

郭羽鑫,郑宏刚,吴碧兰,等. 洱海流域上游耕地氮磷排放强度空间分析[J]. 江苏农业科学,2020,48(16):291-297.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.16.054

洱海流域上游耕地氮磷排放强度空间分析

郭羽鑫^{1,3}, 郑宏刚^{2,3}, 吴碧兰^{1,3}, 曾维军^{2,3}

(1. 云南农业大学资源与环境学院, 云南昆明 650201; 2. 云南农业大学水利学院, 云南昆明 650201;

3. 云南农业大学国土资源科学技术工程研究中心, 云南昆明 650201)

摘要:耕地污染是洱海富营养化的主要影响因素,通过对洱海流域上游耕地总氮(TN)、总磷(TP)排放强度进行分析,可以为洱海流域上游非点源污染治理提供新思路。利用地理信息系统(GIS)空间分析技术、源强估算法,对研究区耕地总氮(TN)、总磷(TP)排放强度进行分析。结果表明,TN 排放强度表现为邓川镇>茈碧湖镇>牛街乡>右所镇>凤羽镇>三营镇;TP 排放强度表现为邓川镇>牛街乡>凤羽镇>茈碧湖镇>右所镇>三营镇。研究得出,从粮食作物上看,水稻的 TN 排放总量最大,豆类的 TP 排放总量最大;从经济作物上看,蔬菜的 TN、TP 排放量最多。右所镇、三营镇、茈碧湖镇等 3 个乡(镇)的 TN、TP 排放强度高于其他 3 个乡(镇);TN、TP 排放强度空间分布呈现出南北高而中间低的趋势。邓川镇成为 TN、TP 污染最重区域,三营镇为污染最轻区域。

关键词:洱海流域上游;耕地;氮磷排放;分布规律;源强估算法

中图分类号: X524 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)16-0291-07

水资源关系着人类的生存与发展,基于社会发展需求,云南省洱海流域水资源污染亟需得到理想治理。洱海流域在点源污染得到有效遏制后,上游农业面源污染成为洱海水污染最大污染源。据测算,每年进入洱海的总氮约 9 891 t,总磷约 108.1 t,其中非点源污染分别占 97.1%、92.5%,点源污染仅占 2.9%、7.5%^[1]。近年来,洱海生态保护形势严峻,1996 年、2003 年和 2013 年,由于水体富营养化,洱海曾大面积暴发蓝藻灾害,2003 年全年有 3 个月水质下降到Ⅳ类标准。面对洱海生态保护的严峻形势,云南省大理州政府为了保护洱海的水质做了大量工作,投入巨额资金用于洱海流域水污染治理,如投入巨额资金用于生态修复、湿地建设、环湖管道截污等;以补贴农户的方式铲除长势良好的大蒜,由于大蒜属高水肥类作物,大理州政府甚至发出“全面禁止种植大蒜”的倡议等。目前,由于农业非点源污染的不确定性,洱海治理虽然取得一些成绩,但水质保护面临的局面仍然不容乐观。

耕地氮磷排放是造成农业面源污染的主要途

径之一,具有高度非线性以及复杂性等特征^[2-3]。准确估算耕地氮磷排放量,科学分析耕地氮磷排放强度是耕地污染防控的重要基础^[4-5]。目前,常用的氮磷排放量估算方法有实测法^[6]、污染负荷估算法^[7-8]、源强估算法^[9-10]、排污系数法^[11]等,其中源强估算法参数要求低,计算方法简单,实用性强,适合在大量监测数据缺乏的情况下对氮磷排放进行估算。本研究通过对云南省洱海流域上游 6 个乡(镇)的耕地面源污染现状进行调查,在充分收集资料的基础上,利用地理信息系统(GIS)空间分析技术,运用源强估算法^[9]对洱海流域上游北部洱源县 6 个乡(镇)种植业源总氮(TN)和总磷(TP)排放量、排放强度进行估算及空间分布特征进行分析,以期对洱海流域水资源保护,科学调整流域土地利用规划、合理制定土地利用管理措施从而有效防控流域非点源污染提供参考借鉴。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

洱海流域位于我国云南省大理白族自治州境内(图 1),位于 25°25'~26°10'N,99°32'~100°27'E,流域面积约为 2 607.75 km²。洱海是典型的内陆断陷湖,主要靠降水补给。洱海上游北部地区主要包括洱源县的牛街乡、三营镇、茈碧湖镇、右所镇、邓川镇、凤羽镇等 7 个乡(镇)^[12]以及大理市的上关镇,

收稿日期:2020-04-27

基金项目:国家自然科学基金地区项目(编号:41961040)。

作者简介:郭羽鑫(1995—),女,云南临沧人,硕士研究生,从事土地整治与利用、土地生态研究。E-mail:2930197424@qq.com。

通信作者:曾维军,博士,讲师,主要从事 3S 技术、土地评价、资源环境规划等研究。E-mail:zengweijunde@163.com。

源县 6 个乡(镇)为研究区域,结合 GIS 空间分析功能对 6 个乡(镇)进行耕地 TN、TP 排放强度进行分析。

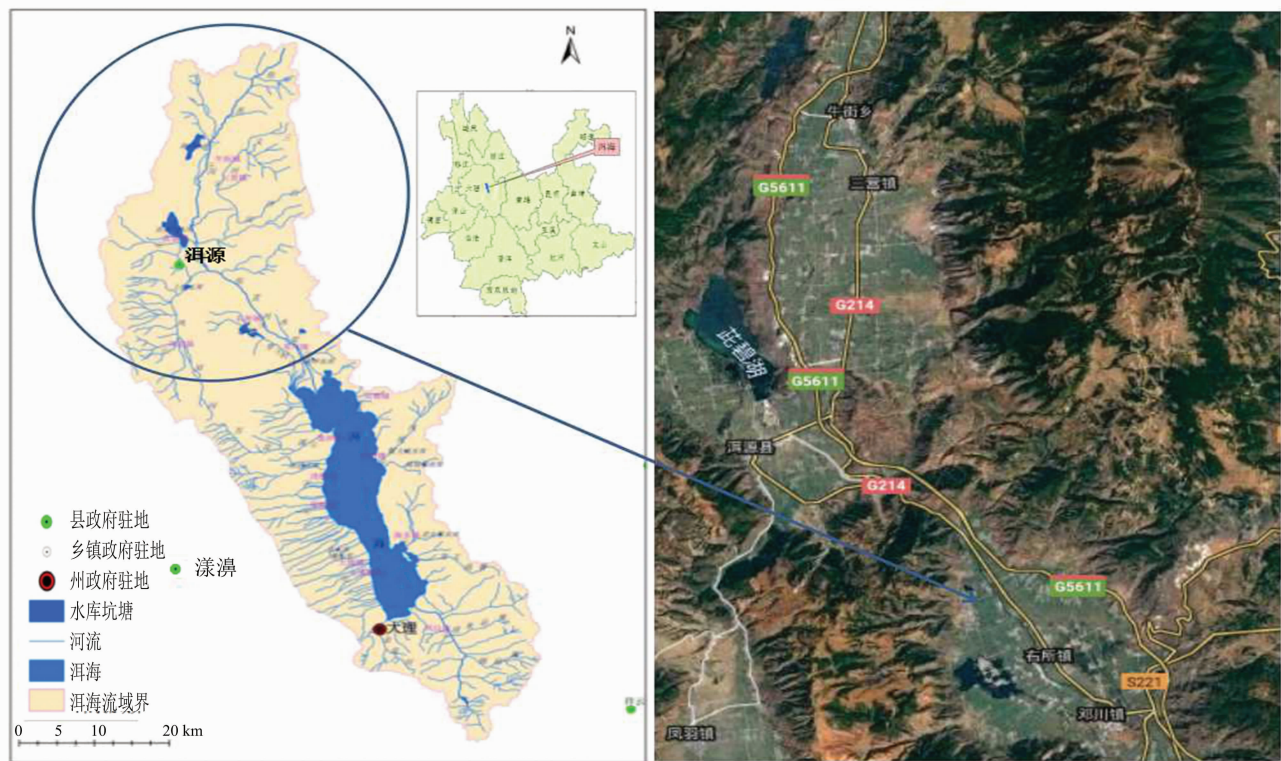


图1 研究区空间位置示意

及相关部门获取并收集洱海流域上游洱源县 6 个乡(镇)2019 年农业相关原始资料。数据来源及具体情况见表 1、表 2。采用 ArcGIS 10.2 软件进行作图,采用 Office 2007 软件进行数据分析及图表制作。

表 1 数据资料

数据类型	数据来源	具体信息
属性数据	《洱源县统计年鉴(2019)》 大理州环境监测站	6 个乡(镇)主要作物种植面积 洱海流域水质指标统计数据,包括 2019 年 6 个乡(镇) TN、TP 排放量,主要作物 TN、TP 浓度监测数据、监测小区径流体积等
空间数据	Landsat8 OLI 遥感影像	遥感影像图

表2 6个乡(镇)主要作物种植面积

乡 镇	主要作物种植面积(hm ²)								
	水稻	小麦	玉米	大麦	豆类	薯类	油菜	烤烟	蔬菜
苾碧湖镇	28 005	675	9 240	5 385	23 970	2 190	855	2 235	7 920
邓川镇	9 165	0	1 995	0	4 695	195	0	195	5 205
右所镇	25 545	435	12 690	2070	14 550	9 900	0	2 175	22 043
三营镇	25 470	555	8 280	23 655	30 390	2 550	990	24 690	10 110
凤羽镇	24 805	0	10 132	7 950	5 629	1 635	13 950	3 630	1 200
牛街乡	15 765	120	6 525	2 055	15 870	1 515	1 395	2 910	1 575
合计	128 755	1 785	48 862	41 115	95 104	17 985	17 190	35 835	48 053

1.3 研究方法

1.3.1 空间分析 洱源县 6 个乡(镇)农田氮磷污染空间分析^[13]在 ArcGIS 10.2 数据分析与管理平台基础上进行,主要包括流域边界确定、遥感影像裁剪、行政区划矢量化,以及对影像数据进行监督分类、色彩分级处理和野外核查,实现洱源县 6 个乡(镇)TN、TP 不同排放强度空间格局可视化表达。同时,根据国家标准 GB/T 21010—2017《土地利用现状分类》,以洱海流域影像数据为基准,进行影像校正、定义、流域边界裁剪等,提取洱海流域洱源县 6 个乡(镇)耕地、林地、园地、林地、草地等用地信息数据,获取流域水系分布图及土地利用现状图(图 2、图 3)。

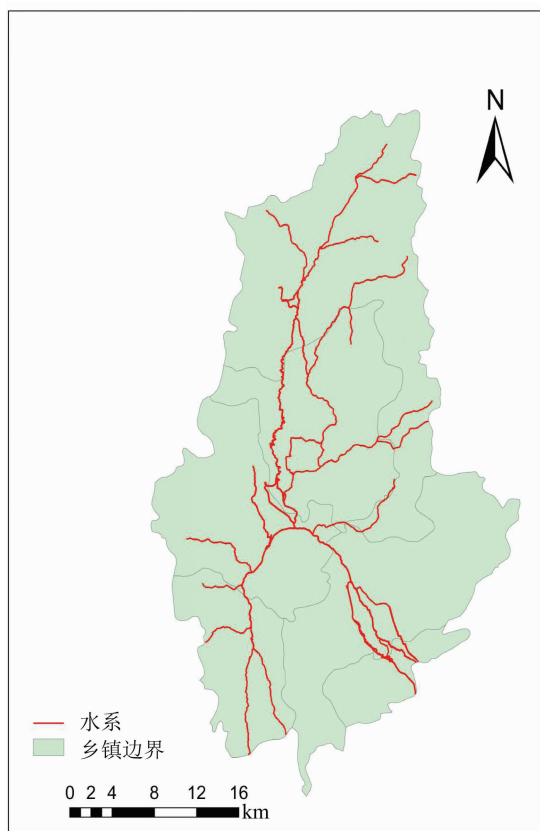


图2 洱源县水系分布

1.3.2 作物排放量算法 每个小区每种作物径流污染物的排放量计算公式^[14-15]为

$$M = \sum_{i=1}^n (\rho_i \times V)$$

式中: M 为小区径流排放污染物流失量,g; ρ_i 为第*i*次排水污染物浓度,mg/L; V 为小区径流体积,m³。

1.3.3 源强估算法 本研究采用源强估算法^[9-10,16],以乡(镇)为分区单位,计算洱海流域上游洱源县6个乡(镇)的耕地TN、TP污染负荷排放

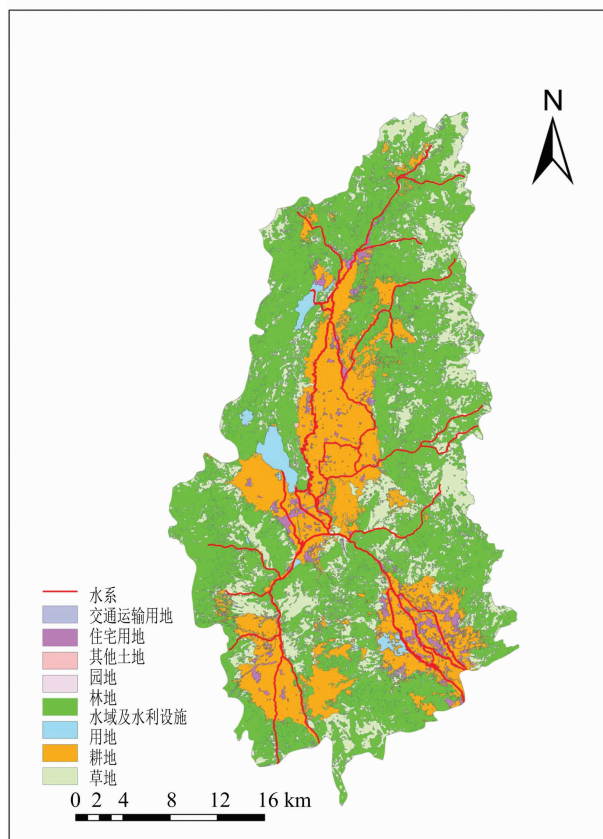


图3 洱源县 6 个乡(镇)土地利用现状

强度。

洱海流域上游 6 个乡(镇)排放强度是指流域各分区单位土地面积产生的耕地氮磷污染排放量,计算公式如下:

$$P = Q/S$$

式中: P 为各区耕地污染源排放强度,kg/(km²·年); Q 为各区耕地污染排放量,kg/年; S 为以乡(镇)为单位的耕地面积,km²。

利用 Excel 软件对洱源县 6 个乡(镇)主要作物种植面积进行统计制图,以统计并综合对比分析洱源县 6 个乡(镇)的主要作物种植面积,掌握各乡(镇)种植面积最大和最小的主要作物。

2 结果与分析

2.1 研究区 6 个乡(镇)主要作物种植面积统计分析

根据《洱源县统计年鉴(2019)》对洱源县牛街乡、三营镇、茈碧湖镇、右所镇、邓川镇、凤羽镇等 6 个乡(镇)农作物种植种类及面积进行统计。

6 个乡(镇)9 种主要作物种植面积如图 4 所示。

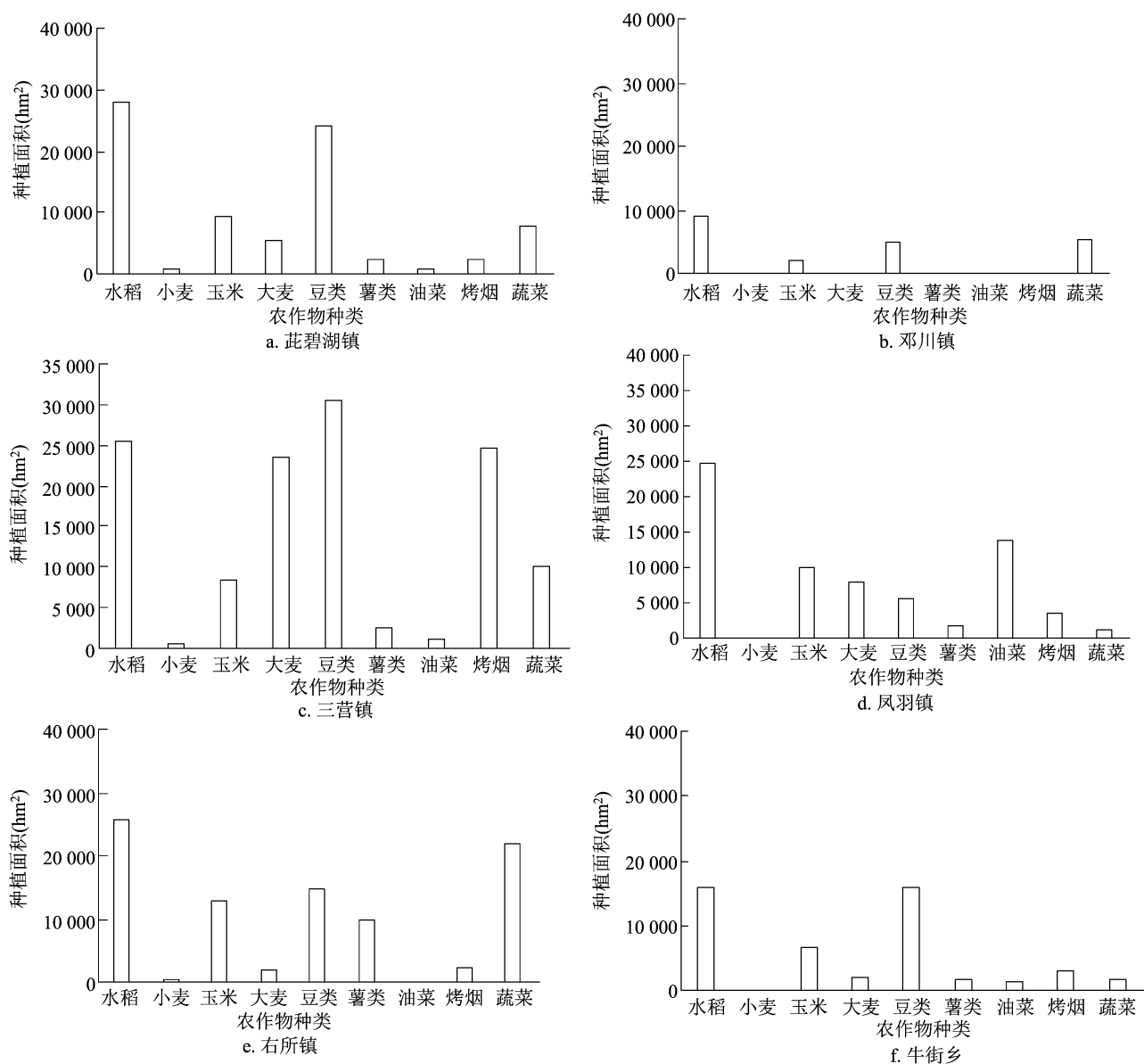


图4 2019年6个乡(镇)主要农作物种植面积汇总

由图4可知,2019年洱海流域上游牛街乡、三营镇、此碧湖镇、右所镇、邓川镇和凤羽镇耕地作物种植以水稻、小麦、玉米、大麦、豆类、薯类、油菜、烤烟、蔬菜等为主要农作物。6个乡(镇)水稻总种植面积为 $128\,755\text{ hm}^2$;而小麦总种植面积仅为 $1\,785\text{ hm}^2$ 。从图4可以看出,洱海流域上游的牛街乡、三营镇、此碧湖镇、右所镇、邓川镇和凤羽镇等6个乡(镇)中,各个乡(镇)种植面积最大的基本上均以粮食作物水稻为主,辅以玉米、豆类、蔬菜等,小麦的种植面积最小或甚至不种,烤烟、薯类、油菜等的面积也较小。其次,可以直观得出,水稻大量种植于此碧湖镇、右所镇,种植面积分别为 $28\,005$ 、 $25\,545\text{ hm}^2$;豆

类、大麦、烤烟、蔬菜等主要集中在三营镇;薯类、玉米等主要种植于右所镇;油菜相对集中于凤羽镇;而小麦种植面积很小,多分布于此碧湖镇,种植面积为 675 hm^2 。研究区6个乡(镇)中,邓川镇总种植面积偏少,牛街乡总种植面积居中。

通过 ArcGIS 10.2 分别对6个乡(镇)的耕地种植面积概况进行色彩分级处理,如图5所示,可以直观地看出,2019年洱海流域上游牛街乡、三营镇、此碧湖镇、右所镇、邓川镇和凤羽镇种植面积分别为 $47\,730$ 、 $126\,690$ 、 $80\,475$ 、 $89\,408$ 、 $21\,450$ 、 $68\,931\text{ hm}^2$ 。整体上,9种主要农作物中邓川镇种植面积较少,仅约占6个乡(镇)总种植面积的 4.93% ;此碧湖镇、

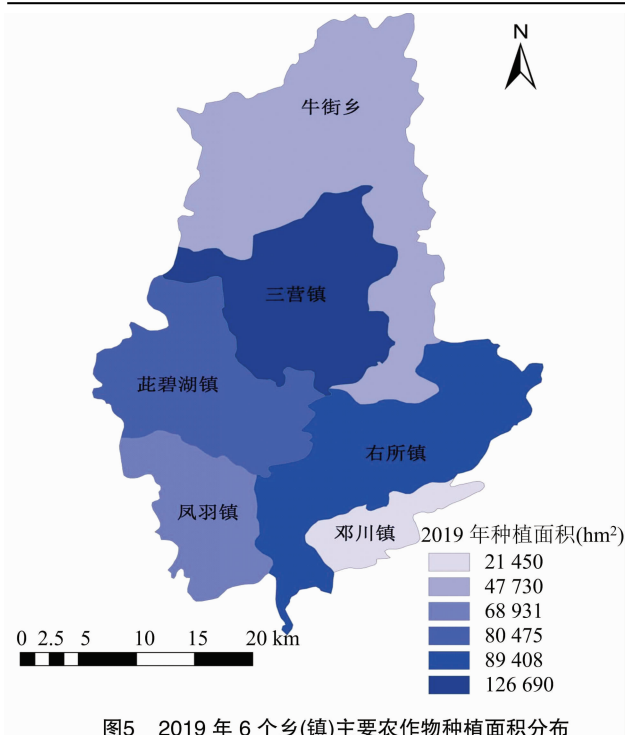


图5 2019 年 6 个乡(镇)主要农作物种植面积分布

右所镇种植面积居中,分别约占 6 个乡(镇)总种植面积的 18.51%、20.57%,三营镇种植面积较大,约占 6 个乡(镇)总种植面积的 29.15%;由此,研究区种植面积以似“G”字形分布,符合洱源县 6 个乡

(镇)土地利用现状图土地利用类型分布趋势。

2.2 研究区耕地 TN、TP 排放强度分析

在实地考察的过程中,采取咨询相关部门、翻阅大量数据及文献资料对洱海流域上游 6 个乡(镇)耕地产业的排污情况有了一定的了解。

利用每个小区每种作物径流污染物的排放量计算方法^[14-15],以研究区 9 种主要种植作物为统计对象,结合文献查阅及调查资料分别对研究区主要作物的 TN、TP 排放量进行计算和统计,结果如图 6 所示。由图 6 可知,洱源县 9 种植物中,TN 排放量表现为水稻>玉米>蔬菜>大麦>薯类>油菜>烤烟>小麦;TP 排放量表现为豆类>蔬菜>玉米>大麦>薯类>烤烟>油菜>水稻>小麦。

洱海流域上游洱源县 6 个乡(镇)TN、TP 排放量空间分布如图 7 所示。由图 7 可知,6 个乡(镇)中,TN 排放量表现为三营镇>茈碧湖镇>右所镇>邓川镇>凤羽镇>牛街乡,最大和最小 TN 排放量的乡(镇)分别为三营镇(73 200 kg/年)、牛街乡(35 450 kg/年);TP 排放量表现为右所镇>三营镇>茈碧湖镇>凤羽镇>邓川镇>牛街乡,最大和最小 TP 排放量的乡(镇)分别为右所镇(8 320 kg/年)、牛街乡(5 868.32 kg/年)。

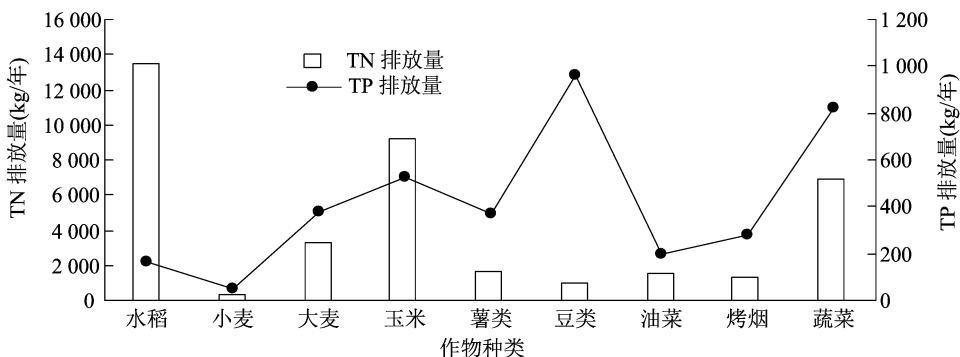
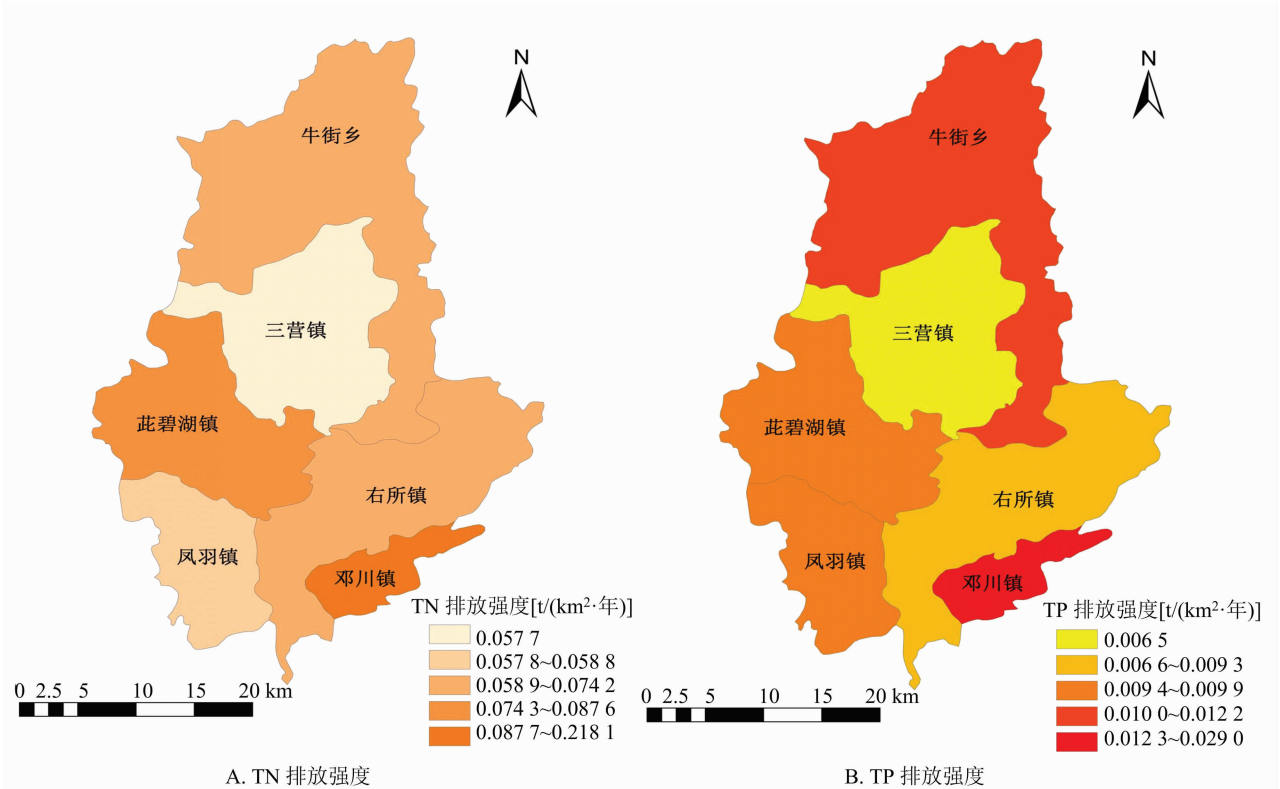
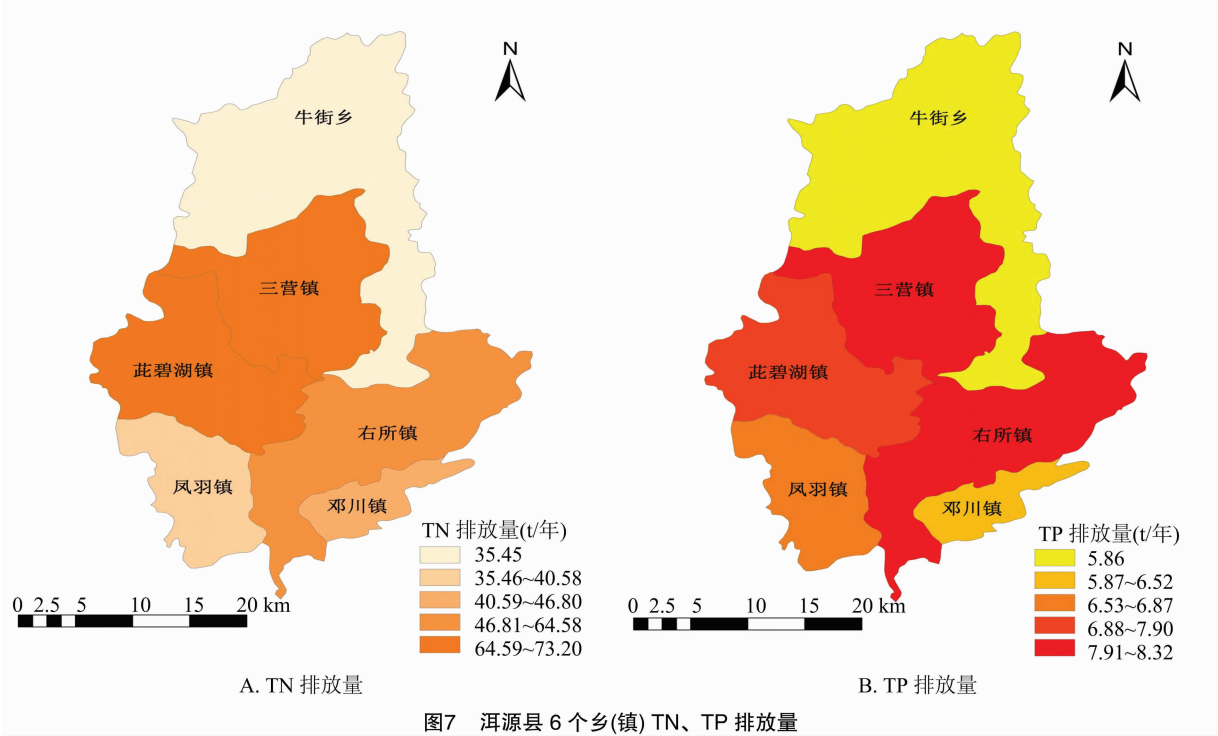


图6 洱源县主要作物 TN、TP 排放量

结合研究区 2019 年 6 个乡(镇)的种植面积和氮磷排放量,计算得出洱海流域上游洱源县 6 个乡(镇)TN、TP 排放强度空间分布图(图 8)。由图 8 可知,邓川镇 TN 和 TP 排放强度分别为 218.10、29.00 kg/(km²·年);三营镇 TN 和 TP 排放强度分别为 57.70、6.50 kg/(km²·年)。6 个乡(镇)TN 排放强度表现为邓川镇>茈碧湖镇>牛街乡>右所镇>凤羽镇>三营镇;6 个乡(镇)TP 排放强度表现为邓川镇>牛街乡>凤羽镇>茈碧湖镇>右所镇>三营镇。

2.3 研究区 6 个乡(镇)作物种植面积与耕地氮磷排放量的关系

2019 年洱海流域上游洱源县 6 个乡(镇)农业非点源污染 TN 平均排放强度为 94.70 kg/(km²·年),TP 平均排放强度为 11.70 kg/(km²·年);研究区 6 个乡(镇)中,三营镇作物种植面积最大,排放量最大;当三营镇和右所镇 TP 排放量相似的时候,由于右所镇的作物种植面积相对较小,所以右所镇的排放强度较大;邓川镇主要作物分布面积最小。总之,当排放量和作物种植面积 2 个变量中有 1 个相似的时候,如



排放量接近,作物种植面积越小排放强度越大;反之,作物种植面积接近,排放量越小排放强度就越大。

2.4 经济结构变化对研究区 6 个乡(镇)氮磷产排强度的影响

耕地氮磷污染是研究区农业面源污染的重要

因素之一。研究区 6 个乡(镇)的氮磷污染排放强度受制于氮磷污染排放量与农作物种植面积 2 个因素,基于当地的地理位置、气候等因素以及氮磷排放量与主要作物种植面积的关系,综合研究区 6 个乡(镇)主要作物种植概况,按重度排污、中度排污、

轻度排污等 3 种控制模式及每个乡(镇)每种主要作物所产生的氮磷污染量大小,合理规划并调整经济作物种植概况,有益于改善洱海流域上游 6 个乡(镇)氮磷产排强度。

3 讨论与结论

洱海流域的非点源污染治理的关键在于农业非点源污染的治理,农业非点源污染治理的最主要来源是耕地种植作物产生的非点源污染。洱源县地处洱海流域上游北部,包括弥苴河、永安江、罗时江等 3 条洱海入湖河流^[17-18],洱源县 TN、TP 空间分布特征与各乡(镇)的经济结构有关。因此,依据资料数据统计的洱源县 6 个乡(镇)9 种主要种植作物及其 TN、TP 排放量对研究区进行污染防治治理(即对研究区作物种植进行合理化调整)。结合降低污染源排放量及排放强度原则对研究区非点源 TN、TP 污染采用 3 种控制模式(重度排污、中度排污、轻度排污)及每个乡(镇)每种主要作物所产生的氮磷污染量合理规划调整经济作物种植概况。

农业非点源污染治理复杂且受多方限制因素影响^[19],而洱源县种植作物关系到广大农村居民的经济收益。因此,依据研究情况对研究区种植业进行规划调整须进行综合考虑、多方协调,推动公众共同参与,以保证研究区污染治理措施的有效试验及推行,为后续治理提供参考。

从粮食作物上看,水稻 TN 排放总量最大,豆类的 TP 排放总量最大;从经济作物上看,蔬菜的 TN、TP 排放量最多。

洱海流域上游 6 个乡(镇)中,邓川镇成为 TN、TP 污染最重区域,三营镇为污染最轻区域。

以研究区 6 个乡(镇)的主要分布位置为依据,TN、TP 排放强度空间分布主要呈现出南北高而中间低的趋势。邓川镇、茈碧湖镇、牛街乡相对其他 3 个乡(镇)更需要对其进行 TN 治理;而邓川镇、牛街乡、凤羽镇等的 TP 排放强度高;因此,邓川镇 TN、TP 治理需求最大。

综合研究结果,建议综合研究区 6 个乡(镇)主要经济作物种植结构,用减施化肥、调整主要作物种植结构、控制水域与污染源距离等治理模式分别对洱海流域上游 6 个乡(镇)进行分区污染治理。

本研究通过对洱海流域上游 6 个乡(镇)的耕地氮磷排放量及排放强度进行估算,识别出了 TN、TP 污染较重的区域,并提出了依据各乡(镇)种植

面积和产生氮磷污染量的主要作物结合当地实际情况进行合理规划的建议,有利于为后期洱海区域非点源污染进行规划和治理。

参考文献:

- [1]董利民,李 璇. 洱海水污染动态模型的构建及分析研究[J]. 生态经济(学术版),2011(2):384-388.
- [2]Shen Z Y, Liao Q, Hong Q, et al. An overview of research on agricultural non-point source pollution modelling in China[J]. Separation and Purification Technology, 2012, 84(2):104-111.
- [3]杨滨键,尚 杰,于法稳. 农业面源污染防治的难点、问题及对策[J]. 中国生态农业学报,2019,27(2):236-245.
- [4]谢经朝,赵秀兰,何丙辉,等. 汉丰湖流域农业面源污染氮磷排放特征分析[J]. 环境科学,2019,40(4):1760-1769.
- [5]Csathó P, Sisák I, Radimsky L, et al. Agriculture as a source of phosphorus causing eutrophication in Central and Eastern Europe[J]. Soil Use and Management, 2007, 23(S1):36-56.
- [6]夏 云,张波涛,姜德娟. 大沽河溶解态无机氮时空分布特征及来源探讨[J]. 农业环境科学学报,2020,39(1):182-190.
- [7]王 萌,王敬贤,刘 云,等. 湖北省三峡库区 1991—2014 年农业非点源氮磷污染负荷分析[J]. 农业环境科学学报,2018,37(2):294-301.
- [8]张昊天,周忠发,刘贤梅,等. 基于 GIS 的红枫湖流域平坝区境内农业非点源污染估算[J]. 环境工程,2019,37(3):174-179.
- [9]庞 燕,项 颂,储昭升,等. 基于 GIS 的洱海农村生活污水及其 TN 产排强度空间分析及控制对策[J]. 环境科学学报,2015,35(10):3344-3352.
- [10]焦 隽,李 慧,冯其谱,等. 江苏省内陆水产养殖非点源污染负荷评价及控制对策[J]. 江苏农业科学,2007(6):340-343.
- [11]崔 超,刘 申,翟丽梅,等. 兴山县香溪河流域农业源氮磷排放估算及时空特征分析[J]. 农业环境科学学报,2015,34(5):937-946.
- [12]项 颂,庞 燕,储昭升,等. 入湖河流水质对土地利用时空格局的响应研究:以洱海北部流域为例[J]. 环境科学,2016,37(8):2947-2956.
- [13]汤国安,杨 昕. ArcGIS 地理信息系统空间分析实验教程[M]. 2 版. 北京:科学出版社,2013:140-142.
- [14]李凯益,沈根祥,王振旗,等. 基于猪粪资源利用的稻田径流污染物排放特征[J]. 生态与农村环境学报,2020,36(1):129-135.
- [15]刘 琛,张 莉,林义成,等. 不同施肥模式下苕溪流域水稻田和蔬菜地氮磷流失规律[J]. 浙江农业学报,2019,31(2):297-306.
- [16]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.
- [17]施泽升,续勇波,雷宝坤,等. 洱海北部地区不同氮、磷处理对稻田田面水氮磷动态变化的影响[J]. 农业环境科学学报,2013,32(4):838-846.
- [18]于 超,储金宇,白晓华,等. 洱海入湖河流弥苴河下游氮磷季节性变化特征及主要影响因素[J]. 生态学报,2011,31(23):7104-7111.
- [19]许 伟. 湖北长江经济带农业“绿色种植”面临的问题和出路[J]. 党政干部论坛,2019(6):29-32.