江苏省太湖地区畜禽业产排污测算

谢 飞，曹 磊，王 震，闵兴华，赵言文

（南京农业大学 资源与环境科学学院，江苏 南京 210095）

摘 要：以太湖地区水环境保护为出发点，根据对江苏省太湖地区典型规模化养猪场不同饲养阶段生猪（妊娠母猪、育肥猪和保育猪）的产污监测试验，测算了 3 种猪粪尿污染物的含量和产污系数，并采用排泄系数法和等标污染负荷法估算了 2011 年江苏省太湖地区畜禽粪便污染物排放量和水环境等标污染指数，并对污染物和污染来源进行了分析。结果表明，2011 年江苏省太湖地区畜禽养殖业总氮（TN）、总磷（TP）、化学需氧量（COD）的排放总量为 2.19×10^5 t，常州市、苏州市、无锡市的水环境等标污染指数分别为 11.54，5.70 和 6.10，各地区对水体的污染程度存在差异。畜禽养殖业最主要的污染物来源是家禽和猪，其等标污染负荷比分别达到 49.52% 和 44.47%，最主要的污染物是 TP，其等标污染负荷比达到 67.87%，P 素污染应该引起重视。

关键词：产污系数；等标污染负荷；畜禽养殖业；太湖地区

文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2014)02-0128-06 **中图分类号**：X502，X713

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.02.028

Estimation of Pollutant Production and Discharge from Livestock and Poultry Industries in Taihu Lake Region

XIE Fei, CAO Lei, WANG Zhen, MING Xing-hua, ZHAO Yan-wen

(*College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu* 210095, *China*)

Abstract: Based on the monitoring experiment of pollutant production from a typical scale pig farm in three pig feeding stages(sows, fattening pigs and piglets) in the Taihu Lake region, Jiangsu Province, the contents of pig manure pollutant and the coefficients of the pollutant production from pigs were estimated. In addition, discharge of animal manure pollutant and the water equal standard pollution index in the region in 2011 were estimated using animal manure discharge rate and equal standard pollution method. Results showed that the total discharge amount of total nitrogen (TN), total phosphorus (TP) and chemical oxygen demand (COD) from livestock and poultry breeding industries was 218.9 thousand tons, and the water equal standard pollution indexes of Changzhou, Suzhou and Wuxi Cities were 11.54, 5.70 and 6.10, respectively. However, differences were observed for the water contamination degree in different areas. The primary pollution source of livestock and poultry breeding industries was poultry and pigs whose load ration in equivalent standard reached 49.52% and 44.47%, and the primary pollutant was TP whose load ration in equivalent standard reached 67.87%. A great attention should be paid to the pollution of P.

Keywords: coefficient of pollutant production; equal standard pollution loading; livestock and poultry breeding industries; Taihu Lake region

近年来，我国非点源污染的负荷比重逐步上升。以水体污染为例，非点源污染已成为巢湖、太湖、滇池等重要湖泊水质恶化的主要原因之一[1]。据第一次全国污染源普查公报显示，农业源是中国水环境污染物化学需氧量（COD）、总氮（TN）和总磷（TP）的主要来源，一些地区河流、湖泊、地下水氮浓度超标严重[2-3]。江苏太湖地区主要包括苏州市、无锡市和常州市，人口密集、生态环境负荷重。畜禽养殖业在该地区经济发展中具有一定地位，且逐渐呈现规模化趋势。畜禽业排放的废弃物如果在一定时空范围内没

收稿日期：2013-04-24 **修回日期**：2013-06-08

资助项目：国家自然科学基金重点项目“农村发展中生态环境管理研究”(70833001)

作者简介：谢飞（1988—），男（汉族），云南省腾冲县人，硕士研究生，研究方向为环境监测与环境影响评价。E-mail：xiefei018@126.com。

通信作者：赵言文（1965—），男（汉族），江苏省徐州市人，教授，博士生导师，主要从事环境生态及生态环境影响评价研究。E-mail：ywzhao@njau.edu.cn。

有足够的土地将其消纳，很容易对水体产生污染，导致富营养化[4]。因此，有效评估和控制畜禽粪便污染势在必行。

关于区域畜禽粪便产生量估算和环境效应的研究，国内外已经有了相关报道。Mallin 等[5]认为畜禽粪便是水生生态系统中氮和磷污染的主要来源；畜禽粪便对水、土壤和空气的环境影响也有过相关研究[6]。张玉珍等[7]对九龙江流域畜禽粪便年产生量做了估算，并提出了相应的防治对策；阎波杰等[8]对北京大兴区畜禽粪便量进行了估算，并进行了风险评价；高新昊等[9]通过分析山东省畜禽粪便污染情况，指出畜禽粪便是农业污染的 3 种主要污染源之一；宋大平等[10]针对安徽省畜禽粪便污染耕地、水体的现状做了风险评价。这些研究所采用的数据大多来自统计年鉴或文献中有关畜禽粪便的产污系数进行畜禽粪便产生量的估算，而基于典型规模化养殖场不同饲养时间不同饲养阶段的产污测算，以及水体的等标排放量和等标污染指数的研究鲜有报道。因此，本研究在对太湖地区典型规模化养殖场及其污染物进行定点监测的基础上，测算了江苏省太湖地区 2011 年的畜禽业粪污产排量，并分析了污染物对水体的影响，以期为太湖流域农业面源污染的防治和畜禽业可持续发展提供参考。

1　材料与方法

1.1　监测对象

本研究选取位于常州市的新乐农牧有限公司养殖场设置典型监测点。该生猪养殖场存栏生猪 3 000 头，出栏量 6 000 头以上。清粪方式为干清，60％用于销售，部分施用于养殖场的农田种植；污水采用沼气工程处理，沼液用于农田浇灌，沼渣作为农田底肥施用。在饲养模式和粪污处理方式等方面，代表了苏南地区规模化养猪场的养殖水平。因此，监测所得数据总体上可反映江苏省太湖地区规模化养猪场的产排污基本情况。

1.2　样品采集方法

（1）粪尿样品采集。选取妊娠母猪（怀孕 2 个月左右）、育肥猪（约 60 kg）和保育猪（约 25 kg）这 3 个饲养阶段的生猪作为试验对象。在每个阶段，随机抽取 1 栏（10～15 头）进行粪尿收集采样。采样期间内，每日上午和下午分别收集猪只产生的粪便和尿液，分别称量和记录。粪便混合均匀后采用四分法取 3 个样品，每个样品约 1 kg，装入自封样品袋中。尿样 500 ml 装于聚乙烯瓶。采集的粪尿样品需进行加酸预处理，添加比例为每 100 g 鲜粪添加 20 ml 浓度为 4.5 mol/L H_2SO_4，每 100 ml 尿样添加 2 ml 浓度为 4.5 mol/L H_2SO_4 和 4 滴甲苯。预处理后送至分析检测室分析。

（2）采样频率和时间。监测点为周年监测。从 2011 年 2—12 月，分不同季节，在 2，4，8 和 12 月对监测点进行连续 3～5 d 的采样监测，根据天气状况、养殖条件等实际状况安排具体监测时间，并保证 3 d 有效数据。

（3）测定指标和方法。粪便监测指标包括粪便量、含水率、有机质、全氮、全磷。

尿液监测指标包括尿液量、pH 值、化学需氧量（COD_{Cr}）、全氮（TN）、全磷（TP）。各监测指标的测定方法详见表 1。

表 1　监测指标、测定方法和标准

分析项目	测定指标	测定方法	方法标准号
粪便	含水率	有机肥料（水分测定）	NY525—2002
	有机质	有机肥料（有机质测定方法）	NY525—2002
	全氮	有机肥料（全氮测定方法）	NY525—2002
	全磷	有机肥料（全磷测定方法）	NY525—2002
尿液	pH 值	水质 pH 值的测定（玻璃电极法）	GB6920—86
	COD_{Cr}	水质 化学需氧量的测定（重铬酸盐法）	GB11914—89
	总氮	水质凯氏氮的测定	GB11891—89
	总磷	水质 TP 的测定（钼酸铵分光光度法）	GB11893—89

1.3　产污系数测算

产污系数的计算公式为：

$$FP_{i,j,k}=QF_{i,j}\cdot CF_{i,j,k}+QU_{i,j}\cdot CU_{i,j,k}$$

式中：$FP_{i,j,k}$——每头动物的产污系数〔g/（头·d）〕；$QF_{i,j}$——第 i 种动物第 j 生产阶段的粪产量〔kg/（头·d）〕；$CF_{i,j,k}$——第 i 种动物第 j 生产阶段粪便中含第 k 种污染物的浓度（mg/kg）；$QU_{i,j}$——第 i 种动物第 j 生产阶段尿液产量〔L/（头·d）〕；$CU_{i,j,k}$——

第 i 种动物第 j 生产阶段尿中含第 k 种污染物的浓度(mg/L)。

采用 Excel 和 SPASS 软件进行数据的统计与分析。

2 结果与分析

2.1 养殖场粪尿主要污染指标

经过周年监测,获得的 3 种不同生长阶段生猪粪尿主要污染指标(表 2)。从表 2 可以看出,保育猪粪便含氮量最高为 1.18%,与妊娠母猪和育肥猪差异显著($p<0.05$);妊娠母猪总磷含量最高为 1.26%,育肥猪次之达 1.18%,二者与保育猪间差异显著($p<0.05$);保育猪有机质含量最高,达 17.78%,与育肥猪差异不显著($p>0.05$),但是二者都与妊娠母猪间差异显著($p<0.05$)。

尿液中总氮含量由大到小顺序为:保育猪>育肥猪>妊娠母猪,保育猪与育肥猪和妊娠母猪间差异显著($p<0.05$);总磷含量保育猪最高为 124.37 mg/L,与育肥猪和妊娠母猪差异显著($p<0.05$);生猪尿液中的 COD 含量均在 20 000 mg/L 以上,妊娠母猪与育肥猪间差异不显著($p>0.05$)。

表 2 生猪粪尿主要污染指标

饲养阶段	粪便/%			尿液/(mg·L^{-1})		
	总氮	总磷	有机质	总氮	总磷	化学需氧量
妊娠母猪	0.97±0.24a	1.26±0.38a	16.80±2.47a	2 526.51±937.98a	70.34±32.13a	21 378.14±7 226.29a
育 肥	1.02±0.37a	1.18±0.25a	17.43±1.57b	2 993.61±1 334.51a	78.12±48.59a	22 344.12±7 027.19a
保 育	1.18±0.23b	0.87±0.26b	17.78±1.45b	3 455.07±1 516.46b	124.37±24.45b	23 550.41±6 585.08b

注:表中粪便污染指标为新鲜粪便污染指标。

2.2 养殖场的产污系数

依据产污系数公式,对周年数据进行统计分析,确定了养殖场粪尿污染物产污系数(表 3)。产污系数与其它研究相比[11-12]略有不同,这是因为各个地区养殖的畜禽种类、品种、气候、生长期、喂养饲料等存在差异[13]。

从表 3 可以看出,生猪不同生长阶段粪尿污染物产生量不同,产污系数由高到低排序依次为:妊娠母猪>育肥猪>保育猪。虽然妊娠母猪粪尿污染物浓度低,但是粪尿产生量大,因此产生的污染物总量也多。从方差分析结果看,生猪各个阶段之间的粪尿污染物产生量存在显著性差异($p<0.05$)。因此,在选取产污系数时,不能以一个生长阶段的粪尿污染物产生量来代替该种动物的产污系数,而是应该分阶段测算以后,再根据饲养动物数量,计算获得较为准确的畜禽污染物产生量。

表 3 不同饲养阶段猪的产污系数

饲养阶段	粪便/(kg·d^{-1})	尿液/(L·d^{-1})	总氮/(g·d^{-1})	总磷/(g·d^{-1})	化学需氧量/(g·d^{-1})	有机质/(g·d^{-1})
妊娠母猪	1.93±0.36a	5.60±0.28a	32.48±6.13 a	24.64±7.47a	119.26±42.7a	327.13±84.43a
育 肥	1.28±0.42b	2.43±0.41b	20.04±4.99b	15.25±3.05b	54.08±16.68b	223.40±26.21b
保 育	0.88±0.45b	1.45±0.55c	15.09±3.08c	7.91±2.86b	33.22±10.59b	153.67±23.5c

2.3 畜禽粪尿对水体的污染分析

2.3.1 江苏太湖地区畜禽粪便排放量 采用的数据来源于 2011 年的《常州市统计年鉴》、《苏州市统计年鉴》以及《无锡市统计年鉴》中的畜禽养殖量和水资源总量等数据。根据《畜禽养殖业污染物排放标准(GB18596—2001)》,同时参考汪开英等[14]的研究结果,对不同畜禽种类折算为生猪当量。即 2011 年江苏省太湖地区畜禽年末存、出栏量折算生猪当量为 584.36 万头(表 4)。

由于牛和羊的生长期较长,将牛和羊的年末存栏量作为一年中稳定的饲养量;猪、家禽的饲养周期不足 1 a,所以将年末出栏量作为稳定的饲养量。在未考虑饲养周期的前提下,采用该计算方法:存/出栏量(头/只)×日产污系数(kg/d)×365 d。根据所得的产污系数估算 2011 年江苏省太湖地区畜禽养殖业粪尿产量为 1.93×10^7 t。其中,TN 为 4.81×10^4 t,TP 为 3.40×10^4 t,COD 为 1.47×10^5 t,有机质为 5.01×10^5 t。

表 4 江苏省太湖地区 2011 年各类畜禽年末饲养量

畜禽种类	年末饲养量/10^4 头	换算系数	生猪当量/10^4 头
猪	259.89	1.000	259.89
牛	3.90	7.500	29.25
羊	17.70	0.330	5.84
家禽	7 821.09	0.037	289.38
总量	—	—	584.36

畜禽粪尿在清粪冲洗和堆置贮存过程中极易流失进入水体,但在不同区域、不同管理水平下畜禽粪尿的流失率有很大差异。张维理等[15]研究表明畜禽粪便污染物进入水体的流失率在 2%～8%的范围内,液体排泄物则可能会达到 50%。太湖流域水系发达,降水充沛,同时参考孔源、段勇等[16-17]的研究结果,将畜禽粪尿进入水体流失率定为 30%。据此计算,2011 年江苏省太湖地区畜禽养殖业共水体排放污染物 TN,TP 和 COD 共 2.19×10^5 t(表 5),其中,COD 最高,占到了总量的 88.75%,TN 和 TP 分别占总量的 6.59%和 4.66%。从区域角度看,各地区的畜禽粪污染物排放量也存在差异,常州市污染物排放量最高,达到 9.88×10^4 t,占江苏省太湖地区污染物排放总量的 45.14%。原因是常州地区畜禽养殖业较为发达,规模化畜禽养殖场较多,畜禽养殖数量大,畜禽污染物排放量自然也较多。苏州市的畜禽污染物排放量最少,为 5.32×10^4 t,占总量的24.32%,这是因为苏州市经济较为发达,农业人口较少,畜禽养殖数量少,污染物排放量也相对较低。利用污染物扩散浓度可以表征农业面源污染对水环境的影响程度。2011 年江苏省太湖地区因畜禽养殖业向水体排放的 TN,TP 和 COD 浓度分别为 1.46,1.03,19.62 mg/L,其中常州市的 3 种污染物扩散浓度均超过地表水环境质量Ⅲ级标准(COD 为 20 mg/L,TN 为 1 mg/L,TP 为 0.2 mg/L),TP 的排放浓度更是远高于 0.2 mg/L。苏州市和无锡市的 TN 和 TP 均超过地表水环境质量Ⅲ级标准。TN,TP,COD 的扩散浓度均以常州市最高。

表 5　畜禽粪便污染物排放量和扩散浓度

地区	排放总量/t	排放量/t			扩散浓度/(mg·L^{-1})		
		TN	TP	COD	TN	TP	COD
常州	98 809.26	6 509.87	4 602.94	87 696.46	2.22	1.57	29.85
苏州	53 232.60	3 507.13	2 479.79	47 245.68	1.09	0.77	14.74
无锡	66 830.24	4 402.99	3 113.23	59 314.03	1.17	0.83	15.78
合计	218 872.10	14 419.98	10 195.96	194 256.16	1.46	1.03	19.62

2.3.2　**畜禽养殖业等标排放量与等标污染指数**　等标污染负荷是污染评价中经常使用的评价指标,它主要反映污染源本身潜在的污染水平,采用等标污染负荷法对污染物进行评价,用污染物的排放量除以环境中污染物的限量标准,把污染物的排放量转化为"把污染物全部稀释到评价标准所需的介质量"。计算结果不但反映了污染物在量上对环境的影响,也反映了污染物在质上对环境的影响。统一转化之后,使同一污染源所排放污染物之间、不同污染源之间在对环境的潜在影响上进行比较成为可能[18-19]。本研究采用此方法对畜禽养殖业污染负荷进行评价,评价因子选择 TN,TP 和 COD。

污染物 i 的等标排放量为:　$P_i=\dfrac{C_i}{C_0}$

式中:P_i——i 污染物的等标排放量(m^3);C_i——i 污染物流失量(t/a);C_0——污染物按 GB3838—2002 的Ⅲ类标准系列的阈浓度(COD 为 20 mg/L,TN 为 1 mg/L,TP 为 0.2 mg/L)。

等标污染指数=该地区污染源等标排放量/该地区水资源总量

根据上述结果以及计算公式,计算得出各地区畜禽养殖业污染物等标排放量(表 6)和等标污染指数(图 1)。2011 年江苏省太湖地区畜禽养殖业污染物等标排放总量达 7.51×10^{10} m^3,TN,TP 和 COD 分别占等标排放总量的 19.20%,67.87%和 12.93%,说明江苏省太湖地区畜禽粪便对水环境的污染主要是 TP,其次是 TN 和 COD 的污染。常州市的等标排放总量最高,达 3.39×10^{10} m^3,说明常州市对畜禽污染物的排放贡献最大。

2011 年江苏省太湖地区常州市、苏州市、无锡市的等标污染指数分别为 11.54,5.70 和 6.10,各地区等标污染指数存在差异。常州市等标污染指数最高,远高于平均值 7.78,这与常州市等标排放量最多,而水资源量最少也有关系。从图 1 可以看出常州、苏州、无锡 3 种污染物的等标污染指数最高为 TP,其次为 TN 和 COD,说明 TP 对水体的污染负荷最大,COD 污染负荷最小。

参照《地表水环境质量标准(GB3838—2002)》中相应水质分级标准,本研究中将等标污染指数划分为 5 个等级:等标污染指数在 0～5 范围为Ⅰ级,对水体无污染风险;5～10 范围为Ⅱ级,对环境稍有污染;10～15 范围为Ⅲ级,对环境有污染;15～20 范围为Ⅳ级,对环境污染较严重;20 以上为Ⅴ级,对环境污染严重。由上述结果可知,2011 年江苏省太湖地区畜禽污染物对水体的污染程度在Ⅱ级的为苏州市和无锡市;对水体的污染程度在Ⅲ级的为常州市。

表 6 畜禽粪便污染物等标排放量

地区	等标排放总量/10^{10} m^3	等标排放量/10^{10} m^3		
		TN	TP	COD
常州	3.39	0.65	2.30	0.44
苏州	1.83	0.35	1.24	0.24
无锡	2.29	0.44	1.56	0.30
合计	7.51	1.44	5.10	0.97

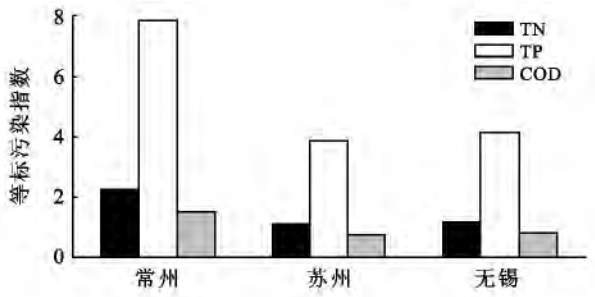


图 1 研究区畜禽粪便污染物等标污染指数

2.3.3 畜禽养殖业主要污染源 采用区域内污染源或污染物的等标污染负荷比可确定主要污染源和污染物。根据畜禽养殖业不同粪污排放源和污染物的等标污染负荷比(表 7)可以看出,2011 年江苏太湖地区畜禽养殖业主要污染源依次是家禽、猪、牛和羊,其等标污染负荷比分别达到了 49.52%,44.47%,5.01%和 1.00%。虽然家禽的个体产污量不高,但是养殖数量却是最高的,说明畜禽养殖业的污染物排放量不仅与养殖种类有关,还与饲养数量有关。畜禽养殖业最主要的污染物是 TP,其等标污染负荷比达到了 67.87%。

表 7 畜禽养殖业等标污染负荷比

污染来源	等标污染负荷比/%			
	TN	TP	COD	合计
牛	0.96	3.40	0.65	5.01
猪	8.54	30.19	5.75	44.47
羊	0.19	0.68	0.13	1.00
家禽	9.51	33.61	6.40	49.52
合计	19.20	67.87	12.93	100.00

3 结论

(1) 通过选取典型规模化养猪场进行定点监测,测算得出该养殖场的产污系数,以此测算畜禽养殖业粪污排放量,该方法有利于更准确的评估畜禽养殖业对水体污染的贡献。试验结果得出:妊娠母猪、育肥和保育 3 个饲养阶段的全氮产污系数分别为每头 32.48,20.04 和 15.09 g/(头·d),全磷分别为 24.64,15.25,7.91 g/(头·d),COD 分别为 119.26,54.08,33.22 g/(头·d),有机质分别为 327.13,223.40,153.67 g/(头·d),产粪量分别为 1.93,1.28,0.88 kg/(头·d),产尿量分别为 5.60,2.43,1.45 L/(头·d)。

(2) 2011 年江苏省太湖地区畜禽养殖业 TN,TP,COD 的排放量分别为 1.44×10^4 t,1.02×10^4 t,1.94×10^5 t,相应的等标排放量分别为 1.44×10^{10} m^3,5.10×10^{10} m^3,9.71×10^9 m^3。因畜禽养殖业引起的 TN,TP,COD 扩散浓度分别为 1.09~2.22 mg/L,0.77~1.57 mg/L,14.74~29.85 mg/L,常州市的 TN,TP,COD 以及苏州市和无锡市的 TN 和 TP 扩散浓度均超过地表水环境质量Ⅲ级标准。

(3) 2011 年江苏省太湖地区畜禽养殖业污染物等标污染指数常州市、苏州市、无锡市分别为 11.54,5.70 和 6.10。因此造成的水体污染程度,苏州市和无锡市为Ⅱ级,常州市为Ⅲ级。叶飞等[20]利用统计年鉴和相关数据估算了 2002 年江苏省各地区畜禽粪便污染源等标污染指数,相比本研究结果,2011 年常州市和无锡市等标污染指数分别升高 155.31%和 14.45%,苏州市等标污染指数降低 19.31%。说明常州市和无锡市的畜禽污染程度是增加的,尤其是常州市对水体污染程度较高;苏州市虽有降低,但对水体仍然存在污染。

(4) 2011 年江苏省太湖地区畜禽养殖业最主要的污染物来源是家禽和猪,其贡献率分别为 49.52%和 44.47%,因此,应加强对家禽和猪的粪尿污染物控制。主要污染物是 TP,其贡献率为 67.87%。宋大平等[10]研究表明安徽省畜禽粪便对水体的主要污染物为 TP,与本研究结果一致,说明 P 素对水环境的污染应该引起重视。

[参 考 文 献]

[1] 陈吉宁,李广贺,王洪涛. 滇池流域面源污染控制技术研究[J]. 中国水利,2004(9):47-50.

[2] 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.

[3] 全为民,严力蛟. 农业面源污染对水体富营养化的影响及其防治措施[J]. 生态学报,2002,22(3):291-299.

[4] 刘滨疆,满都拉,徐纬. 集约化畜禽场的污染问题及防治措施选评[J]. 农业工程技术:农产品加工,2002(3):21-22.

[5] Michael A M, Lawrence B C. Industrialized animal production: A major source of nutrient and microbial pollution to aquatic ecosystems[J]. Population and Environment, 2003, 24(5): 369-385.

[6] Burkholder J, Libra B, Weyer P, et al. Impacts of waste from concentrated animal feeding operations on water quality[J]. Environmental Health Perspectives,

2007, 115(2): 308-312.

[7] 张玉珍,洪华生,曾悦,等. 九龙江流域畜禽养殖业的生态环境问题及防治对策探讨[J]. 重庆环境科学,2003,25(7):29-31,34.

[8] 阎波杰,赵春江,潘瑜春,等. 大兴区农用地畜禽粪便氮负荷估算及污染风险评价[J]. 环境科学,2010,31(2):437-443.

[9] 高新昊,张绍迎,江丽华,等. 山东省农业污染综合分析与评价[J]. 水土保持通报,2010,30(5):182-186.

[10] 宋大平,庄大方,陈巍. 安徽省畜禽粪便污染耕地、水体现状及其风险评价[J]. 环境科学,2012,33(1):110-116.

[11] 彭里,王定勇. 重庆市畜禽粪便年排放量的估算研究[J]. 农业工程学报,2004,20(1):288-292.

[12] 庞凤梅,李鹏, 李玉浸,等. 天津市畜禽粪便年排放量估算及控制对策研究[J]. 农业环境与发展,2008,25(3):82-85.

[13] 汪清平,王晓燕. 畜禽养殖污染及其控制[J]. 首都师范大学学报:自然科学版,2003,24(2):96-101.

[14] 汪开英,刘健,陈小霞,等. 浙江省畜禽业产排污测算与土地承载力分析[J]. 应用生态学报,2009,20(12):3043-3048.

[15] 张维理,武淑霞,冀宏杰,等. 中国农业面源污染形势估计及控制对策(Ⅰ):21 世纪初期中国农业面源污染的形势估计[J]. 中国农业科学, 2004,37(7):1008-1017.

[16] 孔源,韩鲁佳. 我国畜牧业粪便废弃物的污染及其治理对策的探讨[J]. 中国农业大学学报,2002,7(6):92-96.

[17] 段勇,张玉珍,李延风,等. 闽江流域畜禽粪便的污染负荷及其环境风险评价[J]. 生态与农村环境学报,2007,23(3):55-59.

[18] 徐成汉. 等标污染负荷法在污染源评价中的应用[J]. 长江工程职业技术学院学报,2004,21(3): 23-23,50.

[19] 孙亚梅,钟定胜,张宏伟,等. 用单位产值等标污染负荷法评价区域工业污染源[J]. 天津大学学报:社会科学版,2007,9(2):144-147.

[20] 叶飞,卞新民. 江苏省水环境农业非点源污染"等标污染指数"的评价分析[J]. 农业环境科学学报,2005,24(S):137-140.

(上接第 123 页)

[6] 卜贵贤,李凯荣,周俊. 陕南秦巴山区小流域水土保持治理综合效益评价[J]. 水土保持研究,2011,18(6):231-235.

[7] 吴高伟,王瑄,王玉民,等. 丹东市水土保持综合效益评价模型的建立与解析[J]. 中国水土保持,2008(6):33-36.

[8] 尹 辉,蒋忠诚,罗为群,等. 湘中丘陵区水土保持效益综合评价[J]. 中国水土保持,2010(12):50-53.

[9] 张理华,周秉根,万蓉蓉,等. 皖南低山丘陵区水土保持综合评价[J]. 水土保持学报,2001,15(6):20-23.

[10] Hansen L, Ribaudo M. Economic Measures of Soil Conservation Benefits: Regional Values for Policy Assessment [R]. Washington D. C., US: US Department of Agriculture, 2008:1-25.

[11] 景可,焦菊英. 水土保持措施与效益评价研究:以陕北安塞县为例[J]. 水土保持研究,2011,18(1):132-136.

[12] 史海静,李锐. 水土保持工程综合效益评价研究:以陕西省长江流域水土流失综合治理工程为例[J]. 水土保持研究,2008,15(2):40-43.

[13] 陈维杰. 水土保持综合治理措施效益分析:以浑椿河流域为例[J]. 水利经济,2006,24(2):22-25.

[14] 华荣祥,张富,田青,等. 甘肃省水土保持措施的综合效益分析[J]. 水土保持通报,2012,32(2):211-214.

[15] 姜德文. 运用水土流失影响指数评价主体工程设计及水土保持方案[J]. 中国水土保持,2010(12):4-6.

[16] 刘卉芳,徐永年,陈超,等. 开发建设项目水土流失特点及减蚀效益分析评价[J]. 水土保持通报,2009,23(3):170 -173.

[17] 陈然,姚小军,闫超,等. 基于 GIS 和组合赋权法的农村生态功能适宜性评价及管制分区:以义乌市岩南村为例[J]. 长江流域资源与环境,2012,21(6):720-725.

[18] 刘利霞,王凤兰,徐永新. 基于熵权法的区域农村饮水安全评价:以云南省为例[J]. 水资源与水工程学报,2009,20(1):99-103.

[19] 朱坚,翁燕波,张彪,等. 基于组合赋权法的宁波市城市生态系统质量评价[J]. 中国环境监测,2011,27(1):64-68.

[20] 陈晓安,谢颂华,张磊,等. 生产建设项目水土保持综合评价[J]. 水土保持通报,2012,32(5):286-290,295.