

# 中国各省区未来主要畜禽养殖量及耕地氮载荷的预测

杨 飞<sup>1</sup>, 吴根义<sup>2</sup>, 诸云强<sup>1</sup>, 付 强<sup>1</sup>

(1. 中国科学院 地理科学与资源研究所 资源与环境信息系统国家重点实验室,  
北京 100101; 2. 湖南农业大学 资源与环境学院, 长沙 410128)

**摘 要:** 畜禽养殖污染已成为非点源污染的重要组成部分。近些年,我国畜禽养殖业总体发展非常迅速且有快速增长的趋势,耕地氮载荷也将不断增大。基于近 30 a 的我国各省区主要畜禽养殖量的历史数据,利用年均增长率方法预测了 2020 年我国各地区的主要畜禽养殖量及其氮放排量和耕地氮载荷。研究结果表明:平均增长率预测畜禽养殖量的效果明显优于灰色模型方法;2020 年全国大部分省区的主要畜禽养殖量较 2009 年将成倍增长;华北和东北地区将是全国主要的畜禽养殖基地;河南、山东、河北等省的畜禽养殖量和氮排放量居全国前列;北京、天津、辽宁、吉林、山东、河北、河南、广东、湖南、广西、四川这 11 个省区的单位耕地面积的氮载荷将突破 170 kg/hm<sup>2</sup>,意味着这些省区的耕地将达最大氮消纳能力;同时,由于这些省区是我国经济发展最快、人口密度最大、水网最密集的区域,到 2020 年,其土壤和水环境将面临来源于畜禽养殖的严重超负荷氮承载。因此,建议国家相关部门要充分重视畜禽养殖带来的环境污染问题,合理优化各主要畜禽养殖在全国范围内的布局,加强畜禽养殖业管理,减少污染流失,加快研究或引入先进的畜禽污染处理技术。

**关键词:** 畜禽养殖; 总氮; 耕地载荷; 预测

中图分类号: X322

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2013)03-0289-06

## Forecast of Livestock and Poultry Amount and Arable Land Nitrogen Load of Chinese Provinces

YANG Fei<sup>1</sup>, WU Gen-yi<sup>2</sup>, ZHU Yun-qiang<sup>1</sup>, FU Qiang<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;  
2. College of Resources and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

**Abstract:** Livestock pollution has been an important part of the non-point source pollution. Overall, the livestock industry developed very quickly in China during recent decades, and it will continue growing rapidly. Therefore, the pressure of the load of livestock and poultry breeding on the arable land will continue to grow. Based on livestock and poultry data of the provinces in China from 1980 to 2009, the growth trends of livestock and poultry amount and their exerting nitrogen in 2020 was forecasted, and then the provinces arable lands load to the nitrogen exertions from the livestock and poultry was analyzed. The study results showed that the livestock and poultry forecasted by the average growth method were better than the gray model method. For most of the provinces, the amounts of livestock and poultry in 2020 will be as twice as the amount in 2009. The north China and northeast China will be the most important livestock and poultry breeding bases. The amounts of the livestock and poultry and their exerting nitrogen of He'nan, Shandong, Hebei provinces were the most. In 2020, the nitrogen load of the unit arable land area of the 11 provinces including Beijing, Tianjin, Liaoning, Jilin, Shandong, Hebei, He'nan, Guangdong, Hunan, Guangxi, Sichuan will exceed 170 kg/ha, which means that the nitrogen exerted from animals will have arrived the maximum absorptive capacity of the cultivated land even not utilizing the chemical fertilizer. Moreover, in these provinces, the economic growth is fast, its population density is very high, the water network is very intensive, so the soil and water environment will be threatened seriously by the aquaculture livestock pollution.

收稿日期: 2012-09-27

修回日期: 2013-01-18

资助项目: 国家环保公益性行业科研专项重大项目(201009017); 国家环保公益性行业科研专项(201209030)

作者简介: 杨飞(1981—), 男, 山东枣庄市人, 助理研究员, 博士, 主要研究方向: 农业环境遥感。E-mail: yangfei@igsrr.ac.cn

Based on the analysis above, it is recommended that China should pay much attention to environmental pollution problem caused by livestock and poultry breeding, the layout of the livestock and poultry breeding in the provinces should be optimized reasonably. It is necessary to strengthen the management of livestock and poultry industry to reduce their pollution loss. Also it is suggested that the advanced livestock pollution processing technology should be speeded up, investigated and introduced.

**Key words:** livestock and poultry; total nitrogen; arable land load; forecast

面源污染是环境污染的最重要污染源之一,畜禽养殖污染排放是面源污染的重要组成部分<sup>[1-3]</sup>。近些年中国畜禽养殖业发展迅速<sup>[4]</sup>,我国第一次全国污染源普查资料显示,农业生产(含农业与畜禽养殖业)的氮排放占各种生产氮排放总量的50%以上。畜禽养殖污染物排放对我国土壤和水环境造成了较大压力<sup>[5]</sup>。同时,《中国中长期食物发展战略》<sup>[6]</sup>、《全国节粮型畜牧业发展规划(2011—2020年)》<sup>[7]</sup>、《全国畜牧业发展第十二个五年规划》<sup>[8]</sup>等都要求畜禽养殖业仍要继续增长以满足更多的需求,这必然会加剧畜禽养殖业区域发展不平衡的状况,给我国环境安全带来更大的威胁。

为准确把握未来畜禽养殖对环境污染的压力,以采取有效措施减少污染,需要对未来畜禽养殖量和污染风险进行科学预测和评价。全国各省区的区域差异明显,因此更有必要对全国各个地区的各主要畜禽发展和环境承载力进行准确把握。马林等<sup>[9]</sup>预测分析了中国东北地区中长期畜禽养殖量及其粪尿污染潜势。王晓燕等<sup>[10]</sup>基于灰色建模理论中的灰色数列预测方法,利用北京密云县10个乡镇的畜禽粪便实际负荷量和最大负荷量的确定,对2010年的畜禽粪便负荷预警值进行预测,结果表明,密云县各乡镇的畜禽粪便对环境污染的风险呈明显加剧趋势。总体来说,前期众多研究对全国或区域的畜禽养殖和粪便排放现状进行了分析,但是,对于全国各省区的各个主要畜禽的养殖量缺乏系统的分析,对未来畜禽养殖及其耕地载荷的压力也缺乏前期的预测分析。

本研究基于各主要畜禽养殖的历史时序数据,对比分析灰色模型与平均增长率两种方法预测未来畜禽养殖量的效果,基于此,对2020年全国各省区、各主要畜禽的氮排放量及其对耕地载荷压力进行预测,研究结果可为畜禽养殖的有效管理和我国各省区的畜禽养殖格局优化提供借鉴,也为我国畜禽养殖业和环境健康的可持续发展提供科学参考。

## 1 研究材料与方法

### 1.1 数据来源

本研究的数据资料主要来源于《新中国五十年农

业统计资料》、《新中国农业60年统计资料》、《中国农村统计年鉴》。考虑到猪、牛、羊、家禽的养殖周期差异,选用猪年末出栏量、牛年末存栏量、羊年末存栏量、家禽年末出栏量代表各类畜禽1a的养殖量。猪出栏量、牛年末存栏量、羊年末存栏量均为1980—2009年的数据,家禽年末出栏量为1992—2009年的数据。由于农业耕地消耗畜禽粪便主要是作物对畜禽排放的氮等元素的吸收,研究中计算单位耕地面积畜禽粪便的载荷时选用耕地面积,研究时段为1980—2009年。

### 1.2 研究方法

为了较为准确地预测全国各地区未来各主要畜禽养殖量及氮污染载荷,本研究对比分析常用的灰色模型(Gray Model, GM)和年平均增长率计算结果,选择相对较为准确的方法进行预测。

年平均增长率的计算公式为:

$$\rho = \left( \sqrt[n-1]{\frac{T_n}{T_1}} - 1 \right) \times 100$$

式中: $\rho$ ——年平均增长率(%); $T_1, T_n$ ——第1、第 $n$ 年的畜禽养殖量。为准确客观计算各畜禽养殖量的年平均增长率,在计算 $T_1, T_n$ 时,分别采用前3a平均值、最后3a平均值来替代,以消除单一年份产生的随机影响。

灰色GM(1,1)模型是单序列一阶线性动态模型,是一种计算简单、适用性广的预测模型,是用于控制和预测的新理论、新技术,目前已广泛地应用于农业和社会经济等领域<sup>[11-12]</sup>。灰色理论预测是利用系统中的已知信息来研究位置信息,其基本思路是将无明显规律的时间序列生成有规律的时间序列,得到一条比较光滑的曲线,反映系统的发展趋势,并为建立GM(1,1)模型提供中间信息,同时弱化原序列的随机性,然后采用一阶线性动态模型进行拟合,用模型求出来的生成数回代计算值,作累减还原计算,然后用于预测。GM(1,1)模型的建模主要步骤如下:

(1) 灰生成。灰生成的方式主要有两种:累加生成(Accumulated Generating Operation, AGO)和累减生成(Inverse Accumulated Generating Operation,

IAGO)<sup>[13-14]</sup>。本文采用累加生成。

(2) 灰建模。通过累加生成新序列,则可确定灰色微分方程,按照所确定微分方程的特点,将所建模型称为 GM(1,1)模型,即 1 阶 1 个变量的灰色模型<sup>[15]</sup>。通过求解微分方程,即可得到灰色预测模型的解。对一次累加生成数列的预测值进行依次累减生成,得到原始数据的还原预测值。

畜禽排放氮量的计算参考《全国规模化畜禽养殖业污染情况调查技术报告》<sup>[16]</sup>中的标准(表 1)。

| 表 1 每头(只)畜禽每年排泄粪便污染物中的氮含量 |       |       |      |      |      |       |
|---------------------------|-------|-------|------|------|------|-------|
| kg/a                      |       |       |      |      |      |       |
| 项目                        | 牛     |       | 猪    |      | 羊粪   | 家禽粪   |
|                           | 粪     | 尿     | 粪    | 尿    |      |       |
| 总氮                        | 31.90 | 29.20 | 2.34 | 2.17 | 2.28 | 0.275 |

注:家禽粪为鸡、鸭排泄粪量的平均值。

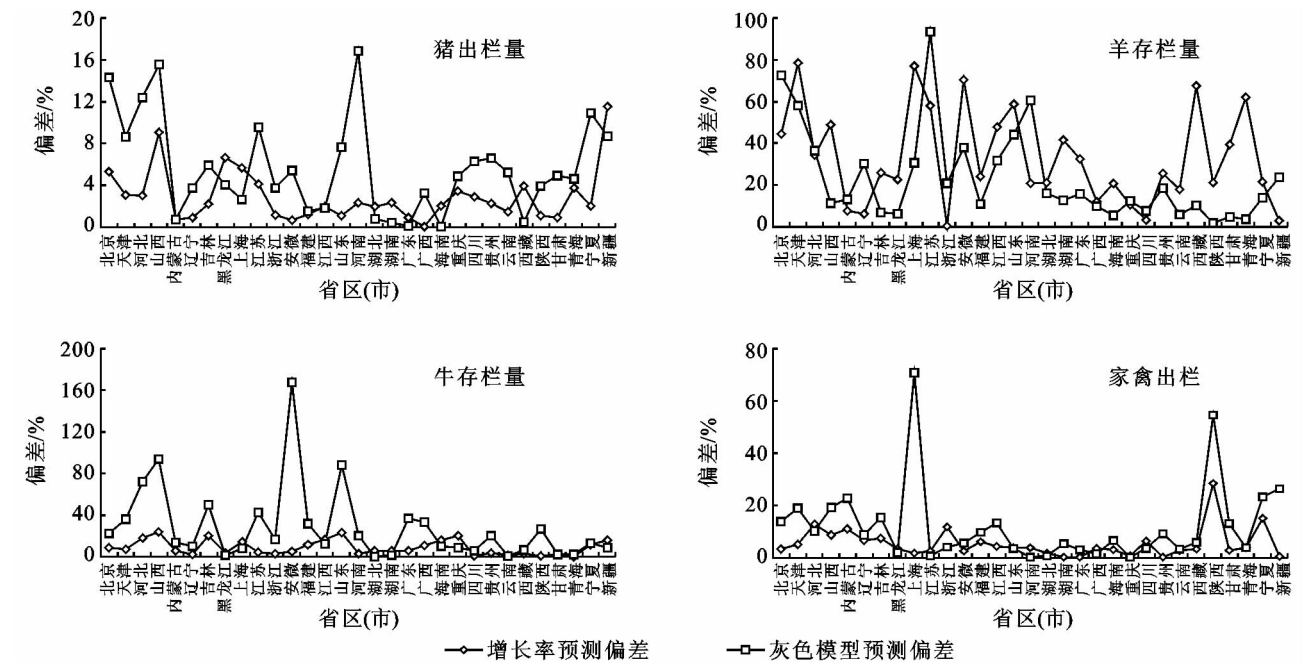


图 1 灰色模型和年平均增长率方法预测结果比较

近些年,我国各地区猪和家禽养殖量增长较快,牛养殖量稳步增加;相对来说,羊养殖量在这些年内波动较大,一定程度上影响了这两种方法的预测结果。

2.2 2020 年中国主要畜禽的养殖量预测及与 2009 年养殖量对比分析

由基于年由平均增长率方法预测 2020 年各种主要畜禽的养殖量与 2009 年养殖量的对比(图 2)可知,到 2020 年,全国的猪出栏总量将达到 1 044 509.808 万头,是 2009 年猪出栏量的 1.639 倍;其中养殖量最多的河南省将达 14 908.695 万头,明显超过 2009 年养殖量最多的四川省,四川、湖南、河北、山东的猪出栏量也都将突破 8 000 万头。

2 结果与分析

2.1 灰色模型与年平均增长率预测结果对比研究

为了准确分析未来中国主要畜禽养殖量,本研究首先基于 1980—2008 年时间序列数据,利用灰色模型和年平均增长率两种方法预测了 2009 年全国各省区各主要畜禽的养殖量,并用 2009 年实际畜禽养殖量数据验证分析这两种方法的预测结果(图 1)。总体来说,年平均增长率方法预测的猪出栏量、牛存栏量、家禽出栏量与 2009 年实际养殖量值非常接近,平均预测偏差分别为 2.91%,8.78%,5.45%,预测效果明显优于灰色模型(平均预测偏差依次为 5.68%,27.83%,12.27%),且年平均增长率方法预测结果的区域差异也明显小于灰色模型预测结果;灰色模型和年平均增长率方法预测羊存栏量的效果略差,平均预测偏差分别达 33.10%和 23.52%。

全国牛存栏量在 2020 年也将达到 12 677.815 万头,是 2009 年的 1.184 倍;河南省的牛存栏量达到 2 138.512 万头,仍居全国之首;山东、河北、四川、黑龙江、吉林的牛存栏量也都超过 1 062.176 万头,均超过 2009 年养殖量最多的河南省的存栏量,其中山东、河北两省的牛养殖量增长较快并均已超过四川省;黑龙江、吉林两省的牛养殖量增长率也较高,并将跃居全国前五。到 2020 年,全国羊存栏量将达 59 824.694 万头,是 2009 年的 2.106 倍。内蒙古仍然是全国羊养殖量最多的地区,其年存栏量将达到 12 360.438 万头,是 2009 年的 2.378 倍;山东、河南、新疆、河北等省区是增长较快的地区,也是我国主要的羊养殖基地。

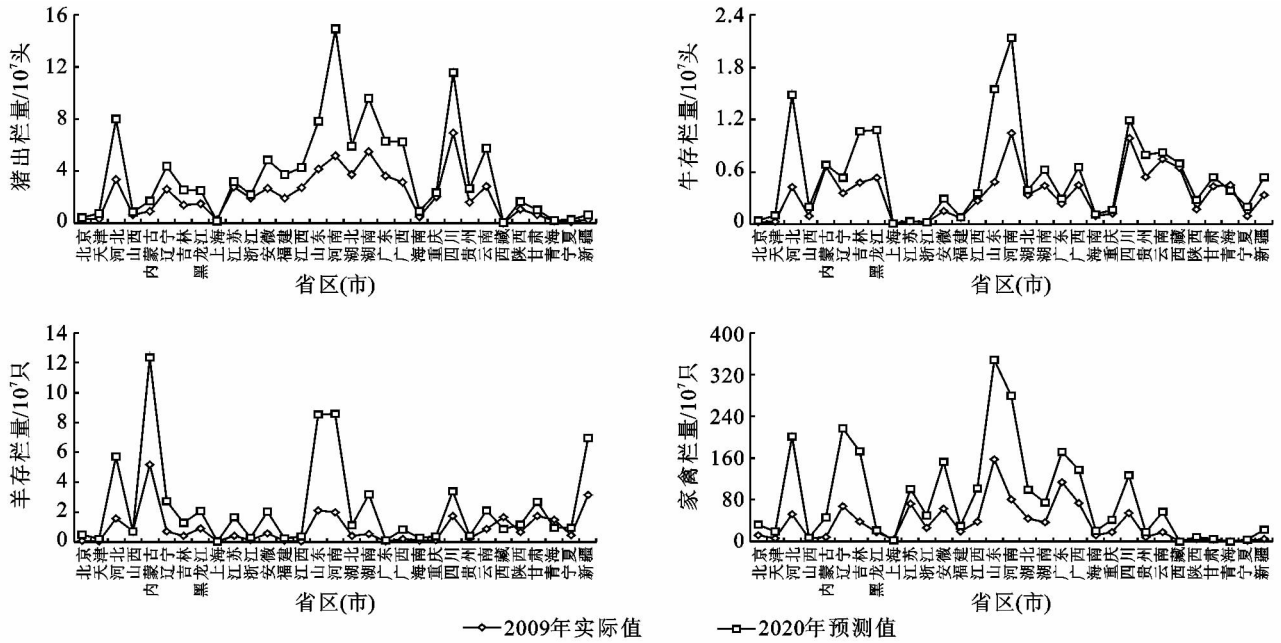


图 2 2020 年我国各地区主要畜禽养殖量预测及与 2009 年养殖量的比较

2020 年全国的家禽出栏量也将达到 2 170 724.343 万只,是 2009 年的 2.046 倍。山东省仍将是全国家禽出栏量最多且增长较快的地区,将达到 347 912.626 万只;其次是河南、辽宁、河北、吉林、广东,这些省份的家禽年出栏量也都超过了 171 262.839 万只,并超过了 2009 年养殖量较大的广西、四川、

江苏。

总体来看,近些年我国主要畜禽养殖业发展迅速,到 2020 年,我国的畜禽养殖量将会成倍增长。华北地区的河南、山东、河北仍然是我国最重要的畜禽养殖地区,同时,东北地区也将逐渐成为我国重要的畜禽生产基地。

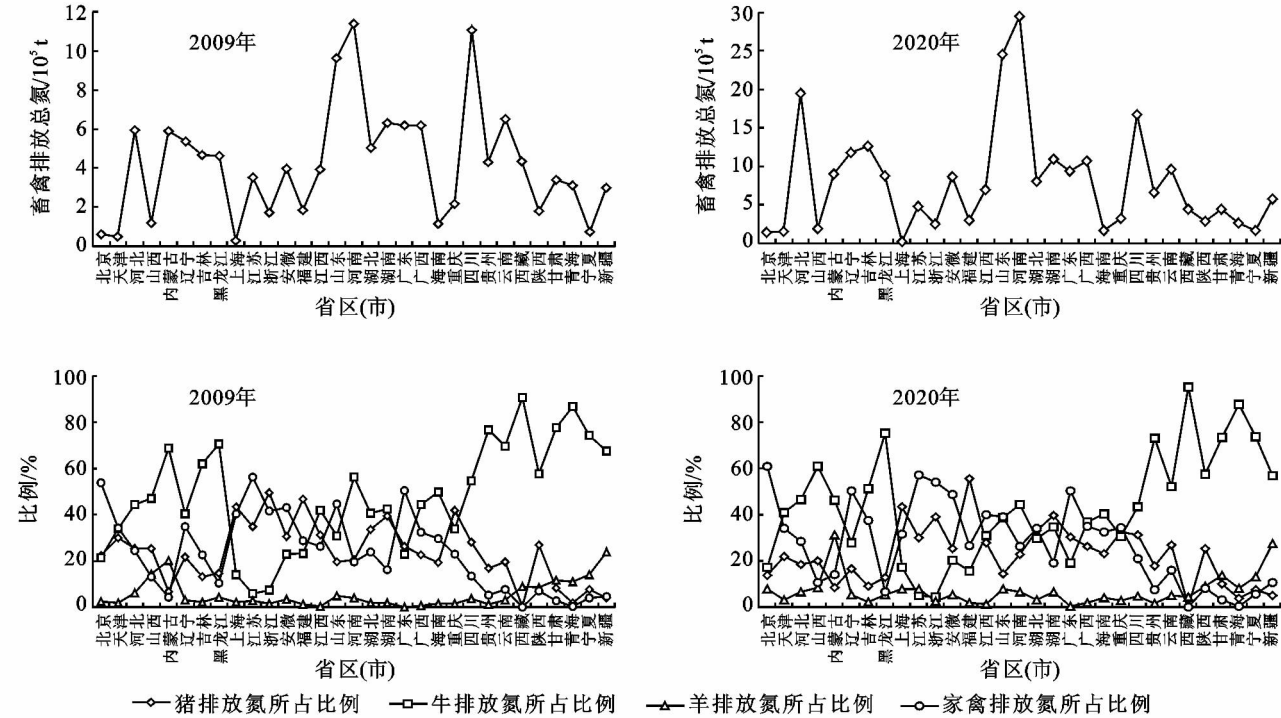


图 3 我国主要畜禽的氮排放量及贡献比例

### 2.3 2020 年中国主要畜禽排放氮污染的耕地载荷的预测与分析

#### 2.3.1 主要畜禽排放总氮量对比分析

由图 3 可见,到 2020 年,全国主要畜禽排放氮的总量将达到 1 979.077 万 t,是 2009 年总排放量的 1.391 倍。其中河南、山东两省的总排氮量远远高于其他各省,将

分别为 294.342 万 t、245.220 万 t,分别为 2009 年总排氮量的 2.59 倍、2.55 倍,这两省总排氮量将占全国的四分之一以上。河北省排氮量将超过四川省,位居全国第三。东北地区的吉林省、辽宁省的排氮量增加显著。在畜禽排放总氮量中,2020 年各主要畜禽排放氮所占比例与 2009 年较为相似,且区域差异明显。总体来说,我国东北地区和整个西部地区的省区,牛排放氮量占有较大比例;中东部各省区,各种畜禽排放总氮量所占比例较为接近,但羊排放氮相对较少,而仅在内蒙古和新疆两省中,羊排放氮占有相对较多比例。

2.3.2 畜禽排放总氮的单位面积耕地载荷分析 迄今为止,畜禽氮排放仍然主要靠农业用地消纳,因此各地区的耕地对畜禽氮排放的承载力也有较大差异,各地区耕地面积的多少也影响着畜禽养殖业的发展。本研究假设至 2020 年各省区的耕地面积变化不大,仍以 2009 年的耕地面积为基础进行分析。由图 4 可看出,到 2020 年,北京、天津、辽宁、吉林、山东、河北、河南、广东、湖南、广西、四川 11 个省区的单位耕地面积的氮载荷将会突破  $170\text{ kg/hm}^2$ ,北京、天津、辽宁三省市的耕地载荷远高于其他省份,而在 2009 年仅有北京市这一个地区。国内外研究表明,每年单位耕地面积上畜禽排放的氮污染负荷超过  $170\text{ kg/hm}^2$  时,将会产生硝酸盐的淋洗,极易造成对土壤和水体环境的污染<sup>[17-18]</sup>。

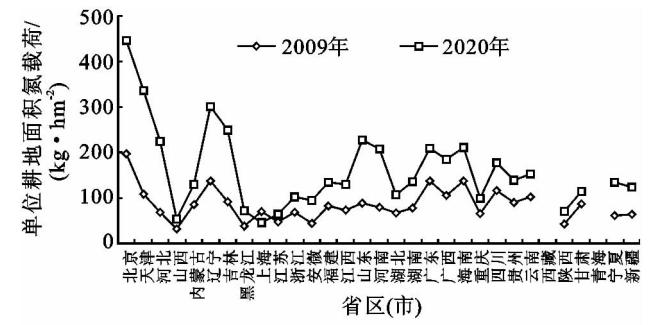


图 4 我国各地区耕地面积氮载荷分析

由于西藏和青海两省区的耕地面积较少,畜禽排放主要来源于大面积草原放牧,畜禽污染的主要承载方式与其他地区有显著差异,因此本研究中剔除了这两个省区。

### 3 讨论

畜禽养殖污染是面源污染的重要来源,也已经对我国土壤和水环境产生了较大威胁。近些年,全国各地的畜禽养殖量迅速增长,畜禽养殖的区域集中度明显提高。掌握各省区的各主要畜禽未来发展趋势对于优化我国畜禽养殖业布局、降低局部区域污染风

险和压力具有重要的指导意义。

华北平原地区各省是我国社会经济发展较快、人口较密集、水系较发达的地区,也是我国畜禽养殖业的主要生产基地。但从该地区的环境安全考虑,其畜禽养殖带来的污染应当引起足够的重视,畜禽养殖业应当适当地加以控制和疏导,合理布局全国畜禽养殖的空间分布。全国各省区应依据本身畜禽养殖量和耕地资源现状,科学合理发展,避免盲目追求提高养殖量。加强生态农业、循环农业的发展,种植业和畜禽养殖相结合发展,以充分有效利用畜禽粪便、减少污染。在未来一段时期内,东北地区畜禽养殖及其污染有明显加重趋势,马林等<sup>[9]</sup>的研究也得到了同样的结果。王奇等<sup>[19]</sup>研究也认为对全国部分省份及重点区域(包括四川、山东、河南等省份)的畜禽养殖总量控制非常紧迫。同时,值得注意的是,近些年畜禽养殖由农户分散饲养向集约化养殖转变,饲养规模越来越大,单位面积土地的载畜量越来越高,对养殖场周围环境所承受的污染污染负荷越来越大<sup>[20]</sup>,因此更应该加强对规模化养殖的规范化管理、对畜禽粪便处理及时有效处理。同时养殖场多设在城市近郊,农牧多脱节,导致养殖废弃物局部集中,因此应注意发展生态农业、循环农业,使得畜禽粪便等及时有效利用。

各级部门要加强对养殖场的监管力度,检查督促现有处理技术的合理利用。加快研究、引进先进的清粪工艺和废水粪尿污染处理技术,以减少畜禽污染流失、促进畜禽粪便污染的高效利用。鼓励畜禽粪便资源化利用技术的开发,如有机肥的生产和利用等。

### 4 结论

分析表明,平均增长率预测全国主要畜禽未来养殖量的效果较灰色模型略好。研究结果显示,到 2020 年,全国大多数省区的各种主要畜禽的养殖量都较 2009 年成倍增长,河南、山东两省的畜禽养殖量明显高于其他省区,且各种畜禽养殖量都较高;华北地区仍将是我国主要的畜禽养殖区,而东北地区的养殖量也增长较快,并会成为我国重要的畜禽养殖区。我国东北部和整个西部的各省区,牛排放氮在总氮排放量中贡献比例最大;而中东部地区各省区内,除羊之外的各主要畜禽的排放氮比例较接近;总体来看,在全国绝大部分省区中,羊排放氮所占比例都较小,而仅在内蒙古和新疆两区的总氮排放占有相对较大比例。到 2020 年,北京、天津等 11 个省市区的单位耕地面积的氮载荷将超过  $170\text{ kg/hm}^2$  这一安全阈值,畜禽养殖业将会对土壤和水环境等安全造成极大的污染威胁。

## 参考文献:

- [1] He C, Demarchi C. Modeling spatial distributions of point and nonpoint source pollution loadings in the Great Lakes watersheds[J]. International Journal of Environmental Science and Engineering, 2010, 2(1): 24-30.
- [2] Kohyama K, Hojito M, Sasaki H, et al. Estimation of the amount of nutrients in livestock manure[J]. Soil Science and Plant Nutrition, 2006, 52(4): 576-577.
- [3] 张晖. 中国畜牧业面源污染研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2010.
- [4] 张绪美, 董元华, 王辉, 等. 中国畜禽养殖结构及其粪便N污染负荷特征分析[J]. 环境科学, 2007, 28(6): 1311-1318.
- [5] 侯彦林, 李红英, 赵慧明. 中国农田氮肥面源污染估算方法及其实证: IV. 各类型区污染程度和趋势[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(7): 1341-1345.
- [6] 中国中长期食物发展研究组. 中国中长期食物发展战略研究[M]. 北京: 农业出版社, 1991.
- [7] 《全国节粮型畜牧业发展规划(2011—2020)》[Z]. 北京: 农业部农牧办, 2011.
- [8] 《全国畜牧业发展第十二个五年规划》[Z]. 农业部农牧发, 北京, 2011.
- [9] 马林, 王方浩, 马文奇, 等. 中国东北地区中长期畜禽粪尿资源与污染潜势估算[J]. 农业工程学报, 2006, 22(8): 170-174.
- [10] 王晓燕, 汪清平, 蔡新广, 等. 基于灰色理论的畜禽粪便环境污染风险预测分析[J]. 家畜生态学报, 2007, 28(6): 158-162.
- [11] Deng J L. Introduction to grey system theory[J]. The Journal of Grey System, 1989, 1(1): 1-24.
- [12] Deng J L. Spectrum mapping in grey theory[J]. The Journal of Grey System, 2000, 12(2): 116-124.
- [13] 李葆春, 马琦. 灰色模型在定西县粮食产量预测中的应用[J]. 甘肃农业大学学报, 2005, 40(5): 660-663.
- [14] 谢恒星, 张振华, 谭春英. 灰色预测方法在山东省粮食产量预测中的应用[J]. 水土保持研究, 2006, 13(2): 257-258.
- [15] 赖一飞, 郑清秀, 章少强. 灰色预测模型在水运货运量预测中的应用[J]. 武汉水利电力大学学报, 2007, 33(1): 96-99.
- [16] 全国规模化畜禽养殖污染调查办公室. 全国规模化畜禽养殖业污染情况调查及防治对策[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [17] MAFF. Code of Good Agricultural Practice for the Protection of Water. MAFF Environment Matters [Z]. Department of the Environment, Food and Rural Affairs, London, UK, 1991.
- [18] 朱兆良. 农田中氮肥的损失与对策[J]. 土壤与环境, 2000, 9(1): 1-6.
- [19] 王奇, 陈海丹, 王会. 基于土地氮磷承载力的区域畜禽养殖总量控制研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(3): 279-284.
- [20] 李帷. 畜禽粪便污染风险及对土壤吸附抗生素的影响研究[D]. 北京: 中国科学院地理科学与资源研究所, 2010.

(上接第288页)

- [2] 韩书成, 濮励杰. 土地利用分区内容及与其他区划的关系[J]. 国土资源管理, 2008, 25(3): 11-16.
- [3] 余德贵, 吴群, 赵亚莉. 土地利用主体功能分区方法与应用[J]. 农业系统科学与综合研究, 2008, 24(2): 196-199.
- [4] 张琳, 何政伟. GIS和RS支持下的土地利用格局变化分析[J]. 水土保持研究, 2011, 18(3): 145-148.
- [5] 陈怀录, 徐艺楠, 许计平, 等. 层次聚类分析法在甘肃省临夏回族自治州土地利用分区应用[J]. 兰州大学学报, 2010, 46(5): 19-23.
- [6] 王炯, 许月明, 郭庆. 基于聚类分析法的保定市土地利用分区及建议[J]. 中国农业资源与区划, 2011, 32(2): 63-67.
- [7] 段七零, 毛建明. 基于引力模型与0—1规划模型的省域经济区划: 以江苏省为例[J]. 经济地理, 2011, 31(8): 1239-1245.
- [8] 张洁瑕, 陈佑启, 姚艳敏, 等. 基于土地利用功能的土地利用分区研究: 以吉林省为例[J]. 中国农业大学学报, 2008, 13(3): 29-35.
- [9] 谢余初, 巩杰, 赵彩霞, 等. 干旱区绿洲土地利用变化的生态服务价值响应[J]. 水土保持研究, 2012, 19(2): 165-170.
- [10] 徐秋艳. SPSS统计分析方法及应用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2011.
- [11] 杜强. SPSS统计分析从入门到精通[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2011.
- [12] 张雅杰, 张俊玲, 杨洋, 等. 层次聚类分析法在连州市土地利用分区中的应用[J]. 技术方法研究, 2007, 24(5): 71-76.
- [13] 陈萍, 吴克宁, 汤怀志. 区域土地利用分区与调控研究: 以太原市为例[J]. 资源与产业, 2011, 13(1): 6-11.
- [14] 蒲春玲, 余慧容. 新疆低碳与环境友好型土地利用模式探讨[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(6): 36-42.
- [15] 李闯, 刘吉平. 霍林河流域中下游土地利用变化及生态安全响应[J]. 水土保持研究, 2012, 19(2): 174-178.
- [16] 吴明发, 鸥名豪, 廖荣浩. 经济发达地区土地利用变化及其驱动力分析: 以广东省为例[J]. 水土保持研究, 2012, 19(1): 179-183.