

长三角典型村域次降雨条件下氮素非点源输出特征

曹杰君^{1,2}, 高扬¹, 黄海波^{1,2}, 黄红艳¹, 毛亮^{1,2}, 张旭^{1,2}, 周培^{1*}

(1. 上海交通大学农业与生物学院, 农业部都市农业(南方)重点开放实验室, 上海 200240; 2. 西南大学资源环境学院, 重庆 400716)

摘要: 研究长三角典型都市农业村镇不同土地利用下的氮素非点源输出特征, 以为治理该区域的面源污染提供科学依据。通过典型次降雨径流事件中氮形态和输出负荷变化的研究发现: 监测点总氮(TN)的事件平均浓度(EMC)为 20.01 ~ 22.83 mg/L, 其中溶解态氮(DN)占 TN 的比例最大; 研究区非点源氮流失以溶解态为主, DN 又以溶解态有机氮(DON)为主。耦合各形态氮浓度与径流量特征, 发现非点源氮素输出呈现 2 个峰值, 且出现在径流峰值之前 4 ~ 55 min; TN、DN 和硝态氮(NO_3^- -N)浓度随降雨时间增加呈现减少趋势; 氮素负荷受其浓度和径流量的共同作用, 基本上呈现与氮素浓度相同的变化特征, 但起伏变化较为平缓。氮素污染负荷积累曲线分析表明, 村域地表径流各形态氮素均存在初期冲刷效应。

关键词: 次降雨径流; 氮素; 非点源污染; 事件平均浓度; 土地利用

中图分类号: X592 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2010)11-2587-07

Output Characteristics of Non-point Nitrogen from a Typical Village Region in Yangtze Delta Under an Individual Rainfall Event

CAO Jie-jun^{1,2}, GAO Yang¹, HUANG Hai-bo^{1,2}, HUANG Hong-yan¹, MAO Liang^{1,2}, ZHANG Xu^{1,2}, ZHOU Pei¹

(1. Key Laboratory of Urban Agriculture (South), Ministry of Agriculture, School of Agriculture and Biology, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China; 2. College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China)

Abstract: In order to provide a scientific foundation for controlling non-point source pollution, we studied on output characteristics of non-point nitrogen under different land uses in a typical agricultural village in the Yangtze River Delta. The various species of nitrogen and output load under a typical individual rainfall runoff event were investigated. The results indicated that the event mean concentrations (EMC) of total nitrogen (TN) in monitoring sites ranged from 20.01 mg/L to 22.83 mg/L, and the main form was dissolved nitrogen (DN) in TN. The main form of the lost nitrogen in the studied area was DN which was mainly composed by dissolved organic nitrogen (DON). Coupled with the characteristics of nitrogen concentration and runoff, two peaks of non-point nitrogen output could be found, and appeared 4-55 min before the runoff peaks. The concentrations of TN, DN, and nitrate (NO_3^- -N) decreased with the rainfall time increasing. Nitrogen load was influenced by its concentration and runoff, and showed the same output characteristics of nitrogen concentration with a gentle variation. Form the cumulative load curve of nitrogen in a typical rainfall event, first-flush effect could be found for each nitrogen species in rural runoff.

Key words: individual rainfall runoff; nitrogen; non-point pollution; event mean concentration (EMC); land use

由氮素面源污染带来的水体缺氧、水华和鱼类死亡等问题引起了人们的广泛关注^[1]。有关氮素的农业面源污染研究多以农田为对象, 区域多为模拟小区和流域尺度^[2,3]。现有研究表明, 土地利用类型对氮素的迁移和输出具有显著影响^[4,5], 农业和其它土地利用方式交错的村镇是面源污染的主要监控区域, 已有相关学者研究了丘陵区农村集镇降雨径流氮素的污染特征^[6]。长江三角洲土壤肥沃、水系发达, 农村集镇土地利用类型多样, 高需肥量经济作物种植面积大, 施肥量大且不平衡, 重 N 轻 K, 化肥表施, 增大了氮素非点源流失的风险^[7]。在降雨过程中, 氮素在不透水地面随径流运移, 在透水地面通过径流冲刷和入渗污染河道、湖泊、海洋和地下

水^[8]。目前, 长三角区氮素非点源污染研究大多集中于稻田^[9]和菜地^[10]等农田尺度, 缺乏村域尺度氮素非点源迁移特征的研究。

上海郊区村镇集约化程度高, 村域土地受人为扰动大, 降雨集中于每年 6 ~ 8 月, 为土壤侵蚀发生的主要季节^[11]。降雨过程产生的农田径流中氮素大部分来源于当季施用的化肥, 梅雨、暴雨与施肥时间的重叠加剧了农业面源污染。因此, 研究典型次降雨径流下上海市村域地表径流氮素形态和输出规律,

收稿日期: 2009-12-29; 修订日期: 2010-05-05

基金项目: 上海市科委项目(07DZ12055)

作者简介: 曹杰君(1986 ~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为水土保持、非点源污染监测与模拟。

* 通讯联系人, E-mail: zhoupei@sjtu.edu.cn

揭示人类活动对氮素输出的影响,可为长三角区农业面源污染的防控提供科学依据.

1 研究区概况与试验方法

1.1 研究区概况

研究区位于上海市南汇区新场镇(31°03'N, 121°39'E),境内地势平坦,海拔高程2~3 m,属长江冲积平原.年平均气温16.7℃,常年日照1 932 h.年平均降雨量1 175 mm,多雨年份可达1 300 mm,雨量年际变化较大,多集中在6~8月底的梅雨、台风季节,日降雨量为25 mm的大雨每年出现15次左右.该镇属黄浦江水系,种植业、畜禽和水产养殖业发达,主要的土地利用类型为桃园,种植面积高于50%.

研究区主要土壤类型为黄泥土.表层土壤有机质含量20.40 g/kg,全氮含量1.06 g/kg,速效氮含量77.01 mg/kg^[10].采用容重法测得雨季前(6月)土壤体积含水量为0.12%.

1.2 试验设计

为研究村域不同土地利用类型对集水区氮素输出的影响,根据村域径流输出特征设置径流过程监测点4个(G、T、J、H),见图1.结合地势以河流和不透水的道路为界限,划分各监测点的控制区域.监测点G为桃园内的排水沟道,主要研究桃园内部地表径流的变化情况;监测点T和J分别监控一条支流,T点位于桃园内二级支流的交汇处,代表桃园土地利用类型,桃树垄上栽植,栽植间距2 m,垄宽1.5 m,垄间为0.5~1 m深的排水沟;J点位于居民区和小工厂区的一级支流交汇处;监测点H为研究区的出口,通往大治河,并最终通向东海.

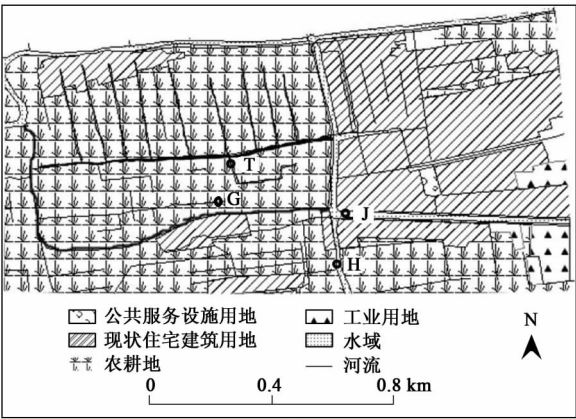


图1 研究区域的土地利用概况
Fig.1 Land use of the studied area

降雨数据来源于南汇气象站,能实时记录降雨过程.在典型次降雨暴雨事件中,连续采集各监测点水样,采样间隔平均为10~20 min,每5 min记录1次各监测点水位和流速的变化.所有水样均采自河流横断面中部,并立即过滤,于4℃冰箱存储,24 h内完成所有指标测试.

测试指标和方法:碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法(GB 11894-89)测定总氮(TN);水样经0.45 μm滤膜过滤后,紫外分光光度法(GB/T 8538-1995)测定硝态氮(NO₃⁻-N);纳氏试剂分光光度法(GB/T 8538-1995)测定氨氮(NH₄⁺-N);重氮偶合比色法(GB/T 8538-1995)测定亚硝态氮(NO₂⁻-N);碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法(GB 11894-89)测定溶解态氮(DN). TN = DN + 颗粒态氮(PN),溶解态有机氮(DON) = DN - (NO₃⁻-N + NH₄⁺-N + NO₂⁻-N).

1.3 数据处理

用事件平均浓度(EMC)评价降雨径流过程的污染状况^[12, 13],可按式(1)计算:

$$EMC = \frac{\sum c_i Q_i \Delta t}{\sum Q_i \Delta t} \tag{1}$$

式中, c_i 为污染物浓度(mg/L), Q_i 为径流流量(m³/min), Δt 代表取样的时间梯度(min).

用污染负荷积累曲线 $[M(t)/V(t)]$ 评估次降雨径流的初期冲刷效应^[14].污染负荷积累率(η)可表达为:

$$\eta = \frac{\sum P_i / \sum P_i \Delta t}{\sum Q_i / \sum Q_i \Delta t} \tag{2}$$

式中, P_i 为污染物负荷(mg/L), Q_i 和 Δt 的意义同式(1).当 $\eta > 1$ 时,污染负荷积累曲线在45°直线的上方,产生正偏差,有初期冲刷效应.

次降雨的总径流量(TR)包括地表径流(DR)和底流(BF),通过在径流曲线中开始出现地表径流的点作一条水平线确定底流.用DR和TR的比评估地表径流和底流对降雨过程污染物释放的影响^[15, 16],可用式(3)计算:

$$DR/TR = \sum DR_i \Delta t / \sum Q_i \Delta t \tag{3}$$

土地利用图采用遥感识别GIS制图,SPSS 15.0软件分析数据,Origin 7.0软件作图.

1.4 典型自然降雨事件选择

研究区2009年大多数降雨事件从凌晨开始持续到白天.7月降雨量为122.8 mm,其中7月22日

和7月30日发生大到暴雨,7月22日次降雨前夜有短期强降雨,增加了土壤水分,与夏季大多数的大到暴雨降雨特征一致,具有代表性,因此将此次降雨作为典型次降雨进行氮素输出过程分析。7月22日降雨于09:55开始,19:00左右结束,历时9 h,在10:10和14:50分别有2个降雨峰值,小时降雨量分别达3.6 mm和2.6 mm,累积日降雨22.3 mm。

2 结果与讨论

2.1 次降雨非点源氮素的输出过程

各监测点均随降雨量峰值出现2个径流量峰值,第1个略小于第2个,而监测点J的2个峰值基本相同,在监测区径流初期可能有除降雨外的水分补给。各监测点径流量峰值出现时间基本相同,桃园监测点T第2个峰值出现的时间比监测点J、H早45 min,可能是因为该监测点为流域的二级支流,断面积和蒸发量小,对流量变化反应明显,能很快地反映降雨量的变化。

降雨径流过程中氮素浓度和负荷随时间的变化情况见图2。可以看出,径流特征与降雨特征相符,对应出现2个峰值,且径流峰值出现在降雨峰值之后。其中沟道监测点G观测时间较短,只包含第1个径流峰值。各形态氮浓度、负荷过程曲线与径流曲线特征基本一致,氮素浓度峰值出现在径流峰值之前;各形态氮素负荷在降雨后期均随时间增加而递减。

耦合氮素浓度与径流量特征,呈现2个峰值,且出现在径流峰值之前4~55 min。TN、DN和 NO_3^- -N浓度均随降雨时间增加而减少,可能与降雨产生的径流冲刷有关。据报道,随着产流时间的增加,地表径流中的 NO_3^- -N浓度变化表现为减少或先减少再趋于恒定的趋势^[17]。本研究除T点外,各监测点均出现这种趋势。监测点T的峰值出现在2次径流量峰值之间,随产流时间增加而轻微上升,可能与径流中养分含量较高的土内径流增多有关^[18]。 NH_4^+ -N和 NO_2^- -N浓度较低,各监测点 NH_4^+ -N浓度随径流量变化均不明显,反而随产流时间的增加而增加,这可能是 NH_4^+ 容易附着在土壤表面(特别是黏土),并不是产流一开始就发生迁移。 NO_2^- -N浓度只在监测点H呈现增加趋势,在较长的迁移过程中,由于微生物活动将 NH_4^+ -N转化为 NO_2^- -N,可能导致 NO_2^- -N浓度的增加。监测点J各形态氮浓度从产流初期就保持较高水平,并维持到降雨结束。各监测点氮素浓度在降雨初期出现的峰值高于第2个峰值,与径流量峰

值特征不一致,监测点G的TN浓度在产流初期峰值显著高于后期,这可能是本次降雨开始时雨强较大,对施肥后保留在土壤表层的氮素产生了剧烈的冲刷作用,即出现了初期冲刷效应。

在分析降雨径流氮素非点源输出过程时,应综合考虑其浓度和负荷的变化。各形态氮负荷径流过程分析表明,氮素负荷受浓度和径流量的共同作用,基本上呈现与氮素浓度相同的2个峰值,但起伏变化较为平缓。由图2可知,监测点G的氮素浓度变化剧烈而负荷变化最为平缓,沟道内径流总量低,因此氮素负荷变化范围小。监测点J的污染负荷高,变化较为剧烈。罗专溪等^[8]认为,在城镇区域,由不合理的规划和建设造成道路和房屋等不透水地面与透水地面独立成片分布,将增加高负荷径流污染产生的风险。监测点J不透水地面积>80%,小型服装加工厂位于河流的岸边,岸边工业废水和居民生活废水直接排入河流,造成了径流中氮的高污染负荷。监测点H的氮素负荷在降雨过程中随径流量曲线变化呈现不明显的2个峰值,TN负荷在降雨过程中一直处于较高水平,最高为13.28 g/s。

降雨产生的径流由地表径流和潜流组成,图2中虚线划分出了潜流,DR/TR值可揭示不同径流组成对氮素运移的影响。Kato等^[16]研究表明,TN、DN和 NO_3^- -N的浓度随DR/TR值增加呈线性减少趋势,在运移过程中土壤的吸附作用使得 NH_4^+ -N与DR/TR值的相关性不显著。研究区典型次降雨下监测点J、T和H的DR/TR值分别为0.72、0.43和0.21,其中监测点J径流中地表径流比例最大,可能与不透水地面积较大有关,也可能在降雨过程中受到人为影响,有除降雨外的水分进入河道。

2.2 次降雨不同形态氮素的输出特征

表1给出了7月22日的降雨事件中不同监测点的各形态氮浓度。在该次降雨事件过程中,TN输出浓度远超过国家地表水环境质量V类水质标准(2 mg/L),TN的EMC在20.01~22.83 mg/L,监测点T的输出浓度最高。监测区DN的EMC最高,占TN的75%~84%。溶解态无机氮中, NO_3^- -N的EMC最高(5.32~11.30 mg/L),最高值出现在监测点G; NH_4^+ -N和 NO_2^- -N占DN的比例极低,低于10%。 NH_4^+ -N的最大EMC出现在监测点J(1.48 mg/L); NO_2^- -N的最大EMC出现在监测点G(1.37 mg/L)。各监测点不同形态氮的输出顺序为TN>DN> NO_3^- -N> NH_4^+ -N> NO_2^- -N。除监测点G外,DN中无机氮均占TN的50%左右。

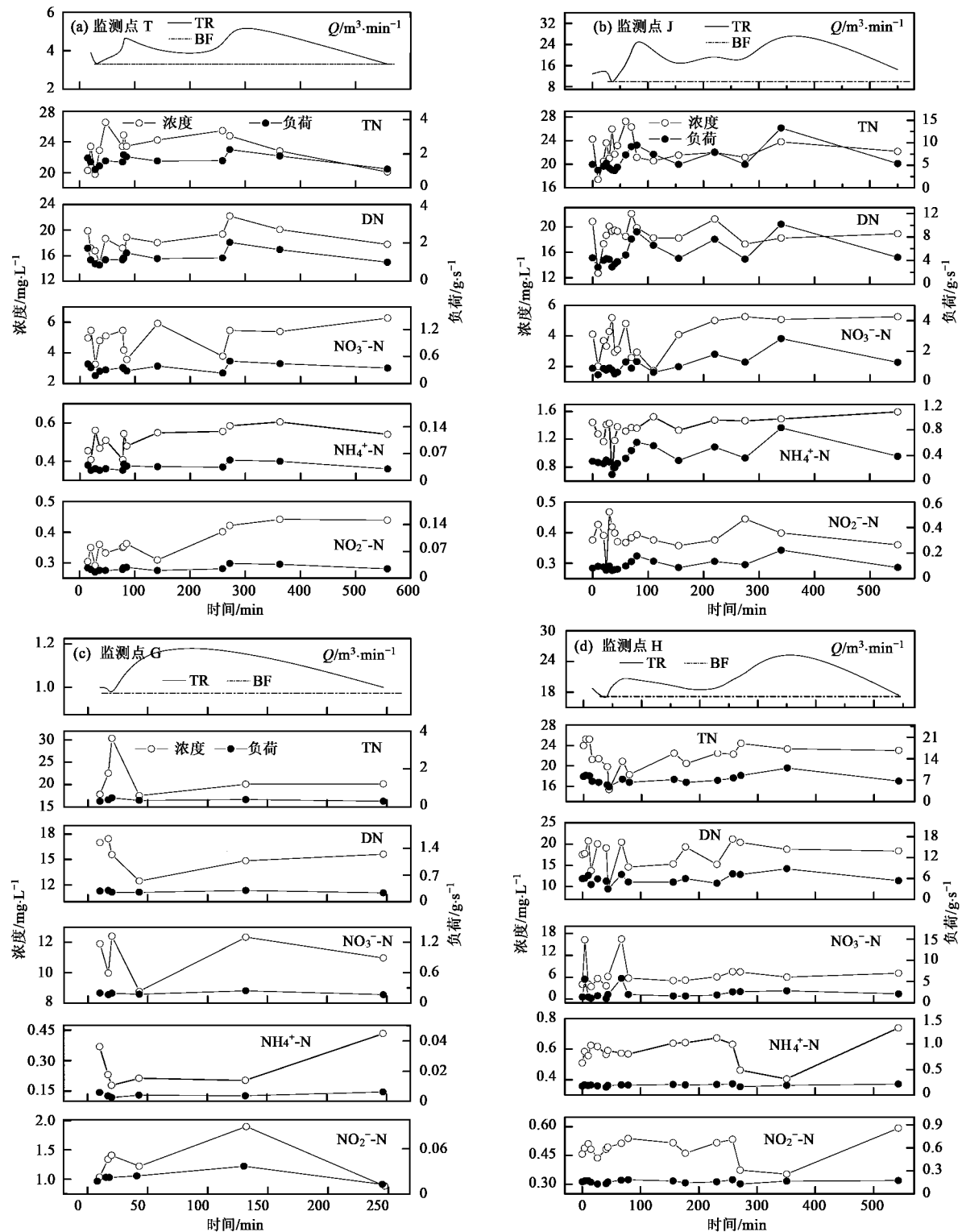


图2 降雨径流过程中氮形态浓度和负荷曲线

Fig.2 Curves of nitrogen concentration and load in rainfall runoff

研究区各监测点 TN 浓度均偏高, DN 占 TN 的比例最高,氮流失以溶解态为主,与不同区域的研究结果相同^[18, 19]. DN 中大多以 DON 为主, DON 占

DN 的比例在监测点 G 最小(13.42%),在监测点 T 最高(66.55%),监测点 J 和 H 分别为 65.59% 和 56.19%.

表 1 典型次降雨事件中氮素浓度/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

Table 1 Nitrogen concentrations in a typical rainfall event/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

监测点	TN			DN			$\text{NO}_3^- \text{-N}$			$\text{NH}_4^+ \text{-N}$			$\text{NO}_2^- \text{-N}$		
	Max	Min	EMC	Max	Min	EMC	Max	Min	EMC	Max	Min	EMC	Max	Min	EMC
G	30.35	17.50	20.01	17.44	12.44	14.98	12.41	8.77	11.30	0.43	0.18	0.30	1.89	0.88	1.37
T	26.53	19.79	22.83	22.19	14.88	18.71	6.26	3.25	5.32	0.60	0.40	0.55	0.44	0.29	0.39
J	27.27	17.45	22.40	22.07	17.29	18.86	5.25	1.73	4.63	1.59	0.69	1.48	0.46	0.27	0.38
H	25.19	15.34	22.53	21.15	9.45	17.96	16.50	3.41	6.76	0.74	0.41	0.61	0.59	0.35	0.50

从不同监测点 DON 的比例分布看出,研究区降雨事件中 DON 浓度受点位影响严重. 段水旺等^[20]研究发现,长江干流中 DON 浓度在洪水前后变化较大,洪水期间比洪水前增加了 6 倍,占洪水 TN 的 36% 以上. Inamdar 等^[21]发现在森林小流域暴雨事件中,DON 浓度较高,最高值占 DN 的 64%,这与森林的枯枝落叶层被冲刷有关. 在研究区桃园内有机肥施用量大,监测点 G 承接了降雨过程的桃园地表径流;监测点 T 上游灌溉沟渠的 80% 水域有围网养鱼活动;监测点 J 水质混浊且呈深绿色,鱼类水藻丰富;监测点 H 是研究区的出口,经过 G、T 和 J 的径流最终由 H 汇入大治河. 降雨对有机肥的冲刷可能是造成监测点 T 径流有机氮含量高的原因,水产养殖产生的粪便等有机质大量存在和藻类的生长可能造成 DON 比例在多数监测点偏高. 另外, $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的淋溶使其大量进入地下水,导致进入地表径流的

$\text{NO}_3^- \text{-N}$ 减少,也可能造成 DN 中各无机氮含量偏低^[22].

居民生活区和工厂区 DN 迁移量较高,与氮素浓度和径流量高有关. 监测点 T 各形态氮的典型次降雨 EMC 与监测点 J 相同,均有较高的值. Panigrahi 等^[23]认为,水产养殖会影响径流的自然流通,从而改变生态系统. 研究区桃园内灌溉沟渠立网养鱼,尽管对水文流通造成一定阻碍,但径流中的肥料流失进入水体,能够促使浮游生物繁殖,是较为合理的种养模式. 由此可见,在现代农业集约化发展背景下,种养合理配置和管理是提高氮肥利用率、控制农业面源污染的有效途径.

2.3 氮素负荷积累曲线

初期冲刷效应是指径流产生的污染负荷运移大部分由初期径流完成. 图 3 给出了各监测点的氮素负荷积累曲线. 可以看出,监测点 J、T 和 H 的不同

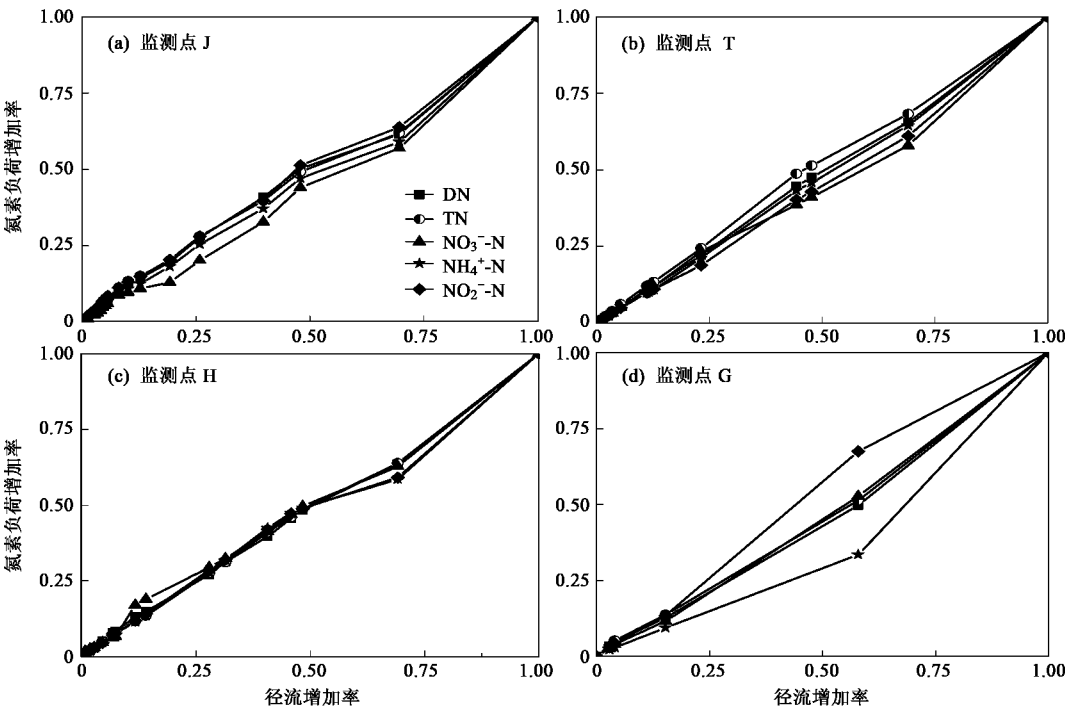


图 3 氮素负荷积累曲线

Fig. 3 Cumulative load curves of nitrogen in a typical rainfall event

形态氮素均显示正偏差,表明产生了较强的初期冲刷效应;监测点 G 的 TN、DN、 NO_3^- -N 负荷积累曲线几乎与 45° 直线重合,表明在降雨事件过程中径流中氮素浓度与径流量变化较为一致,只产生了微弱的初期冲刷效应, NO_2^- -N 显示正偏差,产生了较强的初期冲刷效应, NH_4^+ -N 显示负偏差,表明 NH_4^+ -N 在降雨事件中受到稀释。

污染物浓度峰值出现在径流峰值之前,表明降雨对径流污染物可能存在初期冲刷效应,用污染负荷增加累积曲线检验初期冲刷效应的存在^[24]。氮负荷积累曲线表明,不同形态氮素均存在初期冲刷效应。Obermann 等^[25]研究表明在农业耕作流域, NO_3^- -N 的初期冲刷效应最弱。在各形态氮中,桃园土地利用类型监测点 T 的 NO_3^- -N 具有最微弱的初期冲刷效应。在 6~8 月的降雨集中期,应减少农田耕作,保护地表凋落物层,以防止土壤被冲刷。虽然居民生活区每户均有 $10 \sim 30 \text{ m}^2$ 的生态园地,但在民宅修建中出现了许多分散的大片裸露地块,加剧了氮素的非点源流失。增加绿化度,合理构筑绿色透水地圈,与不透水地面有机融合,是防止村镇区域氮素面源污染的有效途径^[8]。据报道,截获一定比例的后期径流量可能有利于 DN 的去除^[24]。本研究区的 DN 含量高,DON 含量占 DN 的 50% 左右,因此修建暴雨截留设施,利用植物-微生物系统去除氮素可能是有效控制本区域农业面源污染的重要手段。

3 结论

(1) 研究区典型降雨事件的降雨量为 22.3 mm,各监测点 TN 的平均浓度为 20.01~22.83 mg/L,DN 占 TN 的比例最大,DN 多以 DON 为主,氮素流失以溶解态为主。不同形态氮素的 EMC 在 6 个监测点呈现 $\text{TN} > \text{DN} > \text{NO}_3^- \text{-N} > \text{NH}_4^+ \text{-N} > \text{NO}_2^- \text{-N}$ 的趋势。

(2) 氮素负荷受其浓度和径流量的共同作用,基本上呈现与氮素浓度相同的变化特征,但峰值不明显,在径流量最小的监测点 G 和径流量最大的监测点 H 各形态氮素负荷变化最为平缓。

(3) 氮素负荷积累曲线分析表明,村域不同土地利用类型下各形态氮均存在初期冲刷效应。

参考文献:

- [1] Howarth R W, Boyer E W, Pabich W J, *et al.* Nitrogen use in the United States from 1961 to 2000 and potential future trends [J]. *AMBIO*, 2002, **31**(2): 88-96.
- [2] Gao Y, Zhang J Z, Zhu B, *et al.* Phosphorus transport with runoff of simulated rainfall from purple-soil cropland of different surface conditions [J]. *J Chongqing Univ (English Edition)*, 2008, **7**(2): 85-92.
- [3] 高扬,朱波,汪涛,等. 人工模拟降雨条件下紫色土坡地生物可利用磷的输出[J]. *中国环境科学*, 2008, **28**(6): 542-547.
- [4] Woli K P, Nagumo T, Kuramochi K, *et al.* Evaluating river water quality through land use analysis and N budget approaches in livestock farming areas [J]. *Sci Total Environ*, 2004, **329**: 61-74.
- [5] 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.
- [6] 高扬,朱波,周培,等. 紫色土坡地氮素和磷素非点源输出模拟研究[J]. *农业环境科学学报*, 2008, **27**(4): 1371-1376.
- [7] 顾瑛,沈仁芳. 长江三角洲地区面源污染及调控对策[J]. *农业环境科学学报*, 2005, **24**(5): 1032-1036.
- [8] 罗专溪,朱波,汪涛,等. 紫色土丘陵区农村集镇降雨径流污染特征[J]. *环境科学学报*, 2008, **28**(9): 1823-1831.
- [9] 贺宝根,周乃晟,胡雪峰,等. 农田降雨径流污染模型探讨——以上海郊区农田氮素污染模型为例[J]. *长江流域资源与环境*, 2001, **10**(2): 159-165.
- [10] 胡志平,郑祥民,黄宗楚,等. 上海地区不同施肥方式氮磷随地表径流流失研究[J]. *土壤通报*, 2007, **38**(2): 310-313.
- [11] 高超,朱继业,朱建国,等. 不同土地利用方式下的地表径流磷输出及其季节性分布特征[J]. *环境科学学报*, 2005, **25**(11): 1543-1549.
- [12] Gao Y, Zhu B, Zhou P, *et al.* Bioavailable phosphorus transported out from a hillslope cropland of purple soil under the condition of natural and simulated rainfall events [J]. *Environ Monit Assess*, doi: 10.1007/s10661-009-1298-6.
- [13] Lee J H, Bang K W. Characterization of urban stormwater runoff [J]. *Water Res*, 2000, **34**(6): 1772-1780.
- [14] Sansalone J J, Cristina C M. First flush concepts for suspended and dissolved solids in small impervious watersheds [J]. *J Environ Engin*, 2004, **130**(11): 1301-1314.
- [15] Viessman W, Lewis G L. *Introduction to Hydrology* [M]. USA NJ: Prentice Hall, 2003.
- [16] Kato T, Kuroda H, Nakasone H. Runoff characteristics of nutrients from an agricultural watershed with intensive livestock production [J]. *J Hydrol*, 2009, **368**(1-4): 79-87.
- [17] Borah D K, Bera M, Shaw S. Water, sediment, nutrient, and pesticide measurements in an agricultural watershed in Illinois during storm events [J]. *Trans ASAE*, 2003, **46**(3): 657-674.
- [18] 李宪文,史学正,Coen R. 四川紫色土区土壤养分径流和泥沙流失特征研究[J]. *资源科学*, 2002, **24**(6): 22-28.
- [19] 黄云凤,张路平,洪华生,等. 不同土地利用对流域 N 侵蚀和氮、磷流失的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2004, **23**(4): 735-739.
- [20] 段水旺,章申,陈喜保,等. 长江下游氮、磷含量变化及其输送量的估计[J]. *环境科学*, 2000, **21**(1): 53-56.
- [21] Inamdar S P, Mitchell M J. Storm event exports of dissolved organic nitrogen (DON) across multiple catchments in a glaciated

forested watershed [J]. J Geo Res, **112**, G02014, doi:10.1029/2006JG000309, 2007.

[22] 朱波,汪涛,徐泰平,等. 紫色丘陵区典型小流域氮素迁移及其环境效应[J]. 山地学报,2006, **25**(4): 601-606.

[23] Panigrahi S, Wikner J, Panigrahy R C, *et al.* Variability of nutrients and phytoplankton biomass in a shallow brackish water ecosystem [J]. Limnology, 2009, **10**: 73-85.

[24] 蒋锐,朱波,唐家良,等. 紫色丘陵区典型小流域暴雨径流氮磷迁移过程与通量[J]. 水利学报,2009, **40**(6): 659-666.

[25] Obermann M, Rosenwinkel K H, Tournoud M G. Investigation of first flushes in a medium-sized mediterranean catchment [J]. J Hydrol, 2009, **373**(3-4): 405-415.

关于反对个别作者一稿两投行为的联合声明

为保证所发表论文的首创性和学术严谨性,《环境科学》、《中国环境科学》、《环境科学学报》编辑部和《Journal of Environmental Sciences》编辑部特发表如下联合声明.

我们明确反对个别作者的一稿两投或变相一稿两投行为. 自即日起,我们各刊在接受作者投稿时,要求论文全体作者就所投稿件作出以下承诺(附在投稿上):

- 1) 来稿所报道的研究成果均系全体作者的原创性研究成果,文中报道的研究成果(含图、表中数据的全部或部分)未曾发表亦未曾投其它科技期刊.
- 2) 在接到所投期刊编辑部关于稿件处理结果之前,所投稿件的全部或部分内容不再投其它科技期刊.

我们将认真对待作者所作的上述承诺,并建立信息共享机制,对违背上述承诺的作者(包括在文中署名的全体作者)采取联合行动.

净化学术环境、促进学术繁荣是学术期刊作者和编者的共同责任. 我们诚恳地希望广大作者能够了解我们的上述立场和做法,并积极宣传和配合.

《环境科学》编辑部

《中国环境科学》编辑部

《环境科学学报》编辑部

《Journal of Environmental Sciences》编辑部