

王军霞, 徐菲, 刘瑞民, 等. 我国畜禽养殖总量空间热点分析及主要污染物核算[J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(7): 1316-1322.

WANG Jun-xia, XU Fei, LIU Rui-min, et al. Hotspot analysis and estimation of the main pollutants from livestock in China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2017, 36(7): 1316-1322.

我国畜禽养殖总量空间热点分析及主要污染物核算

王军霞¹, 徐菲³, 刘瑞民², 董广霞^{1*}

(1. 中国环境监测总站, 北京 100012; 2. 北京师范大学环境学院, 北京 100875; 3. 北京清控人居环境研究院有限公司, 北京 100083)

摘要:为使全国范围内畜禽污染防治工作的开展更具有针对性,基于对1992、2002、2012三年全国各省市畜禽养殖总量及各畜禽养殖量进行的热点分析比较,应用排污系数法对热点省份畜禽养殖排放的主要污染物进行了估算。结果表明,各类要素在各省市均不存在冷点,即不存在养殖量低值聚集区域,一定程度上可反映我国不存在养殖空白区。猪养殖的热点省份是四川、山东和湖南,牛养殖的热点省份是四川、山东和河南,羊养殖的热点省份是内蒙古和青海,均集中在我国西北部,家禽养殖的热点省份是山东和广东。养殖热点省份一般存在较严重的环境污染问题,畜禽养殖量聚集程度越显著,污染排放相对越多,对环境的威胁也越大。四川、河南、山东是畜禽养殖污染防治重点省份,养殖羊较多的内蒙古、新疆也是畜禽污染首要防控对象。

关键词: 畜禽总量; 热点分析; 排污系数; 畜禽污染

中图分类号: X713 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-2043(2017)07- doi:10.11654/jaes.2017-0322

Hotspot analysis and estimation of the main pollutants from livestock in China

WANG Jun-xia¹, XU Fei³, LIU Rui-min², DONG Guang-xia^{1*}

(1. China National Environmental Monitoring Centre, Beijing 100012, China; 2. School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 3. Tsinghua Holdings Human Settlements Environment Institute, Beijing 100083, China)

Abstract: Livestock and poultry pollution has been an increasingly important constituent of agricultural nonpoint source pollution. In order to better target the national-scale prevention of livestock pollution, hotspot analyses for total and respective livestock numbers in China for the years 1992, 2002, and 2012 were conducted. Based on these analyses, the main livestock pollutants of the hot spot provinces were estimated using the discharge coefficient method. It was found that there were no cold spots of each type of livestock in all the provinces, showing that livestock and poultry breeding occurs throughout China. The provinces that produced the most swine were Sichuan, Shandong, and Hunan; for cattle, Sichuan, Shandong, and Henan; for sheep, Inner Mongolia and Qinghai, concentrated in Northwest China; and for poultry, Shandong and Guangdong. Generally, the provinces with large numbers of livestock and poultry were seriously polluted, and much larger amounts of livestock pollutants were discharged in areas with significantly concentrated distribution livestock. Sichuan, Henan, and Shandong are the main provinces that need to prevent and control livestock pollution urgently. Inner Mongolia and Xinjiang also need to pay more attention to pollution prevention, because they have high densities of sheep. This research is constructive for livestock pollution control in China.

Keywords: livestock numbers; hotspot analysis; discharge coefficient; livestock pollution

畜禽养殖业作为农业的重要组成部分,其发达程度逐渐成为衡量一个国家或地区农业发达水平的标志^[1]。近些年来,随着畜禽养殖规模的不断扩大,畜禽粪便污染物质产生量不断增加,畜禽养殖对我国生态环境造成的威胁也日益加剧。作为农业非点源污染

产生的主要原因之一,畜禽养殖主要通过两种途径污染环境:直接从农田流失,或者从畜禽粪污堆积处下渗、流失。畜禽污染进入水体,其中的氮磷等污染物质是导致水体严重富营养化的重要原因^[2]。据统计,到2020年,我国畜禽养殖排放的粪便等污染物质较

收稿日期:2017-03-10

作者简介:王军霞(1984—),女,河北邢台人,硕士,工程师,主要研究方向为污染源监测与环境统计。E-mail: wangjx@cnemc.cn

*通信作者:董广霞 E-mail: donggx@cnemc.cn

基金项目:环保公益性行业科研专项(201509038);国家自然科学基金项目(41571486)

Project supported: Public Welfare of Environmental Protection Industry Special Scientific Research Project(201509038); The National Natural Science Foundation of China(41571486)

2007 年会增加 37%, 畜禽养殖污染问题将会更加严峻, 畜禽污染防治工作迫在眉睫^[3]。

畜禽污染防治是减少农业非点源污染工作的重要一部分。然而, 畜禽污染由于自身的分散性、覆盖面积大等特性, 难以集中控制。此外, 我国国土面积庞大, 畜禽养殖在各个省市均有分布, 且养殖种类、规模不一, 加之各省市自然条件、社会经济条件不一, 治理起来更加困难^[4]。因此, 在全国范围内实行畜禽污染防治工作, 对畜禽量聚集程度显著的省份首先进行相关政策的实施, 然后逐步带动周边省份污染防治工作的进行, 就显得尤为重要。

畜禽养殖业污染物排放量的核算对于环境形势判断、环境规划和环境决策制定具有重要意义, 同时也是畜禽污染治理工程设计的重要基础资料。准确评估畜禽产排污量, 对全面掌握畜禽养殖污染情况、科学制定农业非点源污染防治策略具有重要意义^[5-6]。测定畜禽养殖非点源污染负荷的常用方法是排污系数法, 该方法根据输入输出参数估算非点源污染负荷, 操作简单, 易于改进。排污系数法在我国自 1992 年开始应用以来^[7], 历经不同的改进和完善, 被学者广泛接受认可^[8-11]。

本研究主要基于全国各省市统计数据, 对 1992、2002、2012 年跨度 20 年的畜禽养殖量进行热点分析, 并在此基础上, 对畜禽分布热点城市应用排污系数法进行污染物核算, 以期为在全国范围内畜禽污染防治工作的开展提供借鉴, 对非点源污染的防治具有指导意义。

1 材料与方法

1.1 数据来源及处理

畜禽养殖量数据资料均来自《中国畜牧业年鉴》(1992—2012)。研究数据主要包括全国 31 个省市(不包括台湾、香港和澳门)的猪年末出栏量、牛年末存栏量(肉牛, 本文所提及牛均为肉牛)、羊年末存栏量、家禽(包括鸡、鸭、鹅)年末出栏量, 分别代表 1 年的各类畜禽养殖量。为方便计算畜禽养殖总量和评价养殖量的变化, 本文依据畜禽每年的氮排放量, 用猪当量进行换算, 1 头牛等于 13.55 头当量猪, 一只羊等于 1.26 头当量猪, 一只家禽等于 0.06 头当量猪^[1]。

畜禽污染排放的主要污染物总氮(TN)、总磷(TP)和化学需氧量(COD)依据排污系数法计算公式进行估算:

$$\alpha_{ki} = \omega_{jk} \times \theta_{jk_i} + \omega_{uk} \times \theta_{uk_i}$$

式中: α_{ki} 表示畜禽 k 排放的污染物 i 的负荷, 万 t; ω_{jk} 和 ω_{uk} 分别表示年畜禽粪便和尿液排放量, 万 t; θ_{jk_i} 表示畜禽 k 粪便中污染物 i 的排放系数; θ_{uk_i} 表示畜禽 k 尿液中污染物 i 的排放系数。

畜禽年粪便、尿液排放系数及污染物排放系数来源于《全国规模化畜禽养殖业污染情况调查及防治对策》。

猪的粪尿年排放量分别为 0.73、1.204 5 t·a⁻¹·头⁻¹, 肉牛的粪尿年排放量分别为 8.76、4.055 15 t·a⁻¹·头⁻¹, 蛋禽的粪便排放量为 0.054 75 t·a⁻¹·只⁻¹, 肉禽的粪便排放量为 0.029 2 t·a⁻¹·只⁻¹, 羊的粪尿年排放量为 0.87 t·a⁻¹·头⁻¹。将资料中粪尿排泄量与粪尿中所含污染指标的系数进行计算, 结果见表 1。

表 1 不同畜禽各类污染指标年排放量^[12]
Table 1 Annual pollutant discharging amount of different livestock

畜禽种类	TN/t·头(只) ⁻¹	TP/t·头(只) ⁻¹	COD/kg·头(只) ⁻¹
猪	1.04	0.42	48.80
牛	6.68	2.15	295.89
蛋禽	0.05	0.05	1.94
羊	0.88	0.19	8.87

1.2 热点分析

热点分析是局部空间自相关中的一种判定模式, 通过对数据集中的每一个要素计算来得到高值或低值要素在空间上发生聚类的位置, 能够直观地了解高低值在何处发生了聚类及其聚集的密集程度。热点分析法采用英国数学家 Getis 和 Ord 于 1992 年提出的 Getis-Ord G_i^* 指数来进行分析。这种分析方法最初是为了针对全局 Moran's I 统计没有正确揭示的空间独立性而发展起来的一种新的分析理论, 可反映空间数据在一定范围内的高值与低值的积聚效应。通过对数据集中的每一个要素计算来得到高值或低值要素在空间上发生聚类的位置, 其统计学上的意义是: 一个要素具有高值并不意味着是显著的热点, 只有高值要素被其他同样具有高值的要素所包围时才是。本文利用局部自相关中的 G 系数(G_i^*)作为分析方法, 测度每一个观测单元与周围单元的聚类关系, 衡量每个省市的畜禽养殖量与周围省市畜禽养殖量之间的关系。

Getis-Ord G_i^* 的数学公式如下:

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij} x_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n w_{ij}}{S \sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n w_{ij}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{ij})^2}{n-1}}}$$

式中: x_j 是要素 j 的属性值; w_{ij} 表示要素 i 和 j 之间的空间权重(相邻为 1, 不相邻为 0); n 是样本点总数; $\bar{X}$ 为均值; S 为标准差; Gi^* 统计结果是 z 得分, 如果 z 得分值为 +2.5, 表示结果是 2.5 倍标准差。

统计学上正 z 得分表示热点, z 得分越高, 表示热点聚集越紧密; 负值表示冷点, z 得分越低, 冷点的聚集越紧密。

通过 GIS 图可以展现该属性值的空间位置, 分析它们是否具有集聚效应。从图中可以看出一个地理对象所选属性值的 Getis-Ord z 值, z 值越高, 颜色越趋于红色, 说明该属性在空间上为热点; z 值越低, 颜色越趋于蓝色, 说明该属性在空间上为冷点。

2 结果与讨论

2.1 我国畜禽养殖空间热点分析

2.1.1 养殖总量热点分析

从图 1 可以看出, 全国只有个别省份出现畜禽养殖总量的集聚(热点区域)。1992 年, 四川省 z 值为 3.20, 是显著的热点分布区, 河南省 z 值为 1.71, 畜禽养殖总量空间集聚较显著。2002 年, 最显著的热点分

布省份是河南省, 其次是山东省、四川省, z 值分别为 2.68、2.56、1.96。2012 年, 畜禽分布热点省份依然是山东、河南和四川, 但集聚效应不如 2002 年, z 值分别为 2.39、2.35、2.11。除热点省份外, 其余省份畜禽养殖总量空间上均不存在热点。

2.1.2 各畜禽种类养殖量热点分析

2.1.2.1 猪

全国各省市猪养殖量热点也只是分布在个别省份, 但与畜禽养殖总量分布存在差异(图 2)。1992 年, 四川省猪养殖集聚显著, z 值高达 4.26; 另一个热点省份是湖南省, 但集聚不是很显著, z 值为 1.89。2002 年, 除四川、湖南省外, 河南省也是一个畜禽养殖分布热点省份, 四川省集聚最显著, 其次是湖南、河南, z 值分别为 2.75、2.41、1.69。2012 年, 热点分布省份与 2002 年一样, 四川、湖南、河南三省的 z 值分别为 2.76、1.97、1.84。

2.1.2.2 牛

牛养殖量分布热点省份主要是四川、河南、山东(图 3)。1992 年, 四川、河南两省畜禽养殖量聚集, z 值分别为 2.57、2.07。2002 年, 河南省畜禽养殖量聚集

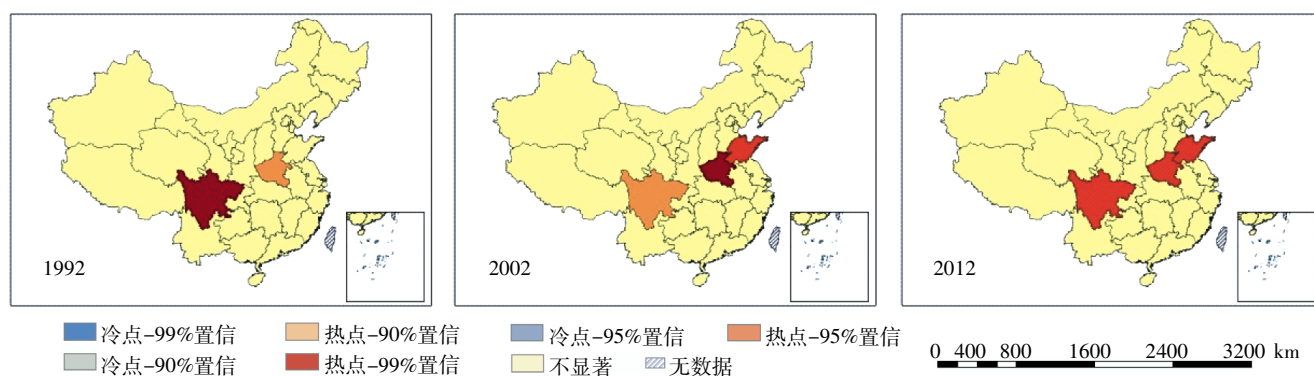


图 1 畜禽养殖总量热点分析

Figure 1 Hotspot analyses of the total livestock amount



图 2 猪养殖量热点分析

Figure 2 Hotspot analyses of swine

显著,是明显分布热点, z 值达 2.81;其次是四川省, z 值为 2.00;山东省也是一个分布热点, z 值为 1.86。2012 年,热点分布城市为四川、河南,聚集效应低于 1992、2002 年, z 值分别为 2.44、2.39。

2.1.2.3 羊

羊养殖量热点分布与总量、猪、牛的分布存在明显不同(图 4)。1992 年,羊养殖热点分布的省份是内蒙古、新疆和山东,其中内蒙古和青海羊聚集显著, z 值分别为 2.88、2.72,山东省羊聚集较显著, z 值为 1.89。2002 年,热点省份增加多了河南省,羊聚集程度分布在内蒙古、新疆、河南和山东, z 值依次为 2.64、2.60、2.13、1.82。2012 年,热点省份减少,只有内蒙古和新疆,内蒙古羊聚集极其显著,但新疆羊聚集程度降低,二者的 z 值分别为 4.03、1.96。

2.1.2.4 家禽

家禽的热点分布也不同于养殖总量和其他畜禽种类(图 5)。1992 年养殖热点省份分别是广东、山东、江苏和四川,广东省畜禽聚集最显著, z 值为 3.52,其次为山东省, z 值为 2.06,最后是江苏和四川, z 值分

别为 1.89 和 1.81。2002 年热点省市只有山东和广东,山东较广东家禽聚集显著, z 值为 3.58,广东省 z 值为 2.44。2012 年热点省份与 2002 年相同,但广东省聚集程度继续降低, z 值为 1.92,山东省家禽聚集相对稳定, z 值为 3.47。从家禽的热点分布随时间变化来看,山东省一直是家禽养殖热点省份,广东省家禽养殖空间聚集程度逐渐下降。

2.2 热点成因分析

影响畜禽养殖时空分布的因素很多,包括自然因素如气候、地势,经济因素如畜禽业生产方式和饲料加工业的发展,社会因素如畜禽养殖业相关政策等^[3,13]。不同省市畜禽养殖业的发展受到上述单个因素或多个因素的共同影响。

作为中国传统的重要农业生产基地和经济高速发展区,四川、河南和山东三省 1992—2002 年间畜禽养殖总量一直处于领先地位,是畜禽养殖分布的热点区域。三省畜禽养殖业的发展均受益于独特的地理气候条件和旺盛的市场需求^[3,14]。以四川省为例,该省地形地貌复杂,平原、丘陵、山地、高原呈立体分布,气候



图 3 牛养殖量热点分析

Figure 3 Hotspot analyses of cattle

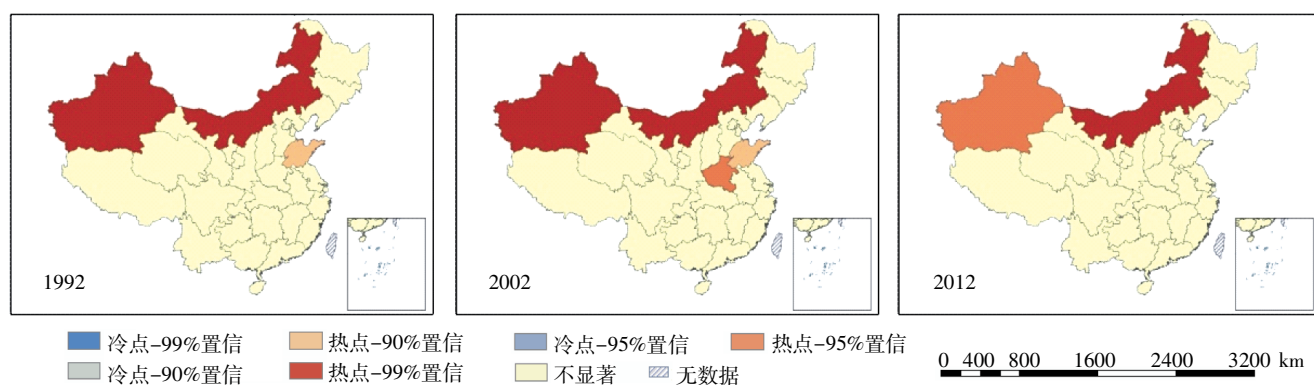


图 4 羊养殖量热点分析

Figure 4 Hotspot analyses of sheep

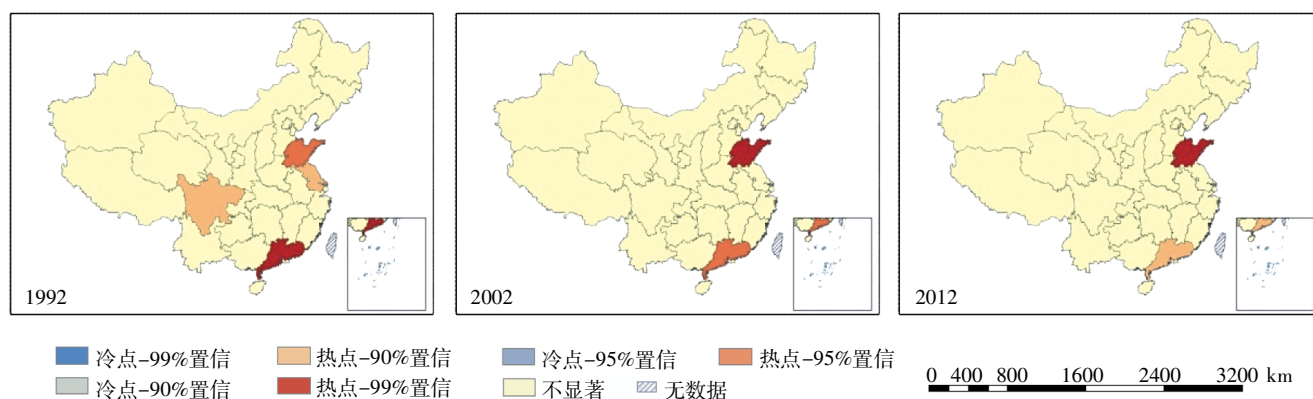


图5 家禽养殖量热点分析

Figure 5 Hotspot analyses of poultry

类型多样,雨量充沛,水系发达,素有“千河”之称。受地形气候影响,生物资源种类繁多,为发展特色畜牧业提供了丰富的饲草饲料资源。此外,四川省畜产品生产成本较低、肉制品风味独特,明显的价格优势和品质优势使其具备一定的市场竞争力,产业发展前景广阔^[15]。河南省畜禽养殖业发展则受生产方式影响较大,畜禽集中化生产、集中化生态农场生产、规模化农场经营、生态农场工业化生产、工业化生产五大模式促进了河南省畜禽养殖业的快速发展^[16]。

受地形地势条件的影响,内蒙古、新疆是羊养殖分布的热点省份。羊、牛等家畜能够适应高纬度地区的气候条件,加之这些地区幅员辽阔,人少地多,适合大规模放牧活动^[17],因此成为我国牛、羊分布的热点区域。家禽的分布受人口分布的影响最显著,由前面分析可知家禽分布的热点省份是山东、广东和四川,人口密度大,肉类制品需求量大,加之畜禽养殖相关扶持政策的倾斜,导致这些省份家禽养殖分布高度聚集。

2.3 热点省份畜禽污染分析

根据畜禽养殖总量和各类畜禽分布的热点分析结果,就其中热点省份畜禽养殖主要污染物的排放量,依据排污系数法进行核算比较(图6)。整体来看,三种主要污染物质产生量之间存在的关系是:TN>TP>COD。各热点省份之间污染物产生量也存在差异,将污染物产生量由高到低分为三组,第一组为四川、山东和河南,第二组为湖南、广东,第三组为内蒙古、新疆。时间尺度上看,2012年较2002年、2002年较1992年污染物质排放量均有增加的趋势,表明畜禽养殖污染威胁加重。

四川省畜禽污染物排放量呈增加趋势。TN年排

放量均在15 000万t以上,2012年较1992年增加12.42%,TP年排放量为5000~15 000万t,2012年较1992年增加22.43%,COD年排放量较少,均低于5000万t,且三年排放量基本保持稳定。山东省畜禽污染物质排放量增速较四川省要快得多,TN由1992年的9120万t增加至2002年的19 749.96万t,增加116.56%。2012年TN排放量为18 253.64万t,较2002年略有下降。TP排放量也增长迅速,由1992年的4 300.40万t增加至2012年的11 911.63万t,增加将近两倍。COD排放量增加相对较少。河南省这三年的畜禽养殖氮污染排放与山东省相似,增长迅速,2002年比1992年增加110.26%。TP排放也与山东省呈现相似规律,但总量低于山东省。COD排放量则相对较少且增加不明显。

湖南、广东省畜禽养殖污染物排放量相对要少一些,排放量增加速度也低一些。湖南省畜禽养殖TN排放量1992年为7 154.68万t,2002年增加至10 000万t以上,2012年略有下降;TP年排放量均在5000万t左右,COD年排放量仅在500万t左右。广东省TN排放量要低于湖南省,且2012年与2002年基本持平;TP年排放量也在5000万t左右,COD年排放量较少。

内蒙古、新疆畜禽养殖聚集相对不显著,主要是羊对污染物贡献比较大。内蒙古1992—2002年畜禽养殖TN排在5000~7000万t,2012年增加至10 000万t以上,TP排放2012年增加至3000万t左右,COD排放较少。新疆2002年TN排放6 725.62万t,1992、2012年均低于此值;TP排在2000万t左右,2002年TP排放量最多,达2 027.66万t;COD排放量均低于200万t。

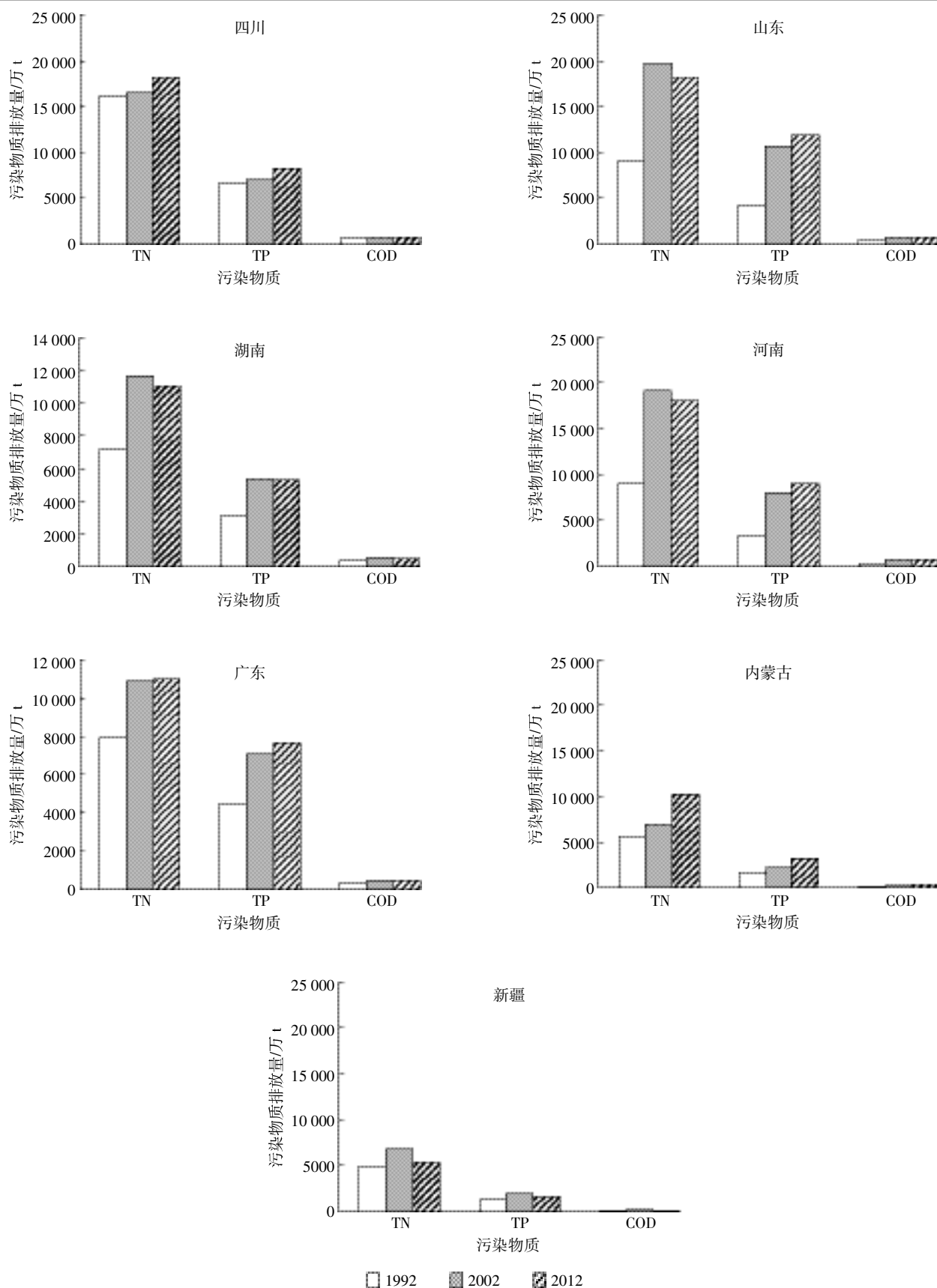


图 6 热点省份畜禽养殖污染物质排放量

Figure 6 The discharging of livestock pollutants by hot provinces

3 结论

热点分析结果表明,各类要素在全国各省市均不存在冷点,即不存在养殖量低值聚集区域,一定程度上可反映出我国不存在养殖空白区,畜禽养殖业已经成为我国农村经济的支柱产业。猪养殖的热点省份是四川、山东和湖南,牛养殖的热点省份是四川、山东和河南,羊养殖的热点省份是内蒙古和青海,集中在我国西北部,家禽养殖的热点省份是山东和广东。热点分析结果对于畜禽污染防治具有指导意义。在制定和实施相关污染防治政策时,可先针对热点省份,然后推广至全国,既能节约成本,又能让畜禽养殖大省带动周围省份,提高污染防治效率。

养殖热点省份一般存在较严重的环境污染问题,畜禽养殖量聚集程度越显著,污染排放相对越多,对环境的威胁也越大。四川、河南、山东是畜禽养殖污染防治重点省份,对养殖羊较多的内蒙古、新疆也是畜禽污染首要防控对象。单就污染物质的量来说,氮污染较磷污染、COD污染要严重,是畜禽养殖污染防治的重点。

参考文献:

- [1] 杨飞, 杨世琦, 诸云强, 等. 中国近30年畜禽养殖量及其耕地氮污染负荷分析[J]. 农业工程学报, 2013, 29(5): 1-11.
YANG Fei, YANG Shi-qi, ZHU Yun-qiang, et al. Analysis on livestock and poultry production and nitrogen pollution load of cultivated land during last 30 years in China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(5): 1-11.
- [2] 王意蓉. 我国畜牧养殖的时空分布特征及其生态成因分析研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2013.
WANG Yi-rong. Analysis of temporal and spatial distribution features of livestock and its cause in China[D]. Changsha: Agricultural University of Hunan, 2013.
- [3] Liu R M, Xu F, Liu Y Y, et al. Spatio-temporal characteristics of livestock and their effects on pollution in China based on geographic information system[J]. *Environmental Science & Pollution Research*, 2016, 23(14): 14183-14195.
- [4] Fu Q, Zhu Y Q, Kong Y F, et al. Spatial analysis and districting of the livestock and poultry breeding in China[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2012, 22(6): 1079-1100.
- [5] 陈海媛, 郭建斌, 张宝贵, 等. 畜禽养殖业产污系数核算方法的确定[J]. 中国沼气, 2012, 30(3): 14-16.
CHEN Hai-yuan, GUO Jian-bin, ZHANG Bao-gui, et al. Pollutant producing coefficients in animal production[J]. *China Biogas*, 2012, 30(3): 14-16.
- [6] 王俊能, 许振成, 吴根义, 等. 畜禽养殖业产排污系数核算体系构建[J]. 中国环境监测, 2013, 29(2): 143-147.
WANG Jun-neng, XU Zhen-cheng, WU Gen-yi, et al. Construction of pollutants producing and discharging coefficient accounting system for livestock and poultry breeding industry[J]. *Environmental Monitoring in China*, 2013, 29(2): 143-147.
- [7] 钱永清, 范建敏, 许大新. 上海市郊禽畜粪尿污染趋势与对策[J]. 上海环境科学, 1992, 11(4): 37-39.
QIAN Yong-qing, FAN Jian-min, XU Da-xin. Pollution trend and control policy for excrement and urine of livestock and poultry in the suburbs of Shanghai[J]. *Shanghai Environmental Sciences*, 1992, 11(4): 37-39.
- [8] Liao Q, Huang D L, Jiang Z P, et al. Estimation of quantity of livestock and poultry manure and environment impact assessment in Guangxi[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2013, 44(4): 627-631.
- [9] Zhou J, Gao Z, Ma H, et al. Prevention and study on agricultural non-point source pollution in China[M]//Advances in Electrical Engineering and Electrical Machines. Springer Berlin Heidelberg, 2011: 565-569.
- [10] 庄犁, 周慧平, 张龙江. 我国畜禽养殖业产排污系数研究进展[J]. 生态与农村环境学报, 2015, 31(5): 633-639.
ZHUANG Li, ZHOU Hui-ping, ZHANG Long-jiang. Advancement in research on pollutants producing and discharging coefficients of livestock and poultry breeding industry in China[J]. *Journal of Ecology & Rural Environment*, 2015, 31(5): 633-639.
- [11] 周天墨, 付强, 诸云强, 等. 中国分省畜禽产污系数优化及污染物构成时空特征分析[J]. 地理研究, 2014, 33(4): 762-776.
ZHOU Tian-mo, FU Qiang, ZHU Yun-qiang, et al. Optimizing pollutant generation coefficients of livestock industry and mapping patterns of the pollutant constitution in China[J]. *Geographical Research*, 2014, 33(4): 762-776.
- [12] 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, 2002.
Natural Ecological Protection Department of State Environmental Protection Administration. The scale of livestock and poultry breeding pollution investigation and prevention countermeasures[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2002.
- [13] Dirscherl C. Meat consumption and livestock farming in the current socioethical debate[J]. *Berichte Über Landwirtschaft*, 2013, 91(3).
- [14] 周林. 山东畜牧业发展战略研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2004.
ZHOU Lin. A study on the development strategy of livestock husbandry in Shandong[D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2004.
- [15] 张书军. 论四川东部丘陵山区特色经济可持续发展战略[J]. 四川文理学院学报, 2004, 14(6): 26-28.
ZHANG Shu-jun. Sustainable strategies of developing economics with features in the hilly area of the East Sichuan[J]. *Journal of Daxian Teachers College*, 2004, 14(6): 26-28.
- [16] 赵丽莉, 朱远航, 宋俊杰, 等. 河南省畜禽养殖废弃物污染现状及防治对策[J]. 湖北农业科学, 2013, 52(22): 5446-5448.
ZHAO Li-li, ZHU Yuan-hang, SONG Jun-jie, et al. Current situation and preventing countermeasures of the livestock and poultry waste in Henan Province[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2013, 52(22): 5446-5448.
- [17] 王成金, 阿永嘎, 马玉波. 内蒙古畜禽养殖及污染防治现状初步分析[J]. 环境与发展, 2013, 29(3): 14-17.
WANG Cheng-jin, A Yong-ga, MA Yu-bo. Analysis of Inner Mongolia livestock and pollution prevention[J]. *Northern Environment*, 2013, 29(3): 14-17.