

农业非点源污染负荷及现状评价 ——以大苏河地区为例

孟凡祥¹, 赵倩^{1,2}, 马建^{1,2}, 陈欣¹, 史奕¹

(1. 中国科学院沈阳应用生态研究所陆地生态过程重点实验室, 沈阳 110016; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:通过对辽宁省清原县大苏河乡 2002—2007 五年间农业非点源污染基础资料的调查, 对大苏河乡农业非点源污染负荷以及现状进行评价。首先利用输出系数法得出构成大苏河地区农业非点源污染负荷的各个村落的贡献大小, 运用 SPSS 软件的聚类分析可知, 根据污染负荷的程度不同, 大苏河乡的 10 个自然村共分为三类, 其中以大苏河村和南天门村农业非点源污染负荷最为严重; 又根据等标污染负荷法, 得出浑河水系的大苏河段农业非点源污染负荷各污染源的贡献率, 且从大到小依次是: 畜禽养殖、农田化肥、人类生活。从而为大苏河地区制定控制农业非点源污染发生的措施方面提供了科学依据。

关键词:大苏河; 农业非点源污染; 输出系数法; 聚类分析; 等标污染负荷

中图分类号: X522 文献标识码: A 文章编号: 1672-2043(2010)增刊-0145-06

Evaluation of Agricultural Non-point Source Pollution Loadings in Dasu River

MENG Fan-xiang¹, ZHAO Qian^{1,2}, MA Jian^{1,2}, CHEN Xin¹, SHI Yi¹

(1. Key Laboratory of Terrestrial Ecological Process, Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China; 2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: According to the investigating of five years' agricultural non-point source pollution in Dasu River, Qingyuan County, Liaoning Province, and this paper evaluate the actuality and loadings of agricultural non-point source pollution. First the contribution of every country was got by the export coefficient modeling approach. They were divided into three parts by the cluster analysis in SPSS software, and the main pollution loading countries were Dasuhe county and Nantianmen county. Also in accordance with the method of equivalent pollution loading, the contributions of pollution sources which are livestock farm, fertilizer farm, and people living were known. In addition, non-point pollution has showed its specific characteristics in Dasu River of Hun River, which provided scientific basis for controlling agricultural non-point source pollution.

Keywords: Dasu River; agricultural non-point source pollution; the export coefficient modeling approach; the cluster analysis; the equivalent pollution loading

农田非点源污染, 主要是因土壤的扰动而引起农田中的土粒、氮磷、农药及其他有机或无机污染物质, 在降雨或灌溉过程中, 借助农田地表径流、农田排水和地下渗漏等进入水体导致污染的^[1]。随着化肥农药的大量使用以及人口的逐渐增多, 农业非点源污染已经成为继点源污染之后水体污染的主要原因

之一。单从农业生产活动对生态环境的影响角度看, 它是指在农业生产活动中, 氮素和磷素等营养物质、农药以及其他有机物、污染物质通过农田的地表径流和农田渗漏造成水环境的污染^[2], 主要包括化肥污染、农药污染、畜禽养殖污染^[3]。

就全球范围来看, 30% ~ 50% 的地球表面已受到非点源污染的影响, 并且在全世界不同程度退化的 12 亿 hm^2 耕地中, 约有 12% 是由农业非点源污染引起的^[4-5]。我国由于人口较多, 农民数量比重较大, 农业非点源污染增长迅速。1995 年, 滇池外海的总氮和总

收稿日期: 2009-09-17

基金项目: 国家重大水专项 2008ZX07208-007-002

作者简介: 孟凡祥 (1967—), 男, 辽宁建平人, 博士, 研究员, 主要从事农业生态学研究。E-mail: mfx@lninfo.gov.cn

通讯联系人: 陈欣 E-mail: chenxin@iae.ac.cn

磷负荷中,农业非点源污染分别占 53% 和 42%^[6]。2005 年,该流域的污染负荷中,来自农业非点源污染的总氮、总磷分别占 60% ~ 70% 和 50% ~ 60%^[7]。可见,农业非点源污染已经成为我国水体污染的重要方面。

1 方法与模型

1.1 研究区域概况

大苏河乡位于辽宁省中部,抚顺市清原南部,东与湾甸子镇接壤,西与永陵镇相通, E124. 954°, N41. 919°。全境南北长 42 km,东西宽 27 km,总面积为 293 km²。山区丘陵地占总面积 98%,平地占 1.1%,水面占 0.4%,是一个典型的山区乡。境内地势高,平均海拔在 400 m 以上,东南部达 500 m 以上。由东向西系长白山龙岗之脉,境内崇山峻岭,连绵纵横,最高峰——白石砬子高达 1 010 m,该乡就坐落在此山峰的北麓。气温低,无霜期短,全年仅 250 d 左右,冬寒夏凉,年平均气温 4.9℃。主要土地利用类型为林地和耕地。水利资源丰富,大小河流几十条贯穿全乡,其中大苏河、小苏河、杨家店河、沙河子河四条较大河流全部流入浑河,是浑河的主要源流。年平均降雨量为 750 ~ 850 mm。全乡有 12 个行政村,50 个居民组,66 个自然屯,总户数 2 748 户,总人口 9 779 人,耕地面积 6 288 亩,主要种植玉米,主要土壤类型为弱碱性潮棕壤。该地区以种职业和养殖业为主,农业非点源污染构成了主要污染源。

1.2 模型介绍

非点源污染(NSP)因其形成过程受区域地理、气候、土壤结构、土地利用方式、植被覆盖和降雨过程等多种因素影响,具有随机性大、分布范围广、形成机理复杂等特点^[8]。因此,运用模型方法对非点源污染进行时空模拟就成为目前研究非点源污染的重要手段,但对于大中尺度流域的非点源污染的研究一直都是薄弱环节^[9]。基于我国北方农村地区农业非点源污染的基础资料少,研究基础薄弱的环节,本文采用了经验模型——输出系数法。

输出系数法最为突出的优点就是模型结构简单、方便实用,甚至仅利用电子表格即可完成模型的运算过程。另外,模型所需资料相对较少,也比较容易得到,可以利用 GIS 等技术。模型通常以年为时段,评估和预测土地利用类型的变化等流域管理措施对非点源污染负荷量的影响。这类模型一般直接评估和预测 TP 和 TN 的负荷量,而较少涉及氮、磷元素的具体存在形式,因而减少了很多繁琐的过程并使模型结

果的可靠度大为提高^[10]。

早在上世纪 70 年代初,美国、加拿大在研究土地利用—营养负荷—湖泊富营养化关系的过程中,就提出并应用了输出系数法(或称单位面积负荷法),这就是早期的输出系数模型^[11]。而后经过长期研究与实践,Johnes 等于 1996 年发表了研究更细致,输出系数更加完备的输出系数模型,克服了早期输出系数模型的土地分类简单等缺点。该模型在土地利用分类的基础上,增加了流域内的牲畜和人口等因素,其特点是:对种植不同作物的耕地采用不同的输出系数;对不同种类牲畜根据其数量和分布采用不同的输出系数;对人口的输出系数则主要根据生活污水的排放和处理状况来选定。不仅如此,Johnes 等在总氮输入方面还考虑到植物的固氮、氮的空气沉降等因素,在很大程度上丰富了系数输出模型的内容,并提高了模型对土地利用变化的灵敏性^[12]。模型方程为:

$$L = \sum_{i=1}^n Ei[Ai(Ii)] + P$$

式中: L 为营养物流失量; Ei 为第 i 种营养源输出系数; Ai 为第 i 类土地利用类型面积或第 i 种牲畜数量、人口数量; Ii 为第 i 种营养源营养物输入量; P 为降雨输入的营养物数量。

显然,应用输出系数模型的关键在于合理的确定输出系数的值。输出系数为某一种营养物质在该种土地利用类型中每公顷所含有的质量。影响流域非点源污染物输出系数的因素很多,主要包括流域内地形地貌、水文、气候、土地利用、土壤类型和结构、地质、植被、管理措施以及人类活动等^[13]。在明确流域土地利用和人类活动情况的基础上,确定输出系数的 2 个基本途径是现场监测和查阅文献值。本文主要是应用文献查阅的方法来确定输出系数的。

污染物类型主要考虑 N、P 两种;营养源主要考虑土地利用、农村生活和畜禽养殖 3 大类;输出系数可根据资料情况和精度要求对营养源进行细分。如土地利用可按种植用地、城镇用地、自然地等采用不同的系数;农村生活可分人类排泄物和生活污水采用不同的系数;畜禽养殖可分大牲畜、猪、羊、家禽等选用不同的输出系数;营养源的数量为各土地利用类型的面积、化肥施用量,人口数或畜禽养殖量^[9]。

2 基础数据收集与结果讨论

2.1 基础数据收集

本文主要从人类生活、畜禽粪便和耕地(化肥和

农药)三个方面来确定输出系数的值。由于大苏河乡农业非点源污染主要以 N、P 污染为主,所以,城镇地区以及降雨等元素在本文中不予考虑。

通过多种途径收集大苏河地区农业非点源污染负荷的基础数据,包括大苏河乡下属十个自然村落的人口数量、耕地面积、土地利用方式、畜禽养殖情况等资料。

2.2 计算结果

2.2.1 人类生活污染排放输出系数

人类生活垃圾排放输出系数主要考虑人类生活过程中产生的污水以及排泄物。

参考高祥照等编写的《肥料实用手册》^[14]中对人粪、尿的研究,得出成年人年粪、尿排放量及 N、P 含量,即:每个成年人年排放粪、尿分别为 113.7 kg 和 579.3 kg,粪中氮、磷含量分别为 0.64% 和 0.11%,尿中氮、磷含量分别为 0.53% 和 0.04%。

参考《全国饮用水水源地环境保护规划技术》附件三“源强系数及应用”中的相关规定,农村人均生活用水量为 $70 \text{ L} \cdot \text{d}^{-1}$ (人均综合用水量的经验数据为 $50 \sim 80 \text{ L} \cdot \text{d}^{-1}$,由于大苏河地区水资源丰富,所以选用 $70 \text{ L} \cdot \text{d}^{-1}$),排污系数为 80%,所以人均综合排污水量为 $56 \text{ L} \cdot \text{d}^{-1}$,其中人均总氮排放量为 $5.0 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$,人均总磷排放量为 $0.44 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$,人均氨氮排放量为 $4.0 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$ 。根据计算,得出大苏河乡近五年不同村落生活污染排放负荷量。见下表 1 中近五年大苏河地区人为产生的农业非点源污染的氮磷平均污染负荷量。

2.2.2 畜禽粪便排放输出系数

根据国内外研究以及文献查阅,得出各种大牲畜以及猪、羊和家禽的日排泄量和排泄物中的氮、磷含量以及排放比例,从而确定输出系数。而大牲畜以牛为主,还有少量马、骡子和驴,由于其饲养方式相似,所以均以牛作为标准^[15]。猪、牛、羊以及家禽每日排

粪便量为 $4.0、25.0、2.5、0.12 \text{ kg} \cdot \text{d}^{-1}$ 。其中氮磷含量分别是 0.7% 和 0.6%、0.35% 和 0.2%、0.6% 和 0.3%;猪、牛的排尿量为 $3.5、10.0 \text{ kg} \cdot \text{d}^{-1}$,其中氮磷含量分别是 0.5% 和 0.05%、1.0% 和 0.1%;羊和家禽排尿量忽略不计。

而年粪尿的排放量计算公式为:

$$\text{年产粪量}(\text{t} \cdot \text{a}^{-1}) = \text{个体日产粪量}(\text{kg} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{头}^{-1})$$

$$\times \text{饲养期}(\text{d}) \times \text{饲养}(\text{头、只}) \times 10^{-3}$$

$$\text{年产尿量}(\text{t} \cdot \text{a}^{-1}) = \text{个体日产尿量}(\text{kg} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{头}^{-1})$$

$$\times \text{饲养期}(\text{d}) \times \text{饲养}(\text{头、只}) \times 10^{-3}$$

其中,在估算饲养时间长度时,按全年计算:猪约 300 d,牛羊生长期较长,按 365 d 计算,家禽一般以 55 d 计。所以计算结果见下表 1 中畜禽粪便排放污染负荷量的平均值。

2.2.3 农田耕地输出系数

化肥及农药被施入农田中以后,主要的去向有三:被作物吸收、残留在土壤中和随地表径流或地下径流进入河体^[8]。另外,化肥主要有氮肥、磷肥和复合肥。沈善敏在《中国土壤肥力》第四章第三节农田土壤中肥料氮的去向中认为,“在我国北方地区玉米生产中氮肥的损失一般在 26% ~ 52%,或 40% 左右”。在第五章第五节中国农业中的磷管理中有“磷肥的当季利用率明显随用量增加而下降,但是如计入磷肥的残效,则低量磷肥 5 ~ 6 a 之内的累加利用率在黑土上竟可高达 90%,在褐土上也可达到 40% 以上”^[16]。所以计算出的农田输出的负荷量见表 1 中农田耕地输出的氮磷平均负荷量。

2.3 结果讨论

通过对大苏河乡各个村落的调查及分析,可以看出近五年来大苏河乡各个村落对于流经该段的浑河河流非点源污染的具体情况(见表 1)。

表 1 近五年大苏河地区污染输出的平均负荷量($\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$)

Table 1 The average pollution loadings in 5 years($\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$)

序号	村落名称	人			畜禽			耕地			总计
		总氮	总磷	合计	总氮	总磷	合计	总氮	总磷	合计	
1	杨家店	4.85	0.45	5.30	16.18	4.54	20.72	9.43	4.36	13.79	39.81
2	钓鱼台	2.22	0.20	2.42	14.80	4.05	18.85	4.08	5.22	9.30	30.57
3	大苏河	13.53	1.25	14.78	39.94	10.39	50.33	10.83	4.59	15.42	80.53
4	小苏河	4.54	0.42	4.96	17.81	4.90	22.71	14.15	0.72	14.87	42.54
5	南天门	6.82	0.63	7.45	39.74	10.22	49.96	6.31	1.81	8.12	65.53
6	三十道河	4.45	0.41	4.86	29.27	7.87	37.14	6.40	3.78	10.18	52.18
7	和庆	4.89	0.45	5.34	14.32	3.77	18.09	4.79	3.43	8.22	31.65
8	长沙	3.62	0.33	3.95	10.88	3.08	13.96	8.14	4.85	12.99	30.90
9	平岭后	4.34	0.40	4.74	21.10	5.63	26.73	8.04	4.78	12.82	44.29
10	大堡	4.01	0.37	4.38	13.82	3.90	17.72	4.21	1.83	6.04	28.14
	总计	53.27	4.90	58.17	217.85	58.35	276.20	76.39	35.36	111.75	446.12

经过 SPSS 的聚类分析^[17]可以得到图 1。根据 10 个村落之间非点源污染负荷的差异大小,可以分成三类,大苏河村和南天门村可以为第一类,三十道河村为第二类,其余村落为第三类。从总量中也可以看出,大苏河村和南天门村产生的农业非点源污染负荷都在 65 t 以上,而三十道河村的农业非点源污染负荷则为 52.18 t 左右,其余村落除了平岭后村为 44.29 t,均在 40 t 以下。通过图 2,可以看出每一个村落对于浑河的大苏河段的非点源污染负荷的贡献率的大小。图 2 表明,大苏河村和南天门村的贡献率最大,分别为 18.1% 和 14.7%,其次为三十道河的非点源污染贡献率为 11.7%,其余村落对于这段河流的贡献率均未达到 10%。

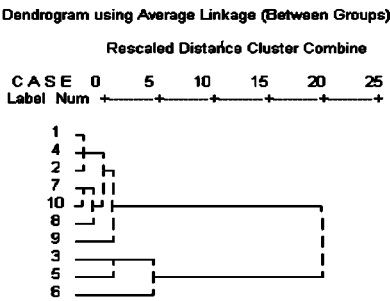


图 1 聚类树形图(图中数字为村落序号)
Figure 1 Dendrogram of 10 countries according to the pollution loadings

从基础资料调查中可以看出,大苏河村与南天门村的人口数量分别是 2 407 和 1 213,在整个乡中居于前两位,所以在人为方面,这两个村子产生的氮、磷负荷相对较多;在畜禽养殖方面来看,这两个村也是畜禽养殖量较大的村落;在耕地方面,大苏河村以 2 491 亩的耕地面积遥遥领先于其他各村。综合来看,大苏河村在整个地区的各个方面都占据了首要地位。

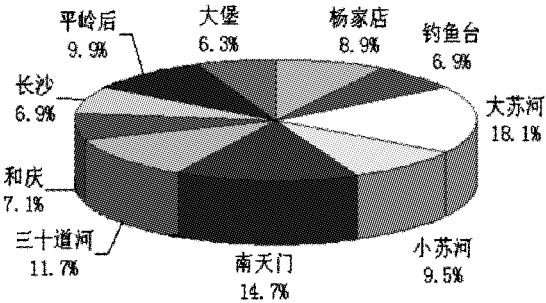


图 2 各个村落对浑河大苏河乡段的污染负荷贡献率
Figure 2 Ratio of pollution loadings from 10 countries

3 总氮、总磷负荷结果及非点源污染评价

针对大苏河地区的河流非点源污染评价采用了等标污染负荷法。某污染物的等标污染负荷是指单位时间排放的含该污染物的废水等标体积^[18]。其相应的公式如表 2。

表 2 各类等标污染负荷及负荷比计算公式
Table 2 Calculating formula of equivalent pollution loadings and its ratio

各等标污染负荷	计算公式	各等标污染负荷比	计算公式
某污染物的等标污染负荷 P_i	$P_i = \frac{C_i}{C_{oi}} Q_i \times 10^{-6}$	污染物 i 在某污染源中的污染负荷比 K_i	$K_i = \frac{P_i}{P_{iz}} \times 100\%$
某污染源的等标污染负荷 P_n	$P_n = \sum_{i=1}^n P_i$	污染物 i 在某区域中的污染负荷比 K_{iz}	$K_{iz} = \frac{P_{iz}}{P_m} \times 100\%$
某区域中的等标污染负荷 P_m	$P_m = \sum_{n=1}^m P_n$	总污染源 n 在区域中的污染符合比 K_n	$K_n = \frac{P_n}{P_m} \times 100\%$
区域中某污染物的总等标污染负荷 P_{iz}	$P_{iz} = \sum_{n=1}^z P_{in}$		

注: C_i 为污染物的实测浓度值/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$; C_{oi} 为污染物评价标准值/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$; Q_i 为污染物的废水排放量/ $\text{m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$; n 为污染物的种类; m 为污染源的个数; P_{in} 为第 n 个污染源中污染物 i 的等标污染负荷, z 为总数。

2007 年辽宁省环境公告显示,“浑河大伙房水库上游浑河清原段、苏子河、社河水质优良,符合Ⅲ类水质标准”,所以评价标准采用《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅲ类水质指标下限值^[19]。根据大苏河地区各个村落的农业非点源污染的三种污染源中总氮、总磷污染物的入河污染负荷与对应的年径流量比值作为污染物浓度值^[20],在这里,由于大苏河地

区各个村落年径流量几乎相同,浓度值直接应用污染负荷值。再根据上述等标污染负荷法计算出等标污染负荷及污染负荷比,结果如其表 3。

根据表 3 计算出来的各指标可以对大苏河地区非点源污染进行综合评价。

(1)从总氮、总磷在大苏河地区总的污染负荷比来看,总氮为 41.35%,总磷为 58.67%。这就说明,

表3 大苏河地区等标污染负荷及其污染负荷比

Table 3 Calculating results of equivalent pollution loading and its ratio

污染源	TN		TP		P_n	K_n
	P_i	K_i	P_i	K_i		
人为	53.27	6.34	24.51	2.92	77.78	9.253 024 7
畜禽	217.85	25.92	291.75	34.71	509.6	60.624 085
耕地	76.39	9.09	176.82	21.04	253.21	30.122 89
P_{Σ}	347.51	41.35	493.08	58.67	840.59*	

注:表中*为 P_m 值。

浑河在大苏河地区的河流污染负荷总磷要优于总氮,污染相对严重。这可能与河流沿岸的耕地使用的磷肥较多有关。

(2)从TN、TP在个污染源中的污染负荷比 K_i 来看,畜禽养殖在总氮和污染负荷方面占了63%和59%,成为大苏河地区总氮、总磷污染负荷来源主要部分。而从各污染源在大苏河地区的污染负荷比 K_n 可知:畜禽养殖在这三个污染来源中占据了主要地位,在60%以上,而人为因素影响最小,不足10%。因此,在控制非点源污染发生方面要着重控制畜禽养殖的规模以及饲养方式等。参见图3。

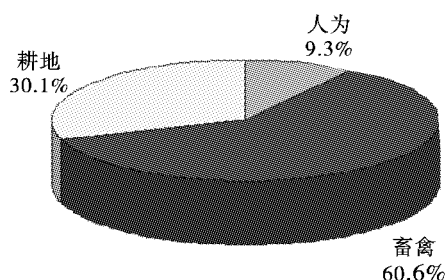


图3 各污染源在大苏河地区的等标污染负荷比 K_n

Figure 3 Ratio of equivalent pollution loading from different pollution sources in Dasuhe region

4 结论

通过对大苏河地区农业非点源污染的污染负荷输出的分析与评价,掌握了大苏河地区非点源污染的主要污染村落和主要污染源。这对大苏河地区在制定防止非点源污染的政策方面提供了科学依据,具有一定的参考价值。

参考文献:

[1] 王珊珊,梁涛.区域尺度农田氮磷非点源污染与模型应用分析

[J].地球信息科学,2005,7(4):107-112.

WANG Shan-shan, LIANG Tao. Analysis of agricultural non-point pollution and its models application[J]. *Geo-information Science*, 2005, 7(4):107-112.

[2] 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.

QUAN Wei-min, YAN Li-jiao. Effects of agricultural non-point source pollution on eutrophication of water body and its control measure[J]. *Acta Ecology Science*, 2002, 22(3):291-299.

[3] 刘鸿渊,刘险峰,闫泓.农业面源污染研究现状及展望[J].安徽农业科学,2008,36(19):8249-8250,8254.

LIU Hong-yuan, LIU Xian-feng, YAN Hong. Agricultural non-point source pollution research situation and prospect[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2008, 36(19):8249-8250,8254.

[4] Dennis L, Gorwin, et al. Non-point pollution modeling based on GIS[J]. *Soil and Water Conservation*, 1998, 1:75-88.

[5] 郝芳华,杨胜天,程红光,等.大尺度区域非点源污染负荷估算方法研究的意义、难点和关键技术[J].环境科学学报,2006,26(3):362-365.

HAO Fang-hua, YANG Sheng-tian, CHENG Hong-guang, etc. The significance, difficulty and key technologies of large scale model applied in estimation of non-point source pollution[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2006, 26(3):362-365.

[6] 郭慧光,闫自申.滇池富营养化及面源控制问题思考[J].环境科学研究,1999,12(5):43-44.

GUO Hui-guang, YAN Zi-shen. Reflection on eutrophication and non-point source control in Dianchi Lake[J]. *Research of Environmental Sciences*, 1999, 12(5):43-44.

[7] 崔键,马友华,赵艳萍,等.农业面源污染的特性及防治对策[J].中国农学通报,2006,22(1):335-340.

CUI Jian, MA You-hua, ZHAO Yan-ping, etc. Characteristic and countermeasures for control and prevention of multiple area-pollution in agriculture[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2006, 22(1):335-340.

[8] 蔡明,李怀恩,庄咏涛,等.改进的输出系数法在流域非点源污染负荷估算中的应用[J].水利学,2004(7):40-45.

CAI Ming, LI Huai-en, ZHUANG Yong-tao. Application of modified export coefficient method in polluting load estimation of non-point source pollution[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2004(7):40-45.

[9] 丁晓雯,刘瑞民,沈珍瑶.基于水文水质资料的非点源输出系数模型参数确定方法及其应用[J].北京师范大学学报(自然科学版),2006,42(5):534-538.

DING Xiao-wen, LIU Rui-min, SHEN Zhen-yao. Method for obtaining parameters of export coefficient model using hydrology and water quality data and its application[J]. *Journal of Beijing Normal University (Natural Science)*, 2006, 42(5):534-538.

[10] 李怀恩,庄咏涛.预测非点源营养负荷的输出系数法研究进展与应用[J].西安理工大学学报,2003,19(4):307-312.

LI Huai-en, ZHUANG Yong-tao. The export coefficient modeling

- approach for load prediction of nutrient from non - point source and its application[J]. *Journal of Xi'an University of Technology*, 2003, 19(4):307 - 312.
- [11] Thornton J A. Assessment and control of non - point source pollution of aquatic ecosystems; a practical approach[M]. Pearl River, New York: The Parthenon Publishing Group, 1999:296 - 299.
- [12] Johnes P J. Evaluation and management of the impact of land use change on the nitrogen and phosphorus load delivered to surface waters; the export coefficient modeling approach[J]. *Journal of Hydrology*, 1996, 183:323 - 349.
- [13] 刘瑞民, 杨志峰, 丁晓雯, 等. 土地利用/覆盖变化对长江上游非点源污染影响研究[J]. *环境科学*, 2006, 27(12):2407 - 2414.
- LIU Rui - min, YANG Zhi - feng, DING Xiao - wen, etc. Effect of land use/cover change on pollution load of non - point source in upper reach of Yangtze River Basin[J]. *Environmental Science*, 2006, 27(12):2407 - 2414.
- [14] 高祥照, 等. 肥料实用手册[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002.
- GAO Xiang - zhao, et al. A practical handbook for fertilizer[M]. Beijing: Chinese Agriculture Science Press, 2002.
- [15] 刘振锋. 石头口门水库双阳河流域农业非点源污染发生潜力评价[D]. 长春: 东北师范大学, 2004.
- LIU Zhen - feng. Evaluation on agricultural non - point source pollution potential of Shuangyang catchment in Shitoukoumen Reservoir [D]. Changchun: Northeast Normal University, 2004.
- [16] 沈善敏. 中国土壤肥力[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- SHEN Shan - min. Chinese soil fertility[M]. Beijing: Chinese Agriculture Science Press, 1998.
- [17] 陈平雁. SPSS 13.0 统计软件应用教程[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2005.
- CHEN Ping - yan. SPSS 13.0 statistical software applications tutorial [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2005.
- [18] 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(增刊):137 - 140.
- YE Fei, BIAN Xin - min. Evaluation of Jiangsu water pollution caused by agriculture based on equivalent standard pollution index method[J]. *Journal of Agro - Environment Science*, 2005, 24(supplement):137 - 140.
- [19] 彭文启, 张祥伟, 等. 现代水环境质量评价理论与方法[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- PENG Wen - qi, ZHANG Xiang - wei, etc. Water environmental quality assessment of modern theories and methods[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005.
- [20] 曹彦龙, 李崇明, 阚平. 重庆三峡库区面源污染评价与聚类分析[J]. *农业环境科学学报*, 2007, 26(3):857 - 862.
- CAO Yan - long, LI Chong - ming, KAN Ping. Evaluating and clustering analysis of non - point source pollution in Chongqing Three Gorges Reservoir Region [J]. *Journal of Agro - Environment Science*, 2007, 26(3):857 - 862.