DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2017.06.005

稻田空间分布格局对三峡库区农业小流域径流氮排放的影响①

林　晓[1]，　史　书[1]，　木志坚[1,2,3]，　刘园园[1]，
倪九派[1,2,3]，　谢德体[1,2,3]，　吴　波[4]

1. 西南大学 资源环境学院，重庆 400716；2. 重庆市三峡库区农业面源污染控制工程技术研究中心，重庆 400716；
3. 三峡库区生态环境教育部重点实验室，重庆 400715；4. 重庆市涪陵区气象局，重庆 408000

摘要： 对三峡库区涪陵段两个毗邻集水域的汇水口径流进行了持续 1 年的高频(每日)采样监测，以对比分析稻田空间分布格局对径流氮素质量浓度和输出强度的影响. 所选择的两个集水域稻田面积比例相近，但其中一个(记为 A)的稻田分布零散，破碎度高，另一个(记为 B)的稻田则连片分布在其末(底)端，破碎度低. 结果表明两集水域不同作物生长季径流氮素的输出均以硝态氮为主(占总氮的 60%～81%). 对比两个集水域，A 在全年和不同作物生长季的径流氮素平均质量浓度都相应地高于 B. 同样，集水域 A 的年径流量(1 431 m^3/hm^2)显著高于集水域 B(840 m^3/hm^2)，因而前者径流总氮的年输出通量(16.1 kg/hm^2)远大于后者(5.21 kg/hm^2). 鉴于两个集水域的气候、土壤类型、地形地貌和农田耕作管理方式相同，单位土地面积的施肥量以及稻田面积比例也相近，只是稻田空间分布格局迥异，汇水口径流氮素的质量浓度和输出通量的差异显然是由于集水域末端连片分布的人工湿地—稻田比零散分布的稻田对集水域内的径流及随其迁移的氮素有更佳的拦截和净化作用所致.

关　键　词： 三峡库区；面源污染；氮素排放；稻田；空间分布格局

中图分类号： X52　　**文献标志码：** A　　**文章编号：** 1673－9868(2017)06－0028－08

三峡水库蓄水后，库区水位抬升，水流变缓，水体更新缓慢，复氧能力和自净能力变差，造成水质恶化日趋严重[1]. 目前，库区主要支流水体总氮的平均质量浓度达到 1.56 mg/L[2]，其中已有 22 条支流出现不同程度的“水华”现象[3]. 面源污染被认为是三峡库区水环境不断恶化的重要原因[4]. 研究认为，库区水体 52%的总氮均来自于农业径流污染[5].

三峡库区主要以农业生产为主，农田占整个库区的面积比例为 44%，水稻作为三峡库区主要的粮食作物之一，在库区内广泛种植，其种植面积占库区粮食播种面积的 26%[5]. 近年来，国内学者对三峡库区面源物质氮磷的变化规律及排放负荷进行了大量的研究[9－10]. 由于库区多为山地丘陵，土地利用空间

① 收稿日期：2015－08－23
基金项目：国家自然科学基金项目(41371275,41371301)；水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07104－003).
作者简介：林　晓(1991－)，女，广东新会人，硕士研究生，主要从事水环境保护的研究.

分布格局复杂，不同作物种植对水体的养分浓度及排放均会产生不同的影响[11-12]. 已有研究发现[13]稻田种植面积比例对流域内径流水质有着显著的影响. 稻田空间分布格局作为另一个可能影响径流水质的重要因素，在现有的研究中却鲜有涉及. 目前，关于库区面源污染物质流失的定量化研究也多是基于单次暴雨径流或间断性采样[14-16]，存在监测时间短和频率低等缺陷，在流域尺度上进行的高频连续监测研究则更少. 因此，本研究选择三峡库区涪陵段王家沟小流域内两个稻田空间分布格局迥异的毗邻集水域，对每个子集水域汇出口的径流水进行连续1年、每日1次的高频采样监测，以准确掌握集水域内径流的氮素质量浓度动态变化及输出通量，对比分析稻田空间分布格局对径流氮素流失的影响，为三峡库区面源污染的防治提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 研究流域概况

王家沟小流域位于重庆市涪陵区珍溪镇东部(29°54′N，107°27′E)，地处长江北岸，上距涪陵城区30 km，下距丰都城46 km. 属亚热带湿润季风气候，多年平均气温22.1 ℃，平均降雨量1 011 mm，四季降雨量分配以夏、秋两季居多. 该处属低山丘陵地带，海拔高度为153～307 m. 地势从东北部往西南部减缓并逐渐延伸至长江. 流域内坡度都在40°以下，大部分区域都在20°以内，少数地区在20°～40°范围内变化. 土壤为侏罗系蓬莱镇组棕紫色砂泥岩相发育的棕紫泥，pH值为5.6～8.1，养分除钾质量分数较高外，其余有机质、有效养分质量分数均为中等，但微量元素质量分数低，属中度缺乏. 流域内分布有自然村落，无工矿企业，农业以人工耕作方式为主，主产水稻、玉米和榨菜. 每年的土地利用方式和生产方式稳定，4月和5月上旬分别在旱地栽种玉米和水田栽种水稻，8月中旬收获；10月初所有农田都种植榨菜，次年2月底收获. 流域除南部紧邻长江岸边有水流汇出口外，其余均被山脊所包围，可认为是一个“封闭”的集水区(图1). 流域内地表径流水主要来源于大气降水和浅层地下水.

土地结构通过项目组绘制的1 m数字高程模型和arcGIS的Hydrology tools对流域水文信息进行分析，通过现场踏勘结合1∶1 000土地利用现状图的判读获得. 小流域总面积72.3 hm^2. 根据沟渠水系分布特征可将该流域分为两个子集水域A和B，两个集水域的水系均起源于东部坡地，流经旱地和稻田，终至西部流域汇出口(图1). 由于相互毗邻，集水域A和B在气候、土壤类型、地形地貌和农田耕作管理方式上均相同. 土地利用如表1，主要为旱地和稻田，且面积比例相近，两者仅在稻田的空间分布格局上存在较大差异. 其中，集水域A的稻田分布零散，集水域B的稻田连片集中在集水域底(末)端径流汇水口处. 通过土地破碎度指数来反映土地利用空间结构的完整性和复杂性. 破碎度越高，土地利用空间结构的完整性越低[17]. 按赖彦斌等[17]的方法用单位面积上的斑块数为度量，计算得出集水域A中稻田的破碎度指数(1.74)远高于集水域B(0.19)，说明集水域A中稻田分布格局的完整性远低于集水域B.

表1 王家沟流域土地利用面积及所占比例

流域	总面积/hm^2	旱地		稻田		居民点		其它	
		面积/hm^2	比例/%	面积/hm^2	比例/%	面积/hm^2	比例/%	面积/hm^2	比例/%
集水域A	22.5	14.1	62.7	6.9	30.6	0.7	3.1	0.8	3.6
集水域B	49.8	33.8	67.9	10.8	21.7	2.1	4.2	3.1	6.2

根据前期对当地农业生产调查，该流域共有495人，80%为常住居民. 当地养殖主要为家庭散养生猪、鸡、鸭等，总体数量较少，无工矿企业. 同时参考何仁江等[18]对该地区土壤氮的人为输入和自然输

入情况汇总，得出不同集水域间单位面积农田土壤系统氮素收入的基本信息可知，不同集水域间氮收入情况基本一致.

1.2　样品采集与测定

分别在集水域 A 和 B 的径流汇出口(图 1)安装自动采水仪(ISCO6712 型，美国)和超声波水位流量计(LC-50 型，中国)进行径流水样的采集和流量的记录. 采样监测自 2012 年 3 月 21 日开始，至 2013 年 3 月 20 日结束. 设置自动采水仪的程序，使其于每日 4：00，12：00 和 20：00 采集径流水并混合成一个样品，以此作为当天的代表性水样. 自动采水仪的隔热基座内放置 10 kg 冰袋并定期更换，以便低温保存水样. 每隔一定时间将水样带回实验室进行相关指标测定. 此外，在小流域内还设有降雨采集装置，并结合当地气象站所提供数据，对每日的降雨量进行统计.

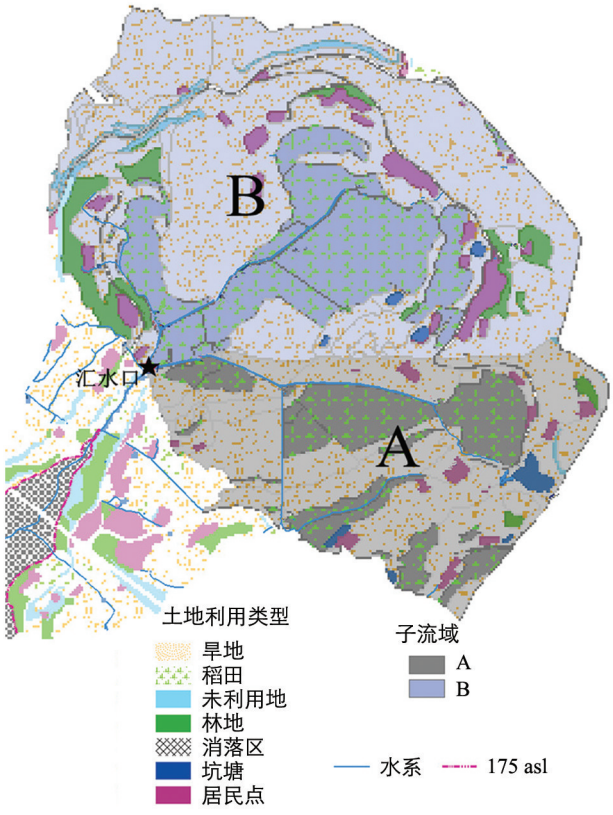

图 1　王家沟小流域土地利用及沟渠水系空间分布

水样测定指标包括总氮(TN)，硝态氮(NO_3^--N)，铵态氮(NH_4^+-N)和亚硝态氮(NO_2^--N). 一部分未过滤水样经碱性过硫酸钾密闭消化(121 ℃，30 min)后，采用紫外－可见分光亮度计于 220 nm 波长下比色测定 TN. 另一部分水样经 0.2 μm 醋酸纤维滤膜(日本东洋滤纸株式会社)过滤后，滤液用离子色谱仪(DX-120 型)测定 NO_3^--N，NH_4^+-N 和 NO_2^--N 的质量浓度.

1.3　径流氮素输出通量计算

各集水域汇出口径流氮素的输出通量用此公式计算：

$$L - \sum_{i=1}^{n}(c_i Q_i \times 10^{-3}/S)$$

其中，L 为集水域单位面积径流氮素的累积输出通量(kg/hm^2)，c_i 和 Q_i 分别为第 i 日径流水样的氮素质量浓度(mg/L)和日径流量(m^3)，n 为累积天数，S 为集水域面积(hm^2). 因每季作物收获后的休闲期较短，将它们分别归并入前一作物季一起计算当季的氮素输出通量(即 3 月底至 9 月中旬为水稻－玉米季，9 月底至次年 3 月中旬为榨菜季).

2　结果与分析

2.1　降雨量及流域汇出口径流量

王家沟小流域在研究期间的降雨量和流域出口径流变化情况如图 2. 年降雨量为 970 mm，其中，水稻/玉米季的降雨量占总降雨量的 79.2%，榨菜季占 20.8%. 相应地，两个集水域在水稻/玉米季的径流量均高于榨菜季(图 2). 就全年而言，集水域 A 汇出口累积年径流量为 143 mm(相当于 1 431 m^3/hm^2，占年降雨量的 14.8%；集水域 B 汇出口累积年径流量为 84mm(相当于 840 m^3/hm^2，占年降雨量的 8.7%. 对比两

个集水域，集水域A在大多数日期的径流深都相应地高于集水域B(图2).

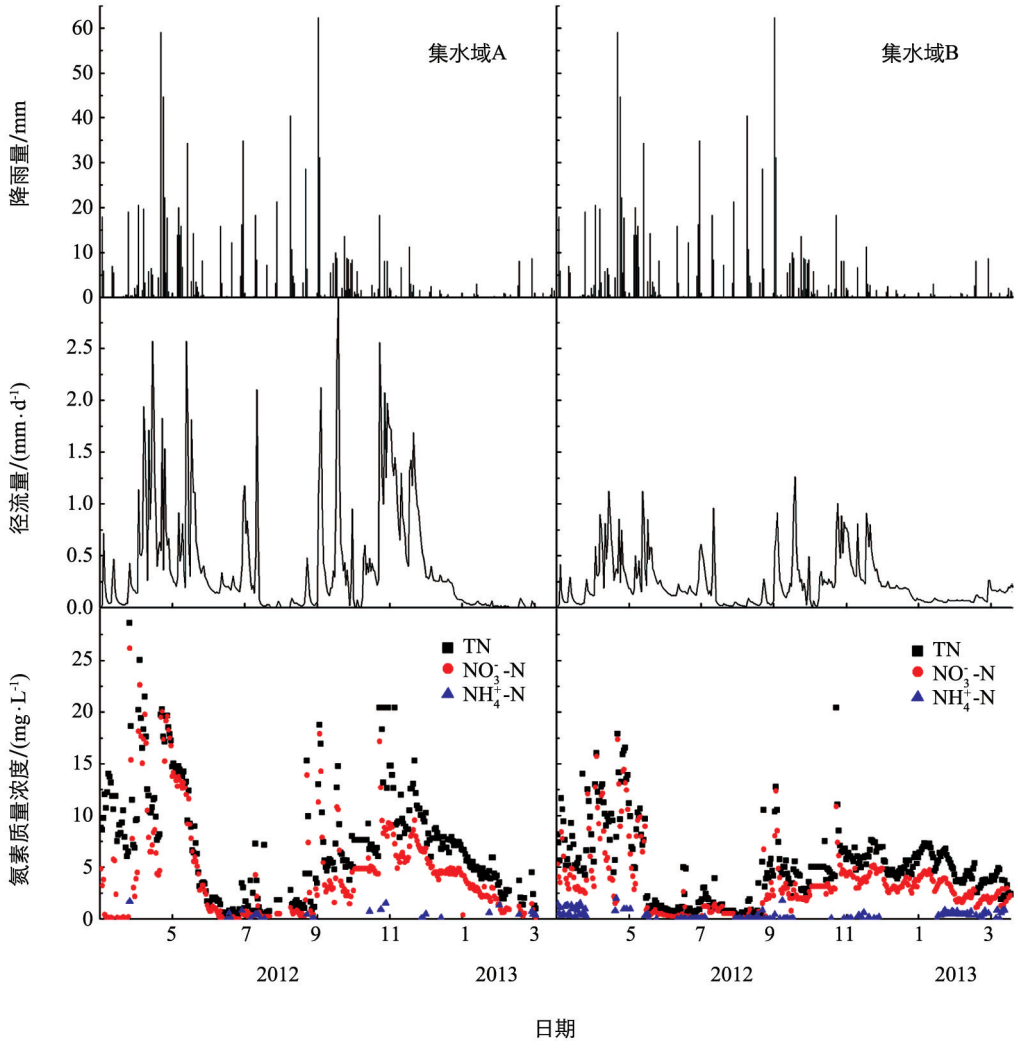

图2 降雨量和流域汇出口径流量与氮素质量浓度动态变化

2.2 流域汇出口径流氮素质量浓度的动态变化

两个集水域径流TN和NO_3^--N的质量浓度随时间波动较大，NH_4^+-N质量浓度则一直保持在较低的水平(图2). NO_2^--N质量浓度在多数日期均低于检测限，故在此处不予考虑. 在4—5月份的水稻/玉米播种初期和10—11月份的榨菜种植初期，因当地农田施肥活动，集水域A和B汇出口径流TN和NO_3^--N表现出较高的质量浓度值(图2). 另外，在水稻/玉米收获后的9月初期也观测到较高的径流氮素质量浓度，这可能是由于7—8月份持续的高温与干旱使土壤积累了较多的矿化氮[19]，并随着9月初期降雨的恢复被冲刷出来所致.

同一集水域在不同作物种植季中径流TN，NO_3^--N和NH_4^+-N均值差异不大，集水域A和B在榨菜季TN质量浓度均值仅比水稻/玉米季高出3.0%和6.3%(表2). 相反，同一种植季集水域A径流中TN和NO_3^--N均值却分别比集水域B高48%～53%和39%～60%，NH_4^+-N的均值相近(表2). 显著性分析结果表明，除NH_4^+-N外，集水域A径流TN和NO_3^--N的年均质量浓度都显著高于集水域B($p<0.01$). Pearson相关性分析表明，两集水域的TN质量浓度均与NO_3^--N质量浓度呈极显著正相关($r=0.88\sim0.94$，$p<0.01$).

表 2　不同作物种植季各集水域汇出口径流氮素质量浓度　/(mg·L^{-1})

集水域		水稻/玉米季		榨　菜　季		年均值
		范围	均值	范围	均值	
A	TN	0.39～28.58	7.31	0.94～20.41	7.53	7.39
	NO_3^--N	0.06～26.19	5.12	0.09～17.16	4.45	4.82
	NH_4^--N	0～1.68	0.34	0.01～1.50	0.54	0.43
B	TN	0.28～17.89	4.78	1.89～20.41	5.08	4.92
	NO_3^--N	0.05～17.35	3.20	1.06～10.90	3.20	3.20
	NH_4^--N	0～2.01	0.37	0～0.87	0.38	0.38

2.3　流域累积径流量和氮素输出通量

表 3 反映了各集水域在不同作物种植季的累积径流量及氮素输出通量. 集水域 A 和 B 单位面积径流量存在明显差异，前者累积年径流量为 1 431 m^3/hm^2，显著高于后者(840 m^3/hm^2). 相应地，集水域 A 径流中 TN，NO_3^--N 和 NH_4^+-N 的年输出通量分别为 16.10 kg/hm^2，11.55 kg/hm^2 和 0.07 kg/hm^2，集水域 B 分别为 5.21 kg/hm^2，3.60 kg/hm^2 和 0.07 kg/hm^2. 除 NH_4^+-N 的输出通量相差不大外，集水域 A 径流 TN 和 NO_3^--N 的年输出通量均明显高于集水域 B.

对比不同作物种植季，两个集水域在水稻/玉米季径流中 TN 和 NO_3^--N 的输出通量均略高于榨菜季. 水稻/玉米季径流 TN 输出通量占全年的 55%～59%，榨菜季占全年的 41%～45%. 不同作物生长季径流氮素输出均以 NO_3^--N 为主，约占 TN 输出的 60%～81%，而 NH_4^+-N 仅占 0.3%～1.6%.

表 3　各集水域汇出口累积径流量及氮素输出通量

集　水　域		水稻/玉米季	榨菜季	全　年
A	径流量/(m^3·hm^{-2})	838	593	1 431
	TN/(kg·hm^{-2})	8.89	7.21	16.10
	NO_3^--N/(kg·hm^{-2})	7.21	4.34	11.55
	NH_4^+-N/(kg·hm^{-2})	0.03	0.04	0.07
B	径流量/(m^3·hm^{-2})	474	366	840
	TN/(kg·hm^{-2})	3.08	2.13	5.21
	NO_3^--N/(kg·hm^{-2})	2.21	1.39	3.60
	NH_4^+-N/(kg·hm^{-2})	0.05	0.02	0.07

3　讨　论

研究表明，流域内不同的土地利用方式及其面积比例会直接影响径流水体氮素质量浓度及其输出通量. 朱继业等[20]发现太湖地区小流域内玉米－油菜轮作和蔬菜种植条件下的坡地地表径流氮素流失量远高于竹园和板栗园. 杨金玲等[21]对亚热带低山丘陵地区 7 个不同土地利用结构的子流域地表径流水质的监测结果表明，氮素径流输出通量随林地面积比例增加而减少，但与旱地面积比例相关. 同样地，稻田面积比例不同也会对径流水质造成显著影响[22－23]. 据宋立方等[13]研究发现，由于稻田土壤的犁底层限制了氮磷养分向深层土壤的渗漏，促使养分通过地表径流而流失，即稻田面积比例越大，氮素流失量越高. 与之相反，张志剑等[24]研究表明，若稻田 1 周之内未发生田面径流，则田间循环用水中氮磷养分的外排将会得到较大的减轻，即随着稻田面积比例增大，氮素等养分流失量会随之减少. 综合众多研究发现，水稻田具有特殊的双重性质：一方面，水稻的生长往往会施用大量的化肥农药，造成养分流失，稻田本身是一个潜在的污染源；但另一方面，稻田由于有田埂在四周围护，水稻生长期内田面被水层覆盖，水稻和其他水生植物、水生

动物及微生物共同生长，形成了具有独特生物多样性的特殊人工湿地系统. 稻田湿地系统的存在，既能对径流水产生一定的拦截，减少径流量的输出，又能通过其中植物和其他生物的吸收、挥发、氨化、硝化、反硝化以及基质吸附等作用对径流氮磷等养分进行有效地消纳[21, 25]. 再则，正因为田埂的围护，导致稻田只有在特大暴雨或者足够大的雨量才能使水层溢出产生径流. 这种径流只是机会性的发生，次数少，强度小，并不能产生严重的面源污染[26]. 因此，水稻土以及稻田系统其实是一种环境友好、生态健康的人工湿地生态系统，该结论已得到国内外学者研究实践证实[27－28]. 稻田作为一种重要且特殊的人工湿地系统，通常会从两个方面对径流养分流失造成影响：一是稻田淹水后类似于蓄水池，能对径流水产生拦截作用，减少径流量的输出[18]；其次，稻田能将径流水中的养分和悬浮泥粒阻拦下来，部分水溶性养分离子也会随着悬浮泥粒沉淀或被植物根系吸附[29－30]. 此外，当尿素等氮肥施入淹水的稻田后，在缺氧的条件下经反硝化生成氮氧化物和氮气，减少TN质量分数[31].

本研究中两个集水域间稻田面积比例相近，加之两者地理位置毗邻，气候、土壤类型、地形地貌和农田耕作管理方式相同. 根据前期对当地农业生产资料调查以及参考何仁江等[18]对该地区不同作物种植季农田施肥情况研究显示，集水域A单位面积土壤系统化肥年收入总量(544 kg/hm^2)和集水域B(531 kg/hm^2)相近，这意味着两个集水域间潜在的氮素流失风险理应相同. 然而，集水域A径流中实际径流氮输出通量却均显著高于集水域B，这可能是由两个集水域在稻田空间分布格局上存在的差异引起的. 这两个集水域在稻田空间分布格局主要存在以下两点不同：① 稻田破碎度指数不同. 集水域A中稻田破碎度指数(1.74)远高于集水域B(0.19)，说明前者稻田面积分布较后者相对零散，即集水域A对径流的拦截以及氮素的净化作用也不如集水域B系统和完善；② 稻田位置分布差异. Basnyat等[32]研究发现，污染源和受纳水体之间的距离也是影响污染物迁移的重要因素之一. “汇”景观类型在距离上更靠近流域出口，则对养分的净化拦截作用愈加显著[33]. 本研究中，集水域B中稻田大多沿着沟渠两侧分布，且成片集中在集水域下端地势平坦处，距离流域出口较近，这对径流水体的拦截和净化作用更加显著. 综上所述，稻田这种类似“汇”型的景观单元分布结构可以有效地促进地表径流的渗入、减少径流流量以及通过土壤基质吸附、沉淀以及反硝化作用等途径明显减少氮素等养分向下游方向迁移. 因此，两个集水域稻田空间分布格局上存在的差异，最终导致集水域B的径流量和氮素输出通量均显著低于集水域A.

4 结 论

本研究选择的两个集水域地理位置毗邻，气候、土壤类型、地形地貌和农田耕作管理方式相同，稻田面积比例和单位面积土地施肥量相近，其中稻田破碎度低且成片集中在底端的集水域流域径流量和氮素输出通量显著较低，说明这种空间格局分布对径流水体的拦截和净化作用更加系统和完善. 因此，合理配置农业土地空间格局可能对三峡库区面源污染的控制起到事半功倍的效果.

参考文献：

[1] 郑丙辉，曹承进，秦延文，等. 三峡水库主要入库河流氮营养盐特征及其来源分析 [J]. 环境科学，2008，29(1)：1－6.

[2] 张 远，郑丙辉，刘鸿亮，等. 三峡水库蓄水后氮、磷营养盐的特征分析 [J]. 水资源保护，2005，21(6)：23－26.

[3] FU B J，WU B F，LÜ Y H，et al. Three Gorges Project：Efforts and Challenges for the Environment [J]. Progress in Physical Geography，2010，34(6)：741－754.

[4] 宋林旭，刘德富，过寒超，等. 三峡库区香溪河流域不同源类氮、磷流失特征研究 [J]. 土壤通报，2013，44(2)：465－471.

[5] 黄 可，童泽圣. 重庆统计年鉴 [M]. 北京：中国统计出版社，2013.

[6] 刘园园，史 书，木志坚，等. 三峡库区典型农业小流域水体氮磷浓度动态变化 [J]. 西南大学学报(自然科学版),

2014，36(11)：157－163.

[7] 宋林旭，刘德富，肖尚斌，等. 三峡库区香溪河流域非点源营养盐输出变化的试验研究 [J]. 长江流域资源与环境，2011，(8)：990－996.

[8] 贺缠生，傅伯杰，陈利顶. 非点源污染的管理及控制 [J]. 环境科学，1998，19(5)：87－91.

[9] 田耀武，黄志霖，肖文发. 三峡库区黑沟小流域非点源污染物输出的动态变化 [J]. 环境科学，2011，32(2)：423－427.

[10] SHAEPLEY A N，GBUREK W J，FOLMR G，et al. Sources of Phosphorus Exported from an Agricultural Watershed in Pennsylvania [J]. Agricultural Water Management，1999，41(2)：77－89.

[11] 刘仁燕，冯明磊，林　杉，等. 三峡库区小流域水体硝态氮含量及与土地利用的关系 [J]. 自然资源学报，2008，23(5)：886－892.

[12] 曾立雄，黄志霖，肖文发，等. 三峡库区不同土地利用类型氮磷流失特征及其对环境因子的响应 [J]. 环境科学，2012，33(10)：3390－3396.

[13] 宋立芳，王　毅，吴金水，等. 水稻种植对中亚热带红壤丘陵区小流域氮磷养分输出的影响 [J]. 环境科学，2014，35(1)：150－156.

[14] 许其功，刘鸿亮，沈珍瑶，等. 三峡库区典型小流域氮磷流失特征 [J]. 环境科学学报，2007，27(2)：326－331.

[15] 曾立雄，肖文发，黄志霖，等. 三峡库区兰陵溪小流域养分流失特征 [J]. 环境科学，2013，34(8)：3035－3042.

[16] DAVID K，DANIELA U，QIU G，et al. Natural and Human Influences on Nutrient Transport Through a Small Subtropical Chinese Estuary [J]. Science of the Total Environment，2013，450－451：92－107.

[17] 赖彦斌，徐　霞，王静爱，等. NSTEC 不同自然带土地利用/覆盖格局分析 [J]. 地球科学进展，2002，17(2)：215－220，304.

[18] 何仁江，江　韬，木志坚，等. 三峡库区典型农业小流域土壤系统氮磷收支研究 [J]. 西南大学学报(自然科学版)，2011，33(5)：95－101.

[19] 巨晓棠，李生秀. 土壤氮素矿化的温度水分效应 [J]. 植物营养与肥料学报，1998，4(1)：37－42.

[20] 朱继业，高　超，朱建国，等. 不同农地利用方式下地表径流中氮的输出特征 [J]. 南京大学学报(自然科学版)，2006，42(6)：621－627.

[21] 杨金玲，张甘霖，张　华，等. 丘陵地区流域土地利用对氮素径流输出的影响 [J]. 环境科学，2003，24(1)：16－23.

[22] 罗　璇，史志华，尹　炜，等. 小流域土地利用结构对氮素输出的影响 [J]. 环境科学，2010，31(1)：58－62.

[23] 祝　惠，阎百兴. 三江平原水田氮的侧渗输出研究 [J]. 环境科学，2011，32(1)：108－112.

[24] 张志剑，董　亮，朱荫湄. 水稻田面水氮素的动态特征、模式表征及排水流失研究 [J]. 环境科学学报，2001，21(4)：475－480.

[25] 袁俊吉，马永玉，周鑫斌，等. 稻田生态系统对污水中无机态氮的消纳 [J]. 西南大学学报(自然科学版)，2009，31(9)：7－14.

[26] 曹志洪，林先贵，杨林章，等. 论“稻田圈”在保护城乡生态环境中的功能Ⅰ——稻田土壤磷素径流迁移流失的特征 [J]. 土壤学报，2005，42(5)：799－804.

[27] 曹志洪，林先贵，杨林章，等. 论“稻田圈”在保护城乡生态环境中的功能Ⅱ——稻田土壤氮素养分的累积、迁移及其生态环境意义 [J]. 土壤学报，2006，43(2)：256－260.

[28] GREENLAND D J. The Sustainability of Rice Farming [D]. London：CAB International Publication in Association with the International Rice Research Institute，1998：110－113.

[29] YAN W，YIN C，TANG H. Nutrient Retention by Multipond Systems：Mechanisms for the Control of Nonpoint Source Pollution [J]. Journal of Environmental Quality，1998，27(5)：1009－1017.

[30] 梁斐斐，蒋先军，袁俊吉，等. 垄作稻田生态系统对三峡库区坡面径流中氮、磷的消纳以及降雨强度的影响 [J]. 水土保持学报，2012，26(3)：7－11.

[31] BEAULIEU J J，Tank J L，Hamilton S K，et al. Nitrous Oxide Emission from Denitrification in Stream and River Networks [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences，2011，108(1)：214－219.

[32] BASYAT P, TEETER L D, FLYNN K M, et al. Relationships Between Landscape Characteristics and Nonpoint Source Pollution Inputs to Coastal Estuaries [J]. Environmental Management, 1999, 23(4): 539－549.

[33] 沈珍瑶, 刘瑞民, 叶 闽, 等. 长江上游非点源污染特征及其变化规律 [M]. 北京: 科学出版社, 2008.

Impact of Spatial Distribution Pattern of Paddy Fields on Runoff Nitrogen Export from a Small Agricultural Watershed in the Three Gorges Reservoir Area

LIN Xiao[1], SHI Shu[1], MU Zhi-jian[1,2,3],
LIU Yuan-yuan[1], NI Jiu-pai[1,2,3], XIE De-ti[1,2,3], WU Bo[4]

1. *School of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China;*
2. *Engineering Research Center for Agricultural Non-Point Source Pollution Control in the Three Gorges Reservoir Area, Chongqing 400716, China;*
3. *Key Laboratory of MOE for Eco-Environments in Three-Gorges Reservoir Region, Chongqing 400715, China;*
4. *Meteorological Bureau of Fuling District, Chongqing 408000, China*

Abstract: A high frequency (daily) monitoring was carried out in two adjacent catchments in Fuling of the Three Gorges Reservoir for a year with the aim of analyzing comparatively the impact of spatial distribution pattern of paddy fields on nitrogen concentration and export fluxes in the runoff. The rice paddy fields of a catchment (marked as A) were scatteringly distributed with a high fragmentation index, while the paddy fields of the other catchment (marked as B) were continuously distributed at the bottom of the catchment, with a low fragmentation index. The results showed that the form of the exported nitrogen was dominated by nitrate nitrogen (accounting for 60%－81% of the total nitrogen) in different crop growing seasons in both catchments. But the average concentration of nitrogen in the runoff of A was higher than that of B throughout the year and in different crop growing seasons. Similarly, the amount of runoff in A (1 431 m^3/hm^2) was significantly higher than in B (840 m^3/hm^2), and the total nitrogen export fluxes of A (16.1 kg/hm^2) was much higher than of B (5.21 kg/hm^2). In view of the fact that the two catchments shared the same climate, soil type, topography and tillage management and similar fertilization rate per unit of land and area proportion of rice paddy fields, but had strikingly different spatial distribution patterns of rice paddy fields, the differences in nitrogen concentration and export fluxes in the runoff of the two catchments were obviously caused by the better N interception and purification in runoff of B than of A.

Key words: Three Gorges Reservoir Area; non-point source pollution; nitrogen emission; paddy field; spatial distribution pattern

责任编辑 周仁惠