

太湖流域农村生活垃圾面源污染贡献值估算

刘永德¹, 何品晶², 邵立明²

(1.河南工业大学 化学化工学院, 河南 郑州 450001; 2. 同济大学 污染控制与资源化研究国家重点实验室, 上海 200092)

摘要:农村生活垃圾是太湖流域农村面源污染的重要来源之一,选取太湖流域大浦镇农村地区为调查区域,调查农村生活垃圾产生密度和雨水径流量,确定农村生活垃圾对面源污染的贡献值。结果表明,农村生活垃圾村域产生密度为 $105.9 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ (含集贸市场垃圾),地表径流量为 $45.0 \text{ 万 m}^3 \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,农村生活垃圾弃置使径流增加的 N、P 浓度分别为 $3.3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $0.7 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (即面源污染贡献值),均超过太湖重富营养化的 N、P 浓度限值,因此,从源头上治理农村生活垃圾污染问题,避免垃圾任意堆放释放污染物,对解决太湖农村面源污染具有重要意义。

关键词:农村生活垃圾;面源污染;贡献值;太湖流域

中图分类号:X522 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-2043(2008)04-1442-04

Calculation of Contribution Value of Non-point Source Pollution of Rural Refuse in Tai Lake Region

LIU Yong-de¹, HE Pin-jing², SHAO Li-ming²

(1.School of Chemistry and Chemical Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China; 2.State Key Laboratory of Pollution Control & Resource Reuse, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Rural refuse is one of main sources of non-point source (NPS) pollution in Tai Lake Region. Contribution value of NPS pollution of rural refuse was calculated, based on the investigation of refuse generation characteristics, current situation of refuse disposal and rainfall runoff in the rural areas of Dapu Town located within the range of Tai Lake Region. The results showed that the generation rate of rural refuse (include market refuse) was 0.31 kilograms per capita per day, and 105.9 tons per square kilometer per year, nitrogen and phosphorous released from exiting rural refuse per ton were 14 kilograms and 2.8 kilograms. Extended to the entire rural areas of Tai Lake Region, total generation of rural refuse was 1 671 000 ton per year, nitrogen and phosphorous released from rural refuse per year was 23 397 tons and 4 679 tons, respectively. The rainfall runoff was 450 000 cubic meters per square kilometer per year, the rural refuse was dumped along the rivers and roads, resulting in the increment of nitrogen and phosphorous in the runoff for 3.3 milligrams and 0.7 milligrams per litre, respectively (i.e., contribution value of NPS pollution), exceeding nitrogen and phosphorous limits of super eutrophication. So, pollution problems of rural refuse were solved from source, avoiding rural refuse dumped everywhere to release pollutants, this was of great importance to solve NPS pollution in Tai Lake Region.

Keywords: rural refuse; non-point source pollution; contribution value; Tai Lake Region

太湖流域是我国经济最发达的地区之一,区域经济的联动效应使该流域的农村生产与生活模式发生了迅速的变化,其结果使该区域农村的经济发展处于全国前列(该流域县市大多居于我国的百强县市之列),但也使其环境污染水平大幅提高,农村面源污染已成为太湖流域污染的重要污染源,其中农村生活垃

圾是农村面源污染的主要来源^[1]。

生活垃圾通过倒入水体、陆上堆积等途径,释放污染物造成面源污染,同时,生活垃圾中的惰性组分在河道中积存,恶化水体的流动条件,降低河道自净容量,也进一步加重了水体污染。因此,农村生活垃圾是太湖流域农村面源污染防治的重要治理对象,有必要弄清楚农村生活垃圾对面源污染的贡献。本文选取太湖流域大浦镇农村地区作为调查区域,调查农村生活垃圾产生特征、垃圾处置现状及地表径流量,以确定农村生活垃圾面源污染贡献的大小。

收稿日期:2008-03-30

基金项目:国家“863”高技术发展计划(2002AA601012)

作者简介:刘永德(1973—),男,博士,主要从事固体废物处理与资源化研究。E-mail:liuyongde@126.com

1 方法

1.1 调查区域特征

1.1.1 自然环境状况

调查区域大浦镇,地处江苏省宜兴市东郊 3 km,东临太湖,北靠东氿,总面积 50.86 km²,属太湖水系的典型河网区,区域内河网密度为 3.3 km·km⁻²。

该区域气候四季分明,年平均日照时数为 1 941.9 h,平均气温 15.6 ℃,平均降雨量 1 205 mm,全年约 48.5%的雨量集中在夏季的 6 至 9 月。

1.1.2 社会与经济发展状况

大浦镇共有 19 个行政村,人口密度达 920 人·km⁻²(包括镇区人口),属人口稠密地区。村民居住相对集中(占 90%),聚居规模 50~400 户,仅少量散居;大部分农居沿河,路呈带状相对集中分布(占 90%)。

2003 年,大浦镇国内生产总值达到 8.2 亿元,村民人均纯收入为 5 400 元,属我国农村经济高度发达地区,村民收入来源已工业化,但居住与生活模式基本没有城镇化。

大浦镇用地状况,耕地占 45.4%,水域占 19.7%,其他用地占 34.9%。各类型土地面积及比重见表 1^[2]。

表 1 2003 年大浦镇各类型土地面积及比重

Table 1 Area and proposition of various land types in
Dapu town in 2003

类别	土地利用类型	面积/ km ²	占全镇土地面积比重/%
1	耕地 *	23.07	45.4
2	林地	5.33	10.5
3	茶园	0.82	1.6
4	果园	0.48	0.9
5	鱼塘养殖	6.33	12.4
6	村镇居民点及工矿用地	4.82	9.5
7	水域	10.00	19.7
	合计	50.86	100.0

注:* 其中蔬菜地 3.44 km²,占全镇土地面积的比重为 6.8%。

1.2 生活垃圾产生状况调查

通过在调查区域内的洋渚村(包括集贸市场)和厚和村建立并运行农村生活垃圾收集系统,每日对各收集容器中的垃圾进行称重计量,确定生活垃圾产生量,同时将收集的垃圾按四分法减量后取约 20 kg 进行人工分拣、称重,确定垃圾物理组成^[3]。

1.3 生活垃圾处置现状调查

结合环境整治,对洋渚村域积存垃圾进行彻底清理,通过核算车吨位,确定积存垃圾分布。同时,从陆上堆积的积存垃圾中取约 20 kg 进行人工分拣、称重,确定积存垃圾物理组成。并与新鲜垃圾物理组成相比较,确定每吨积存垃圾的 N、P 释放负荷。

1.4 地表径流量及垃圾面源污染贡献测算

地表径流是面源污染物运输和转移的媒介^[4],计算径流是估算面源污染物产出的前提^[5]。依据土地类型,选择相应的径流计算方法,确定径流系数,然后由年均降雨量,确定地表径流量。并结合垃圾的产生密度及积存垃圾的 N、P 释放负荷,确定农村生活垃圾面源污染贡献值。

2 结果与讨论

2.1 生活垃圾产生特征

在 2004 年 9 月至 2005 年 8 月的 1 年内,调查区域生活垃圾产生特征见表 2、表 3。由表 2 可见,农村

表 2 调查区域生活垃圾产生量特征

Table 2 Characteristics of rural refuse generation in
the investigating area

分区	洋渚居民区	洋渚集贸市场	厚和居民区	平均 *
垃圾产生率/ kg·d ⁻¹	580.1±108.2	515.2±86.2	197.7±31.2	673.1
垃圾人均产生率/ kg·(人·d) ⁻¹	0.27±0.05	1.48±0.25	0.24±0.04	0.31
村域垃圾产生密度/ t·km ⁻² ·a ⁻¹	153.3±21.9		73.0±11.0	105.9

注:* 集贸市场分布密度按每 4.4 个行政村 1 个加权计入。

表 3 农村生活垃圾物理组成

Table 3 Composition of rural refuse in the investigating area

项目		有机垃圾/%			无机垃圾/%				废品/%							毒性垃圾/%
		食品垃圾	草木	小计	灰渣土	砖石	制陶废物	小计	塑料	纸类	玻璃	金属	布类	其他	小计	
洋渚居民区	平均值	53.9	1.6	55.5	7.1	3.4	6.9	17.4	11.8	8.7	1.8	0.3	2.5	1.7	26.8	0.3
	逐周变异系数/%	8.3	95.5	6.7	29.8	36.4	27.6	16.8	17.6	9.3	27.4	52.9	33.5	41.7	12.2	29.7
厚和居民区	平均值	40.9	6.3	47.3	1.5	5.6	12.5	19.6	11.6	8.8	4.7	0.6	3.7	2.9	32.2	0.9
	逐周变异系数/%	18.5	59.2	13.9	150.8	50.4	34.8	32.4	23.0	24.3	45.0	77.9	36.3	46.9	18.9	58.8
集贸市场	平均值	57.0	0.4	57.3	23.1	0.2	1.0	24.3	8.8	5.6	1.9	0.2	1.1	0.6	18.0	0.3
	逐周变异系数/%	7.0	48.3	6.9	12.2	159.5	56.1	12.7	18.5	27.8	36.1	48.9	54.0	49.4	17.2	45.4

居民区生活垃圾产生率为 $0.24\sim0.27\text{ kg}\cdot(\text{人}\cdot\text{d})^{-1}$, 村域产生密度为 $105.9\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ (含集贸市场垃圾), 均远低于相同区位的城市^[6], 可能是因为部分垃圾消纳途径仍在发挥作用。因宜兴市农村区域集贸市场的分布密度为 4.4 个行政村存在 1 个集贸市场, 可确定集贸市场垃圾量约占该区域总垃圾量的 18%, 说明集贸市场是农村生活垃圾的一个重要产生源。

由表 3 (农村生活垃圾物理组成) 可知, 居民区和集贸市场生活垃圾均以食品垃圾为主, 含量为 40.9%~57.0%, 这与村民原生蔬菜消费习俗、集贸市场较多的饭店和小吃店有关。食品垃圾堆积过程中易生物降解释放污染物, 是垃圾面源污染的主要来源。

2.2 生活垃圾处置现状

调查发现, 示范区 2/3 生活垃圾直接入河, 污染物全部在河道内释放; 另有 1/3 的生活垃圾在距河道 150 m 以内的路边堆积, 因相距较近, 其降解产生的污染物同样会随径流汇入河流。示范区雨水充沛, 且雨热同期, 使垃圾易腐败释放出 N、P 污染水体。经取样分析和现场试验, 进入水体中垃圾的 N、P 释放周期为 2~6 个月; 沿河岸堆积垃圾 N、P 释放周期也小于 1 a^[7]。

积存垃圾物理组成见图 1, 受堆存过程中生物降解作用, 与新鲜生活垃圾相比 (表 3), 积存垃圾无机垃圾组分含量高, 易腐有机垃圾组分含量大幅下降。假定积存垃圾与新鲜生活垃圾的无机组分不变, 可以按两种垃圾样品的组分差异测算得积存期间垃圾中有机物的降解率, 以降解的有机物中植物养分 N、P 全部释放随径流进入水体计, 每吨积存垃圾的 N、P 释放负荷为: N 14 kg、P 2.8 kg。

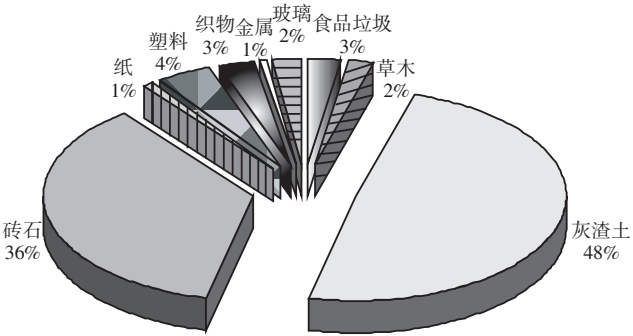


图 1 积存垃圾物理组成

Figure 1 Composition of exiting rural refuse

由垃圾产生特征可知, 村域垃圾人均产生率为 $0.31\text{ kg}\cdot(\text{人}\cdot\text{d})^{-1}$, 而太湖地区农村人口 1 477 万人,

则太湖地区整个农村每年产生的垃圾总量为 167.1 万 t, N、P 释放总量分别为 23 397 t、4 679 t。

2.3 地表径流量及垃圾面源污染贡献

根据张大弟^[8]给出的地表径流系数计算方法, 选取调查区域地表径流系数的计算方法见表 4。调查区域年均降雨量 1 205 mm, 将除蔬菜地以外的耕地划归水田, 将蔬菜地、林地、茶园、果园视为旱地, 将村镇居民点及工矿用地看作村镇用地, 而鱼塘养殖通常不产生径流, 径流系数为 0, 因水域是流动的, 水域径流系数定为 1, 从而得出调查区域各类土地的径流系数 (表 5)。

表 4 研究区域地表径流系数的计算方法

Table 4 Calculation method of the coefficient of surface runoffs in the investigating area

土地类型	回归式
	$y(\%)=a+bx(\text{mm})^*$
旱田	$y=1.66+0.014\ 8x$
村镇	$y=9.52+0.018\ 9x$
水田	$y=0.033\ 5x-12.78$

注: * x 表示降雨量, mm。

表 5 研究区域各类土地的径流系数

Table 5 Runoff coefficient of different land type in the investigating area

土地类型	径流系数/%	备注
旱地	19.5	包括蔬菜地、林地、茶园、果园
村镇	32.3	指村镇居民点及工矿用地
水田	27.6	指除蔬菜地以外的耕地
鱼塘	0.0	
水域	100.0	

根据表 1 各类型土地所占的比重和表 5 各类型土地的径流系数, 得到大浦镇区域径流系数为 37.3%, 则大浦镇区域年径流深度为 449.5 mm, 每年单位面积产生的径流量为 $45.0\text{ 万 m}^3\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。

由垃圾产生特征可知, 单位面积产生的垃圾量为 $105.9\text{ t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$, 而每吨积存垃圾的 N、P 释放负荷为: N 14 kg、P 2.8 kg, 则垃圾对面源污染的贡献可使当地径流增加的 N、P 浓度, 分别为 $3.3\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $0.7\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 根据太湖富营养化程度评价标准, 均超过重富营养化的 N、P 浓度限值 (N $2.30\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、P $0.25\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)^[9], 对太湖富营养化贡献较大。

3 结论

(1)太湖农村居民区生活垃圾产生率为 $0.24\sim 0.27 \text{ kg}\cdot(\text{人}\cdot\text{d})^{-1}$,村域产生密度为 $105.9 \text{ t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ (含集贸市场垃圾),均远低于相同区位的城市。生活垃圾物理组成以食品垃圾为主,是垃圾面源污染的主要来源。

(2)研究区域 2/3 生活垃圾直接入河,另有 1/3 的生活垃圾在距河道 150 m 以内的路边堆积,垃圾易腐败释放出 N、P 污染水体,每吨积存垃圾的 N、P 释放负荷为:N 14 kg、P 2.8 kg。扩展至整个太湖地区农村,每年垃圾 N、P 释放总量分别为 23 397 t、4 679 t,农村垃圾引起的 N、P 污染较大。

(3)研究区域每年单位面积产生的径流量为 $45.0 \text{ 万 m}^3\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,从而垃圾弃置可使当地径流增加的 N、P 浓度分别为 $3.3 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $0.7 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (即面源污染贡献值),均超过重富营养化的 N、P 浓度限值。

因此,有必要采取适当的技术措施,将农村生活垃圾收集并实现资源化,从源头上治理垃圾的污染问题^[10],避免垃圾任意堆放释放污染物,加剧太湖富营养化水平。

参考文献:

- [1] 杨林章,王德建,夏立忠.太湖地区农业面源污染特征及控制途径[J].中国水利,2004,20:29-30.
- YANG Lin-zhang, WANG De-jian, XIA Li-zhong. Features and control ways of agricultural NPS pollution in Tailake Region[J]. *China Water Resources*, 2004, 20:29-30.
- [2] 宜兴市统计局.宜兴统计年鉴-2004[M].宜兴:宜兴市统计局,2004.
- Yixing Municipal Statistics Bureau. Yixing Statistical Yearbook-2004[M]. Yixing: Yixing Municipal Statistics Bureau, 2004.
- [3] 刘永德,何品晶,邵立明,等.太湖流域农村生活垃圾产生特征及其影响因素[J].农业环境科学学报,2005,24(3):533-537.
- LIU Yong-de, HE Pin-jing, SHAO Li-ming, et al. Production and feature of rural solid wastes in Tailake Region [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2005, 24(3):533-537.
- [4] Duke L D, Buffleben M, Bauersachs L A. Pollutants in storm water runoff from metal plating facilities, Los Angeles, California[J]. *Waste Management*, 1998, 18(1):25-38.
- [5] Beuselinck L, Govers G, Hairsine P B, et al. The influence of rainfall on sediment transport by overland flow over areas of net deposition[J]. *Journal of Hydrology*, 2002, 257(1-4):145-163.
- [6] 何品晶,冯肃伟,邵立明.城市固体废物管理[M].北京:科学出版社,2003.
- HE Pin-jing, FENG Su-wei, SHAO Li-ming. Municipal solid waste management[M]. Beijing: Science Press, 2003.
- [7] 河网区面源污染控制成套技术项目组.国家高技术研究发展计划(863计划)——面源污染控制技术集成报告[R].中国科学院南京土壤研究所,2005.
- Project Group of Packaged Technology for NPS Pollution Controls of the River Network Area in Tailake Region. Hi-tech research and development program of China (863 Program)—Integrated report of technologies for NPS pollution controls[R]. Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, 2005.
- [8] 张大弟,周建平,陈佩青.上海市郊4种地表径流深度的测算[J].上海环境科学,1997,16(9):1-11.
- ZHANG Da-di, ZHOU Jian-ping, CHEN Pei-qing. Calculation of the depth of four surface runoffs in Shanghai suburbs[J]. *Shanghai Environmental Sciences*, 1997, 16(9):1-11.
- [9] 金相灿,刘鸿亮,屠清英,等.中国湖泊富营养化[M].北京:中国环境科学出版社,1990.
- JIN Xiang-can, LIU Hong-liang, TU Qing-ying, et al. Lake eutrophication in China[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1990.
- [10] 刘永德,何品晶,邵立明,等.太湖地区农村生活垃圾管理模式与处理技术方式探讨[J].农业环境科学学报,2005,24(6):538-543.
- LIU Yong-de, HE Pin-jing, SHAO Li-ming, et al. Management and treatment of rural refuse in Tailake Region[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2005, 24(6):538-543.