值计算如表 4 所示。

(2) 数据处理。依照前述方法,计算黑龙江省不同年份畜禽养殖环境承载力分量及综合值(表 5)。

(3) 结果分析。由数据处理的结果可以看出,根据黑龙江省畜禽养殖数量、畜禽排泄物产生量及耕地面积、地表径流量等自然资源状况,如果将 70% 的畜禽排泄物转化为能源、饲料、肥料等,得出黑龙江省畜

禽养殖环境承载力  $R$ (无量纲)适宜值为 0.197,警戒值为 0.122。

### 2.2.2 畜禽养殖环境承载力预测

(1) 预测分析。运用灰色预测模型进行处理状态下的黑龙江省畜禽养殖环境承载力预测,得到结果如表 6 所示。

通过检验,生成数列相对误差最大值为 2.094 2%,还原数列相对误差最大值为 6.513 4%,因此,可以认为预测结果较接近真实值,该预测为有效预测。

表 3 黑龙江省畜禽养殖环境承载力预测(自然状态)

年份	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
实际值	0.381	0.355	0.352	0.340	0.316	0.289	0.253	0.249	—
预测值	0.381	0.370	0.348	0.326	0.305	0.286	0.268	0.251	0.236
年份	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
实际值	—	—	—	—	—	—	—	—	—
预测值	0.221	0.207	0.194	0.182	0.171	0.160	0.150	0.141	0.132

表 4 黑龙江省畜禽养殖评价指标体系基本数据(处理状态)

年份	畜禽养殖数量/ $10^4$ 头	地表径流量/ $10^8 m^3$	年末常用耕地面积/ $10^4 hm^2$	BOD 产生量/ $10^4 t$	COD 产生量/ $10^4 t$	$NH_3-N$ 产生量/ $10^4 t$	TP 产生量/ $10^4 t$	TN 产生量/ $10^4 t$
1998	4 072.0	846.7	924.0	38.2	47.0	4.6	2.2	11.1
1999	4 166.5	423.7	926.5	38.8	47.7	4.6	2.2	11.2
2000	4 275.2	479.2	961.7	39.7	48.6	4.7	2.2	11.4
2001	4 473.9	464.8	960.1	41.2	50.4	4.9	2.3	11.9
2002	4 817.9	467.3	951.2	44.7	55.0	5.4	2.5	13.0
2003	5 823.7	694.1	969.0	52.8	65.0	6.4	3.0	15.5
2004	6 659.8	530.6	990.5	60.5	74.5	7.3	3.4	17.8
2005	7 281.7	612.0	1 151.6	63.4	81.7	8.0	3.8	19.4
适宜值	15 019.5	846.7	1 190.5	390.2	399.7	31.1	25.5	67.7
警戒值	25 032.5	423.7	924.0	650.3	666.2	51.8	42.5	112.8

注:同表 1。

表 5 黑龙江省不同年份畜禽养殖环境承载力分量及综合值(处理状态)

年份	畜禽养殖数量/ $10^4$ 头	地表径流量/ $10^8 m^3$	年末常用耕地面积/ $10^4 hm^2$	BOD 产生量/ $10^4 t$	COD 产生量/ $10^4 t$	$NH_3-N$ 产生量/ $10^4 t$	TP 产生量/ $10^4 t$	TN 产生量/ $10^4 t$	$R$
1998	0.143	0.146	0.093	0.146	0.146	0.144	0.144	0.144	0.394
1999	0.140	0.073	0.093	0.144	0.144	0.144	0.144	0.143	0.370
2000	0.136	0.083	0.097	0.141	0.141	0.141	0.144	0.140	0.367
2001	0.130	0.080	0.097	0.136	0.136	0.135	0.138	0.135	0.354
2002	0.121	0.081	0.096	0.125	0.125	0.123	0.127	0.123	0.329
2003	0.100	0.120	0.097	0.106	0.105	0.104	0.106	0.103	0.298
2004	0.087	0.092	0.100	0.092	0.092	0.091	0.093	0.090	0.261
2005	0.080	0.106	0.116	0.088	0.084	0.083	0.083	0.083	0.259
适宜值	0.039	0.146	0.120	0.014	0.017	0.021	0.012	0.024	0.197
警戒值	0.023	0.073	0.093	0.009	0.010	0.013	0.007	0.014	0.122

表 6 黑龙江省畜禽养殖环境承载能力预测(处理状态)

年 份	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
实际值	0.394	0.370	0.367	0.354	0.329	0.298	0.261	0.259	—	—
预测值	0.394	0.386	0.362	0.339	0.317	0.297	0.278	0.260	0.244	0.228
年 份	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
实际值	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
预测值	0.214	0.200	0.187	0.175	0.164	0.154	0.144	0.135	0.126	0.118

(2) 结果分析。如果将 70% 的畜禽排泄物进行处理, 畜禽排泄物对环境造成的压力就会减轻, 黑龙江省畜禽养殖环境承载能力的下降趋势会有所缓解。2017 年, 黑龙江省畜禽养殖环境承载能力值为 0.118, 低于警戒值 0.122。

### 2.3 畜禽养殖环境承载能力分析及预测结果比较

由于黑龙江省耕地资源和水资源都十分丰富, 因此在畜禽养殖环境承载能力影响因素中, 自然因素起了决定性的作用。但是通过进行自然状态和处理状态两种情况下的黑龙江省畜禽养殖环境承载能力分析, 可以得出, 按照目前黑龙江省畜禽养殖业发展现状, 如果不对畜禽排泄物进行任何处理, 那么至 2015 年, 黑龙江省畜禽养殖环境承载能力将下降到警戒值以下; 如果对 70% 的畜禽排泄物进行相应处理, 那么该年限会被推后两年。

## 3 结 论

畜禽排泄物处理对畜禽养殖业环境保护起到了重要的作用, 畜禽排泄物污染问题对于黑龙江省这样一个自然资源丰富的畜牧大省仍是一个必须重视的

问题。目前, 黑龙江省畜牧业处于蓬勃发展时期, 《黑龙江省畜牧业第十一个五年发展规划》也对未来畜牧业发展各项指标增长提出了具体的要求, 为了畜牧业与生态环境协调发展, 必须将畜牧业的发展模式、养殖方式、排泄物处理等问题提上日程, 寻找一条适合黑龙江省可持续发展的畜牧业道路。

### [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] 朱宝树. 我国人口的高负荷与环境承载力问题[ J ]. 西北人口, 1990(1): 34-38.
- [ 2 ] 曾维华, 叶文虎. 人口、资源与环境协调发展关键问题之一: 环境承载力研究[ J ]. 中国人口·资源与环境, 1991(9): 33-37.
- [ 3 ] 彭再德. 区域环境承载力研究方法初探[ J ]. 中国环境科学, 1996 16(1): 6-9.
- [ 4 ] 张文国, 杨志峰. 基于指标体系的地下水环境承载力评价[ J ]. 环境科学学报, 2002 22(4): 541-544.
- [ 5 ] 胡雪飙. 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.
- [ 6 ] 宋新山, 邓伟. 环境数学模型[ M ]. 北京: 科学出版社, 2004: 63-65.