

DOI:10.3969/j.issn.1003-5060.2026.04.001

淮北平原区农田降雨径流氮磷流失特征

颜浩宇¹, 李如忠¹, 杨继伟^{2,3}, 袁宏伟^{2,3}, 曹秀清^{2,3}

(1. 合肥工业大学 资源与环境工程学院, 安徽 合肥 230009; 2. 安徽省水利部淮河水利委员会水利科学研究院 农村水利研究所, 安徽 合肥 230088; 3. 安徽省水利部淮河水利委员会水利科学研究院 水科学与智慧水利重点实验室, 安徽 蚌埠 233704)

摘要:降雨径流是农田氮磷流失的重要载体和通道,研究排水过程中氮磷元素的流失规律对于优化农业管理和保护水生态环境具有重要意义。文章基于农田原位观测方法,开展自然降雨条件下淮北平原典型区域农田径流排水试验研究,解析农田降雨径流特征及不同用地类型的氮磷输出规律。结果表明:4次径流过程的径流强度变化整体上呈单峰增长趋势,且径流方法中改进的SCS-CN(soil conservation service curve number)模型能有效模拟当地农田降雨径流深;不同用地类型间氮磷输出质量浓度和输出形态差异明显,总氮(total nitrogen, TN)和总磷(total phosphorus, TP)流失质量浓度从大到小顺序为玉米地、花生地、果园地;氮的输出形态主要为无机氮,而磷的输出形态不统一,玉米地和花生地主要为颗粒态磷,果园地为溶解态磷;农田径流氮磷计量比处于适合藻类生长范围,且TN、TP质量浓度均值显著高于《地表水环境质量标准》V类水标准。

关键词:农田降雨径流;SCS-CN模型;用地类型;氮磷流失;氮磷比

中图分类号:X522 **文献标志码:**A **文章编号:**1003-5060(2026)04-0433-07

Characteristics of nitrogen and phosphorus loss from rainfall runoff in farmland in the Huaibei Plain

YAN Haoyu¹, LI Ruzhong¹, YANG Jiwei^{2,3}, YUAN Hongwei^{2,3}, CAO Xiuqing^{2,3}

(1. School of Resources and Environmental Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China; 2. Rural Water Conservancy Institute, Anhui and Huaihe River Institute of Hydraulic Research, Hefei 230088, China; 3. Key Laboratory of Water Science and Intelligent Water Conservancy, Anhui and Huaihe River Institute of Hydraulic Research, Bengbu 233704, China)

Abstract: Rainfall runoff is an important carrier and channel for the loss of nitrogen and phosphorus in farmland. Studying the loss of nitrogen and phosphorus in the drainage process is of great significance to optimize agricultural management and protect the water ecological environment. Based on the *in situ* farmland observation method and the conditions of natural rainfall, tests on the farmland runoff drainage in a typical area of the Huaibei Plain were conducted to analyze the characteristics of farmland rainfall runoff and the output of nitrogen and phosphorus of different types of land. The results show that the runoff intensity of the four runoff processes exhibits a single-peak growth trend as a whole, and the improved soil conservation service curve number(SCS-CN) model can effectively simulate the depth of the rainfall runoff in the local farmland. The differences between the output concentrations and output forms of the nitrogen and phosphorus of different types of land are obvious, and the concentrations of total nitrogen(TN) and total phosphorus(TP) loss decrease in the following order: corn field, peanut field, and orchard. The output form of nitrogen is mainly inorganic nitrogen, while the output form of phosphorus is not uniform. Particulate phosphorus(PP) is the main form in corn and peanut fields, whereas dissolved phosphorus(DP) is predominant in the orchard. The stoichiometric ratio of nitrogen and phosphorus is conducive to algae growth, and the average concentrations

收稿日期:2025-01-07; **修回日期:**2025-02-19

基金项目:国家自然科学基金资助项目(52209002);安徽省自然科学基金资助项目(2308085US06)

作者简介:颜浩宇(2000—),男,安徽合肥人,合肥工业大学硕士生;

李如忠(1970—),男,安徽蚌埠人,博士,合肥工业大学教授,博士生导师,通信作者, E-mail: lrz1970@163.com.

of the TN and TP are significantly higher than Class V water standards in Environmental Quality Standards for Surface Water.

Key words: farmland rainfall runoff; soil conservation service curve number (SCS-CN) model; land type; nitrogen and phosphorus loss; nitrogen and phosphorus ratio

降雨引发的农田地表径流是外源汇入河流、湖泊的重要途径,其携带的氮磷元素过量输入水环境,既加速了下游水体水质恶化,引起区域水体富营养化,又进一步危害当地的粮食生产安全^[1-2]。氮磷元素进入水体后,虽然受到物理沉降、化学吸附和生物吸收降解等方式自然削减,但两者的滞留机制有所不同。氮的转化途径以挥发和淋溶为主,水中的氮素可能通过氨化挥发也可能经由硝化-反硝化途径生成氮气或氮氧化物释放,或者随降雨入渗产生淋溶而垂直迁移^[3-4];而磷素转移则多通过氧化还原反应和物理方式在底泥、上覆水和间隙水之间发生迁移转化,相较于氮素不易脱离水生态系统^[5]。

农田氮磷污染负荷产生、运输及最终输出的影响因素众多,主要包括土壤、地形、降雨等自然因素和景观格局、农业管理等人为因素^[6-8]。其中,降雨是农田土壤氮磷流失的驱动因子和载体,降雨特征(雨强、历时)和下垫面条件(作物类型、地形地貌、土壤水分和养分等)影响氮磷流失的质量浓度和负荷量^[9],但降雨径流过程多因素交叉、耦合影响导致氮磷变化呈现较大的时空异质性。景观格局与氮磷生态过程属于交互反馈过程,通过格局特征可以预测氮磷生态过程特征,而生态过程变化又反作用于格局的形成^[10-11]。面源污染虽然是自然过程引起的生态过程,但在人为活动尤其是土地利用活动影响下得到加强。土地利用变化是农田氮磷元素输出系数变化的根本原因,不同作物的根系结构和种植模式不同,其冠层对降雨的拦截作用也有明显差异,这些因素影响降雨在土壤剖面的分配以及氮磷从“土相”向“水相”的转移过程^[12]。此外,监测尺度也是重要影响因素,不同的尺度涉及农田和小流域的产汇流过程及其伴随的渗滤、吸附等机制,导致面源污染物输出存在差异。因此,精准识别不同土地利用配置下的面源污染关键源区,是推动区域面源污染防治的有效手段。

目前,国内有关农田产流及氮磷流失污染的研究多集中在小尺度模拟降雨试验或大尺度流域氮磷污染负荷估算方面,针对小流域尺度的研究有待深入。本研究以淮北平原农田为对象,采用

野外大田原位观测试验,开展自然降雨径流过程监测和模拟研究,揭示淮北平原区农田氮磷流失规律,为当地农业面源污染防治提供依据。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

试验区位于安徽省淮委水利科学研究所新马桥农水综合试验站内(东经 117°22',北纬 33°09'),该站地处淮北平原南部,是典型的平原区小型农业集水区,属亚热带湿润季风气候,年均降雨量约 900 mm,年均径流深约 240 mm。汛期主要发生在 6 月到 9 月,降雨量约占全年的 60%~70%。供试区土壤为砂姜黑土,农田以旱田为主,主要种植玉米、花生及果树等经济作物。试验田施肥量参考当地施肥标准,多年保持恒定,玉米和花生采用种肥同播方式配施基肥,果树为人工施肥;每亩施加复合肥 40 kg,尿素 12.5 kg,整个生长期不追肥。排水沟渠以明沟为主,边坡和沟底采用带孔的预制混凝土板,沟宽为 0.3~0.5 m,沟深为 0.6~0.8 m,坡降约 0.04%,沟渠间连通性较好,可以通过闸门控制沟渠水流方向。

1.2 试验设计

试验数据取自 2016 年 6 月、2022 年 6 月、7 月和 2023 年 7 月 4 次降雨径流过程,分别记作 B1、B2、B3、B4。期间试验站整体布局基本没有变化,农业生产区的作物类型、土地覆被状况、耕作习惯、田间施肥管理等都没有改变,在下垫面条件和人为活动影响相似条件下,试验数据具有可靠性。选择玉米地、花生地和果园地作为研究对象,其中玉米是试验区夏季主要种植作物,种植面积较大(约 2.8 hm²,监测位点 7 处),花生和果树种植面积相对较小(分别约 0.32、0.30 hm²,监测位点各 2 处)。雨前采集试验田块耕作层土样分析测试土壤氮磷背景值,结果见表 1 所列。各试验田块人工开垦排水浅沟,监测点布置于农田出水口以监测源头径流。源头径流汇入前端沟渠后,通过闸门控制将水流汇聚于末端沟渠,并在末端沟渠出水口处布设一个监测断面,监测整个集水区的径流排水特性。径流开始后通过聚乙烯瓶(500 mL)实时水样采集直至径流结束,采样间隔

时间为0.5~1.0 h,并通过流量计实时记录排水流量,采集的水样经2~4℃冷藏,48 h内完成分

析测试,土壤水分数据和气象资料利用站内小型自动气象站记录的数据信息。

表1 研究区基本信息及土壤养分特征

用地类型	耕作制度	汇水面积/hm ²	监测点数	土壤类型	铵态氮质量比/(mg/kg)	硝态氮质量比/(mg/kg)	全氮质量比/(mg/kg)	有效磷质量比/(mg/kg)	全磷质量比/(mg/kg)
玉米地	免耕	2.80	7	砂姜黑土	24.22±11.15	29.87±7.84	1.43±0.21	33.90±13.09	0.54±0.13
花生地	旋耕+垄作	0.32	2	砂姜黑土	26.76±8.23	32.80±3.24	1.19±0.22	43.20±7.49	0.60±0.10
果园地	不耕作	0.30	2	砂姜黑土	25.96±4.30	23.47±4.58	0.82±0.07	24.70±15.13	0.43±0.06

1.3 模型与方法

采用改进的SCS-CN(soil conservation service curve number)模型,并结合当地降雨资料估算不同雨强下试验集水区的降雨径流深,模型参数和率定系数参考文献[13](其研究区距本试验站约3 km)。采用百分比偏差系数 I_{PBIAS} 评价模拟结果与观测值的偏差程度,该值大于0表示模型低估产流量,小于0表示高估产流量;采用模拟效率系数(纳什系数) I_{NSE} 评估模拟值与观测值的契合程度, I_{NSE} 取值范围为 $(-\infty, 1]$,数值越大表示拟合效果越好。相关计算公式为:

$$I_{PBIAS} = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - Q_i)}{\sum_{i=1}^n O_i} \times 100\% \quad (1)$$

$$I_{NSE} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (2)$$

其中: n 为排水事件数; O_i 和 Q_i 分别为第 i 个径流深观测值和模拟值; \bar{O} 为径流深观测均值。

每次径流排水事件的氮磷流失负荷采用瞬时水样质量浓度与邻近2次流量平均值的乘积进行计算,其公式为:

$$L_j = K \sum_{j=1}^n (\rho_j \bar{Q}_{j,j-1}) \quad (3)$$

其中: L_j 为第 j 时流失负荷; K 为流域面积与时间单位转化因子; ρ_j 为第 j 小时水样质量浓度; $\bar{Q}_{j,j-1}$ 为第 j 小时与第 $j-1$ 小时瞬时流量平均值。

1.4 样品分析与数据处理

试验收集水样利用全自动流动化学分析仪测定,其中总氮(total nitrogen, TN)、硝态氮(nitrate nitrogen, NN)和铵态氮(ammonium nitrogen, AN)采用紫外分光光度法测定;总磷(total phosphorus, TP)、溶解态磷(dissolved phosphorus, DP)采用钼酸铵分光光度法测定;颗粒态磷(particulate phosphorus, PP)为总磷与溶解态磷

质量浓度之差,即 $\rho(PP) = \rho(TP) - \rho(DP)$ 。

数据处理和图表绘制主要采用Excel、Origin和SPSS软件,通过SPSS软件对不同用地类型的氮磷输出质量浓度进行最小显著性差异法(least significant difference, LSD)分析,采用Origin软件完成不同用地类型径流水质与氮磷比Spearman相关性分析。

2 结果与分析

2.1 降雨产流动态变化特征

试验区4次典型降雨事件前期的累积降雨量、土壤含水率和地下水埋深情况见表2所列。4次试验前期累积降雨量较大,其中3次试验达到20 mm以上,但因前期降雨不连续和土壤含水率远低于饱和含水率(约39.86%),且地下水埋深较大(大于0.9 m),并未产生地表径流。4次降雨事件的径流强度-历时曲线如图1所示。

表2 降雨事件前期土壤湿润条件

事件	5 d 累积降雨量/mm	土壤含水率/%	地下水埋深/m
B1	29.10	29.45	-0.96
B2	8.60	27.45	-1.12
B3	21.50	30.14	-0.94
B4	27.40	29.67	-0.99

从图1可以看出,4次降雨径流过程规律相似,产流阶段初损历时较长,降雨前期雨水主要用于入渗、填洼及补充土壤缺水量,少部分被植物截留和吸收,从降雨开始至产流发生滞后时间分别约3.0、6.5、5.0、4.0 h。随着雨水入渗接近稳定,大量降雨转化为地表径流排出,部分雨水积蓄在土壤表面相对不透水层,形成临时饱和带,通过壤中流方式经由沟渠孔洞侧向流出。4次试验径流强度变化过程也较为相似,整体呈单峰增长趋势,即前期径流强度增长较快,达到峰值流量后快速回落,后期随着雨量减小,径流强度缓慢降低并保持低位至径流结束。

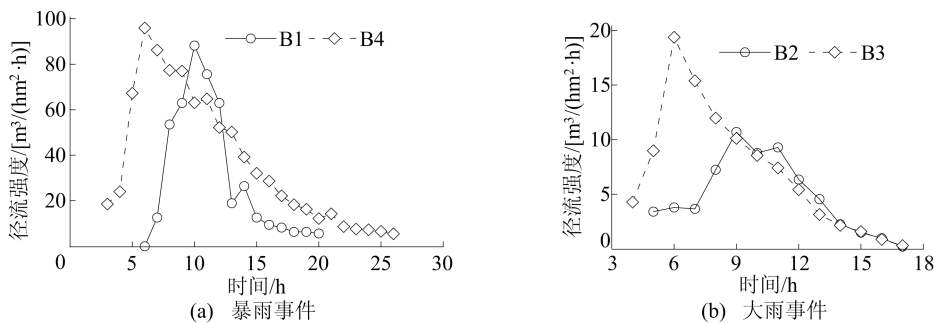


图 1 不同雨强下径流强度随时间变化规律

2.2 降雨径流深模拟及效益评价

不同降雨级别下,基于改进的 SCS-CN 模型模拟的试验区径流深及模拟效益评价结果见表 3 所列。由表 3 可知:4 次典型降雨径流的径流深观测值与模拟值的 I_{PBIAS} 小于 20%,偏差较小;而且暴雨条件下 I_{PBIAS} 明显小于大雨情形,意味着雨强越大模拟值偏差程度越小。这里, I_{PBIAS} 值均大

于 0,表明模型模拟结果表现出对径流量的低估。不同雨强级别下度量模型模拟值与观测值契合程度的指标 I_{NSE} 均大于 0.97,表明模拟结果与观测值契合程度高,模型模拟效果较好。可以看出,改进的 SCS-CN 模型能够较好地模拟研究区农田地表径流,这与文献[13]在毗邻区域开展的降雨模拟结论一致。

表 3 不同雨强下农田径流深模拟结果评价

降雨级别	降雨事件	降雨强度/mm	径流深观测值/mm	径流深模拟值/mm	$I_{\text{PBIAS}}/\%$	I_{NSE}
暴雨	B1	68.30	54.61	47.44	13.12	0.97
暴雨	B4	115.40	93.81	89.26	4.85	0.97
大雨	B2	39.60	7.01	5.95	15.12	0.99
大雨	B3	45.40	10.70	8.61	19.53	0.99

2.3 不同用地类型径流氮、磷流失特征

4 次径流试验中各用地类型的氮磷流失质量浓度均值结果如图 2 所示。图 2 中,不同小写字母表示差异显著。由图 2 可知:TN 质量浓度玉米地最高,为 (11.54 ± 1.95) mg/L,其次是花生地,为

(11.44 ± 2.32) mg/L,果园地最低,为 (6.54 ± 2.53) mg/L;TP 质量浓度玉米地最高,为 (0.99 ± 0.35) mg/L,花生地次之,为 (0.91 ± 0.28) mg/L,果园地最低,为 (0.82 ± 0.33) mg/L;玉米地和花生地径流的 TN、TP 质量浓度相差不大。

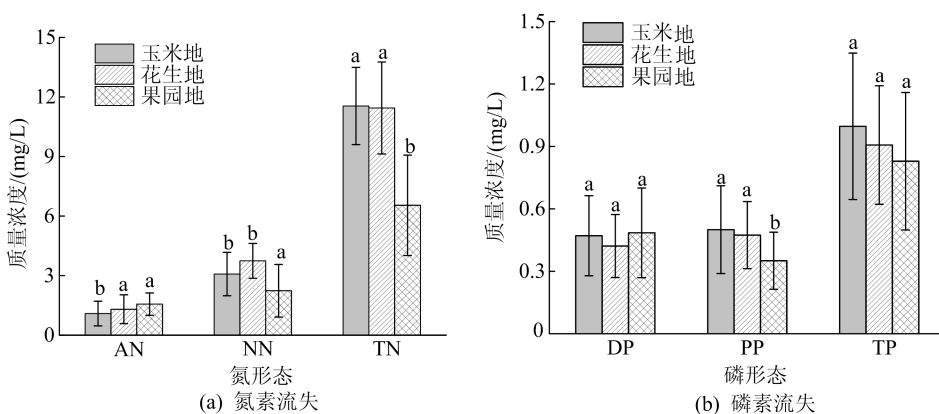


图 2 不同用地类型氮磷流失质量浓度及其差异性

玉米地与花生地和果园地的地表径流 AN 质量浓度存在显著差异性 ($P < 0.05$),果园地与玉米地和花生地的 NN、TN 质量浓度也均存在显著差异性 ($P < 0.05$)。这里,仅有果园地的地表径流 PP 质量浓度与玉米地和花生地存在显著差异

性 ($P < 0.05$),3 种用地类型之间 DP、TP 质量浓度则未表现出显著差异性 ($P > 0.05$)。总体而言,农田径流氮磷质量浓度受用地类型影响较大,3 种用地类型氮磷流失质量浓度从大到小依次为玉米地、花生地、果园地。且 4 次径流试验的

TN、TP 质量浓度均值显著高于《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) V 类水标准。

2.4 径流氮、磷负荷强度及流失形态

不同用地类型 4 次径流过程的氮磷流失负荷强度见表 4 所列。从表 4 可以看出,AN、NN 和 TN 的流失负荷强度范围分别为 0.11~1.24 kg/hm²、0.24~2.24 kg/hm²、0.44~11.26 kg/hm²,AN 流失负荷峰值出现在果园地,为(1.24±0.16) kg/hm²;NN 出现在花生地,为(3.24±0.44) kg/hm²;TN 则出

现在玉米地,达(11.26±1.17) kg/hm²。相应地,DP、PP 和 TP 流失负荷强度范围分别为 0.02~0.49 kg/hm²、0.02~0.54 kg/hm²、0.04~0.99 kg/hm²,其中 DP 流失负荷量峰值出现在果园地,为(0.49±0.20) kg/hm²;PP 出现在玉米地,为(0.54±0.20) kg/hm²;TP 也出现在玉米地,达(0.99±0.33) kg/hm²。

不同降雨强度下各用地类型地表径流的氮磷流失形态变化如图 3 所示。

表 4 不同用地类型氮磷负荷强度

用地类型	降雨事件	氮负荷强度/(kg/hm ²)			磷负荷强度/(kg/hm ²)		
		AN	NN	TN	DP	PP	TP
玉米地	B1	0.42±0.06	1.25±0.36	5.23±0.21	0.13±0.11	0.19±0.08	0.32±0.09
	B2	0.11±0.02	0.21±0.04	0.56±0.22	0.02±0.01	0.02±0.01	0.05±0.03
	B3	0.14±0.02	0.22±0.08	0.70±0.06	0.05±0.02	0.04±0.01	0.09±0.02
	B4	0.77±0.43	2.48±0.48	11.26±1.17	0.45±0.15	0.54±0.20	0.99±0.33
花生地	B1	0.56±0.19	1.66±0.07	5.51±0.53	0.15±0.07	0.23±0.10	0.38±0.13
	B2	0.08±0.03	0.18±0.03	0.51±0.15	0.03±0.01	0.02±0.01	0.05±0.02
	B3	0.11±0.04	0.29±0.12	0.71±0.25	0.04±0.03	0.04±0.01	0.08±0.03
	B4	1.04±0.64	3.24±0.44	11.06±1.81	0.41±0.12	0.46±0.14	0.87±0.26
果园地	B1	0.61±0.13	0.99±0.19	3.87±0.94	0.16±0.04	0.14±0.04	0.30±0.06
	B2	0.06±0.02	0.20±0.06	0.44±0.07	0.03±0.01	0.02±0.01	0.05±0.01
	B3	0.10±0.06	0.24±0.08	0.64±0.12	0.02±0.02	0.02±0.01	0.04±0.02
	B4	1.24±0.16	1.53±0.78	5.27±2.21	0.49±0.20	0.35±0.14	0.84±0.33

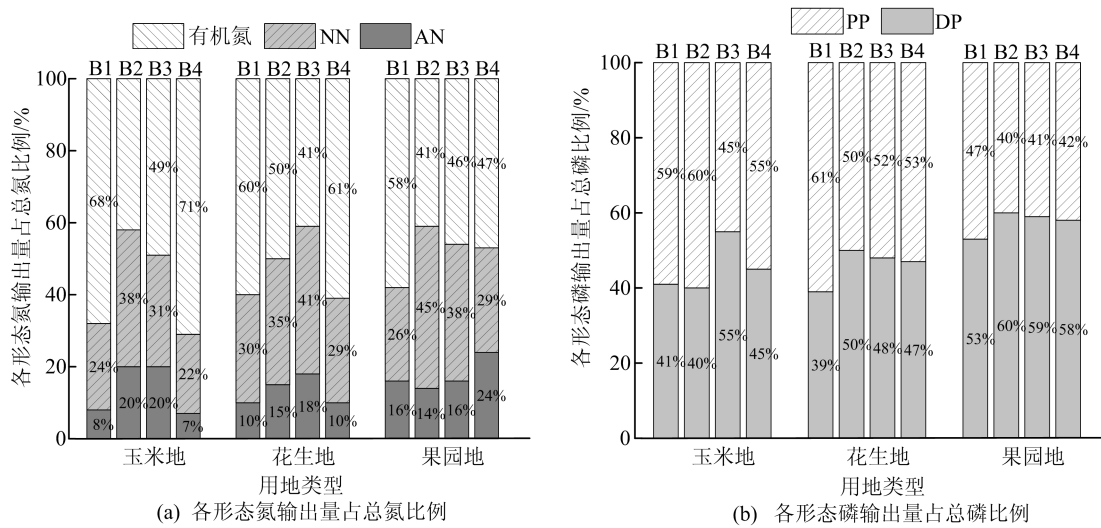


图 3 氮磷各形态输出量占总氮、总磷的比例

由图 3 可知,氮流失形态大体上以有机氮为主,达到 41%~71%,无机氮的占比偏低,其中可溶性的 NN 占比较高,达到 22%~45%,AN 的占比只有 7%~24%。随着雨强增大,无机氮占比明显上升,而 NN 和 AN 的占比整体上呈下降趋势。磷流失形态在不同用地间存在差异,玉米地和花生地磷输出形态以 PP 为主,占比达 45%~61%;而果园地磷输出形态以 DP 为主,占比达 50%~60%。相应地,随着雨强增大,3 种用地类型 DP 的占比明

显下降,而 PP 的占比明显上升,表明较大雨强下,雨滴溅蚀和剪切力增大,驱动更多的磷元素吸附到土壤颗粒表面后以泥沙形式随径流迁移,加剧了农田土壤侵蚀和磷素流失。

2.5 径流养分质量浓度相关性及其氮磷限制状况

不同用地类型径流氮磷限制情况如图 4 所示,参照水生态学研究中的营养限制性原理,评价降雨径流水质的氮磷限制性,即当 $\rho(TN)/\rho(TP)$ 在 7~10 时,水体浮游植物为氮限制; $\rho(TN)/\rho(TP)$ 在 23~

30 水体浮游植物为磷限制;介于二者之间时则为最佳生长范围。本研究中,玉米地径流水质 $\rho(\text{TN})/\rho(\text{TP})$ 变化范围为 7.71~23.36,花生地 $\rho(\text{TN})/\rho(\text{TP})$ 为 7.40~21.58,两者均介于适宜于水生浮游植物生长的氮磷比值范围;而果园地 $\rho(\text{TN})/\rho(\text{TP})$ 变化范围为 2.65~19.91,部分处于氮限值状态(占比 50%)。

地表径流的氮磷质量浓度比与径流中氮磷质量浓度的相关性分析见表 5 所列。由表 5 可知,用地类型影响径流中氮磷质量浓度的营养限值性,其中玉米地氮磷质量浓度比与 DP、PP 和 TP 质量浓度呈极显著负相关($P<0.01$);花生地氮磷质量浓度比与 DP、PP 和 TP 质量浓度呈显著负相关($P<0.05$),同时与 NN 质量浓度也呈现出显著正相关

($P<0.05$);而果园地氮磷质量浓度比仅与 NN、TN 质量浓度呈极显著正相关($P<0.01$)。

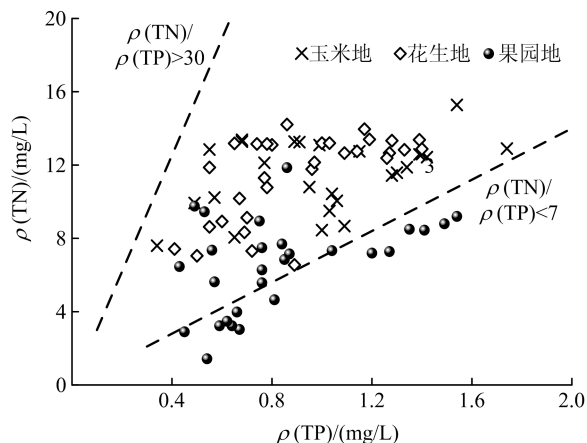


图 4 不同用地类型径流氮磷限制情况

表 5 各用地类型径流水质指标与氮磷质量浓度比的相关性系数

指标	$\rho(\text{AN})$	$\rho(\text{NN})$	$\rho(\text{TN})$	$\rho(\text{DP})$	$\rho(\text{PP})$	$\rho(\text{TP})$
玉米地	0.242	0.258	0.216	-0.908**	-0.612**	-0.864**
花生地	-0.020	0.395*	-0.046	-0.582**	-0.410*	-0.768**
果园地	0.369	0.655**	0.585**	-0.293	-0.105	-0.269

注: * 表示 $P<0.05$; ** 表示 $P<0.01$ 。

3 讨论

3.1 农田产流规律和模拟结果差异性分析

农田产流过程与土壤质地、土壤水分密切相关,土壤结构特性显著影响产流时间和初损历时。砂姜黑土作为低产土,土壤结构较差,垂直裂隙发达,涨缩性强,黏粒含量高,黏土矿物中具有疏水性官能团的蒙脱石含量也高。干旱条件下,土壤水分迅速蒸发,土壤保水性能差;湿润条件下,水分进入土壤后又会迅速填满土壤孔隙,并入渗补充地下水^[14]。文献[15]研究淮北平原农田产流发现,前期土壤湿度较大条件下,降雨后农田表层土壤迅速湿润并膨胀,土壤孔隙度明显下降,导致土壤质地粘重,雨水入渗能力降低,强降雨易引发超渗产流现象,并可能引起径流初损历时缩短和产流历时延长。

改进的 SCS-CN 模型对径流深模拟预测值存在一定低估,可能与初损系数 λ (流域降雨初损量与最大潜在滞蓄量之比)取值固定为 0.2 有关,即假设降雨初损量等于 20% 的最大流域土壤蓄水量。产流量与 λ 有关,较小的 λ 表明较多降雨变为径流,而较大的 λ 表明较少降雨变为径流,固定初损系数本质上回避了不同地域地理气候条件的差异,原取值虽契合美国大部分土壤结构和下垫

面背景下 CN 值(反映流域下垫面特征的综合参数,与前期土壤湿度、土地利用、土壤类型等有关)的计算,但对于背景条件差异明显的中国淮北平原区直接应用存在较大误差^[16]。同时,当参数 CN 值固定时, λ 的相对敏感性一般会随降雨量的增大而减小,这在以农业或草地为主的流域更为明显。坡度对产流影响也很重要,产流量通常会随着坡度的增加而增大,虽然试验区域属于平原区,纵向坡降比小,但为了汛期农田排水及时,人工径流通道的开垦和开挖出水口可能改变了局部地形,致使产流更容易。降雨径流过程是复杂的水文过程,平原区的降雨产流受到多种因素影响,在对当地降雨径流估算过程中,本文受到试验次数过少和时间序列过短的影响,在一定程度上影响了模型的模拟精度和可靠性。

3.2 不同用地类型氮磷流失差异性分析

本文中不同用地类型的地表径流氮磷流失质量浓度、形态和负荷强度表现出较大差异性,其中氮素流失主要以有机氮为主(占 41%~71%),无机氮流失形态以硝态氮为主(占 22%~45%),与其他研究相似。文献[17]研究发现,菜地和旱坡地因长年翻耕导致地表长期裸露,耕作层土壤结构性差,导致降雨径流中氮素以颗粒态无机氮为主要流失形态;文献[18]在对古夫河小流域的研究中发现,

农田硝态氮流失量远超于铵态氮,原因可能与土壤中氮素形态及其转化机制有关,土壤胶体通常带净负电荷且阴离子多,铵态氮因带正电荷而更易被土壤胶体吸附,而硝态氮带负电荷且迁移能力更强,在径流淋洗作用下更易随水流失。

玉米地和花生地磷素流失主要以颗粒态磷为主(占45%~59%),而果园地则主要以溶解态磷为主(占50%~60%)。文献[19]对安吉毛竹林地研究发现,当地毛竹林径流中磷素流失以溶解态为主(占62.76%),与本研究结论一致;文献[20]研究认为土壤中磷素能与土壤胶体相结合而形成颗粒态磷,使其成为径流磷流失的主要形态。本研究中,花生地和玉米地多年翻耕,频繁耕作破坏了土壤的原状稳定结构,加剧土壤侵蚀,土壤颗粒更易随径流流失。而果园地并无耕作措施,相较于长期耕作的农田旱地,地表杂草和凋落物更多,土地平整度较差,地表植物的叶片、根系及凋落物能有效减缓径流入渗速度和降雨动能,使得径流在土壤剖面重新分配且拦截水分和养分,减少颗粒态磷的流失。

4 结 论

1) 试验以淮北地区为代表的地势平坦区域农田降雨径流强度变化整体上呈单峰增长趋势,产流的初损历时受到前期累积降雨量、土壤含水率、地下水埋深等因素影响;改进的SCS-CN模型能有效预测当地不同雨强下的降雨径流深,模拟结果低估了实际值,可通过优化降雨初损系数 λ 来提高预测精度。

2) 各用地类型的氮磷输出质量浓度、输出形态和输出负荷差异较大,总氮、总磷输出质量浓度和负荷量从大到小依次为玉米地、花生地、果园地。各用地类型氮素输出形态以颗粒态有机氮为主,可溶性无机氮占比偏低,NN是无机氮输出的主要形态;玉米和花生地磷输出形态以PP为主,而果园磷输出形态以DP为主。

3) 各用地类型的氮磷质量浓度比与相关性分析结果显示,当地农田径流水质处于适宜浮游植物生长的范围,因此,需要采取水土保持和水肥管理措施防止农田径流直接排入下游水体。

【参 考 文 献】

[1] 关荣浩,马保国,黄志僖,等.冀南地区农田氮磷流失模拟降雨试验研究[J].农业环境科学学报,2020,39(3):581-589.
[2] 黄国鲜,聂玉玺,张清寰,等.流域农业面源污染迁移过程与模型研究进展[J].环境工程技术学报,2023,13(4):

1364-1372.
[3] 陈宏,王泓,吴敏,等.淡水湿地生态系统中微生物驱动氮转化过程研究进展[J].水利学报,2020,51(2):158-168.
[4] 李如忠,宋敏,杨继伟.城市新城区公园沟塘沉积物磷释放风险及影响因素分析[J].环境科学,2021,42(9):4287-4295.
[5] 李森,李莹,刘刚,等.低温时期磷在查干湖沉积物中的解吸动力学研究[J].节水灌溉,2013(6):18-21.
[6] 张兆鑫,孙婴婴,刘哲,等.我国农田径流污染及其控制技术研究进展[J].水资源与水工程学报,2024,35(2):207-216.
[7] 房志达,苏静君,赵洪涛,等.红壤丘陵区小流域典型土地利用的面源氮磷输出特征[J].环境科学,2021,42(11):5394-5404.
[8] GU X S, CHEN D Y, WU F, et al. Function of aquatic plants on nitrogen removal and greenhouse gas emission in enhanced denitrification constructed wetlands: *Iris pseudacorus* for example[J]. Journal of Cleaner Production, 2022, 330:129842.
[9] ZHANG R R, LI M, YUAN X, et al. Influence of rainfall intensity and slope on suspended solids and phosphorus losses in runoff[J]. Environmental Science and Pollution Research International, 2019, 26(33):33963-33975.
[10] 黄志霖,田耀武,肖文发,等.三峡库区典型农林流域景观格局对径流和泥沙输出的影响[J].生态学报,2013,33(23):7487-7495.
[11] 李乐,刘常富.三峡库区面源污染研究进展[J].生态科学,2020,39(2):215-226.
[12] 杨林章,吴永红.农业面源污染防治与水环境保护[J].中国科学院院刊,2018,33(2):168-176.
[13] 焦平金,许迪,于颖多,等.递推关系概化前期产流条件改进SCS模型[J].农业工程学报,2015,31(12):132-137.
[14] 王翔翔,程志龙,苏光辰,等.测定时间对淮北平原砂姜黑土饱和导水率的影响[J].灌溉排水学报,2021,40(12):136-141.
[15] 杨继伟,李如忠,张辉,等.淮北平原典型地区天然降雨农田磷流失规律研究[J].节水灌溉,2022(7):65-70,78.
[16] 冯憬,卫伟,冯青郁.黄土丘陵区SCS-CN模型径流曲线数的计算与校正[J].生态学报,2021,41(10):4170-4181.
[17] WEI W, LI D C, BO J F, et al. The effect of land uses and rainfall regimes on runoff and soil erosion in the semi-arid loess hilly area, China[J]. Journal of Hydrology, 2006, 335(3):247-258.
[18] 华玲玲,李文超,翟丽梅,等.三峡库区古夫河小流域氮磷排放特征[J].环境科学,2017,38(1):138-146.
[19] WANG R J, CAI C J, ZHANG J F, et al. Study on phosphorus loss and influencing factors in the water source area[J]. International Soil and Water Conservation Research, 2022, 10(2):324-334.
[20] TIAN J H, KARI D, LEO C. Biological cycling of nitrogen and phosphorus in soils[J]. Plant and Soil, 2024, 498(1/2):1-4.

(责任编辑 吴亮)