

农村环境污染识别方法与应用研究

陈 仪, 夏立江, 于晓勇

(中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193)

摘 要:本研究提出了基于农户分类的农村环境污染识别方法并用于实地研究。以经济活动类型、地理位置为基础,将农户分为典型种植户、典型养殖户、种养结合户、城郊农户 4 大类,并细划这 4 大类的污染类型,具体包括农户生活、农业种植、畜禽养殖、水产养殖、乡村旅游;识别各类型农户生产与生活全过程的污染源与污染强度,如单位面积化肥施用量、人均生活垃圾产生量等;统计区域内污染状况,通过估算污染源的贡献率,定量识别重点污染源与重点污染物;引入等标污染负荷率及水质指数,识别区域污染程度、主要污染类型。应用此方法在河北省曲周县进行实地研究,识别出曲周县重点污染物为 TN,重点污染源为农业种植;农村环境引起的地表水 TN 污染指数为 1.26,已经造成地表水 TN 超标;将曲周县 10 个乡镇污染类型分 3 类,种植养殖污染型、农业种植污染型和综合污染型。识别结果为有效控制不同区域农村环境污染提供必要的前提条件。

关键词:农村环境污染;农户类型;污染识别

中图分类号:X501 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2010)11-2221-07

Identification Method of Rural Environmental Pollution and Its Application

CHEN Yi, XIA Li-jiang, YU Xiao-yong

(College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: This study proposed an identification method of rural environmental pollution based on the classification of rural households. According to the economic activities and geographical location, rural households were divided into four categories: planting, poultry cultivation, planting and cultivation combination, and suburb households. We classified the pollution into a range of types: household living, farming, poultry, aquaculture, and rural tourism pollution. Furthermore, we investigated the pollution sources and pollution intensity of each household category through their producing and living activities, which included collecting data on chemical fertilizer usage per unit area, solid waste per capita, etc. According to the pollution survey in a specific region, we estimated the contributions of the pollution sources and quantitatively identified the primary pollution sources and the dominant pollutants. Finally, we assessed the regional pollution level as well as the main pollution types by utilizing the equal standard pollution load rate and water quality index. We have assessed the rural environmental pollution in Quzhou county of the Hebei Province, which indicated that the major pollutant was TN, and agricultural planting was the key pollution source. The surface water pollution index of TN was 1.26 which was mainly contributed by rural environment pollution and had resulted in excessive TN in surface water in this region. The pollution in the ten towns of Quzhou was classified into three types: planting and cultivation combination pollution, planting pollution, and integrated pollution. The results of the identification provided the necessary preconditions for effectively controlling rural environmental pollution.

Keywords: rural environmental pollution; household types; pollution identification

随着工业三废、城市生活垃圾和生活污水得到相对有效控制,农村环境污染问题日益突出^[1-3]。目前,针对农村环境污染开展了大量研究^[4-8],这些研究多在大

尺度进行,县级以下农村环境污染识别的缺乏,是该层次环境管理困难的原因之一。

本研究提出适用于县级以下行政区域的农村环境污染识别方法,以农户为出发点,根据农村经济活动类型、地理位置划分农户类型,分别对各类型农户生产和生活全过程进行基本产污单元划分,识别污染源与污染强度,汇总区域农村环境污染状况,进行污染程度、污染类型识别。其目的是摸清农村区域环

收稿日期:2010-05-23

基金项目:“十一五”国家科技支撑计划重点项目(2007BAC16B04)

作者简介:陈 仪(1982—),女,贵州遵义人,硕士,主要从事农村环境污染研究。E-mail:chenyi813@163.com

通讯作者:夏立江 E-mail:xialj@cau.edu.cn

境污染状况,为县级以上区域农村环境污染控制、综合整治提供必要前提,为农村基层环境管理提供科学依据。

1 农村环境污染识别方法步骤

1.1 农户类型划分

由于地区差异、经济条件差异、生产生活方式等差异,为有效识别农村环境污染的整体状况与差异性,以农户为出发点,将农户以经济活动类型、地理位置为基础,分为典型种植户、典型养殖户、种养结合户、城郊农户 4 大类。

1.2 各类型农户污染识别

1.2.1 典型种植户

该类型农户污染识别主要对农户生活、农业种植污染类型进行识别。

(1)污染源识别:农户生活产生的污染源包括生活垃圾、生活污水、人粪尿,每位农村居民都是产污单元,故此类污染源基本产污单元为农村常住人口。

农业种植污染主要由不合理使用化肥、农药、农膜,以及焚烧或乱置作物秸秆等引起,即污染源包括化肥、农药、农膜、作物秸秆等。化肥基本产污单元划分为氮肥、磷肥、钾肥和复合肥;农药基本产污单元划分为有机磷农药、有机氯农药;农膜基本产污单元划分为地膜、棚膜;每种农作物秸秆即为一种基本产污单元。

(2)污染强度识别:在已识别出各类污染源基本产污单元基础上,进一步识别污染强度。

生活污水(垃圾、人粪尿)排放强度=户生活污水(垃圾、人粪尿)日排放量/户常住人口数

化肥(农药、农膜)施用强度=年施用化肥(农药、农膜)折纯量/化肥(农药、农膜)施用面积

农膜残留率=(收获后农膜残留总量-铺设农膜前农膜残留量)/年使用总量

1.2.2 典型养殖户

该类农户污染识别主要对农户生活、畜禽养殖、水产养殖污染类型进行识别,其中农户生活污染识别同典型种植户。

(1)污染源识别:畜禽养殖产生的污染包括畜禽粪便、养殖废水,每种畜禽均为一种产污单元;水产养殖污染源包括饲料、肥料、药剂、鱼类排泄物等^[9],每种养殖品种即为一种产污单元。

(2)污染强度识别:畜禽粪便排放强度=户畜禽粪便尿阶段清运量/户畜禽数/清运时间间隔

畜禽粪便施用强度=畜禽粪便量/耕地面积

饲料(肥料、药剂)施用强度=饲料(肥料、药剂)年用量/饲养水域面积

1.2.3 种养结合户

该类型农户污染识别主要对农户生活、农业种植、畜禽养殖污染进行识别,农户生活、农业种植污染源识别同典型种植户,畜禽养殖污染源识别同典型养殖户。

1.2.4 城郊农户

该类型农户主要对农户生活、乡村旅游、农业种植、畜禽养殖进行污染识别。其中农户生活、农业种植污染识别同典型种植户,畜禽养殖污染识别同典型养殖户。

(1)污染源识别:目前乡村旅游以农家乐为主要形式,污染源包括旅游垃圾、污水、人粪尿等。乡村旅游污染与旅游人次密切相关,故此类污染源基本产污单元为每位乡村游客。

(2)污染强度识别:生活污水(垃圾、人粪尿)排放强度=户游客生活污水(垃圾、人粪尿)日排放量/户游客数

1.3 区域农村环境污染识别

完成各类型农户污染识别后,统计区域内污染类别排放总量、污染类别平均排放强度、污染物排放总量。

1.3.1 污染类别排放总量

污染类别指各类型农户污染识别出的污染类型,即生活污染、种植污染、养殖污染、旅游污染,进一步划分为生活垃圾、生活污水、人粪尿、化肥、农药、农膜、秸秆、畜禽粪便、养殖饲料(肥料、药剂)9 大污染类别。污染类别排放总量统计参考公式(1):

$$T_m = \sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^n T_{ij} \quad (1)$$

式中: T_m 为某区域第 m 类污染类别排放量; T_{ij} 为第 j 类农户第 i 户的第 m 类污染类别排放量。

1.3.2 平均排放强度

污染类别平均排放强度统计参考公式(2):

$$A_m = T_m / p \quad (2)$$

式中: A_m 为第 m 类污染类别平均排放强度; p 为区域内人口总数或承受元数。如统计某村生活垃圾排放强度 $A_{m,p}$ 为村内 4 类农户人口总数;如统计某村化肥施用强度 $A_{m,p}$ 为村内化肥施用面积。若要统计某乡镇、区县污染类别排放强度,各参数代表范围扩大到乡镇、区县范围。其他污染类别排放强度的统计方法同生活垃圾排放强度或化肥施用强度类似。

1.3.3 污染物排放总量

选取 TN、TP、COD 为农村环境重点污染物,据排污系数统计重点污染物排放总量。参考公式(3):

$$W_x=\sum_{m=1}^9(T_m\times R_{mx})$$

(3)

式中:W_x 为污染物 x 的排放总量;x 为 TN、TP、COD, R_{mx} 为第 m 类污染类别中污染物 x 的排放系数,参考第一次全国污染源普查系数、实地试验系数。

1.4 污染程度识别

应用重点污染物的量化结果,采用污染物排放浓度、水质指数、等标污染指数、等标污染负荷对污染源贡献率进行综合评价,确定主要污染物、重点污染源和总污染负荷,与区域相结合,识别重点污染区域,并划分区域污染类型。

1.4.1 排放浓度与水质指数

要综合反映区域污染状况,不仅要从排污总量上体现,还要从排污浓度上体现。水质指数反映污染物浓度与评价标准的关系,是指所排放的某种污染物浓度超过该种污染评价标准的倍数^[10]。

污染物排放浓度=该污染物实物排放量/该区域地表水资源量^[11-12]

污染物水质指数=该污染物排放浓度/环境质量标准

1.4.2 等标污染负荷

某污染物等标污染负荷=该污染物实物排放量/标准浓度

某污染物等标污染负荷率=某污染物等标污染负荷/区域内所有污染物总等标污染负荷

面积等标污染负荷=子区域内污染物等标污染负荷/某区域总面积

1.4.3 聚类分析

本研究运用 SPSS 软件,采用层次聚类法中的 Q 型聚类,对农村环境污染源的等标污染负荷率进行聚类分析,识别不同区域的主要污染类型,如生活污染型、种植污染型、养殖污染型、综合污染型等。

2 应用实例

采用上述方法步骤对河北省邯郸市曲周县进行农村区域环境污染识别,基础数据主要来源于 2007 年曲周县统计年鉴及其他相关统计资料,并通过现场调查核实并补充基础数据。在对曲周县农户类型划分的基础上,对各类型农户进行污染识别,汇总全县污染状况,识别污染程度。污染物核算参数由第一次全国污染源普查数据、文献调研值、实地调查综合确定,据曲周县地理位置、种植养殖及生活方式,选取主要产排污系数见表 1。

表 1 曲周县农村环境主要产排污系数
Table 1 The emission coefficient of rural environment in Quzhou

类型			TN	TP	COD	来源
化肥	径流失率/%	平地-旱地-露地蔬菜	0.668	0.443	-	第一次全国污染源普查(黄淮海半湿润平原区)
		平地-旱地-大田两熟	0.950	0.375	-	
		平地-旱地-大田一熟	0.563	0.350		
	淋溶流失率/%	平地-旱地-露地蔬菜	1.535	0.010	-	
		平地-旱地-大田两熟	1.393	-	-	
		平地-旱地-大田一熟	0.767	-	-	
养殖	产污系数	产蛋期蛋鸡/g·d ⁻¹ ·只 ⁻¹	1.42	0.42	27.35	第一次全国污染源普查(华北区)
		育肥期肉牛/g·d ⁻¹ ·头 ⁻¹	72.74	13.69	2 761.42	
		育肥期生猪/g·d ⁻¹ ·头 ⁻¹	33.23	6.06	419.56	
	排污系数	蛋鸡/g·d ⁻¹ ·只 ⁻¹ 产蛋期、养殖专业户、干清粪	0.15	0.03	3.62	
		肉牛/g·d ⁻¹ ·头 ⁻¹ 育肥、养殖专业户、干清粪	8.03	1.82	279.35	
		生猪/g·d ⁻¹ ·头 ⁻¹ 育肥、养殖专业户、干清粪	3.47	0.70	43.04	
生活	产污系数	生活垃圾/kg·a ⁻¹ ·人 ⁻¹	5.12	0.26	5.10	赵顺华 ^[3] , 2007
		生活污水/kg·a ⁻¹ ·人 ⁻¹	0.58	0.15	5.88	
		人粪尿/kg·a ⁻¹ ·人 ⁻¹	4.40	0.57	35.50	
	流失系数	生活垃圾/%		26.1		
		生活污水/%		30.0		
		人粪尿/%		14.8		

2.1 曲周县农户类型划分及农户污染识别

曲周县共 10 个乡镇,以农业种植、畜禽养殖为主要经济类型,基本无水产养殖、乡村旅游,且养殖户均兼营农业种植,故农户类型仅有两类:典型种植户、种养结合户。结合各乡镇具体情况,明确河南疃镇、四疃乡、槐桥乡、大河道乡、依庄乡 5 个乡镇以种植为主,其农村污染识别以典型种植户进行;曲周镇、白寨乡、安寨镇、里岳乡、侯村镇 5 个乡镇为种养结合方式,其农村污染识别以种养结合户进行。

曲周县典型种植户、种养结合户污染识别从农户生活、农业种植、畜禽养殖三方面进行。

2.1.1 农业种植污染识别

曲周县农业种植类型以玉米、小麦、棉花为主,全县播种面积 75 737.3 hm²,其中曲周镇以蔬菜种植为主。

(1)污染强度识别:据前述典型种植户的污染强度识别模式,识别化肥施用强度、农药施用强度、农膜使用强度、农膜残留率,全县化肥施用强度(折纯量)达到 714.9 kg·hm⁻²,曲周镇明显高于其他乡镇。全县及各乡镇污染强度指标几何平均值详见表 2。

(2)污染物量化:据污染物量化模式估算曲周县农业种植污染物排放量,量化识别来自化肥、秸秆的 TN、TP、COD。量化结果见表 3。

2.1.2 畜禽养殖污染识别

曲周县为养殖大县,养殖类型以鸡、猪、牛为主,其中蛋鸡存栏为 760 万只,以安寨镇为最多,占全县的 18%;全县生猪存栏量为 15.6 万头,牛存栏量为 2.2 万头。

据污染物量化模式估算曲周县畜禽养殖污染物

排放量,2007 年曲周县畜禽养殖排放 TN、TP、COD 分别为 677.91、137.63、7 363.99 t,见表 3。

2.1.3 农户生活污染识别

2007 年曲周县总人口 42.3 万人,其中农业人口 39.4 万人,人口密度以曲周镇最高,为 10.5 人·hm⁻²,高于全县平均人口密度 6.3 人·hm⁻²。

(1)污染强度识别:通过对曲周县各乡镇调查问卷统计,曲周生活垃圾排放强度为 0.17 kg·d⁻¹·人^{-1[4]}。2009 年在四疃乡王庄村示范点的调查统计显示,王庄村生活垃圾排放强度为 0.45 kg·d⁻¹·人⁻¹。

(2)污染物量化:据污染物量化模式估算农户生活污染物排放量,2007 年曲周县农户生活排放 TN、TP、COD 分别为 699.92、62.54、1 984.46 t,各乡镇数值见表 3。

表 2 曲周县农业种植污染强度

Table 2 Pollution intensity of agricultural cultivation in Quzhou

农户类型	乡镇	施用强度/kg·hm ⁻²			农膜残留率/%
		化肥	农药	农膜	
种养结合户	曲周镇	1 550.7	10.63	42.37	18.90
	白寨乡	830.1	6.45	21.32	19.20
	侯村镇	791.3	6.14	11.94	19.20
	里岳乡	46.5	8.97	26.03	19.20
	安寨镇	679.2	4.21	17.85	19.20
典型种植户	大河道乡	550.7	8.65	25.17	19.20
	槐桥乡	447.7	2.21	19.68	27.30
	依庄乡	626.6	9.03	16.07	19.20
	河南疃乡	357.6	6.04	17.86	27.30
	四疃乡	916.1	8.60	17.50	27.30
平均		714.9	6.88	20.80	21.27

表 3 曲周县农村环境污染物排放量(t)

Table 3 Emissions of rural environmental pollutants in Quzhou(t)

农户类型	乡镇	农业种植			畜禽养殖			农户生活		
		TN	TP	COD	TN	TP	COD	TN	TP	COD
种养结合户	曲周镇	395.23	8.75	31.58	101.27	20.47	1 083.73	239.82	21.43	679.97
	白寨乡	259.47	11.05	28.71	108.05	21.84	1 131.29	67.10	5.99	190.24
	侯村镇	361.49	15.51	48.02	87.38	17.78	934.25	48.80	4.36	138.35
	里岳乡	108.18	5.87	29.28	66.51	13.47	727.46	66.83	5.97	189.48
	安寨镇	317.98	13.72	38.39	121.01	24.63	1 348.30	66.80	5.97	189.39
典型种植户	大河道乡	125.33	5.38	16.42	8.81	1.91	128.51	38.00	3.40	107.74
	槐桥乡	85.21	4.52	20.58	48.80	9.91	536.39	43.29	3.87	122.74
	依庄乡	135.34	5.61	16.91	43.66	8.87	460.82	42.83	3.83	121.43
	河南疃乡	114.38	6.14	27.77	52.32	10.59	566.50	53.42	4.77	151.45
	四疃乡	119.90	6.46	30.47	40.09	8.18	446.73	33.04	2.95	93.67
合计		2 022.51	83.02	288.12	677.91	137.63	7 363.99	699.92	62.54	1 984.46

2.2 曲周县农村环境污染识别

综合典型种植户和种养结合户的农户生活、畜禽养殖、农业种植污染识别结果,汇总污染强度及污染物 TN、TP、COD 排放量。

(1)污染强度:曲周县农村环境污染强度指标值见表 4,其中化肥施用强度较大。据学者^[14]对曲周县 1996 年与 2004 年的对比调查研究(表 5),曲周县化肥、农药施用强度呈上升趋势,对农村环境的影响日益突出。

蔬菜种植地化肥农药施用强度更大,2002 年曲周蔬菜种植地化肥施用强度为 1 073.1 kg·hm⁻²,农药施用强度为 21.4 kg·hm⁻²,远高于全县平均水平^[15]。

(2)曲周县农村污染物排放量:曲周 2007 年农村环境污染物排放量 TN、TP、COD 分别为 3 400.34、283.19、9 636.57 t,见表 6。排放的污染物中,TN、TP、COD 分别占污染物总量 25.52%、2.13%、72.35%;从污染源看,畜禽养殖排放污染物占实物总排放量比例较大,为 61.41%。曲周县农业种植污染对 TN、TP 贡

献率较大;畜禽养殖污染 COD 贡献率较大。

2.3 曲周县农村环境污染物等标污染负荷

2.3.1 污染源与污染物等标污染负荷

据曲周县水环境功能区划,采用Ⅲ类地表水标准进行等标污染负荷识别,各污染源与污染物等标污染负荷见表 6,据此识别重点污染源与重点污染物,见图 1。从污染源看,农业种植污染等标污染负荷率最大,为 46.28%,为曲周县农村环境的重点污染源;从污染物看,TN 等标污染负荷率为 64.18%,为曲周县农村环境的重点污染物。

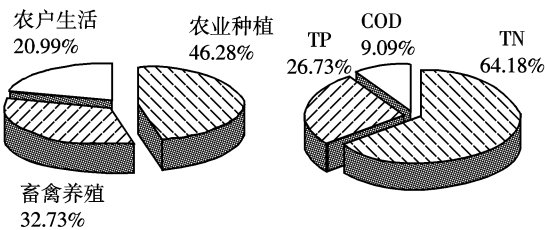


图 1 曲周县污染源与污染物等标污染负荷率
Figure 1 Equivalent standard pollution load ratio of pollution sources and pollutants in Quzhou

2.3.2 面积等标污染负荷

据曲周县各乡镇面积等标污染负荷分析可知,种养结合户面积等标污染负荷较大,均值为 9.77 t·km⁻²,典型种植户面积等标污染负荷较小,均值为 5.48 t·km⁻²。

2.3.3 各乡镇污染源等标污染负荷率

为研究各乡镇环境污染状况,估算各乡镇不同污染源的等标污染负荷率,见表 7。种养结合户农业种植、畜禽养殖等标污染负荷率较高,典型种植户农业种植等标污染负荷率较高。

2.4 曲周县农村环境污染物浓度及水质指数

曲周县地表水资源主要是过境地表水及自产的地表径流,地表水资源总量为 2.7 亿 m³。据估算,曲周县农村环境污染源排放的 TN 浓度超过标准值,见表

表 4 曲周县农村环境污染强度

Table 4 Pollution intensity of rural environment	
名称	数值
生活垃圾排放强度/g·d ⁻¹ ·人 ⁻¹	450
畜禽粪便施用强度/t·hm ⁻²	8.38
化肥施用强度(折纯量)/kg·hm ⁻²	714.9
农药施用强度(折纯量)/kg·hm ⁻²	6.88
农膜施用强度/kg·hm ⁻²	20.80
农膜残留率/%	21.27

表 5 曲周县化肥农药施用强度

Table 5 Using intensity of chemical fertilizer and pesticide			
种类		1996	2004
化肥施用强度/kg·hm ⁻²	商品量	3 576.8	3 723.3
	养分量	651.8	743.0
农药施用强度/kg·hm ⁻²	商品量	5.09	12.54
	有效成分量	1.60	4.51

表 6 曲周县农村污染物排放量及等标污染负荷

污染类型		污染物实物排放量					污染物等标污染负荷				
		TN/t	TP/t	COD/t	合计/t	比例/%	TN/t	TP/t	COD/t	合计/t	比例/%
农业种植		2 022.51	83.02	288.12	2 393.66	17.97	2 022.51	415.11	14.41	2 452.03	46.28
畜禽养殖		677.91	137.63	7 363.99	8 179.53	61.41	677.91	688.17	368.20	1 734.28	32.73
农户生活		699.92	62.54	1 984.46	2 746.91	20.62	699.92	312.68	99.22	1 111.82	20.99
合计		3 400.34	283.19	9 636.57	13 320.10	100.00	3 400.34	1 415.95	481.83	5 298.12	100.00
比例/%		25.52	2.13	72.35	100.00		64.18	26.73	9.09	100.00	

8。其中 TN 水质指数为 1.26,为曲周县地表水的重点污染物,识别结果与 2.3.1 中一致。

表 7 曲周县各乡镇农村环境污染源的等标污染负荷率/%

Table 7 Equivalent standard pollution load ratio of each town/%

农户类型	乡镇	农业种植	畜禽养殖	农户生活
种养结合户	曲周镇	40.82	23.88	35.30
	白寨乡	45.39	39.31	15.30
	侯村镇	59.50	30.05	10.45
	里岳乡	33.47	40.98	25.56
	安寨镇	48.19	38.65	13.16
	大河道乡	64.25	10.41	25.34
典型种植户	槐桥乡	35.95	41.34	22.71
	依庄乡	47.84	32.34	19.82
	河南疃乡	40.14	36.61	23.25
	四疃乡	49.67	33.38	16.96
平均		46.28	32.73	20.99

表 8 曲周县农村环境污染排放浓度与水质指数

Table 8 The pollutants concentration and water pollution index in Quzhou

污染物	排放量/t	污染物浓度/mg·L ⁻¹	水质指数
TN	3 400.34	1.26	1.26
TP	283.19	0.10	0.50
COD	9 636.57	3.57	0.18

2.5 曲周县农村环境污染聚类分析

用 SPSS 软件对曲周县各乡镇农村环境污染源的等标污染负荷率进行聚类分析,选取层次聚类法中的 Q 型聚类,分析结果见图 2。曲周县共 10 个乡镇,其中依庄乡等 5 个乡镇农业种植污染、畜禽养殖污染、农户生活污染的等标污染负荷率均较高,划为综合污染型;槐桥乡等 4 个乡镇种植污染、养殖污染等标污染负荷率较高,划为种植养殖污染型;大河道乡农业种植污染等标污染负荷率较高,划为农业种植污染型。图 3 为各乡镇主要污染类型图。

3 结论

基于我国目前农村环境管理状况,本文提出了适用于县级以下行政区域的农村环境污染识别方法,将农户类型划分为 4 类,采用清单分析法,识别各类型农户生产与生活全过程的污染源、污染强度,通过汇总区域的各类农户污染识别结果,采用等标污染负荷、污染物浓度、水质指数等识别区域污染程度,进一步识别子区域污染类型。由河北省曲周县农村区域环境污染识别的应用研究可知,污染识别结果可为农村环境污染

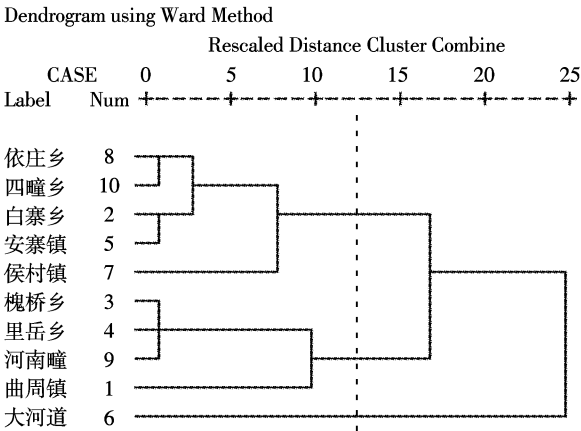


图 2 各乡镇聚类树形图

Figure 2 Clustering analysis of each town

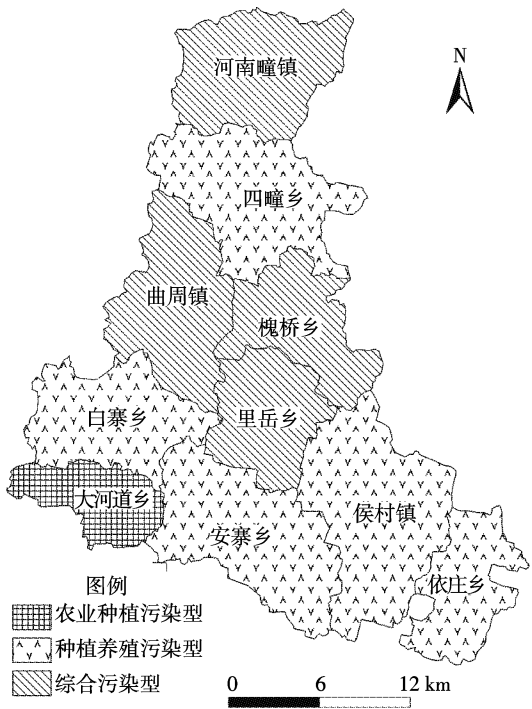


图 3 各乡镇主要污染类型

Figure 3 Main pollution types of each town

控制提供方向,为农村环境科学管理提供依据。

本文在量化识别污染物时只考虑了 COD、TN、TP,在以后的研究中,应增加重金属等污染物;假定农村环境污染排放的污染物均匀稀释到各自区域的地表水体中,以后的研究应考虑实际影响因素。本文研究的污染量化识别仅为进入地表水的部分,以后的研究应增加进入地下水、土壤及大气的部分。

参考文献:

[1] Isermann K. Share of agriculture in nitrogen and phosphorus emissions

- into the surface waters of Western Europe against the background of their eutrophication[J]. *Fertiliser Research*, 1990, 26(1-3):253-269.
- [2] Boers P C M. Nutrient emissions from agriculture in the Netherlands: causes and remedies[J]. *Water Science and Technology*, 1996, 33(4-5):183-189.
- [3] Ongley E D. Control of water pollution from agriculture[R]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1996.
- [4] 陈敏鹏, 陈吉宁, 赖斯芸. 中国农业和农村污染的清单分析与空间特征识别[J]. 中国环境科学, 2006, 26(6):751-755.
CHEN Min-peng, CHEN Ji-ning, LAI Si-yun. Inventory analysis and spatial distribution of Chinese agricultural and rural pollution[J]. *China Environmental Science*, 2006, 26(6):751-755.
- [5] 赖斯芸, 杜鹏飞, 陈吉宁. 基于单元分析的非点源污染调查评估方法[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2004, 44(9):1184-1187.
LAI Si-yun, DU Peng-fei, CHEN Ji-ning. Evaluation of non-point source pollution based on unit analysis[J]. *Journal of Tsinghua University (Science and Technology)*, 2004, 44(9):1184-1187.
- [6] 马林, 王方浩, 马文奇, 等. 中国东北地区中长期畜禽粪尿资源与污染潜势估算[J]. 农业工程学报, 2006, 22(8):170-174.
MA Lin, WANG Fang-hao, MA Wen-qi, et al. Assessments of the production of animal manure and its contribution to eutrophication in Northeast China for middle and long period[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2006, 22(8):170-174.
- [7] 张淑荣, 陈利顶, 傅伯杰. 于桥水库流域农业非点源磷污染控制区划研究[J]. 地理科学, 2004, 24(2):232-237.
ZHANG Shu-rong, CHEN Li-ding, FU Bo-jie. Pollution controlling regionalization of agricultural non-point phosphorous in Yuqiao Reservoir Watershed[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2004, 24(2):232-237.
- [8] 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.
ZHANG Wei-li, WU Shu-xia, JI Hong-jie, et al. Estimation of agricultural non-point source pollution in China and the alleviating strategies I. Estimation of agricultural non-point source pollution in China in Early 21 Century[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(7):1008-1017.
- [9] 宁丰收, 古昌红. 重庆市网箱水产养殖污染现状及对策[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版), 2004, 21(6):544-548.
NING Feng-shou, GU Chang-hong. Actuality and countermeasure for pollution about net-cage aquiculture in Chongqing[J]. *Journal of Chongqing Technology and Business University (Natural Science Edition)*, 2004, 21(6):544-548.
- [10] 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(Suppl):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(Suppl):137-140.
- [11] 陈玉成, 杨志敏, 陈庆华, 等. 基于“压力-响应”态势的重庆市农业面源污染的源解析[J]. 中国农业科学, 2008, 41(8):2362-2369.
CHEN Yu-cheng, YANG Zhi-min, CHEN Qing-hua, et al. Source apportionment of agricultural non-point source pollution chongqing based on pressure-response system[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(8):2362-2369.
- [12] 李杰霞, 杨志敏, 陈庆华, 等. 重庆市农业面源污染负荷的空间分布特征研究[J]. 西南大学学报:自然科学版, 2008, 30(7):145-151.
LI Jie-xia, YANG Zhi-min, CHEN Qing-hua. Spatial distribution of agricultural non-point source pollution in Chongqing[J]. *Journal of Southwest Agricultural University*, 2008, 30(7):145-151.
- [13] 赵顺华. 京郊农村面源污染成因及防治对策[D]. 北京: 中国农业大学资源与环境学院, 2007.
ZHAO Shun-hua. Causes and counter-measures of rural nonpoint source pollution in Beijing suburban[D]. Beijing: China Agricultural University, 2007.
- [14] 陈丽君. 曲周县农村固体废物资源化利用潜力分析与评价[D]. 北京: 中国农业大学资源与环境学院, 2007.
CHEN Li-jun. Analysis and evaluation of the utility potential of rural solid wastes as resources in Quzhou County[D]. Beijing: China Agricultural University, 2007.
- [15] 朱兆良, David Norse, 孙波. 中国农业面源污染控制对策[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2006:34-37.
ZHU Zhao-liang, David Norse, SUN Bo. Policy for reducing non-point pollution from crop production in China [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2006:34-37.