

平原感潮河网地区不同土地利用下营养盐迁移特征

徐爱兰,季晓,曾建,陈敏

(南通市环境监测中心站,江苏 南通 226006)

摘要: 分别在南通平原河网地区选择典型非圩区开展野外原位试验,用野外观测和室内分析相结合的方法,研究平原非圩区典型试验小区不同土地利用下营养盐在自然降雨—径流驱动下迁移的时空分布特征。结果表明,导致营养盐迁移时空分布存在显著差异的主要原因为不同的土地利用类型、施肥条件及植被覆盖度等,不同土地利用下的径流量差异是导致营养盐迁移通量存在显著差异的主导因素。

关键词: 平原感潮河网地区; 非圩区; 不同土地利用; 营养盐; 迁移通量; 氮; 磷; 非点源污染

中图分类号: X820.3

文献标识码: B

文章编号: 1006-2009(2011)06-0030-05

Transportation Characteristics of Various Nutrients by Different Land Uses in Plain Tidal River Networks

XU Ai-lan, JI Xiao, ZENG Jian, CHEN Min

(Nantong Environmental Monitoring Center, Nantong, Jiangsu 226006, China)

Abstract: A typical agricultural watershed and runoff plots of plain areas in Nantong were selected for experimental research. Different land uses in the watershed were investigated on time and spatial distribution characteristics of nutrients losses in surface runoff. The reasons about significant difference of spatial and temporal distribution were different land uses, fertilization and vegetation coverage. The runoff flux of different land uses was the key factor to the transportation fluxes of nutrients.

Key words: Plain tidal river networks; Plain areas; Different land uses; Nutrient; Transportation flux; Nitrogen; Phosphorus; Non-point source pollution

发达国家的环境现状表明,非点源污染已成为水环境的首要污染源,特别是农村生产与生活引起的非点源污染,已经取代点源污染,逐渐成为水体污染的重要因素^[1-2]。南通平原感潮河网地区近10年来,农业生产快速发展,农民生活也有了很大的改善,但高消耗的农村生产与生活方式依然存在,由此带来的农业资源消耗与环境问题日趋突出,其中农业非点源污染在相当长的时期内已成为制约农业循环经济发展的重要因素^[3]。

南通市虽已开展了农业非点源污染的相关研究,但起步较晚,研究内容较少,同时因平原河网发达,地势较低,易受潮汐影响,加上感潮河网本身具有的交叉污染等特性,水环境恶化,因此对平原感潮河网水体农业非点源产污规律的研究越来越重要。现在南通平原河网地区选择典型圩区和非圩

区开展野外原位试验,通过野外观测和室内分析相结合的方法,研究平原非圩区不同土地利用下营养盐在自然降雨—径流驱动下迁移的时空分布特征。

1 区域概况

南通平原河网地区分别属于里下河流域及长江流域,里下河流域多为圩区,长江流域大多为平原非圩区。

平原河网非圩区是农业活动频繁的地区,在降雨条件下随径流流失的农田营养盐是非点源污染

收稿日期: 2011-02-17; 修订日期: 2011-09-18

基金项目: 江苏省环境监测科研基金资助项目(0805)

作者简介: 徐爱兰(1982—),女,江苏如东人,环境影响评价工程师,硕士生,从事非点源污染治理、环境监测与综合分析、环境影响评价方面的研究。

物的重要来源^[4-8]。平原河网地区的水系发达,河道纵横交错,水面率较高。随降雨—径流迁移的污染物往往先在沟、渠、湖、荡等水面停留一段时间,再逐渐汇入周边河网。平原河网地区地势相对低平,河道比降小,水流流向不定,往往呈现双向流,同时这类地区一般位于河口附近,水流受潮汐顶托作用明显,运动规律更加复杂。根据文献[9-11],不同土地利用下的农田营养盐迁移特征存在显著差异,这与土壤理化性质、植被覆盖度等因素密切相关。研究不同土地利用方式对土壤养分迁移特征的影响,对于建立可持续的土地利用模式具有重要指导意义,同时也可作为定量估算土壤养分迁移通量提供重要的理论依据。

2 试验方法

2.1 试验方案设计及水样分析

选择位于吕通运河沿岸的先锋镇利民村4种有代表性的土地利用类型建立试验小区,分别为稻田、玉米、菜地、林地。试验小区四周均有农沟包围,在农沟中采集径流样本,试验小区的面积通过实测得到。

通过在4块径流试验小区进行自然降雨条件下营养盐随地表径流迁移特征的研究,记录降雨量,同时采集径流小区的径流样本,分析各种形态营养盐的含量,测量各小区每场降雨的径流量,该样本的浓度即为该次降雨径流平均浓度(EMC)。在2009年的6月—8月,共收集了5场降雨的径流样本。

由于不同场次降雨的强度随时间呈显著变化,而且流域内不同时期的施肥情况各异,使得地表径流所引起的污染物浓度的随机变化不仅表现在一场降雨径流过程中,而且也表现为不同场次降雨EMC值的随机性变化。因此,对于多场降雨径流事件,往往采用“多场降雨径流平均浓度”(Site Mean Concentration, SMC)代表某一地点的长期径流平均浓度,以每场降雨的径流量为权重计算SMC值,见文献[3]。

水样静置3h后抽取上层清液测定水相营养盐含量,测定项目包括TN、NH₃-N、NO₃⁻-N、NO₂⁻-N、TP和PO₄³⁻-P,其中NH₃-N、NO₃⁻-N、NO₂⁻-N质量浓度相加作为无机氮含量,有机氮质量浓度采用差减法得到;PO₄³⁻-P作为无机磷质量浓度,TP与无机磷相减得到有机磷质量浓度。采

集的水样经碱性过硫酸钾消解测定TN;NH₃-N、NO₃⁻-N和NO₂⁻-N的测定分别采用纳氏比色法、酚二磺酸法和N-(1-萘基)乙二胺光度法;水样经过硫酸钾消解后采用钼锑抗分光光度法测定TP;PO₄³⁻-P直接采用钼锑抗分光光度法。上层清液经超细玻璃纤维滤膜过滤后采用钼锑抗分光光度法测定可溶性TP及PO₄³⁻-P的质量浓度。降雨径流事件的发生时间和降雨量见表1。

表1 径流小区各场降雨—径流事件基本情况
Table 1 Events situation of each precipitation-runoff

降雨—径流编号	降雨发生时间	h(降雨量)/mm
P1	2009-06-28	41.30
P2	2009-07-24	98.41
P3	2009-07-28	71.08
P4	2009-08-03	53.51
P5	2009-08-12	38.46

2.2 多场降雨平均径流浓度

由于不同场次降雨的强度随时间呈显著变化,流域内不同时期的施肥情况各异,使得地表径流污染物浓度随机变化。因此,对于多场降雨径流事件,往往采用“多场降雨径流平均浓度”(Site Mean Concentration, SMC)代表某一地点的长期径流平均浓度,以每场降雨的径流量为权重,SMC计算公式为:

$$SMC = \frac{\sum_{i=1}^n (W_i \times EMC_i)}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (1)$$

式中:W_i——第i次降雨的径流量,m³;

SMC_i——第i次降雨的“降雨径流平均质量浓度”,mg/L;

n——降雨次数。

该次试验由于时间仓促,未收集各个小区的降雨径流量,计算时采用由美国农业部水土保持局研制的小流域暴雨径流估算模型——SCS径流曲线数法(curve number method)。由于该模型是次降雨径流模型,故未考虑雨期的蒸发量,但模型考虑了流域下垫面的特点(如土壤、植被、坡度、土地利用等),因此可以间接地考虑人类活动对流域径流的影响。径流曲线数法方程如下:

$$\begin{cases} R \leq I_a, Q = 0 \\ R > I_a, Q = \frac{(R - I_a)^2}{R - I_a + S} \end{cases} \quad (2)$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (3)$$

式中: Q ——地表日径流量, mm;

R ——日降雨量, mm;

S ——降水损失量, 包括冠层截流、土壤吸收及土壤下渗, mm;

I_a ——初始损耗因子, 与土壤、土地利用、坡度、土壤水含量及土地管理方式有关, 根据经验公式有: $I_a = 0.2S$;

CN——日径流曲线数, 无量纲。

故径流曲线数法方程为:

$$\begin{cases} R \leq 0.2S, Q = 0 \\ R > 0.2S, Q = \frac{(R - 0.2S)^2}{R + 0.8S} \end{cases} \quad (4)$$

SCS 曲线系数和土壤的渗透性、土地利用及降雨前土壤含水量等因素有关。参照 SWAT 模型用户手册中得出土地利用和土壤组合的 CN 值。据此计算得到 4 种径流小区 5 场降雨径流见表 2。

表 2 4 种径流小区 5 场降雨径流计算

Table 2 Five rainfall calculation for 4 kinds of runoff plots

取样地点	CN	I_a /mm	Q /mm				
			P1	P2	P3	P4	P5
稻田	78	71.64	7.38	45.40	25.09	13.85	6.08
玉米	64	142.88	1.04	22.93	9.75	3.71	0.64
菜地	69	114.12	2.57	30.12	14.34	6.50	1.88
林地	65	136.77	1.29	24.29	10.59	4.20	0.83

3 结果与讨论

3.1 不同土地利用下氮素随地表径流的迁移特征

3.1.1 氮素迁移的频率分布特征

利用统计分析软件 SPSS13.0 绘制 4 种土地利用下各氮素形态 EMC 值的箱须图, 从整体上反映 4 种土地利用下多场降雨径流事件氮素 EMC 值的基本分布特征。图中的小黑框为 EMC 的中位值, 箱体的上、下两条线分别代表 P75 和 P25 对应的 EMC 值, 箱须的上、下两个短横线分别代表 EMC 的最大和最小值, 见图 1 (a) (b) (c) (d)。

4 种土地利用多场降雨条件下各氮素形态 EMC 值的变化范围较大, 其中 TN 的 EMC 最大值为其最小值的 4.5 倍。4 种土地利用下各种氮素形态的 EMC 平均值从大到小依次为 TN、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 和 $\text{NO}_2^- \text{-N}$, 其中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的 EMC 中位值介于 0.90 mg/L ~ 1.35 mg/L, 占 TN 的 45% ~ 70%, 南通平原河网地区非圩区径流中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 是主要的氮素输出形态。这与王鹏等^[12]在宜兴梅林

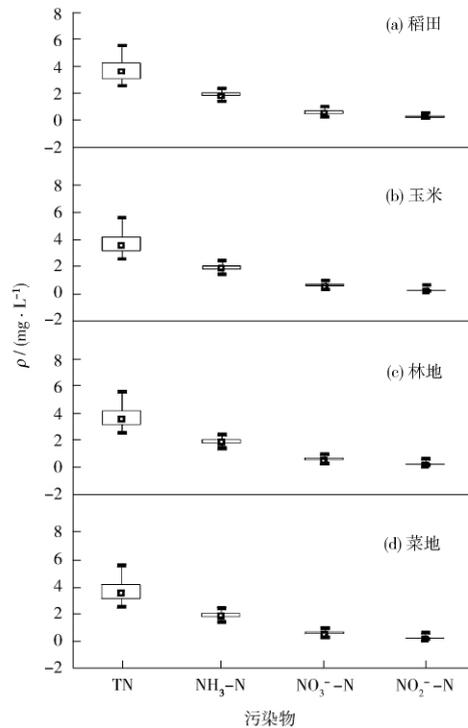


图 1 不同土地利用下氮素 EMC 值箱须

Fig. 1 Whisker Plot of nitrogen EMC under the different land uses

小流域的试验结论有差别, $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 是梅林小流域各种不同土地利用类型的主要氮素输出形态。这与梅林小流域属丘陵地带, 径流样本主要是壤中流, 地下水反渗导致 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 含量较高有关; 而平原河网地区地表水系发达, 河流、农沟交错, $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 质量浓度相对较低。另外, 平原河网非圩区以大面积稻田为主, 且试验期间为稻季, 尿素的施用提高了整个地区的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 水平; 梅林小流域的稻田占用率仅 8.2%, 且试验时段不局限于稻季。再次, 梅林小流域属丘陵地带, 林地占据面积较大, 地表裸露, 与氧气接触充分, 有利于硝化反应的进行。

3.1.2 氮素迁移的空间分布特征

氮素空间分布特征表现在不同土地利用方式对氮素随地表径流迁移的影响, 这是生态环境对土地利用/土地覆被变化 (Land Use/Cover Change, LUCC) 最重要的响应之一。对比不同土地利用下地表径流中氮素质量浓度的差异, 可以明确非圩区土地利用对氮素质量浓度空间分布的影响程度。

对比 4 种土地利用下各氮素形态 SMC 值, TN 的 SMC 值从大到小依次为稻田、菜地、玉米地和林地, 这与不同土地利用下的施肥量和植被覆盖度有

关。一方面稻田和菜地的施肥强度高于林地和玉米地,另一方面林地的地表被大量凋谢物覆盖,植被覆盖度较高,雨滴击溅产生的能量被大大削弱,有效地减轻了降雨—径流与表土的相互作用程度。4 种土地利用的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的 SMC 值以稻田最大,林地最小;而 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的 SMC 值的差异相对较大,质量浓度值最高的为菜地,达到 0.82 mg/L,约是林地的 3 倍。4 种土地利用下 $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 的 SMC 值相差不多,但其占 TN 的 EMC 的比例以林地最大。

稻田、玉米地、菜地、林地 $\text{NH}_3\text{-N}$ 与 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的 SMC 比值存在较大差异,分别为 3.5、4.3、1.5 和 4.5。菜地的 SMC 比值相对较低,这可能是由于该次实验所选择的菜地径流小区地下水的反渗及试验采样时恰逢当地施粪肥造成 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 质量浓度较高。地表径流中氮素质量浓度的空间分布主要与施肥条件以及植被覆盖度等因素有关。

氮素迁移通量指随地表径流迁移的单位面积氮素流失量。对比不同土地利用下的迁移通量,对控制农业非点源污染具有重要意义。对比 4 种土地利用在 5 场降雨条件下,各氮素形态的总迁移通量。稻田的总氮迁移通量最大,其次为菜地,林地次之,玉米地最小,不同土地利用下总氮的迁移通量介于 $70 \text{ mg/m}^2 \sim 330 \text{ mg/m}^2$ 。由定义可知,迁移通量等于径流中氮素质量浓度与径流深的乘积。通过比较可以发现,不同土地利用氮素质量浓度的差异明显小于氮素迁移通量的差异,且氮素迁移通量的大小顺序与径流深的大小顺序一致。不同土地利用对氮素质量浓度的影响程度显著小于对径流通量的影响程度。与氮素质量浓度相比,不同土地利用的氮素迁移通量与径流深有较好的响应关系,这说明不同土地利用下的径流量差异是导致氮素迁移通量存在显著差异的主导因素,见图 2。

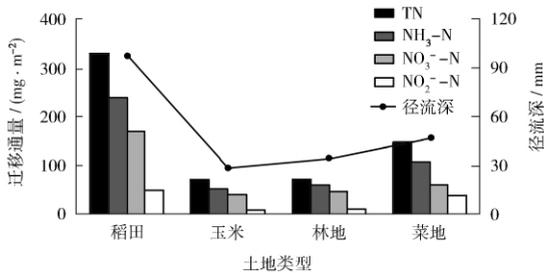


图 2 不同土地利用下氮素迁移通量对比
Fig. 2 Comparison of nitrogen migration flux under the different land uses

3.2 不同土地利用下磷素随地表径流的迁移特征

3.2.1 磷素迁移的频率分布特征

4 种土地利用类型各场降雨径流水相 TP 的 EMC 值无明显差异。稻田相对较高,经过调查,这些地块在降雨前期均施用了粪肥直接导致水相 TP 平均质量浓度显著高于其他土地利用类型,表明降雨前期的施肥情况对 TP 流失有显著影响。林地 TP 质量浓度最低,主要是由于该种土地利用这段时间未曾施肥且 P 的累积量较小。

3.2.2 磷素迁移的空间分布特征

土壤水相磷素的迁移包括溶解态磷(DP)和悬浮态磷(PP)2个部分。4种土地利用类型下 DP 和 PP 的 SMC 值,见表 3。4 种土地利用类型下 DP 和 PP 的 SMC 值对比见图 3。

表 3 4 种土地利用磷素 SMC 值 mg/L
Table 3 SMC of phosphorus used by 4 kinds of land mg/L

土地利用	DP	PP
稻田	0.21	0.27
玉米	0.16	0.20
林地	0.23	0.06
菜地	0.18	0.22

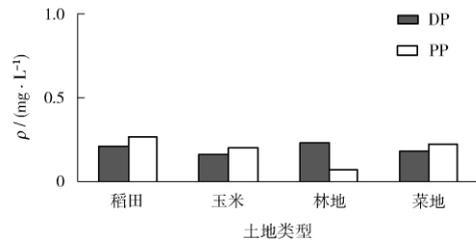


图 3 不同土地利用下 DP 和 PP 的 SMC 值对比
Fig. 3 SMCs comparison between DP and PP under different land uses

PP 的 SMC 值除林地外均高于 DP,为水相 TP 质量浓度的 50% ~ 80%,其平均质量浓度从高到低依次是林地、稻田、菜地和玉米地。各种土地利用 PP 的平均质量浓度主要由以下两个因素决定。一方面大部分 PP 吸附于颗粒表面,土壤侵蚀是 PP 迁移的重要机制^[13],因此表层土壤的 TP 含量是决定 PP 质量浓度的重要因素;另一方面,不同土地利用类型在相同降雨条件下的径流量存在显著差异,这也是影响 PP 质量浓度的关键。

水相磷素迁移通量是指随地表径流迁移的单位面积磷素流失量。通过对比不同土地利用下的迁移通量,有利于明确影响磷素迁移的主导因素,对控制农业非点源污染具有重要意义。稻田 TP 的迁移通量最大,菜地次之,再次是玉米,林地的迁移通量最小。由定义可知,迁移通量与径流中的磷素质量浓度以及径流深有关。不同土地利用磷素质量浓度的差异明显小于磷素迁移通量的差异,这表明磷素迁移通量与径流通量的关系更加密切,农田磷素迁移通量的差别主要是由不同土地利用下的径流通量的差别造成的,见图4。

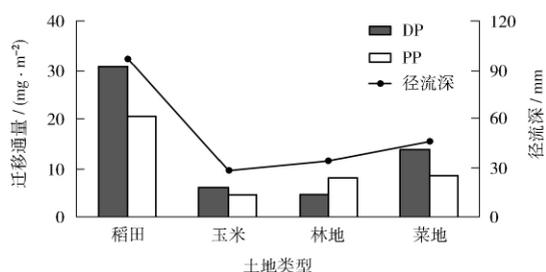


图4 不同土地利用下磷素迁移通量对比

Fig. 4 Comparison of phosphorus migration flux under the different land uses

4 结论与建议

通过在平原河网区典型非圩区选择4种有代表性的土地利用类型建立试验小区,采用野外田间试验和室内分析相结合的方法,研究不同土地利用在自然降雨条件下农田营养盐的迁移特征表明:①4种土地利用多场降雨条件下各氮素形态 EMC 值的变化范围较大,其中 TN 的 EMC 最大值为其最小值的4.5倍。试验区域 TN 的 SMC 值从大到小依次为稻田、菜地、玉米地和林地。氮素质量浓度的空间分布与施肥条件及植被覆盖度等因素有关。②NH₃-N 是南通平原河网地区地表径流的主要氮素输出形态,其 SMC 值,稻田最大,林地最小。

NO₃⁻-N 的 SMC 值的差异相对较大,质量浓度最高的为菜地,其值为林地的3倍。③试验小区 PP 的平均质量浓度 > DP 平均质量浓度,从高到低依次是稻田、菜地、玉米地和林地,其质量浓度大小主要由表土 TP 含量及地表径流量决定。

[参考文献]

- [1] HASSEN M, FEKADU Y, GETE Z. Validation of agricultural non-point source (AGNPS) pollution model in Kori watershed, South Wollo [J]. Ethiopia International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2004(6): 97-109.
- [2] NIGUSSIE H, FEKADU Y. Testing and evaluation of the agricultural non-point source pollution model (AGNPS) on Augu-cho catchment, western Hararghe, Ethiopia [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2003(99): 201-212.
- [3] 季晓, 徐爱兰, 陆炜. 平原闸控感潮河网地区非点源污染监测分析方法[J]. 环境监测与预警, 2009, 1(2): 18-21.
- [4] 王腊春, 彭鹏, 周寅康, 等. 湿润地区平原圩区产流机制研究[J]. 南京大学学报, 1997, 33(1): 156-160.
- [5] 詹红丽. 大型圩区水环境随机模拟模型及应用研究[D]. 南京: 河海大学, 2005.
- [6] 曾德付. 基于GIS下太湖流域典圩区农业非点源污染研究[D]. 南京: 河海大学, 2005.
- [7] 张德刚, 陈永川, 汤利. 城郊地表水环境非点源污染分析及研究进展[J]. 环境监测管理与技术, 2008, 20(4): 18-23.
- [8] 杨麟, 孙健. 五里湖—梅梁湖磷污染调查[J]. 环境监测管理与技术, 2001, 13(6): 2-5.
- [9] 黄漪平, 范成新, 濮培民, 等. 太湖水环境及其污染控制[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 7.
- [10] 孟庆华, 杨林章. 三峡库区不同土地利用方式的养分流失研究[J]. 生态学报, 2000, 20(6): 1028-1033.
- [11] 杨金玲, 张甘霖. 亚热带地区土地利用对磷素径流输出的影响[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(1): 16-20.
- [12] 王鹏. 基于数字流域系统的平原河网区非点源污染模型及应用[D]. 南京: 河海大学, 2006.
- [13] QUINTON J N, CATT J A, HESS T M. The selective removal of phosphorus from soil: is event size important? [J]. J. Environ. Qual., 2001, 30(3): 538-545.

本栏目责任编辑 薛光球

• 简讯 •

美国碳排放4年降低7%

人民网消息 非营利组织地球政策研究所最新发布的一项报告指出,2007年到2011年的4年间,美国使用煤炭产生的碳排放减少了10%,石油的碳排放减少了11%;相比之下,使用天然气产生的碳排放增加了6%。总体来说,4年中美国的碳排放量削减了7%。

“这仅仅是个开始。”地球政策研究所创始人兼总裁莱斯特·布朗(Lester Brown)说,“这是我们目睹的一个新的历史趋势,即碳(排放)趋势的逆转。这也是我们稳定气候的底线。”

摘自 www.jshb.gov.cn 2011-11-10