

基于多种方法的苏南镇域土壤重金属污染评价

孟令仪¹, 徐梦洁¹, 李小曼^{1,2}, 刘勤²

(1. 南京农业大学公共管理学院, 江苏南京 210095; 2. 中国科学院南京土壤研究所, 江苏南京 210008)

摘要 以苏南小镇为依托, 采用地累积指数法、污染负荷指数法和内梅罗指数结合土壤环境质量标准的改进法对研究区域土壤重金属污染进行评价, 比较各种方法的适用性。结果表明, 内梅罗指数结合土壤环境质量标准的改进法综合了人为因素和自然因素的作用情况, 分析结果更为客观, 且污染分布的区分度较高, 兼有地累积指数法和污染负荷指数法的优点, 更适用于小尺度地区的土壤重金属污染评价。

关键词 重金属污染评价; 改进方法; 小尺度; 苏南

中图分类号 S158.4 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2016)34-0114-05

Evaluation of Soil Heavy Metal Pollution in Southern Towns of Jiangsu Province by Multiple Methods

MENG Ling-yi¹, XU Meng-jie¹, LI Xiao-man^{1,2} et al (1. College of Public and Administration, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210095; 2. Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing, Jiangsu 210008)

Abstract Taking a small town in southern areas of Jiangsu Province as an example, the soil heavy metal pollution in research area was evaluated by using geo-accumulation index method, pollution load index method and the modified method of Nemerow index combined with soil environmental quality standards. The feasibility of these methods was discussed. The results showed that the modified method of Nemerow index combined with soil environmental quality standards combined with human factors and natural factors. This method had advantages of more objective evaluation results, higher discriminability of pollution distribution. And the modified method of Nemerow index had the advantages of both geo-accumulation index method and pollution load index method, so this method was most suitable for the evaluation of soil heavy metal pollution in a small scale region.

Key words Evaluation of heavy metal pollution; Improvement method; Small scale; Southern area of Jiangsu Province

近年来, 重金属污染已经引起研究人员的广泛关注, 其主要来源包括工业污染、金属矿山开采、污水灌溉、固体废弃物处置等方面^[1]。我国在“十二五”规划通过了《重金属污染综合防治规划》, 说明对重金属污染问题的重视已经上升到国家层面。污染物在土壤中的聚集往往因人为活动的增强呈现出高度的空间变异性^[2]。此外, 土壤重金属元素含量也会随着时间的推移而发生改变^[3], 使得土壤重金属污染问题更为复杂。由于土壤重金属不易移动降解, 进入生物体后会积累下来, 并对生物体产生不利影响, 甚至可以通过食物链影响人类健康^[4]。因此, 了解土壤中重金属的含量与空间分布, 并进行污染评价, 对于土壤重金属污染防治乃至维护人体健康都具有十分重要的意义。研究表明, 人为来源是导致土壤重金属污染问题的首要因素^[5]。

在城镇化发展飞速的苏南地区, 因乡镇企业大力发展和监管力度缺乏而导致的村镇地区土壤重金属污染问题十分严重^[6]。乡镇是连接农村和城市的桥梁与纽带, 在接受大中型城市辐射的同时, 带动着周围广大农村经济和社会的发展, 并促进农民生活水平的提高^[7]。随着苏南乡镇企业的快速发展, 环境问题也随之而来。由于乡镇监管力度薄弱, 乡镇企业的厂房设施一般较为简陋, 重金属物质排放不合理, 土壤受到人为因素的严重改变^[8], 使得土壤重金属污染成为苏南乡镇环境的严峻问题^[9]。由于重金属在土壤中迁移缓慢, 较小的尺度更能反映污染的真实性, 所以开展以村镇为单位的小尺度土壤重金属污染研究显得更为重要。

土壤重金属污染研究中, 评价方法也是十分重要的研究内容。目前, 国内外应用较多的土壤重金属评价方法有内梅罗指数法^[10]、环境风险指数法^[11]、灰色聚类法^[12]等, 其中内梅罗指数法应用最为广泛, 并对该方法进行了改进。在土壤重金属污染评价时, 所采用的基准值往往简单划一, 未能因地制宜, 反映研究区域的实际情况; 研究人员也往往只使用一种评价方法, 评价结果唯一, 缺乏可比性, 难以从中择优。同时, 重金属污染评价的范围一般趋向大中尺度, 小尺度的研究较为少见。笔者以苏南小镇为依托, 采用地累积指数法、污染负荷指数法和内梅罗结合土壤环境质量标准的改进法对研究区域的重金属污染进行评价, 探讨小尺度区域重金属污染评价的适宜方法, 旨在为政府部门以及环保部门的工作提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况 研究区域 Y 镇位于江苏省 C 市, 地处我国经济最活跃的区域——上海经济圈中心, 总面积约为 12.67 km²。境内四季分明, 隶属亚热带季风气候, 年平均气温为 16 ℃; 雨量充沛, 水网稠密, 年平均降水量为 1 200 mm, 土壤类型主要为水耕人为土^[13]。Y 镇高速发展工业、苗木种植、水产养殖、农业观光旅游, 其中工业产值占该镇总产值的 90% 以上。工厂主要集中在东部, 尤其是东南部地区, 主要有纺织厂、印染厂、机械制造厂、五金厂、温室制造厂等。经调查, Y 镇有大型铜管厂、金属材料厂和电镀厂, 很多工厂的废水、废渣中都含有重金属。

1.2 样品采集与前期处理 采用格网布点法与半随机布点法相结合的采样方法。在乡镇工业区范围以外的研究区内以 500 m 格网布点; 乡镇工业区内由于厂房众多, 并且排列不规则, 同时要避开道路等设施不便于采用格网的形式, 因

基金项目 国家科技支撑计划项目(2012BAJ24B06)。

作者简介 孟令仪(1992-), 女, 江苏南京人, 硕士研究生, 研究方向: 土地利用与土地规划。

收稿日期 2016-09-19

此采取加密布点的方式,加密时一部分考虑了主要污染源,一部分随机布点,尽量覆盖景观草坪、居民地、工厂、水稻田、养殖水面等不同的土地利用类型。采样时间为2014年10月21—22日,用土壤样品采样器(型号为WN0306)采取用于重金属分析的土壤样品。采样时用手持式GPS精确定位,采集表层0~20 cm土壤。其中,每个样点分别向4个方向辐射约2 m(5 m×5 m方格内),共采集5次。将5份样品均匀混合制成该样点的样品,并标号,共采集110个样。工厂附近200 m以内的点占43.64%,农作物及附近50 m以内的点(包含居民区内零碎菜地、农业科技园等)占22.72%。

采集的土壤样品带回实验室,置于阴凉处,室温下使其自然风干。将风干的土壤样品用木棒压揉捻碎过20目的尼龙筛,并分成2份,1份样品进行pH的测定,另1份样品研磨后过100目的尼龙筛并充分混合均匀,装瓶并贮存于干燥器内备用。

1.3 样品分析 土样pH的测定使用便携式pH计(SG8-

FK)采用玻璃电极法进行测定,水土比为2.5:1。测定土壤中Cr、Cu、Zn、Ni、Pb、Cd、As、Hg等重金属含量,其中Cr、Cu、Zn、Ni、Pb、Cd前处理采用了HF-HClO₄-HNO₃三酸高温消解,Cr、Cu、Zn、Ni采用电感耦合等离子光谱法(ICP-AES)测定^[14],Pb和Cd含量使用液相色谱电感耦合等离子体质谱仪(HPLC-ICP-MS)测定,As和Hg含量使用GB/T 22105.1-3—2008王水溶液沸水浴消化原子荧光光度计法(AFS-230E、AFS-9700)测定。重金属分析测试过程中均用GSS-4、GSS-5标准参考土样进行全程质量控制。

1.4 主要评价方法

1.4.1 土壤重金属污染评价标准。土壤背景值是土壤环境评价的基准值,同时也是土壤污染态势预报、土壤环境容量计算、土壤环境质量标准确立以及制定国民经济发展规划的重要基础数据^[15]。为真实反映Y镇的实际情况,笔者采用当地土壤背景值作为评价基准(表1)。

该研究采用地累积指数法、污染负荷指数法和内梅罗指

表1 土壤质量标准及背景值

Table 1 Quality standard and background values of soil

mg/kg

元素 Element	苏南土壤自然背景值 ^[16] Natural background values of soil in southern area of Jiangsu Province	土壤环境质量标准值 (一级,水田) ^[17] Standard values of soil environmental quality (First class, paddy field)	土壤环境质量标准值(二级, pH6.5~7.5,水田) ^[17] Standard values of soil environmental quality (Second class, paddy field, pH 6.5~7.5, paddy field)	土壤环境质量标准值 (三级,pH>6.5,水田) ^[17] Standard values of soil environmental quality (Third class, pH>6.5, paddy field)
Cu	22.78	35.00	100.00	400.00
Pb	20.39	35.00	300.00	500.00
Zn	73.02	100.00	250.00	500.00
Cd	0.12	0.20	0.30	1.00
Ni	29.12	40.00	50.00	200.00
Cr	65.72	90.00	300.00	400.00
As	8.80	15.00	25.00	30.00
Hg	0.16	0.15	0.50	1.50

数法结合土壤环境质量的修正方法等多种方法评价Y镇重金属污染状况。

1.4.2 地累积指数法。1969年,德国科学家Muller^[18]提出地累积指数法,用于量化评价沉积物重金属污染程度的指标^[19],并根据计算得到的地累积指数I将评价结果的等级分为:无—中、中—强、强—极强。这种划分使污染程度更为详细,提醒人们及时控制污染,防止其恶化到更高级别。

1.4.3 污染负荷指数法。污染负荷指数法是Tomlinson等提出的基于土壤背景值和采样点多种元素的一种求积的污染评价方法。该方法的评价公式为:

$$CF_i = C_i / C_{0i} \quad (1)$$

$$PLI = \sqrt[n]{CF_1 \times CF_2 \times \dots} \quad (2)$$

$$PLI_{zone} = \sqrt[m]{PLI_1 \times PLI_2 \times \dots} \quad (3)$$

其中, C_i 为元素*i*的实测值(mg/kg); C_{0i} 为元素*i*的评价标准(mg/kg); n 为评价元素的个数; m 为评价点的个数(即采样点的个数); CF_i 为某单一金属最高污染系数; PLI 为某点污染负荷指数; PLI_{zone} 为评价区域污染负荷指数。若 $PLI < 1$,则污染等级0,无污染;若 $1 \leq PLI < 2$,则污染等级I,中等污染;若 $2 \leq PLI < 3$,则污染等级II,强污染;若 $PLI \geq 3$,则污染等

级III,极强污染。

1.4.4 基于内梅罗指数法结合土壤环境质量的修正方法。内梅罗指数法(综合污染指数法)是一种兼顾极值或突出最大值的计权型多因子环境质量指数法^[20]。该方法包括单项污染指数法和综合指数法,其中单项污染指数法能够准确反映某种重金属元素的污染程度,计算公式及分级标准参见相关文献^[1]。

直接采用内梅罗指数法评价,仅在公式中依据当地土壤背景值或土壤环境质量评价标准来计算,安全系数较小,且规范性和可比性欠佳。笔者在研究区域进行了评价试点,并最终确定采用内梅罗指数结合土壤环境质量标准修正评价法。此方法是对评价体系及公式都作出改进,而不是仅对公式进行改进,使得评价结果更加合理,不会过宽或过严,使得评价价值比较充分地分布在相应区间,可比性增强,更符合评价的实际需要。将国家土壤环境质量标准(GB 15618—1995)的三级标准分别作为评价的各级污染的初始值,将土壤重金属污染分为4级,并在划分级别上也进行相应调整。

2 结果与分析

采用上述方法分别对研究区土壤中的8种重金属元素

进行污染评价,对采样点进行分级统计。为了更直观地反映研究区的整体污染状况,选用插值效果较好的径向基函数法的高次曲面函数对样点土壤环境质量分类评价结果进行空间插值,并运用 ArcGIS 软件进行等值线图的绘制。

2.1 基于地累积指数的重金属污染评价 地累积指数是通过扣除重金属背景含量从而获取由人为原因所引起的重金

属积累。该研究选取苏南地区土壤背景值作为基准。由表 2 可知,污染强度最高的是 Cd 元素。除 Ni、Cr 和 As 以外,其他元素都达到中—强、强度污染,其中,Hg、Cd 强度污染所占比例较高,而 Hg、Pb、Cd 在中—强及中度污染所占比例非常高,尤其是 Pb 中度污染的样点达到 68 个,而 Hg 在中—强度污染样点达到 35 个。

表 2 地累积指数法评价结果

Table 2 Evaluation results of geoaccumulation index method

重金属元素 Elements	无污染 No pollution		无—中 From no pollution to medium pollution		中度污染 Medium pollution		中—强 From medium pollution to heavy pollution		强度污染 Heavy pollution		强—极强 From heavy pollution to strongly heavy pollution		极强污染 Strongly heavy pollution	
	样品数 Sample number 个	所占比例 Proportion %	样品数 Sample number 个	所占比例 Proportion %	样品数 Sample number 个	所占比例 Proportion %	样品数 Sample number 个	所占比例 Proportion %	样品数 Sample number 个	所占比例 Proportion %	样品数 Sample number 个	所占比例 Proportion %	样品数 Sample number 个	所占比例 Proportion %
Cu	16	14.55	81	73.64	10	9.09	3	2.73	0	0	0	0	0	0
Ni	31	28.18	74	67.27	5	4.55	0	0	0	0	0	0	0	0
Zn	65	59.09	34	30.91	9	8.18	1	0.91	1	0.91	0	0	0	0
Cr	100	90.91	5	4.55	5	4.55	0	0	0	0	0	0	0	0
Cd	5	4.55	27	24.55	49	44.55	24	21.82	4	3.64	1	0.91	0	0
Pb	0	0	11	10.00	68	61.82	30	27.27	1	0.91	0	0	0	0
As	109	99.09	1	0.91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hg	21	19.09	16	14.55	30	27.27	35	31.82	8	7.27	0	0	0	0

由表 3 可知,各元素的累积指数变化范围最大的是 Cd,说明 Cd 局部污染非常严重,区域污染程度参差不齐。I 值均值从大到小排序依次为 Pb、Cd、Hg、Cu、Ni、Zn、Cr、As。Pb 元素极值污染程度不高,但整体污染严重,都大于 1 级,地累积指数法将其归为中度污染。

表 3 地累积指数均值评价结果

Table 3 Evaluation results of average values of geoaccumulation index

重金属元素 Elements of heavy metals	I 值等级范围 Degree of I value	评价结果(均值) Evaluation results (mean)	累积污染程度 Accumulative pollution degree
Cu	0~3	0.45	无—中
Ni	0~2	0.21	无—中
Zn	0~4	0.02	无—中
Cr	0~2	-0.38	无
Cd	0~5	1.49	中
Pb	1~4	1.69	中
As	0~1	-0.70	无
Hg	0~4	1.35	中

2.2 基于污染负荷指数的重金属污染评价

2.2.1 最高污染系数(CF)。以苏南地区背景值作为评价标准,对采样点 8 种重金属的最高污染系数进行统计。从表 4 可以看出,8 种元素的污染强度从强到弱依次为 Hg、Pb、Cd、Cu、Zn、Ni、Cr、As,这与地累积指数的污染程度均值排序较为一致。这说明 Hg 和 Pb 的污染最为严重,对区域污染负荷贡献最大。此外,各采样点元素的污染系数极差较大,变化范围大,元素之间相差几倍甚至几十倍,而标准偏差偏小,所以元素含量分布可能存在一定规律性,值得深究。

2.2.2 点污染评价。根据公式和分级标准可得到 8 种重金属点污染负荷指数 PLI,4 种毒性强的重金属点污染负荷指

数 PLIHg - As (Hg、Pb、Cd、As) 及 4 种毒性相对较弱的重金属点污染负荷指数 PLICu - Cr (Cu、Ni、Zn、Cr) 的统计结果。从 8 种重金属污染负荷指数来看,没有无污染级别的样品,说明 Y 镇土壤重金属污染已经十分严峻。从 4 种毒性强的重金属点污染负荷指数来看,强污染以上样品占到 73.64%,极强污染占 33.64%,说明毒性强的重金属污染很严重。

表 4 采样点 8 种重金属的最高污染系数分析

Table 4 The analysis of the highest pollution coefficient for 8 kinds of heavy metals in sampling points

重金属元素 Elements of heavy metals	平均值 Mean	最大值 Maximum	最小值 Minimum	极差 Range	标准差 Standard deviation
Cu	2.19	6.62	0.91	5.71	0.95
Ni	1.87	5.78	0.08	5.69	0.77
Zn	1.87	17.92	0.58	17.34	1.94
Cr	1.26	5.07	0.05	5.02	0.70
Cd	5.15	37.72	0.95	36.77	4.25
Pb	5.18	16.49	2.34	14.15	2.10
As	0.93	1.78	0.52	1.26	0.15
Hg	5.46	19.55	0.41	19.15	4.18

从图 1 可以看出,Hg、Pb、Cd、As 综合污染程度不仅从覆盖范围上,而且从污染级别上都要远大于 Cu、Ni、Zn、Cr。毒性强的元素污染总体分布在东北、西南区域,绝大部分污染程度在强污染以上,只有西北部地区污染在中污染水平,其余污染都在强污染以上。

2.2.3 区域污染评价。4 种毒性强的重金属区域污染负荷指数为 2.91;4 种毒性相对较弱的重金属区域污染负荷指数为 1.58;8 种重金属区域污染负荷指数为 2.15。研究区重金属污染整体为强污染,尽管毒性较弱的重金属污染负荷指数

只有中等污染,但是毒性强的重金属污染指数接近极强污染,对生物健康危害极大。因此,综合评价结果为强污染。

2.3 基于内梅罗指数结合土壤环境质量标准的重金属污染评价 由表 5 和表 6 可知,Hg 和 Cd 的污染程度较大。在中度污染部分,Ni、Hg、Cd 的比例较修正前大幅提高,在轻度污

染方面,除了 Cd 下降外,Hg 和 Ni 基本持平,其余元素较修正前均有所上升,其中上升最为明显的是 Pb、Cu、Zn。改进后的多因子综合污染评价,与修正前相比, $P_{\text{综}}$ 值从 1.98 上升为 2.20,即从原来的轻度污染上升为中度污染。

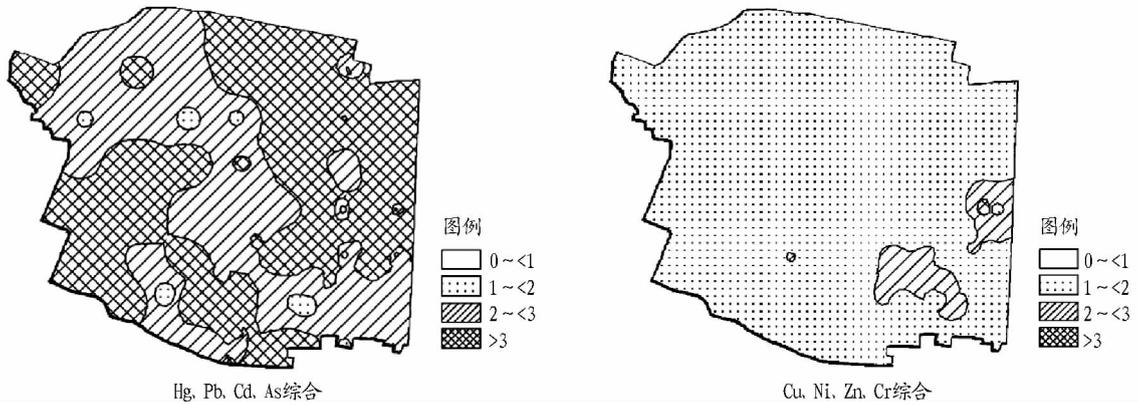


图 1 点污染负荷指数评价结果

Fig.1 Evaluation results of point pollution load index

表 5 改进后的单项污染指数评价结果

Table 5 The evaluation results of modified single pollution index

重金属元素 Elements of heavy metals	无污染 No pollution		轻度污染 Light pollution		中度污染 Medium pollution		重度污染 Heavy pollution	
	样品数 Sample number 个	所占比例 Proportion %						
Cu	17	15.45	89	80.91	4	3.64	0	0
Ni	19	17.27	42	38.18	49	44.55	0	0
Zn	57	51.82	44	40.00	7	6.36	2	1.82
Cr	94	85.45	15	13.64	1	0.91	0	0
Cd	5	4.55	18	16.36	75	68.18	12	10.91
Pb	0	0	109	99.09	1	0.91	0	0
As	109	99.09	1	0.91	0	0	0	0
Hg	11	10.00	28	25.45	52	47.27	19	17.27

表 6 改进后单因子综合污染指数评价

Table 6 The evaluation results of modified comprehensive pollution index of single factor

重金属元素 Elements of heavy metals	\bar{P}_j	$P_{j\max}$	$P_{\text{综}2}$	污染程度 Pollution degree
Cu	0.50	1.51	1.12	轻度
Ni	1.09	3.36	2.50	中度
Zn	0.54	5.23	3.72	重度
Cr	0.28	1.11	0.81	轻度
Cd	1.99	14.59	10.41	重度
Pb	0.35	1.12	0.83	清洁
As	0.33	0.63	0.50	清洁
Hg	1.78	6.37	4.68	重度

3 结论

从评价结果来看,地累积指数法相对客观,分级更加准确,没有夸大局部值的效果,且相对污染负荷指数法更能反映人为因素和自然因素的综合作用情况,分析结果更为客观;污染负荷指数法比地累积指数法更能反映实际情况,且污染分布的区分度较高,更加形象清晰。

结合土壤环境质量的内梅罗指数法,改进后的单项污染指数污染程度普遍上升一个级别,并且增强了区分度,污染评价结果更为准确,对于 Pb、Cd 污染指数普遍较高的能够合理地区分污染程度,而不是全部归为无污染的级别,改进方法比改进前的规范性和可比性有所提高。改进后的指数计算方式更为科学、规范,不会出现过大或过小的值,不会使最后的污染指数偏差较大。改进后的单因子综合指数排序发生了较大的变化,Zn 位居第 2,说明它保留了内梅罗指数重视极值的特点;Pb 和 Cu 排名有所提前,说明它也改进了内梅罗指数不关注中间值及普遍污染程度的缺点。整体来看,污染程度较改进前有所上升,如 Cu、Cr 和 Pb 的污染级别升高,其他元素基本不变,这种评价方法更符合实际情况,优势十分明显。内梅罗结合土壤环境质量的改进法兼有前 2 种方法的优点。

该评价结果表明,毒性强的元素污染总体分布在东北和西南区域。人类活动密集的区域往往是污染来源最大的区域,同时也是污染风险较大的地区,例如纺织厂、印染厂、机械制造厂、五金厂、温室制造厂等。其中农作物种植区的污

染危害程度最大,往往需要保护,其余地区则需要进行防治。因此,在Y镇这样的小尺度区域,重金属污染评价适宜采用内梅罗指数的改进方法,因为该方法更符合实际,对于制订针对性调控措施具有更大的参考价值。

参考文献

- [1] 范拴喜,甘卓亭,李梅娟,等.土壤重金属污染评价方法进展[J].中国农学通报,2010,26(17):310-315.
- [2] LIN Y P. Multivariate geostatistical methods to identify and map spatial variations of soil heavy metals[J]. Environmental geology,2002,42(1):1-10.
- [3] 吴虹虹,戴塔根,方建武,等.长沙、株洲、湘潭三市土壤中重金属元素的来源[J].地质通报,2007,26(11):1453-1458.
- [4] 陈怀满.土壤-植物系统中的重金属污染[M].北京:科学出版社,1996.
- [5] HU Y N, CHENG H F. Application of stochastic models in identification and apportionment of heavy metal pollution sources in the surface soils of a large-scale region[J]. Environmental science & technology,2013,47(8):3752-3760.
- [6] 肖智,刘志伟,毕华.土壤重金属污染研究述评[J].安徽农业科学,2010,38(33):18812-18815.
- [7] 方如康.环境学词典[M].北京:科学出版社,2003:530.
- [8] 卢瑛,龚子同,张甘霖,等.南京城市土壤重金属含量及其影响因素[J].应用生态学报,2004,15(1):123-126.
- [9] 马成玲,周健民,王火焰,等.农田土壤重金属污染评价方法研究:以长江三角洲典型县级市常熟市为例[J].生态与农村环境学报,2006,22(1):48-53.

- [10] 潘勇军,陈步峰,肖以华,等.广州市城市森林土壤重金属污染状况及其评价[J].生态环境,2008,17(1):210-215.
- [11] 沈体忠,肖杰.绿色食品产地土壤重金属生态风险预警评估:以湖北省天门市为例[J].农产品质量与安全,2013(6):65-68.
- [12] 何厅厅,赵艳玲,李建华,等.基于GCM_CB模型的土壤重金属污染评价[J].环境工程学报,2012,6(10):3781-3786.
- [13] RAN J, WANG D, WANG C, et al. Using portable X-ray fluorescence spectrometry and GIS to assess environmental risk and identify sources of trace metals in soils of per-urban areas in the Yangtze Delta region, China[J]. Environmental science: Processes & impacts, 2014, 16(8):1870-1877.
- [14] LEIVUORI M. Heavy metal contamination in surface sediments in the Gulf of Finland and comparison with the Gulf of Bothnia[J]. Chemosphere,1998,36(1):43-59.
- [15] 夏立江,王宏康.土壤污染及其防治[M].上海:华东理工大学出版社,2001.
- [16] 钱新锋,沈国清.苏南河网地区河岸带土壤重金属污染生态风险评价[J].南京师大学报(自然科学版),2012,35(4):78-83.
- [17] 国家环境保护局南京环境科学研究所.土壤环境质量标准:GB 15618-1995[J].北京:中国标准出版社,1996.
- [18] MULLER G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River[J]. Geojournal,1969,2(3):108-118.
- [19] MULLER G. Die schwermetallbelastung der sedimente des neccars und seiner nebenflusse: Eine bestandsaufnahme [J]. Chemiker-Zeitung, 1981, 105:156-164.
- [20] NEMEROW N L. Industrial water pollution: Origins, characteristics and treatment[M]. London: Addison-Wesley Pub Co,1978.

(上接第113页)

策,改变“重化肥轻有机肥”的现象,增加有机肥的施用量,减轻化肥对环境的影响;在政府部门、有机肥企业、规模化养殖场以及种植户之间建立合理的畜禽养殖废弃物资源化利用管理模式(图7)。

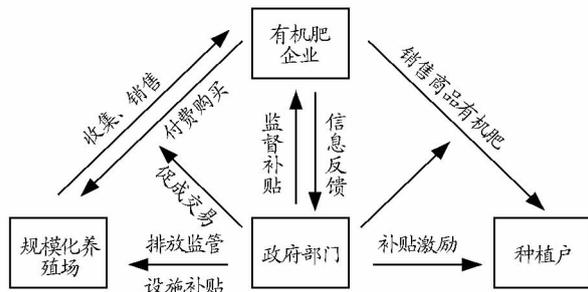


图7 畜禽养殖废弃物资源化利用管理模式

Fig.7 Management mode of resource utilization of livestock and poultry wastes

3.2.3 积极探索全过程污染治理模式。畜禽养殖污染物的产生与排放贯穿于畜禽养殖的全过程,因此,采取适宜的污染治理模式,通过源头减排、过程减量、末端治理逐步强化对畜禽养殖污染减排治理技术的研究。一是抓好畜禽养殖源头减排,采取科学的饲养配方、清洁的干清粪工艺以及生物发酵床技术,在满足畜禽生产效率与产量需求的同时,从源头削减畜禽污染产生量。二是做好畜禽养殖过程减量工作,在畜禽养殖过程中,禁止使用化学消毒药品以及抗生素类药

物,降低粪污中的污染物含量。三是开展畜禽养殖末端治理工程,实现畜禽粪便与污水的资源化循环利用与达标排放。

参考文献

- [1] 环保部,国家统计局,农业部.第一次全国污染源普查公报[Z].2010:5-10.
- [2] 王振旗,钱晓雍,沈根祥.上海市规模化畜禽场污染减排模式分析与应用[J].农业环境科学学报,2014,33(10):2030-2035.
- [3] 郭军,海热提,王芳.南昌市畜禽养殖业污染减排研究[J].环境科学与技术,2011,34(12H):88-92.
- [4] 董红敏,朱志平,黄宏坤,等.畜禽养殖业产污系数和排污系数计算方法[J].农业工程学报,2011,27(1):303-307.
- [5] 环境保护部.关于印发《“十二五”主要污染物总量核算细则》的通知[R].北京:环境保护部,2011.
- [6] 方颖,赵敏燕,吴以中,等.太湖流域畜禽养殖不同污染减排模式的环境绩效评估[J].环境科学与技术,2014,37(60):311-314.
- [7] 金成舟,方炳南,杨翘强,等.典型养殖场污水治理模式分析与比较[J].北京农业,2011(15):20-21.
- [8] 贾伟,李宇虹,陈清.京郊畜禽粪肥资源现状及其替代化肥潜力分析[J].农业工程学报,2014,30(8):156-166.
- [9] 吴根义,廖新伟,贺德春,等.我国畜禽养殖污染防治现状及对策[J].农业环境科学学报,2014,33(7):1261-1264.
- [10] 吴丽花.农户购买有机肥的影响因素分析:以江苏省为例[D].南京:南京农业大学,2010.
- [11] 李纪周.天津市规模化畜禽养殖场粪污治理及资源化利用调查研究[D].天津:中国农业科学院,2011.
- [12] HANSEN J E, LACIS A A. Sun and dust versus greenhouse gases: An assessment of their relative roles in global climate change[J]. Nature, 1990, 346(6286):713-719.
- [13] IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis[R]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [14] 刘顺平.渝东北地区生物发酵床养殖技术应用探析[J].环境与可持续发展,2015(5):191-192.
- [15] 任顺荣,邵玉翠,王正祥.天津市利用畜禽废弃物生产有机肥料的现状与问题[J].天津农业科学,2004,10(4):37-40.