

中国畜禽养殖结构及其粪便 N 污染负荷特征分析

张绪美^{1,2,3}, 董元华^{1,2,3*}, 王辉^{1,2,3}, 沈旦⁴

(1. 中国科学院南京土壤研究所土壤与农业可持续发展国家重点实验室, 南京 210008; 2. 中国科学院南京土壤研究所-香港浸会大学土壤与环境联合开放实验室, 南京 210008; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 4. 江苏省农调局, 南京 210008)

摘要: 利用中国 31 个省(自治区、直辖市)1997~2004 年牛、猪、羊和家禽的养殖量统计数据, 计算了畜禽粪便量和以氮含量为标准的猪粪当量, 分析了我国不同省(自治区、直辖市)的畜禽养殖结构变化情况以及畜禽粪便污染结构, 进而结合农田耕地面积求出了不同地区的畜禽粪便农田负荷量及其分布状况. 研究表明, 中国的畜禽粪便 N 污染负荷呈现由西北内陆向东南沿海逐渐加重的趋势, 可以 400 mm 等降水量线为界分为高污染负荷区和低污染负荷区. 另外, 北京与上海 2 市畜禽养殖在经历了持续高速发展之后, 近几年开始回落, 畜禽粪便 N 污染负荷开始下降, 但其周边地区的畜禽粪便 N 污染负荷却呈现出居高不下甚至不断攀升的趋势. 最后, 通过对畜禽粪便 N 污染负荷量预警分析, 发现全国只有 8 省(自治区、直辖市)污染负荷量对环境尚未构成潜在威胁, 其余省份理论上对环境均构成潜在威胁. 结果表明, 畜禽养殖结构和畜禽粪便污染特征均与当地经济发展水平程度有着密切的联系; 经济发达区畜禽粪便污染已开始向周边地区进行转移; 东部地区的畜禽养殖业对环境的潜在威胁较重.

关键词: 中国; 畜禽; 结构; N 污染负荷; 特征

中图分类号: X713 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2007)06-1311-08

Structure of Livestock and Variation of Fecal Nitrogen Pollution Load in China

ZHANG Xu-mei^{1,2,3}, DONG Yuan-hua^{1,2,3}, WANG Hui^{1,2,3}, SHEN Dan⁴

(1. State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2. Joint Laboratory on Soil and Environment, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences-Hongkong Baptist University (ISSAS-HKBU), Nanjing 210008, China; 3. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 4. Jiangsu Rural Survey Organization, Nanjing 210008, China)

Abstract: Based on the livestock statistical data of 31 provinces of 1997~2004, this paper analyzed the structure of livestock and the variation of fecal nitrogen pollution load in China. The results showed that the relationship between structure of livestock and the economic situation of different provinces was obviously significant. The nitrogen pollution load of livestock was increasing gradually from the northwest to the southeast and could be divided into relative higher and lower parts, in line with the boundary of 400 mm rainfall of China. Meanwhile, in Beijing and Shanghai, with population concentrated and economy developed, the livestock had developed at a higher speed. However, in the last few years, the developing speed had been decreased slowly; the pollution load had begun to decrease, while the pollution load of livestock in the provinces around Beijing and Shanghai has been increased gradually. Additionally, it is found that only eight provinces are not facing the risk of livestock pollution theoretically.

Key words: China; livestock; structure; nitrogen pollution load; characteristic

畜禽养殖业快速发展的同时也对世界各国生态环境构成了严重威胁. 来自世界范围的研究表明, 农业是地下水和地表水质下降的主要影响因素^[1~5]. 在美国大约 60% 的河流受到农业生产的污染^[6]. 而我国 1 200 条主要河流中, 有 850 多条不同程度地受到农村面源污染的影响, 24 000 km 河段鱼虾绝迹^[7]. 1986~1990 年, 我国受污染湖泊中农村面源污染负荷占总负荷的比例均在 50% 以上^[8]. 畜禽粪便污染作为农业面源污染的主要组成部分已经成为世界普遍关注的问题.

关于畜禽粪便对环境的影响, 国内外已经开展了很多工作. Mallin 等通过对美国北卡罗莱纳州集

约化畜禽养殖场的研究, 认为畜禽粪便为水生生态系统中氮和病原微生物污染的主要来源^[9]. Kumm 利用食物链原理提出了瑞典猪肉生产过程中提高氮利用率, 减少氮对大气和水体污染的途径^[10]. Kuipers 等通过大量研究, 认为动物粪便产生的氮的数量过多, 并提议政府为解决此问题制定有效措

收稿日期: 2006-07-20; 修订日期: 2006-11-13

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-435); 江苏省自然科学基金前期预研项目(BK2004219); 中国科学院“十一五”农办支持项目(KSCX2-YW-N-51-02)

作者简介: 张绪美(1977~), 女, 博士研究生, 主要研究方向为污染生态学, E-mail: hbjiao@sohu.com

* 通讯联系人, E-mail: yhdong@issas.ac.cn

施^[11]. 另外, 国外许多国家对一些基础性工作如养殖场的规模、养殖场与居民区水源地的距离、储粪池的容量以及粪肥的农田施用量和施用时间等做了大量研究, 并提出了相应的各项规定^[12]. 我国于 20 世纪 80 年代后期开始关注畜禽养殖业污染问题. 90 年代初, 杭州湾的污染问题引起各级政府的高度重视, 研究结果显示, 农业化肥施用及畜禽粪便为杭州湾污染的主要来源. 这一结论首次敲响了我 国畜禽粪便污染的警钟^[13]. 1999 ~ 2000 年国家环保总局对全国规模化养殖业污染情况进行了调查, 结果显示畜禽养殖业带来的环境问题日趋严重, 是形成农村面源污染的主要因素之一^[14]. 近几年许多学者针对不同地区的畜禽粪便污染问题也开展了大量的研究工作, 例如, 刘培芳等对长江三角洲地区的畜禽养殖状况及其对环境的影响做了深入研究, 发现畜禽粪便流失是造成该地区地表水污染的最大有机污染源^[15]; 王晓燕等对北京市密云县的畜禽粪便负荷量作了估算, 并进行了风险评价^[16].

综上, 畜禽粪便污染问题已引起国内外高度重视, 并且从宏观角度对畜禽粪便对环境的影响做了大量的工作. 但是从畜禽养殖结构出发来探讨畜禽养殖业对畜禽粪便污染的影响还鲜有报道. 本研究从畜禽养殖结构出发, 分析不同省份畜禽养殖结构及其畜禽粪便污染负荷的时空分布特征, 揭示了畜禽养殖结构以及畜禽粪便污染负荷与当地经济发展水平之间的联系, 以期为合理规划我国的畜禽养殖规模和结构, 有针对性地开展畜禽粪便污染的治理工作提供理论依据.

1 数据获取与分析

1.1 数据获取

本研究采用全国 31 个省、自治区和直辖市(由于资料限制没有考虑香港、澳门和中国台湾 3 个地区)1997 ~ 2004 年牛、猪、羊和家禽的养殖量数据, 资料来源于文献[17].

1.2 数据分析

1.2.1 各类畜禽粪便量及其猪粪当量的计算

目前国内在由畜禽养殖量计算畜禽每年的粪便产生量时, 主要有 2 种方法, 1 种是国家环保总局在计算粪便量时, 将存栏量 $\times$ 日排泄系数(单个动物每天排出粪便的数量) $\times$ 饲养周期, 由此所得数据应该是畜禽 1 个饲养周期的粪便量, 而不是 1 a 的粪便量, 所以计算所得的粪便量偏小^[14]; 另 1 种计算方法是刘培芳等采用(畜禽出栏量 + 年末存栏量) $\times$ 日

排泄系数 $\times$ 饲养周期来计算每年粪便量, 由于公式中年末存栏畜禽还未经历 1 个饲养周期, 所以用此方法计算的粪便量有些偏大^[15]. 由于国家公布的统计数据未对畜禽种类加以细分(如牛可分为奶牛、黄牛等; 猪可分为公猪、母猪以及肉猪等, 家禽可分为蛋禽、肉禽等), 所以本研究采用的各畜禽养殖量也未加以细分. 将牛、猪、羊、家禽的存栏量看作当年中 1 个相对稳定的饲养量, 在未考虑饲养周期的前提下, 采用以下计算方法: 存栏量 $\times$ 日排泄系数(kg/d) $\times$ 365(d). 其中, 各畜禽日排泄系数(以湿基为标准)采用国家环境保护总局公布的数据^[14].

根据以上方法计算 1997 ~ 2004 年 31 个省(自治区、直辖市)的畜禽粪便量(包括粪、尿 2 部分, 下同), 再根据各类畜禽粪便的猪粪当量换算系数(以含氮量为标准^[14])计算各类畜禽粪便量的猪粪当量.

1.2.2 畜禽粪便负荷量的计算

目前, 畜禽粪便处理的主要出路是作为有机肥料还田, 国外许多发达国家也将农田作为畜禽粪便的负载场所加以消化^[18, 19]. 因此, 计算畜禽粪便负荷量则以农田耕地面积作为实际的负载面积(其中新疆、青海、西藏、内蒙古和四川 5 省份的农田耕地面积包括草场面积). 以畜禽饲养量和当年耕地面积为准, 计算 1997 ~ 2004 年全国 31 个省(自治区、直辖市)的畜禽粪便负荷量. 计算公式为:

$$q = Q/S = \sum XT/S$$

式中, q 为畜禽粪便以猪粪当量计的负荷量[t/(hm²·a)]; Q 为各类畜禽粪便猪粪当量总量(t/a); S 为有效耕地面积(hm²); X 为各类畜禽粪便量(t/a); T 为各类畜禽粪便换算成猪粪当量的换算系数.

2 结果与讨论

2.1 中国畜禽养殖结构分析

以畜禽养殖量为基础, 对比分析我国不同省(自治区、直辖市)1997 ~ 2004 年间牛、猪、羊和家禽的养殖变化情况(图 1). 对于牛的养殖来说, 北京、天津、河北、辽宁、吉林、黑龙江、山东、河南、海南、四川、贵州、陕西、甘肃、宁夏和新疆养殖量始终保持稳定的增长趋势, 并且河南、山东和四川 3 省近几年的养殖量都在 1 000 万头/a 左右, 而北京、天津 2 市的养殖量却较小, 不超过 45 万头/a; 山西、福建、广东、广西、海南、重庆和青海的牛养殖量一直保持相对稳定的水平; 江苏、浙江、安徽、江西、湖北、云南牛养殖量则

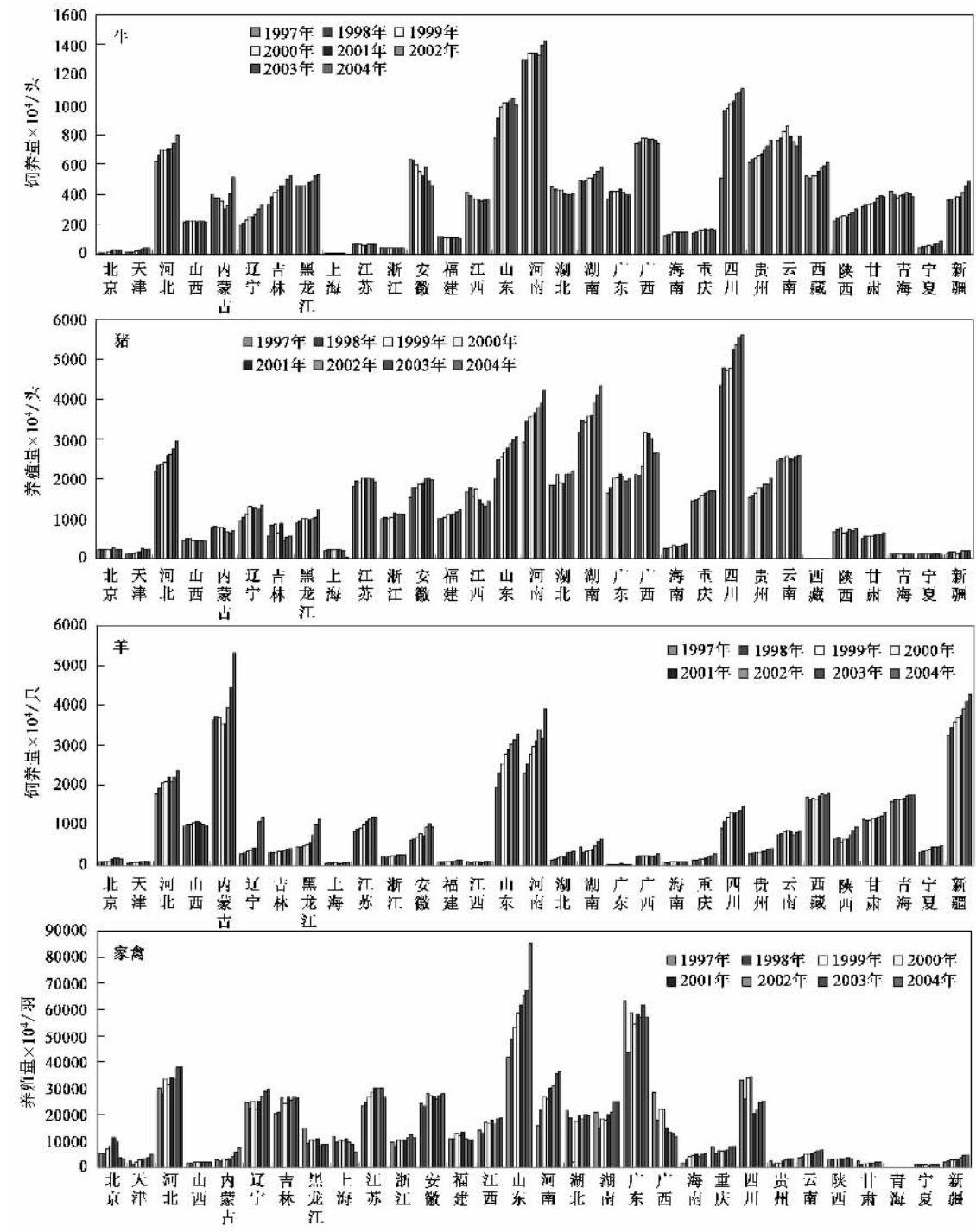


图 1 1997 ~ 2004 年我国不同省(自治区、直辖市)畜禽养殖量及变化趋势(香港、澳门、台湾省资料暂缺,下同)

Fig.1 Quantity and variation of livestock in China of 1997 ~ 2004

呈现下降的趋势;在 2002 年以前内蒙古牛的养殖量呈现下降的趋势,西藏牛的养殖量相对稳定,但从 2003 年开始内蒙古和西藏都有了较为显著的增加,这与中国加快西部大开发的战略部署有着直接关系.从猪的养殖情况来看,天津、河北、辽宁、黑龙江、安徽、福建、山东、河南、湖南、海南、重庆、四川和贵

州始终保持了较为稳定的增长趋势,并且四川、湖南和河南 3 省近年的养殖量都在 3 000 万头/a 以上;北京、上海、山西、江苏、浙江、湖北、云南、西藏、陕西和甘肃、青海、宁夏和新疆猪的养殖数量保持相对稳定,而西藏、青海、宁夏和新疆猪的养殖量相对较小;内蒙古和江西 2 省则呈现逐年下降的趋势;吉林、广

西和广东在 2000 年以前猪的养殖量均呈上升趋势, 而从 2001 年开始, 则都出现了下降趋势. 从羊的养殖情况来看, 河北、辽宁、吉林、黑龙江、江苏、安徽、山东、河南、湖北、湖南、四川、贵州、陕西、甘肃和新疆都呈现明显的上升趋势, 其中山东、河南和新疆养殖量大且上升幅度比较大; 另外, 辽宁和黑龙江两省在 2003 年羊的养殖量有一个较大的上升; 山西、贵州、云南、西藏、青海和宁夏羊的养殖量基本保持稳定; 内蒙古在 2001 年之前一直处于下降趋势, 从 2002 年开始有了大幅度的反弹, 并且超过了 5 000 万只/a, 居全国第一, 这与该省牛的养殖情况基本吻合, 说明中国西部大开发战略的实施, 有效地促进了当地优势产业的发展. 对于家禽的养殖情况来看, 天津、河北、辽宁、内蒙古、江西、山东、河南、海南和云南保持较为稳定的上升趋势, 其中, 山东作为家禽养殖大省上升趋势尤为明显, 到 2004 年养殖量在 80 000 万羽以上; 吉林、浙江、安徽、福建、湖北、广东和陕西养殖量基本保持稳定, 其中, 广东省养殖量较大, 始终保持在 50 000 万羽/a 以上; 而北京、上海、黑

龙江和广西则以下降趋势为主; 江苏省在 2002 年以前为上升趋势, 之后则出现了下降趋势; 四川省在 2001 年家禽的养殖量出现一个较为明显的下降, 之后又出现缓慢的上升趋势. 从猪、牛、羊、家禽的总体养殖情况来看, 河北、山东、河南和四川 4 个省份各种畜禽的养殖数量都较大, 且大都保持着较为明显的上升势头, 为中国畜禽产品的主要供应地.

畜禽养殖结构变化直接影响着各类畜禽粪便产生量, 进而影响不同省份畜禽粪便污染结构. 经分析, 河北、山东、河南和四川 4 个省的粪便总量位居全国前列, 这与上述提到的 4 个省份各种畜禽的养殖数量都较大相吻合; 而内陆地区的甘肃、陕西、山西、宁夏、新疆、重庆和东部地区的广东、福建、江苏、上海等省(自治区、直辖市)的粪便总量相对较小. 这一特点也是与当地畜禽养殖量大小相对应的. 图 2 中给出了我国不同省(自治区、直辖市)畜禽粪便量(猪粪当量, 下同)及各类畜禽粪便比重分布状况, 其中粪便比重较大者即为威胁当地环境的主要畜禽种. 可以看出, 除上海、北京、江苏、浙江、福建等省

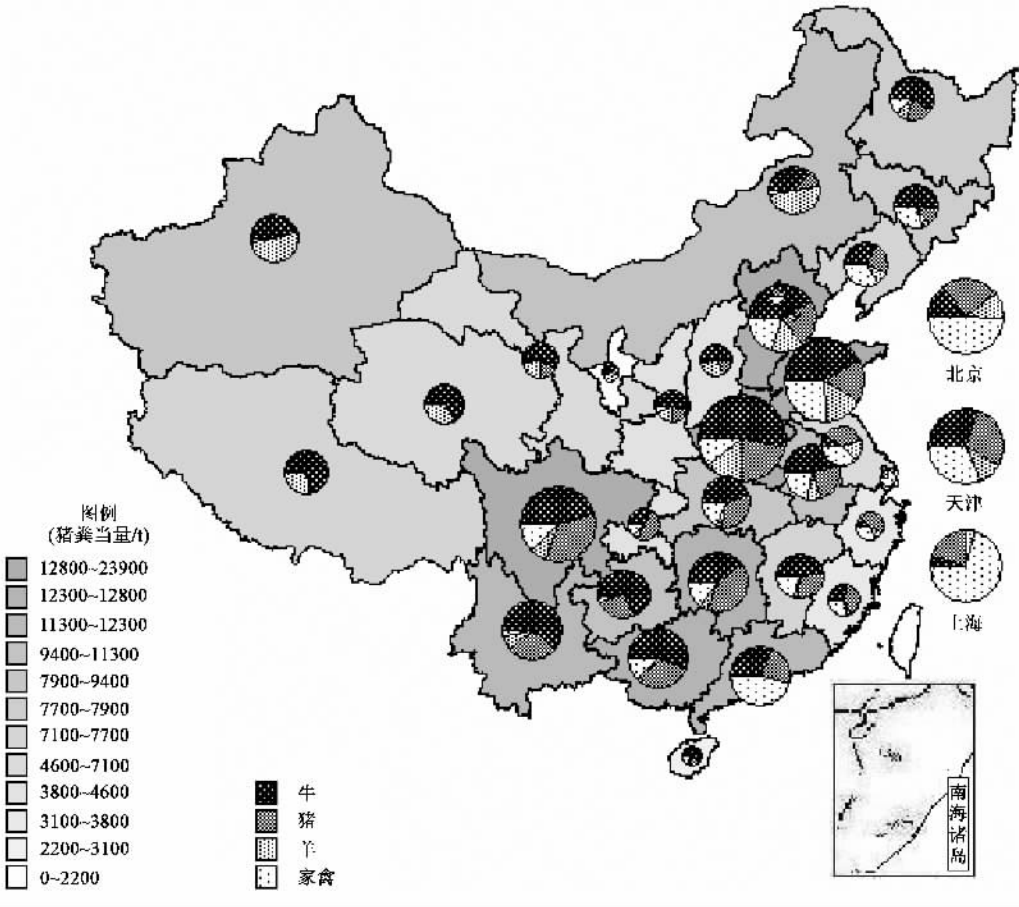


图 2 我国不同省(自治区、直辖市)畜禽粪便量及各类畜禽粪便比重分布

Fig.2 Proportionment and distribution of animal farming in different provinces of China

(市)牛产生的粪便量的比重较小(在 4% ~ 14% 之间)外,其余省份牛产生的粪便比重均在 30% 以上。其中,河北、河南、陕西、黑龙江、广西、海南、贵州、云南、西藏、陕西、甘肃和青海牛产生的粪便比重最大(大都在 50% 以上);北京和上海家禽产生的粪便量比重最大(分别为 49% 和 70%);天津、辽宁和福建的牛、猪和家禽产生的粪便量比重相当(30% 左右);安徽和江西 2 省情况近似,以牛产生的粪便比重最大且两省比重相当(48% 左右),猪和家禽的粪便量也占有相当比重;内蒙古、宁夏和新疆受气候环境因素的影响以牛、羊养殖为主,两者产生的粪便量并重(40% 左右);而湖北、湖南、重庆和四川 4 省市以牛、猪产生的粪便量并重(40% 左右);山东和吉林两省牛产生的粪便量比重最大,但家禽的粪便量也占有相当比例;而广东则是家禽产生的粪便量比重最大(46%),牛产生的粪便量占有较大比例(32%);另外,江苏和浙江两省猪和家禽产生的粪便量所占比

重相当(30% 以上)。

2.2 中国畜禽粪便 N 污染负荷状况

将畜禽粪便量除以当地实际耕地面积,得到每单位耕地面积上畜禽粪便 N 污染负荷量,这一量化指标可以间接衡量当地畜禽养殖导致的污染状况。为了直观显示全国畜禽粪便污染负荷量的空间分布特征,利用 ARCVIEW 软件的空间分析功能,将全国 1997 ~ 2004 年每 2 a 的畜禽粪便污染负荷量求平均后编制成图(图 3)。从图 3 可以清晰地看出,就全国范围看,畜禽粪便污染负荷呈现由西北向东南逐渐加重的趋势,高负荷区和低负荷区基本上以 400 mm 等降水量线(大兴安岭-张家口-兰州-拉萨-喜马拉雅山东南端一线)为界,400 mm 以东区域污染负荷量大多高于 $20\text{ t}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$,400 mm 以西区域污染负荷量大多低于 $18\text{ t}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$,由此可见,不同地区畜禽粪便负荷量存在较大差异,这与当地的自然条件和经济发展水平有着密切的关系,400 mm 等降水量线

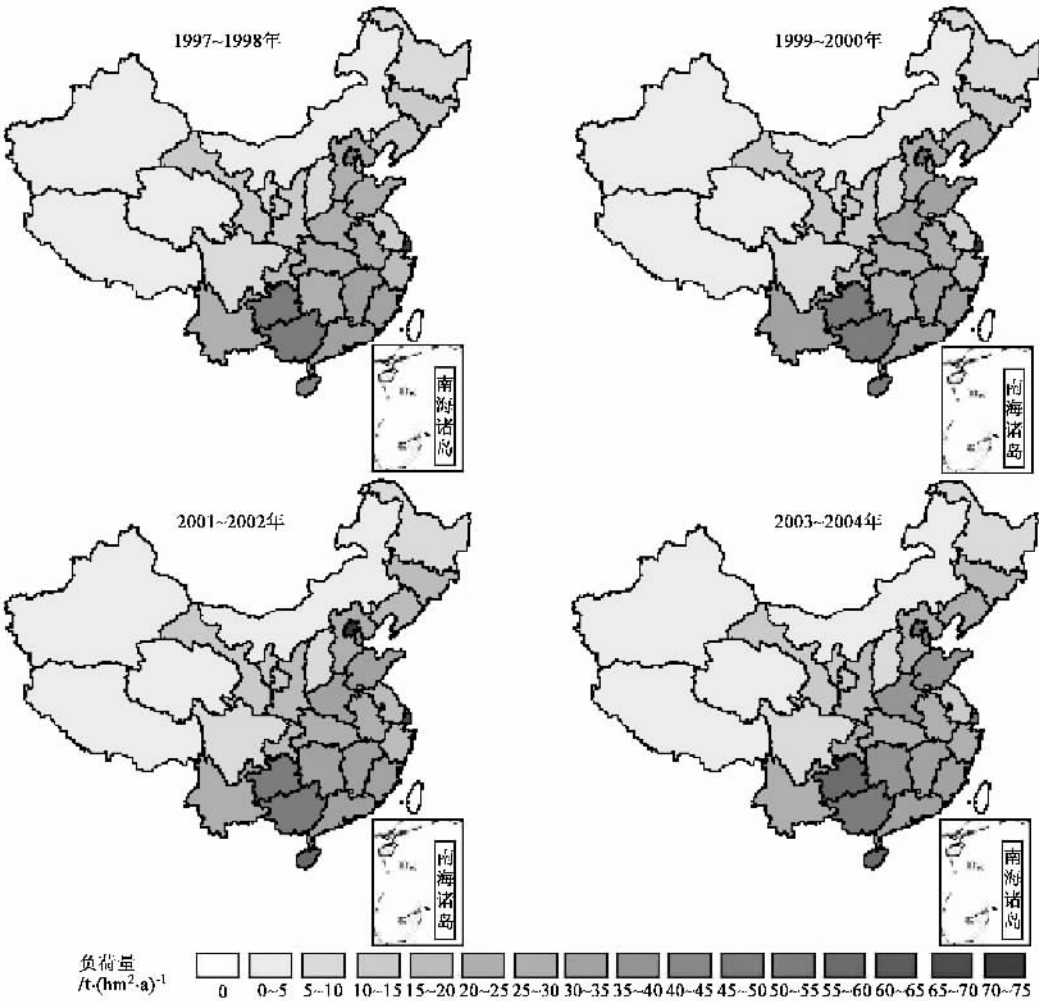


图 3 1997 ~ 2004 年全国畜禽粪便污染负荷

Fig.3 Pollution load of livestock in 1997 ~ 2004

以西地区属西北内陆地区,干燥少雨,年降水量普遍在 400 mm 以下,这些地区地广人稀,经济欠发达,畜禽的规模化养殖少,畜禽粪便对环境造成的影响相对较小;而 400 mm 等降水量线以东地区,年降水量普遍在 400 mm 以上,特别是秦岭-淮河以南地带,年均降水量在 800 mm 以上,是中国人口高度集中区和经济高度发达区,经济活动频繁,规模化、集约化畜禽养殖场较为普遍,因此,畜禽粪便对环境产生了较大的影响.同时,也要注意,随着中国西部大开发战略部署的实施,政策的倾斜必将带动当地工农业生产的发展,西北内陆地区的经济开始复苏,畜禽粪便污染负荷也呈现出由东南沿海向西北内陆纵深发展的趋势.这就警示,在大力发展西部经济的同时,一定要注意环境保护,不能再走先污染再治理的道路.

进一步分析发现,北京和上海一直是中国畜禽粪便的高污染负荷区,这与当地人口高度集中,经济高度发达,对畜禽产品的大量需求有直接关系,但是,近2 a,该地区的畜禽粪便污染负荷出现了下降趋势,这是因为,在上述地区畜禽粪便污染已经对当地环境造成了威胁,尤其是水环境.据上海市对黄浦江上游污染源的调查表明,畜禽粪便污染已占污染总负荷的 36%,分别超过了居民生活、乡镇工业和餐饮业对环境的影响,严重影响了上海的水环境质量.而北京城区河湖水质 2/3 受到了污染,根据北京市环境保护局 2003 年的统计数据,能达到较高水质标准的河湖非常有限,V 类、甚至劣 V 类水体仍然占较大比例.水质性缺水已经严重制约了当地人民的健康生活需求和经济的可持续发展,当地政府开始采取有力措施对畜禽养殖加以控制.例如,1999 ~ 2001 年,上海市全面整顿畜禽养殖场,关闭了 540 家污染严重的养殖场.另外,上海市《畜禽养殖业近期发展纲要》中提到上海畜牧业生产总量的控制目标:到 2007 年,全市畜牧业生产总量调减 40% 左右.3 a 后生猪存栏量由目前的 420 万头减至 250 万头,家畜由目前 1.48 亿只减至 8 000 万只左右.同时也注意到,在上述 2 个地区畜禽粪便污染负荷下降的同时,其周边地区的畜禽粪便污染却呈现出居高不下甚至有所增长的趋势.比如天津,从本研究的统计数据看,自 1997 年以来,该地区的畜禽粪便污染负荷呈逐年递增的发展趋势.由此看出,北京、上海 2 市在本地地区控制畜禽养殖规模和数量,畜禽粪便污染负荷降低的同时,要想保证其正常的畜禽产品供应,必将带动其周边地区畜禽养殖业的发展,从而造成其

周边地区畜禽粪便污染负荷的居高不下甚至不断攀升.根据农业区位理论中的“杜能圈”,可以上海(北京)为中心,画出一系列专门供应上海(北京)畜禽产品的同心圆.从图 4 中可以直观地看出,天津、河北以及山东、山西、内蒙古和辽宁的部分地区都在北京市 300 km 缓冲区范围内,而山东、山西和辽宁的大部分地区都在北京市 600 km 缓冲区范围内;江苏、浙江的大部分地区和安徽的少部分地区处于上海市 300 km 缓冲区范围内,而山东、福建、江西的部分地区以及安徽全部都处于上海市 600 km 缓冲区范围内.说明以上地区在一定程度上担当了北京市和上海市的畜禽产品供应地.尤其是山东,其养殖量大,而且增长趋势迅猛,可以同时供应北京和上海 2 市畜产品的需求.另外,海南、广西和贵州 3 省的畜禽粪便污染负荷一直都处于较高的水平,是由于这 3 个省份位于热带、亚热带地区,低山、丘陵较多,耕地面积相对较少,适合畜牧业的发展,所以畜禽粪便污染负荷相对较高.

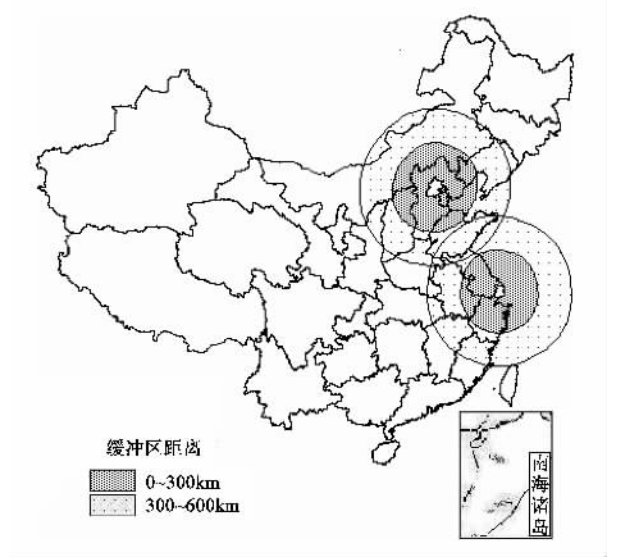


图 4 北京、上海畜禽养殖与其周边地带畜禽产品供应地关系
Fig.4 Zones of livestock production around Beijing and Shanghai

2.3 中国畜禽粪便 N 污染负荷预警分析

为了解当前我国各个省(自治区、直辖市)畜禽粪便是否过载以及对环境是否构成潜在威胁,对 2004 年全国 31 个省(自治区、直辖市)畜禽粪便负荷量承受程度进行了风险评价.由于我国农业生产具有强烈的地域性,在进行风险评价时就要考虑到南北方耕作制度或者复种指数的差异.根据以往研究结果,本研究以中国南北地理划分线——800 mm 等降水量线(秦岭-淮河-喜马拉雅山东南端一线)为

界,以南以 45 t/hm² 为有机肥最大承载量^[15,20],以北则以 30 t/hm² 为最大承载量^[14].

根据上海市农业科学研究院提出的畜禽粪便负荷警报值分级标准,用畜禽粪便猪粪当量负荷量同当地农田以猪粪当量计的有机肥理论最大适宜施肥量的比值 r 来间接表达各地区畜禽粪便负荷量承受程度.其中 r 即为各地区畜禽粪便农田负荷风险指数.在一般的条件和合理施用情况下,当畜禽粪便负荷量为当地畜禽粪便有机肥最大可施用量 0.4 倍以下,即预警值 $r < 0.4$ 时,该地区畜禽粪便可完全被农田环境所消纳和承受,对环境不构成污染威胁.由此将畜禽粪便负荷警报值分为 5 级: $r \leq 0.4$,为 1 级,无污染; $0.4 < r \leq 0.7$,为 2 级,稍有污染; $0.7 < r \leq 1.0$,为 3 级,有污染; $1.0 < r \leq 1.5$,为 4 级,污染较严重; $r > 1.5$,为 5 级,污染严重^[21].

评价结果如图 5 所示,山西、内蒙古、黑龙江、西藏、青海、新疆、江苏、四川等 8 个省(自治区、直辖市)污染负荷警报值属 1 级,对环境暂未构成威胁;吉林、陕西、甘肃、宁夏、浙江、安徽、重庆、湖北、云南等 9 个省份对环境构成 2 级威胁;河北、辽宁、上海、福建、江西、湖南、广东对环境构成 3 级威胁;北京、天津、山东、河南、广西、海南、贵州对环境构成 4 级威胁.由此得出,我国东、西部对环境构成潜在威胁的程度存在显著差异.东部大多数地区均超过环境预警值,且污染级别较高;而西部各省(自治区、直辖市)大部分地区未超出环境预警值,超出预警值的地区,其污染级别也相对较低.所以,今后既要加强对东部地区畜禽粪便的合理处置,又要对西部地区的

养殖业加强监督和管理,做到防患于未然.

3 结论

(1)中国的畜禽粪便污染负荷存在区域上的差异,以 400 mm 等降水量线为界分为高污染负荷区和低污染负荷区,这与当地的自然条件和经济发展水平有着密切的关系.

(2)在人口高度集中、经济高度发达的北京和上海,畜禽养殖在经历了持续高速发展之后,近几年开始回落,畜禽粪便污染负荷开始下降,其周边地区在不同程度上担当了 2 市的畜禽产品供应地,畜禽粪便污染负荷呈现出居高不下甚至不断攀升的趋势,表明污染的转移.

(3)通过对畜禽粪便污染负荷量的预警分析,发现畜禽粪便对环境的潜在威胁存在地域上的差异,全国只有 8 个省(自治区、直辖市)污染负荷量对环境未构成潜在威胁,而且对环境构成潜在威胁程度东部地区远高于西部地区.

参考文献:

[1] 张克强,高怀友. 畜禽养殖业污染物处理与处置[M]. 北京:化学工业出版社,2004.

[2] 马立珊,汪祖强,张水铭,等. 苏南太湖水系农业面源污染及其控制对策研究[J]. 环境科学学报,1997,17(1): 39 ~ 47.

[3] Dinar A, Xepapadeas A. Regulating water quantity and quality in irrigated agriculture [J]. Journal of Environmental Management, 1998, 54: 273 ~ 289.

[4] Rejesus R M, Hornbaker R H. Economic and environmental evaluation of alternative pollution-reducing nitrogen management practices in central Illinois [J]. Agricultural, Ecosystems and Environment, 1999, 75: 41 ~ 53.

[5] Schou J S, Skop E, Jensen J D. Integrated agri-environmental modelling: a cost-effectiveness analysis of two nitrogen tax instruments in the Veijle Fjord watershed, Denmark [J]. Journal of Environmental Management, 2000, 58: 199 ~ 212.

[6] Environmental Protection Agency. National pollutant discharge elimination system permit regulation and efficient limitations guidelines and standards for concentrated animal feeding operations: proposed regulation [J]. Federal Register, 2001, 66: 2960 ~ 3145.

[7] 钱易,刘昌明. 中国江河湖海防污减灾对策[M]. 北京:中国水利水电出版社,2002.

[8] 王凯军. 畜禽养殖污染防治技术与对策[M]. 北京:化学工业出版社,2004.

[9] Mallin M A, Cahoon L B. Industrialized animal reduction—a major source of nutrient and microbial pollution to aquatic ecosystems [J]. Population and Environment, 2003, 24(5): 369 ~ 385.

[10] Kumm K I. Ways to reduce nitrogen pollution from Swedish pork production [J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2003, 66: 285



图 5 全国畜禽粪便污染负荷量警报值分级

Fig.5 Classification in pollution load of livestock in China

~ 293.

[11] Kuipers A, Mandersloot F, Zom R L G. An approach to nutrient management on dairy farms [J]. *Journal of Animal Science*, 1999, **77** (Suppl. 2): 84 ~ 89.

[12] Centner T J. Developing institutions to encourage the use of animal wastes as production inputs [J]. *Agriculture and Human Values*, 2004, **21**(4): 367 ~ 375.

[13] 刘成国. 畜禽场环境评价[M]. 北京: 中国标准出版社, 2005.

[14] 国家环境保护总局自然生态保护司. 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, 2000. 14 ~ 103.

[15] 刘培芳, 陈振楼, 许世远, 等. 长江三角洲城郊畜禽粪便的污染负荷及其防治对策[J]. *长江流域资源与环境*, 2002, **11** (5): 456 ~ 460.

[16] 王晓燕, 汪清平. 北京市密云县耕地畜禽粪便负荷估算及风险评价[J]. *农业生态环境*, 2005, **21**(1): 30 ~ 34.

[17] 中国农业年鉴编委会. 中国农业年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 1980 ~ 2005.

[18] Frank J D, Nico J P H. Towards a sustainable and efficient use of manure in agriculture: The Dutch case [J]. *Environmental and Resource Economics (Historical Archive)*, 1991, **1**(3): 313 ~ 332.

[19] Hoar B R, Atwill E R, Farver T B. Estimating maximum possible environmental loading amounts of cryptosporidium parvum attributable to adult beef cattle[J]. *Quantitative Microbiology*, 2000, **2**: 21 ~ 36.

[20] 朱兆良. 推荐氮肥适宜用量的方法论刍议[J]. *植物营养与肥料学报*, 2006, **12**(1): 1 ~ 4.

[21] 沈根祥, 汪雅谷, 袁大伟. 上海市郊农田畜禽粪便负荷量及其警报与分级[J]. *上海农业学报*, 1994, **10**(增刊): 6 ~ 11.

关于反对个别作者一稿两投行为的联合声明

为保证所发表论文的首创性和学术严谨性,《环境科学》、《中国环境科学》、《环境科学学报》编辑部和《Journal of Environmental Sciences》编辑部特发表如下联合声明。

我们明确反对个别作者的一稿两投或变相一稿两投行为。自 2006 年 5 月 1 日起,我们各刊在接受作者投稿时,要求论文全体作者就所投稿件作出以下承诺(附在投稿上):

- 1) 来稿所报道的研究成果均系全体作者的原创性研究成果,文中报道的研究成果(含图、表中数据的全部或部分)未曾发表亦未曾投其它科技期刊。
- 2) 在接到所投期刊编辑部关于稿件处理结果之前,所投稿件的全部或部分内容不再投其它科技期刊。
- 我们将认真对待作者所作的上述承诺,并建立信息共享机制,对违背上述承诺的作者(包括在文中署名的全体作者)采取联合行动。

净化学术环境、促进学术繁荣是学术期刊作者和编者的共同责任。我们诚恳地希望广大作者能够了解我们的上述立场和做法,并积极宣传和配合。

《环境科学》编辑部

《中国环境科学》编辑部

《环境科学学报》编辑部

《Journal of Environmental Sciences》编辑部