文章编号:1672-3317(2018)05-0092-07

漓江上游灌区小流域不同尺度氮磷污染排放负荷研究

苏毅捷1,代俊峰1.2*,莫磊鑫1,张丽华1,曾鸿鹄1.2

(1.桂林理工大学 广西环境污染控制理论与技术重点实验室,广西 桂林 541004;2.桂林理工大学 岩溶地区水污染控制与用水安全保障协同创新中心,广西 桂林 541004)

摘要:【目的】开展野外原位监测试验,揭示漓江上游灌区小流域不同尺度氮磷污染排放规律,为面源污染控制和治 理提供参考。【方法】利用ArcGIS软件和SWAT模型,基于DEM数据对漓江流域青狮潭灌区金龟河试区进行子流域 划分,考虑水系和渠系分布,从试区上游至下游选择具有水力联系且从小到大逐级嵌套的5个尺度,于2016年5—12 月对试区各尺度出水口进行了监测,研究了氮磷质量浓度和排放负荷变化。【结果】从空间尺度1(面积335.41 hm²)增 大到尺度5(面积2798.15 hm²),质量浓度总氮沿程呈上升趋势,由尺度1出水口的0.95 mg/L增加到了到尺度5出水 口的2.42 mg/L;氨氮与总磷沿程呈现波动性变化,在尺度3(面积1135.36 hm²)与尺度5中呈现急剧增加的特点。灌 溉季节的氮磷排放负荷大于非灌溉季节,灌溉季节总氮、氨氮、总磷排放负荷由尺度1到尺度5分别下降了54.60%、 41.46%、55.77%。非灌溉季节总氮排放负荷随尺度增大而增大,从试区尺度1单位面积总排放负荷0.67 kg/hm²增加 到尺度5单位面积总排放负荷2.76 kg/hm²,氨氮与总磷排放负荷则表现为波动性变化。在灌溉季节,沟渠、塘堰对氮 磷的去除以及排水的重复利用,减少了污染物的排放;而在非灌溉季节,沟渠、塘堰面积由原来的55.91 hm²减少为 13.92 hm²,减少了75.10%,导致去除效果下降,且随尺度增大养殖场污染物排放量大量增加。【结论】漓江流域水稻灌 区氮磷排放控制和污染物消减,应考虑不同时间和空间尺度下氮磷污染物运移的特点。

关键词:氮磷排放;灌区;尺度;时空变化;小流域

中图分类号:S271,X592

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.2017.0419

苏毅捷,代俊峰,莫磊鑫,等.漓江上游灌区小流域不同尺度氮磷污染排放负荷研究[J].灌溉排水学报,2018,37(5): 92-98.

0引言

随着点源污染治理水平的提高,面源污染日益引起了人们的重视¹⁻⁴,其中农业面源污染是最主要的面源污染^{15-9]}。第一次全国污染源普查资料显示,我国主要污染物排放量中,农业生产(含禽畜养殖业、水产养殖业与种植业)排放的COD、N、P等主要污染物已超过工业污染与生活污染,成了污染源之首,其中N、P占50%以上^{10]}。中国南方灌区内分布着稻田、沟渠、水塘(包含天然水塘与鱼塘养殖区)、河流、水库等,灌区内农药化肥使用普遍,在降雨或灌溉水的冲刷以及土壤渗透作用下,未被农作物利用吸收的农药化肥等通过径流、田间排水经排水沟汇流后,进入沟渠、塘堰、河流、水库等水体,或者渗透到地下,污染了地表水和地下水,对灌区的生态环境和饮水安全造成影响。由于灌区内不同尺度的部分回归水可以在其他尺度被直接重新利用,水分利用过程并不是简单的累加,因此对于灌区的氮磷排放研究应考虑其空间尺度问题^{101]}。灌区氮磷排放受气候、下垫面、作物种植、养分管理、生产活动等多种因素的影响,不同灌区的氮磷排放呈现不同的特点,开展不同地区灌区氮磷排放研究十分必要。2014年6月,桂林喀斯特作为"中国南方喀斯特二期"重要提名地,成功入选世界自然遗产名录。桂林喀斯特地貌以漓江流域为代表,如何保护漓江生态环境值得关注。兹以漓江流域上游青狮潭灌区金龟河灌区小流域为具体研究对象,并在金龟河试区内选取具有水力联系且从小到大逐级嵌套的5个试区尺度,开展氮磷排放的野外原位监测试验和分析研究。

基金项目:国家自然科学基金项目(51569007);广西自然科学基金项目(2015GXNSFCA139004);国际岩溶研究中心国际合作项目开放课题 (KDL201601);广西高等学校高水平创新团队项目(002401013001)

作者简介:苏毅捷(1991-),男。硕士研究生,从事水文学及水资源研究。E-mail: 915722374@qq.com

通信作者:代俊峰(1980-),男。教授,博士,从事水资源高效利用与水环境研究。E-mail: whudjf@163.com

收稿日期:2017-07-11

1 材料与方法

1.1 试区概况

野外原位试验设在广西壮族自治区桂林市漓江流域青狮潭灌区的金龟河试区。金龟河,又名金龟河支 渠,位于桂林市西城区(临桂县)庙岭乡境内,原为漓江上游流域的桃花江上游支流,在1958年建设青狮潭水 库时规划为青狮潭水库西干渠三座引水工程之一,为自然河流与人工渠道互相结合而成,试区地理坐标位 于25°17′—25°22′N,110°09′—110°14′E,试区自然面积为2798.15 hm²。青狮潭西干渠向金龟河支渠补水的 时间为每年的4—10月,补水量基本恒定为0.5 m³/s,从每年11月开始,青狮潭水库停止往西干渠补水,使得 金龟河支渠流量明显减少,在每年11月一次年3月,金龟河水量来自流域内降雨形成的径流。

1.2 试区不同尺度划分依据

利用 ArcGIS 软件和 SWAT 模型,基于 DEM 数据对金龟河试区进行子流域划分,划分的过程中考虑水系和渠系分布,尽量使划分的排水沟与实际沟渠最大程度地一致。

1.2.1 数字高程模型(DEM)数据

数字高程模型(DEM)数据来源于中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云平台所提供的30m分辨率数据,并利用ArcGIS对其进行投影等一系列预处理操作,生成所需的DEM格式。

1.2.2 河网数据

在实际应用过程中,由于人类活动以及土地利用方式的改变,导致实际河流与河网划分有所差异,有时候DEM无法反映实际的河网位置。可利用Google Earth软件,对金龟河试区河流数字化及其格式转换,生成河网数据,叠加到DEM中,模拟出与实际河网最为接近的河网位置。

1.2.3 试区子流域划分

以实际河网为标准,基于DEM划分金龟河试区的子流域,当阈值为100 hm²时,模拟河网与实际河网最为接近,分别在金龟河沿程选取5个尺度的出水口为采样点,如图1所示,其中采样点5为金龟河试区的流域出水口,图2为金龟河试区土地类型图。各尺度控制面积、取样时段、取样次数见表1。



图1金龟河试区及各尺度采样点分布图

图2金龟河试区土地利用类型图

1.3 水样采集与分析

于 2016年 5—12 月(该年属丰水年)对金龟 河不同尺度出水口的水样进行采集,同时测水流 流速和过水断面面积,每15~30 d取1次。水样 采集后 2 h 内在实验室分析,遇加测样多时4℃ 低温保存,24 h 内处理完毕。水样总氮用碱性过 硫酸钾消解紫外分光光度法测定,氨氮用纳氏试 剂比色法测定,总磷用钼酸铵分光光度法测定。

表1试区不同尺度控制面积及水样采样情况

尺度	控制面积/hm ²	取样时段	取样次数		
1	335.406 7				
2	500.439 3				
3	1 135.359 9	5—12月	5-10月母月2次		
4	1 503.004 7		11-12万 每万 1 八		
5	2 798.149 2				

1.4 水量监测及排放负荷计算

水流流速采用流速仪进行现场实测,过水断面利用直尺测断面面积及水深,流量计算式为:

$$Q=V\times S$$

(1)

 m^3/hm^2

式中:Q为各尺度径流流量(m^3 /s);V为各尺度径流流速m/s;S为各尺度过水断面面积(m^2)。

对试区各尺度出水口进行流量监测,单位面积排水量计算式为:

$$q = Q \div A, \tag{2}$$

式中:Q为试区各尺度出水口2016年5—12月径流排水量,结合当天实测流量与当月降雨量进行流量估算 (m³);A为各尺度的控制面积(hm²);q为单位面积排水量(m³/hm²)。

各尺度氮磷月排放负荷计算式为:

$$L = ((C \times Q) \times 10^{-3} \times T) \div A, \tag{3}$$

式中:L为各尺度氮磷指标月排放负荷(kg/hm^2);C为各尺度径流排水中氮磷质量溶度(mg/L);Q为各尺度的径流流量(m^3/s);T为每月时间,以秒为单位(s);A为各尺度的控制面积(hm^2)。

2 结果与分析

2.1 不同尺度排水量分析

2016年(丰水年)金龟河试区不同尺度单位面积月排水量如表2所示。由表2可知,金龟河试区5—10月 不同尺度单位面积月排水量大于11—12月的。单位面积总排水量呈现随尺度增大而减小的趋势。其中,尺 度1到尺度3减小幅度较大,由24945.76m³/hm²下降至9791.69m³/hm²;尺度3之后降幅逐渐减缓,到尺度5降 至6606.56m³/hm²。造成上述变化的原因是:试区内随着尺度的增大,沟渠、塘堰等湿地对径流排水的拦蓄作 用增大,再加上拦蓄的水量被稻田等重复利用,减少了其水分损失,使得尺度增大后单位面积的排水量减小。

	尺度	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	总排水量
	1	4 088.08	4 111.26	4 180.81	4 064.89	4 049.44	3 879.42	332.30	239.57	24 945.76
	2	2 807.27	2 931.57	3 050.70	2 859.06	2 781.36	2 615.62	274.51	217.54	17 537.62
	3	1 470.24	1 620.91	1 632.33	1 543.29	1 488.50	1 394.90	340.16	301.35	9 791.69
	4	1 212.36	1 233.05	1 391.71	1 769.38	1 571.06	1 400.33	358.71	334.56	9 271.16
	5	856.85	919.84	1 023.59	1 158.84	1 096.77	969.86	292.72	288.09	6 606.56

表2 试区不同尺度单位面积月排水量

2.2 不同尺度氮磷质量浓度变化

2.2.1 总氮质量浓度变化

由图3可知,试区2016年不同尺度的9月和10月的总氮质量浓度总体低于5-8月的,随后11月和12月 质量浓度明显增高。造成各月总氮质量浓度差异的原因主要是:研究区域中种植大量中季水稻,5-8月是 灌溉和施肥时期,未被吸收利用的肥料随着径流排水进入排水沟网和河流,造成试区各尺度的总氮质量浓 度较高,而到9月和10月进入收割季节,不再施肥,田间总氮排放负荷减少,进入沟网的污染负荷减少,各尺 度的总氮质量浓度也随之下降。由于金龟河试区的灌溉补水主要来源于青狮潭灌区西干渠的补给,10月以 后灌区不再放水灌溉,西干渠停止对金龟河(支渠)的补给;再加上降雨量锐减,金龟河的水量急剧减少,流 速下降,导致试区出口的总氮质量浓度明显增高。

由图4可知,在金龟河试区内,随着尺度的增大,出水口年平均总氮质量浓度基本呈现上升的趋势。其中,尺度1出水口总氮年平均质量浓度为0.95 mg/L,在尺度2出水口总氮质量浓度下降至0.86 mg/L,降低了9.47%。可能的原因是,从尺度1到尺度2的沿程沟渠无明显污染物排放进入,且沟渠塘堰面积增加,对氮磷

94

有吸附去除作用,氮磷在塘堰沟渠中的迁移转化包括底泥吸附、植物吸收和微生物降解与协同等作用。尺度2出水口之后沿程质量浓度不断递增,尺度5试区出水口质量浓度为2.42 mg/L,相比尺度1增加了154.74%,原因为沿程污染物的累积作用,以及随尺度增大,污染物排放种类增多,造成了污染物的聚集,沿程总体质量浓度不断增大。



图3 2016年试区各尺度出水口月平均总氮质量浓度 2.2.2 氨氮质量浓度变化

图4 2016年试区各尺度出水口年平均总氮质量浓度

由图5可知,11月和12月氨氮质量浓度与总氮质量浓度相似,高于其他月份。主要是因为西干渠停止 对金龟河(支渠)补给,加上冬季降雨量锐减,金龟河的水量急剧减少,导致试区在11月和12月氨氮质量浓 度较高。

由图6可知,尺度3出水口与尺度5出水口的年平均氨氮质量浓度比其他各尺度的氨氮质量浓度高,其 原因可能与尺度3出口上游的鱼塘养殖场有关。该鱼塘养殖场占地面积约为2hm²,鱼塘的排水可能是氨氮 质量浓度增加的主要原因。此外,随着尺度增大,尺度5内稻田面积占比增大,养殖场数量也大幅度增加,因 而导致氨氮的质量浓度急剧增大。尺度2出口相比尺度1出口年平均氨氮质量浓度下降了27.27%,尺度4 出口相比尺度3出口年平均氨氮质量浓度下降了66.67%,造成的原因是尺度2出口与尺度4出口上游有大 量沟渠塘堰对氨氮吸附去除。研究表明,沟渠底泥对氨氮的最大饱和吸附量可达1.3 mg/g^[12],这解释了氨氮 质量浓度在尺度2出口与尺度4出口急剧下降的原因,相比之下总氮的降幅没那么明显,主要是由于底泥胶 体带负电荷,因此硝态氮不易被吸附^[13]。







2.2.3 总磷质量浓度变化

由图7可知,从时间尺度上,总磷在6、7、8、12月的质量浓度总体大于其他月份,可能是因为6、7、8月属于夏季高温季节,水生动物活动加剧,导致沉积物中的总磷量增加¹¹⁴。12月份总磷质量浓度增高同总氮、氨氮增高原因一样,都是由于西干渠停止对金龟河补给,导致流量减小,污染物质量浓度增高。

由图8可知,在空间尺度上,总磷质量浓度沿程尺度变化趋势跟氨氮变化相似,尺度3出口与尺度5出口 的年平均总磷质量浓度比其他各尺度的总磷质量浓度高,其原因与上游鱼塘养殖及污水排放有关。此外, 随着尺度增大,尺度5内稻田面积占比增大,养殖场数量也大幅度增加,因而导致总磷的质量浓度急剧增 大。尺度2出口相比尺度1出口年平均氨氮质量浓度下降了17.24%,尺度4出口相比尺度3出口年平均氨氮 质量浓度下降了41.95%,造成的原因是尺度2出口与尺度4出口上游有大量沟渠塘堰。研究表明,塘堰沟渠 中的底泥对磷的吸附率最大可达99%,底泥对磷有很强的吸附能力,是由于底泥中含有较多的无定型铁、铝 氧化物,能与磷形成溶解度很低的磷酸铁或磷酸铝。





图8 2016年试区各尺度出水口年平均总磷质量浓度

2.3 氮磷排放负荷随尺度变化规律

于2016年5—12月对金龟河试区不同尺度出水口水流进行氮磷监测,5—10月金龟河支渠水量来源于 西干渠灌溉补给和降雨径流,将此期间划为灌溉季节。11—12月西干渠不再向金龟河灌溉补给,金龟河支 渠水量主要来源于降雨径流,将此期间划为非灌溉季节。

2.3.1 总氮排放负荷规律

由图9(a)可知,灌溉季节总氮单位面积总排放负荷随尺度增大而减小,尺度1总氮单位面积总排放负荷为21.54 kg/hm²,随着尺度的增大,在尺度2流域出水口单位面积的总排放负荷为13.44 kg/hm²,急剧下降了37.60%,可能是因为尺度1中稻田面积比高,农田氮磷排放量大。随着尺度增大,尺度2控制面积增大,稻田面积比有所下降,稻田水的重复利用以及沿程沟渠塘堰对总氮的去除,使得单位面积排放负荷有明显下降。随着尺度再增大,排放污染物多元化,总体总氮单位面积排放负荷有小幅度下降。非灌溉季节总氮单位面积总排放负荷随尺度增大而增大,从尺度1单位面积总排放负荷0.67 kg/hm²增加到尺度5单位面积总排放负荷2.76 kg/hm²,主要原因是尺度1出口所控制的区域,进入非灌溉季节时,农田已收割,因而产生的排放负荷较少,随着尺度增大,污染物排放种类增多,加上非灌溉季节降水量锐减,塘堰沟渠水量减少,沟渠植物吸收能力下降,对氮磷的去除能力下降,因而排放负荷逐渐增多。

2.3.2 氨氮排放负荷规律

由图9(b)可知,氨氮在灌溉季节与非灌溉季节排放负荷相似,随尺度增大沿程起伏变化,在灌溉季节随 尺度增大总体呈下降趋势,由子流域尺度1的4.15 kg/hm²到尺度5的2.43 kg/hm²下降了41.45%,在非灌溉季 节,从子流域尺度1的0.208 kg/hm²到尺度5的0.509 kg/hm²增加了144.71%。试区尺度3与尺度5有所增大 的原因是:试区尺度3大量鱼塘废弃物排放,以及随着尺度的增大,试区尺度5的上游有大面积农田,随着稻 田面积比大幅度增加,农田的氮素排放增加,因而造成排放负荷有所增大。流域尺度4的排放负荷相比于试 区尺度3有很明显的下降,主要是由于沿程中的塘堰沟渠对氨氮的吸附以及去除,且效果明显。



2.3.3 总磷排放负荷规律

由图9(c)可知,在灌溉季节随尺度增大总磷排放负荷总体呈下降趋势,从子流域尺度1的1.04 kg/hm²到

试区尺度5的0.46 kg/hm²下降了59.77%。在非灌溉季节随尺度增大总磷排放负荷呈波动性变化且总体变化不大,从子流域尺度1的0.048 kg/hm²到试区尺度5的0.055 kg/hm²增加了14.58%。其中在灌溉季节与非 灌溉季节尺度3出水口排放负荷相对尺度2出水口都有所增大,主要是由于3出水口上游有2hm²鱼塘,鱼 塘水的排放导致了河流总磷量的增高。畜禽养殖业所排放的污染物是面源污染的重要来源之一,因而大 面积人工鱼塘所排放的污染物在面源污染负荷排放比重中不容忽视。采样过程中,发现许多鱼塘正利用 11、12月枯水期清理鱼塘的淤泥,因而造成了在非灌溉季节尺度3总磷的排放负荷明显增大。

3讨论

本研究应用SWAT模型,并考虑渠系分布,对漓江流域上游的青狮潭灌区金龟河试区进行子流域划分, 在试区内选择具有水力联系且从小到大逐级嵌套的5个尺度,开展氮磷排放的野外原位试验。试验结果表 明,由尺度1出水口(面积335.41 hm²)增大到尺度5出水口(面积2798.15 hm²),总氮沿程质量浓度呈上升趋 势,由尺度1出水口的0.95 mg/L增加到了尺度5出水口2.42 mg/L;而氨氮与总磷沿程呈现波动性变化,在尺 度3(面积1135.36 hm²)与尺度5呈现急剧增加的特点。灌溉季节氮磷的排放负荷大于非灌溉季节的,在灌 溉季节与非灌溉季节中,氮磷不同尺度下排放负荷存在较大差异。在灌溉季节,总氮、氨氮、总磷单位面积 排放负荷随尺度增大而减小,由尺度1到尺度5分别下降了54.60%、41.46%、55.77%。与何军等¹⁰在湖北漳 河灌区研究不同尺度稻田生育期氮磷排放规律试验相似,稻田氮磷排放负荷随着尺度的增大而降低。造成 这种现象的原因是:南方水稻灌区分布着大量的水塘、沟渠,水塘与农田以及周围水体相通,随着尺度的增 大,农田水的重复利用,以及沟渠塘堰对氮磷的吸附去除。本研究试验结果显示,在非灌溉季节氮磷排放负 荷则随着尺度的增大而增大,说明非灌溉季节试区内湿地对污染物的净化效果减小。结合土地利用类型图 和现场调查,灌溉季节金龟河中塘堰沟渠面积占金龟河流域面积的1.998%,约为55.91 hm²,非灌溉季节,由 于降雨量的减少以及西干渠不再往灌区补水,塘堰沟渠骤降,非灌溉季节的塘堰沟渠面积约为13.92 hm²,大 约减少了75.10%,从而降低了对氮磷污染物的消减作用。

4 结论和展望

1)漓江流域水稻灌区农业面源污染排放在不同的时间和空间尺度上呈现不同的特点。总氮质量浓度 随尺度增大呈上升趋势,氨氮与总磷沿程呈波动性变化,在尺度3与尺度5氨氮质量浓度与总磷质量浓度急 剧增加。在灌溉季节,总氮、氨氮、总磷单位面积排放负荷随尺度增大而减小,由尺度1到尺度5分别下降了 54.60%、41.46%、55.77%。非灌溉季节总氮排放负荷随尺度增大而增大,从试区尺度1单位面积总排放负荷 0.67 kg/hm²增加到尺度5单位面积总排放负荷 2.76 kg/hm²,氨氮与总磷排放负荷则表现为波动性变化。

2)在灌溉季节,试区内水容量大、水域面积大的沟渠塘堰对氮磷有较强的去除作用,而且在水流运动和 水重复利用的作用下,沟渠湿地和稻田对氮磷重复利用,致使氮磷随尺度增大而减小。非灌溉季节,沟渠湿 地水量减小,水面面积萎缩,塘堰沟渠面积减少了75.10%,对污染物的净化能力减弱,沿程氮磷质量溶度不 断累积,总氮排放负荷随尺度增大而不断增大,氨氮与总氮排放负荷则呈波动性变化。

因此,研究农田氮磷污染物排放对河流水质的影响时,应该考虑在随尺度增大的过程中塘堰、沟渠等的 去除效应和农田排水的重复利用。兹仅分析了2016年灌溉季节与非灌溉季节氮磷排放负荷时空差异,今后 将继续开展相关试验,获得更长时间序列数据,进一步分析氮磷排放负荷的年际变化。

参考文献:

- [1] 孔嘉鑫,姜仁楠,范贝贝,等.农业面源污染特征及治理对策[J].环境科学与管理,2016,41(5):85-88.
- [2] 付菊英,高懋芳,王晓燕.生态工程技术在农业非点源污染控制中的应用[J].环境科学与技术,2014,(5):169-175.
- [3] 侯静文, 崔远来, 赵树君, 等. 生态沟对农业面源污染物的净化效果研究[J]. 灌溉排水学报, 2014, 33(3):7-11.
- [4] MOTTES C, LESUEUR-JANNOYER M, CHARLIER J B, et al. Hydrological and pesticide transfer modeling in a tropical volcanic watershed with the WATPPASS model[J]. Journal of Hydrology, 2015,529:909-927.
- [5] 牟军, 崔远来, 赵树君, 等. 塘堰湿地对农田排水氮磷净化效果的影响研究[J]. 灌溉排水学报, 2015, 34(8):27-31.
- [6] 何军,崔远来,王建鹏,等.不同尺度稻田氮磷排放规律试验[J].农业工程学报,2010,26(10):56-62.
- [7] WANG H, WU Z, HU C. A Comprehensive Study of the Effect of Input Data on Hydrology and non-point Source Pollution Modeling[J]. Water Resources Management, 2015, 29(5):1 505-1 521.

- [8] ALVAREZ S, ASCI S, VOROTNIKOVA E. Valuing the Potential Benefits of Water Quality Improvements in Watersheds Affected by Non-Point Source Pollution[J]. Water, 2016, 8(4):112.
- [9] 刘方平, 才硕, 时红,等. 鄱阳湖流域防治面源污染的稻田湿地面积比分析[J]. 灌溉排水学报, 2015, 34(10):69-72.
- [10] 杨林章,冯彦房,施卫明,等.我国农业面源污染治理技术研究进展[J].中国生态农业学报,2013,21(1):96-101.
- [11] 李远华,董斌,崔远来.尺度效应及其节水灌溉策略[J].世界科技研究与发展,2005,27(6):31-35.
- [12] 徐红灯,席北斗,翟丽华.沟渠沉积物对农田排水中氨氮的截留效应研究[J].农业环境科学学报,2007,26(5):1924-1928.
- [13] 陈效民,吴华山,孙静红.太湖地区农田土壤中铵态氮和硝态氮的时空变异[J].环境科学,2006,27(6):1217-1222.
- [14] 张台凡,宋进喜,杨小刚,等. 渭河陕西段沉积物中总磷、总氮时空分布特征及其影响因素研究[J]. 环境科学学报, 2015, 35(5):1 393-1 399.
- [15] LIU R, XU F, ZHANG P, et al. Identifying non-point source critical source areas based on multi-factors at a basin scale with SWAT[J]. Journal of Hydrology, 2015, 533:379-388.
- [16] RANZINGER J, RUSTOM A, HEIDE D, et al. System dynamics modeling of the influence of the TN/TP concentrations in socioeconomic water on NDVI in shallow lakes[J]. Ecological Engineering, 2015, 76:27-35.
- [17] GAO H, LV C, SONG Y, et al. Chemometrics data of water quality and environmental heterogeneity analysis in Pu River, China[J]. Environmental Earth Sciences, 2015, 73(9):1-11.
- [18] 王静,郭熙盛,吕国安,等.农业面源污染研究进展及其发展态势分析[J].江苏农业科学,2016,44(9):21-24.
- [19] 胡静锋.重庆市农业面源污染测算与空间特征解析[J].中国农业资源与区划,2017,38(1):135-144.

Discharge of Nitrogen and Phosphorus at Different Scales over a Small Watershed within an Irrigation District in Upstream of the Li River

SU Yijie¹, DAI Junfeng^{1,2*}, MO Leixin¹, ZHANG Lihua¹, ZENG Honghu^{1,2}

(1. Guangxi Key Laboratory of Environmental Pollution Control Theory and Technology,

Guilin University of Technology, Guilin 541004, China; 2. Collaborative Innovation Center for Water Pollution Control and Water Safety in Karst Area, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: (Objective) This paper is to present the results of an experimental investigation into the discharge of nitrogen and phosphorus at different scales from a small watershed within an irrigation district in the upper stream of the Li River, with a view to provide baseline data for controlling and mediating their pollution. [Method] We first divided Jingui Experimental Area in Qingshitan Irrigation District on the upstream of the Lijiang River into a number of sub-catchments based on DEM and ArcGIS and SWAT model. From the terrain of the river and canals, we considered five scales which were hydraulically connected. In-situ experiment was then conducted from May to December in 2016 to measure the concentration of nitrogen and phosphorus as well as their discharge rate at the outlet of the experimental area. [Result] The concentration of total nitrogen was scale dependent, increasing from 0.95 mg/L to 2.42 mg/L when the spatial scale increased from 335.41 hm² to 2 798.15 hm². In contrast, the concentration of ammonia and total phosphorus fluctuated as the scale increased, increasing fast only in the third scale, 1 135.36 hm², and the fifth scale. The discharge of nitrogen and phosphorus was higher in irrigation season than in non-irrigation season, with the discharge of total nitrogen, ammonia and total phosphorus decreased by 54.60%, 41.64% and 55.77% respectively when the scale increased from 335.41 hm² to 2 798.15 hm². In non-irrigation season, the discharge of total nitrogen increased from 0.67 kg/hm² to 2.76 kg/hm², while the discharge of ammonia and total phosphorus fluctuated, as the scale increased. [Conclusion] In irrigation season, the leaching of nitrogen and phosphorus into drainage ditches and ponds as well as the reuse of the effluent reduced their discharge. However, in non-irrigation season, the area of ditches and ponds reduced by 75.10% from 55.91 hm² to 13.92 hm², resulting in a decrease in removal efficiency and an increase in pollutant discharge. As such, the scaleeffect of nitrogen and phosphorus discharge should be taken into account in studying nitrogen and phosphorus emission and pollutant in the Lijiang River Basin.

Key words: nitrogen and phosphorus releases; irrigated area; scale; spatiotemporal variations; small watershed

责任编辑:陆红飞