

不同土地利用方式土壤表层氮、磷流失特征研究*

袁兴程¹ 钱新^{1**} 庞宗强² 李苗²

(1. 污染控制与资源化研究国家重点实验室, 南京大学环境学院, 南京, 210093;

2. 中国矿业大学环境与测绘学院, 徐州, 221008)

摘要 利用室内人工模拟降雨,选择徐州沛沿河流域3种典型土地利用类型,研究了不同土地利用下土壤表层N、P随降雨径流的迁移过程. 研究表明,在相同降雨条件下,3种土地产流量大小顺序为稻田地>林地>果园,产泥沙量大小顺序为果园>稻田地>林地. 降雨径流水相中TN、TP浓度呈现随降雨时间的持续显著下降,然后逐渐稳定的趋势,氮磷的流失量大小与土壤有效氮和速效磷含量高低具有一致性. 径流水相中氮、磷流失以悬浮颗粒态为主. 整个降雨过程氮素流失以径流水相为主,而磷素流失以泥沙相为主. 土壤表层氮和磷流失速率最大的是稻田地,分别为 $1.12 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$ 和 $0.42 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$.

关键词 不同土地利用, 氮磷流失, 模拟降雨, 地表径流.

面源污染(Non-point source pollution)是指溶解性或固体污染物从非特定的地点,在降水和径流冲刷作用下,通过径流过程汇入受纳水体(如河流、湖泊、水库、海湾等)而引起的水体污染^[1]. 面源污染已成为水体富营养化的主要原因之一,控制面源污染对流域水环境保护与治理具有重要意义^[2-4]. 徐州沛沿河流域,面源污染物累积时间长,汛期随降雨径流输出的面源污染已成为该地区河流水质不能稳定达标的主要原因之一,因此开展徐州沛沿河流域面源污染发生机制的研究,对解决该地区河流水质问题具有重要的现实意义.

土壤表层氮、磷等营养盐的流失是面源污染物的主要来源之一. 在降雨的淋洗、溶解、冲刷、剥蚀作用下土壤中氮、磷会被逐渐带走,汇集到流域内的河流或湖泊中^[5]. 近年来国内外学者针对土壤中氮、磷的流失,从降雨强度、土地利用方式、施肥方法及流域尺度等方面开展了大量室内和野外的实验研究^[6-10]. 其中,通过模拟人工降雨研究土壤养分流失特征的方法已成为一种重要研究手段,该方法条件容易控制,获得参数较多,利于量化^[11-12].

本文利用小型人工模拟降雨器,开展降雨径流条件下土壤表层氮磷流失特征研究,旨在为徐州沛沿河流域的面源污染控制提供科学依据.

1 材料与amp;方法

1.1 实验装置

模拟降雨装置采用西安清远公司的QYJY-502型便携式人工模拟降雨器,主要由降雨喷头、供水管路、压力表、回水阀、供水水泵、不锈钢支架、开关阀等部分组成. 降雨高度为4 m,降雨均匀系数在80%以上,雨强连续变化范围为 $10\text{--}150 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$. 土壤槽根据人工降雨装置有效降雨面积自行设计,由PVC板组成,长宽高分别为 $90 \text{ cm}\times 40 \text{ cm}\times 30 \text{ cm}$,槽的一侧设置延伸槽,高度5 cm,并开设孔径1 cm的平行管孔,用于方便收集表面径流.

1.2 供试土壤

土壤采自徐州沛沿河沿岸的李集村附近农田,距沛沿河入京杭运河约5 km,属苏北黄泛冲积平原典型的农业生态系统,降雨多集中在6—9月份,年平均降水量约为760.1 mm,土地利用类型有水稻田(水稻小麦轮作)、林地、果园地. 土壤类型均为黄潮土,采集耕作层(0—20 cm)土壤,其基本理化性质见表1.

2010年11月1日收稿.

* 十一五国家科技重大专项(2008ZX07101-004-2)和江苏省环保科研课题(2008011)资助.

** 通讯联系人, E-mail: xqian@nju.edu.cn

表 1 供试土壤理化性质

Table 1 Physical and chemical parameters of tested soil

土地类型	容重 /($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	含水量 /%	全氮 /($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	有效氮 /($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	全磷 /($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	速效磷 /($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	有机质 /($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)
稻田	1.31	22.2	2100	104.2	1340	66.1	42.25
林地	1.28	20.3	2020	101.1	760	44.7	43.33
果园	1.25	19.6	1450	146.0	1060	50.6	20.55

实验采用原状土模拟方法^[13], 取样点为代表性的田间地块. 实验用土块大小(长×宽×高)为90 cm×40 cm×25 cm, 取土样时先挖30 cm×40 cm×25 cm土体, 尽量保持土壤的原有结构, 3个土块拼入土壤槽中, 用泥弥合槽壁和土块之间的缝隙, 并适当压紧. 土块移入土壤槽后, 在自然状态放置两周使土体恢复自然特征后进行降雨实验.

1.3 降雨过程与分析测定

模拟降雨时选择天晴、无风日, 不同土壤依次开展3场平行降雨实验. 用实验室自来水作雨水, 降雨前取样分析本底作为径流水样对照, 降雨强度设置为 $80\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ (暴雨条件). 记录降雨开始时间和径流产生时间, 每场次降雨时间40 min(不含径流产生前时间); 产生径流后, 每5 min采集1次径流水样, 分别测量各时段径流水体积, 同时收集泥沙, 经过自然风干、称重, 测定泥沙中的总氮、总磷含量, 以雨前土壤氮磷含量作为泥沙对照; 降雨结束后, 取土壤表层土测定氮磷含量.

将收集的地表径流水样静置后分为两部分: 一部分用于测定总氮(TN)、总磷(TP); 另一部分水样经 $0.45\text{ }\mu\text{m}$ 滤膜过滤后用于测定溶解态氮(DN)、溶解态磷(DP). TN、DN测定采用GB11894—89碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法, TP、DP采用GB11893—89钼酸铵分光光度法, 径流水相悬浮颗粒态氮(PN)和悬浮颗粒态磷(PP)利用差减法计算得出. 土壤和泥沙中全氮的测定采用半微量凯氏法, 全磷测定采用碳酸钠熔融法^[14].

2 结果与讨论

2.1 降雨径流条件下产流产沙过程

如图1a所示, 在相同降雨强度下, 不同土地利用下土壤的径流过程变化趋势相近, 降雨径流开始产生时径流量相对较小, 随着降雨时间的持续, 径流量逐渐增大, 一段时间后径流量趋于稳定. 在降雨过程中, 供试的土壤产生两种径流模式: 表面径流和土壤向下渗流, 降雨初期土壤未达到饱和, 入渗量大而径流量小, 随着土壤入渗速率逐渐趋于稳定, 径流率增大并达到最大值, 随后基本趋于稳定. 累积径流量因土地利用类型的不同而不同, 大小顺序为稻田地>林地>果园, 稻田地容重大、粘粒含量高, 表现出雨水下渗慢, 容易产生地表径流, 产流量最多.

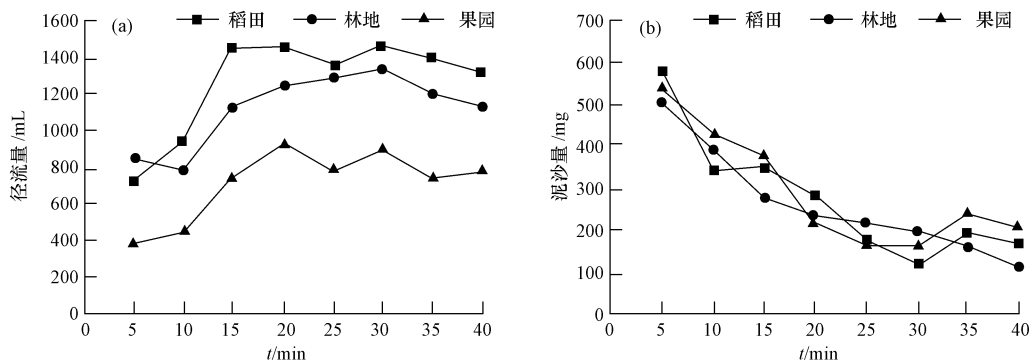


图 1 不同土地利用下降雨径流量(a)和侵蚀泥沙量(b)变化过程

Fig. 1 Process of runoff and sediment generation under different landuse

不同土地利用下的降雨侵蚀产沙过程分异不明显(图 1b). 由于降雨强度大,对地表瞬间产生的冲击较大,开始时泥沙产生量很大,随着降雨历时的增加,土壤表层形成了一层水膜,起到缓冲作用,泥沙产生量就逐渐减少,并趋于平稳. 累积产泥沙量大小顺序为:果园 > 稻田地 > 林地. 径流量和泥沙量的大小反映了不同土地利用方式对水土流失的作用程度,实验结果表明,果园地的水土流失程度最大,其次是稻田,最后是林地.

2.2 降雨径流中氮、磷流失特征

2.2.1 径流水相中总氮和总磷随径流过程的变化

从图 2 可以看出,不同土地利用下土壤地表径流水相中总氮、总磷浓度都呈现随降雨时间的持续显著下降,然后逐渐稳定的趋势. 与已有研究相比^[11-13],浓度开始稳定的时间因实验条件差异而有所不同外,总体趋势基本一致. 因为径流初期,土壤表层氮磷含量相对比较富集,随着时间的推移,表层含量相对减少,径流与土壤的相互作用达到相对平衡时,水相中氮磷浓度渐趋平缓.

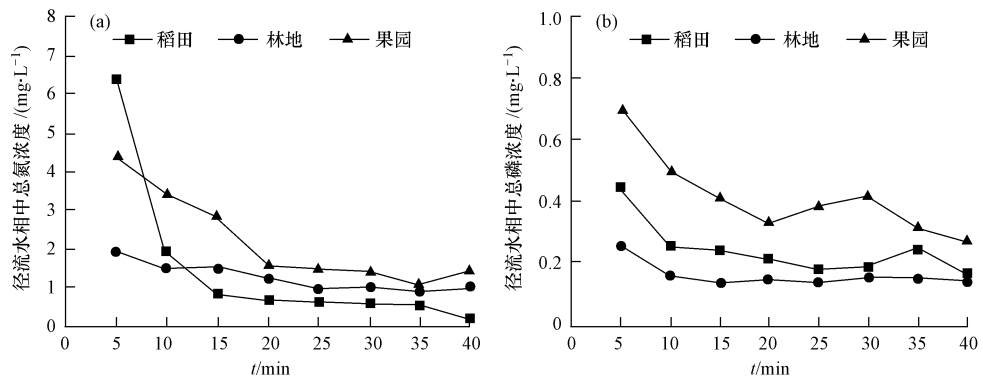


图 2 不同土地利用下径流水相中总氮(a)和总磷(b)的迁移特征

Fig. 2 Characteristics of TN and TP loss in rain runoff under different land use

在相同降雨强度下,不同土地利用下的土壤氮磷迁移量受土壤中营养盐含量、地表覆盖和地表坡度等共同作用^[14]. 根据公式 $M = \sum_{i=1}^n c_i \times Q_i$, 其中 c_i 为径流中氮磷浓度, Q_i 为径流量, 计算得到随径流输出的氮磷总量见表 2. 在 $80 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 降雨条件下, 果园地随径流输出 TN 量最大, 稻田次之, 林地最小; 输出 TP 量大小顺序为: 稻田土 > 果园土 > 林地土. 两者分别与土壤表层有效氮和速效磷的含量大小顺序一致, 这表明土壤表层氮素和磷素流失量的大小主要取决于地表土壤有效氮和速效磷的含量, 径流水相中氮磷的流失量与土壤有效氮和速效磷含量具有一致性.

表 2 不同土地利用下表层水相与泥沙相中氮、磷流失总量(mg)

Table 2 Cumulative loss of nitrogen and phosphorus in runoff and sediments under different land use

土地类型	水相中氮流失量			水相中磷流失量			泥沙氮磷流失量		流失总量	
	TN	DN	PN	TP	DP	PP	TN	TP	TN	TP
稻田	11.1	4.37	6.73	2.26	0.29	1.97	5.07	3.84	16.18	6.1
林地	10.8	2.28	8.51	1.41	0.49	0.92	4.41	1.82	15.21	3.23
果园	11.29	4.78	6.51	2.22	0.63	1.59	3.03	2.53	14.32	4.75

2.2.2 径流水相中不同形态氮、磷流失特征

径流产生后, 土壤中的营养盐以溶解态和颗粒态两种形态随径流输出, 颗粒态又分为悬浮颗粒态和沉积态, 前者悬浮存在径流水相中, 后者以泥沙形式存在. 不同土地利用下径流中 DN 占 TN 的百分比为: 稻田地 39.4%, 林地 21.1%, 果园 42.4%; PN 分别为: 稻田地 60.6%, 林地 78.9%, 果园地 57.6% (图 3). 可见, 径流中土壤表层氮的流失主要以 PN 的形式为主, 这说明土壤表层只有薄薄一层与雨水相互作用, 仅少量 DN 溶出随径流输出, 主要是被径流搬运的细颗粒因富含氮而成为径流水相氮流失的主要形式. 不同形态磷的流失具有相同的特征, 径流中 DP 流失累积量占 TP 的百分比分别为: 稻田地

12.9%,林地 34.9%,果园 28.5%;PP 分别为:稻田地 87.1%,林地 65.1%,果园 71.5%,说明土壤表层磷的流失主要也是以颗粒态为主。

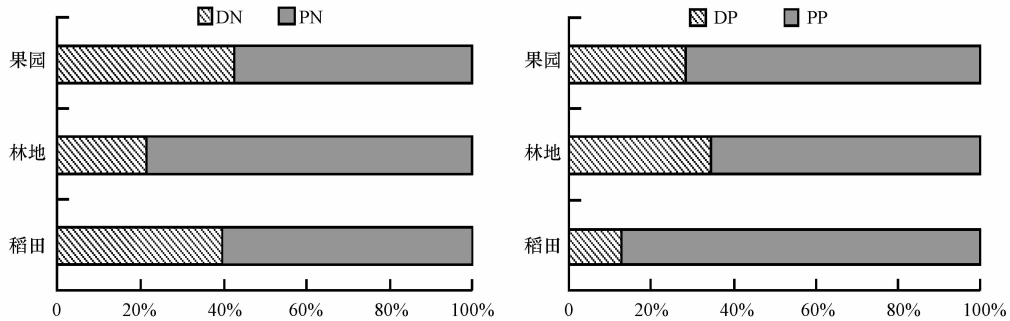


图3 径流水相中不同形态氮磷的百分比

Fig. 3 Percentage of different nitrogen and phosphorus species in runoff

2.2.3 侵蚀泥沙中氮磷流失特征

侵蚀泥沙是指径流中粒径比较大的颗粒,径流水样静置一段时间后泥沙会沉淀下来.降雨径流产生过程中,有相当一部分氮磷是富集到泥沙中随径流流失的,对被侵蚀土壤的质量和水质有重要的影响,其在地表径流氮磷流失中的作用应予以重视^[15].对泥沙中氮素和磷素的累积流失量进行统计(表2),氮素流失总量大小为稻田>林地>果园,磷素流失总量大小顺序为稻田>果园>林地.由表3可知,3种土地的泥沙氮磷含量比雨前土壤表层氮磷含量有所增加,说明侵蚀泥沙对氮、磷等营养盐具有富集作用,可以用富集率来表示,即侵蚀泥沙中养分含量与被侵蚀土壤中养分含量之比^[16].不同土地流失的泥沙对氮素的富集率分别为稻田 1.11,林地 1.06,果园 1.07;对磷素的富集率分别为稻田 1.32,林地 1.17,果园 1.14.可见,侵蚀泥沙富集养分的能力大小与土壤的质地密切相关,稻田地因容重大,粘粒含量高对养分的富集能力强.

表3 侵蚀泥沙中氮磷含量和雨前土壤中氮磷含量($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Table 3 Nitrogen and phosphorus content in erosion sediment and in the soil before rainfall

土地类型	泥沙全氮	土壤全氮	泥沙全磷	土壤全磷
稻田	2316.5	2086.9	1752.2	1327.4
林地	2129.2	2008.7	881.4	753.3
果园	1519.7	1420.3	1266.4	1110.9

2.2.4 降雨径流氮磷流失量之间的关系

降雨径流中氮磷的流失量由两部分组成,一是径流水相中氮磷的流失量,二是侵蚀泥沙中氮磷流失量.由表2可知,稻田、林地、果园随水相流失氮的量分别占总流失量的68.7%、71.0%、79.5%.可见,暴雨径流过程中,氮素的流失是以径流水相为主,侵蚀泥沙中氮流失较少.而稻田、林地、果园随水相流失磷的量占总量的比例分别为37.0%、43.7%、46.7%,磷的流失是以侵蚀泥沙相为主.按降雨面积 0.36 m^2 ,产流时间40 min,利用流失速率=流失总量/(降雨面积×产流时间)可计算得到不同土地利用下土壤表层氮磷流失速率.在 $80\text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ 降雨条件下,氮、磷流失速率最大的都是稻田地,分别为 $1.12\text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$ 、 $0.42\text{ mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$.受降雨条件与地表特征的影响,与梁涛^[12]、单保庆^[13]、黄满湘^[16]等人的研究相比,沛沿河流域土壤表层的氮磷流失速率相对要小.尽管如此,以农业为主导的苏北地区土壤中氮、磷仍然存在着较大的流失风险.

2.3 降雨前后土壤表层氮磷变化

降雨后不同类型土壤中全氮和全磷的含量要比降雨前低(图4),全氮下降的大小顺序为:果园($260.1\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)>稻田地($241.8\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)>林地($201.2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$),全磷分别为稻田地($102.6\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)>林地($96.8\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)>果园($89.9\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$).果园和稻田分别因土壤表层有效氮和速效磷含量较高,在暴雨的冲刷下,氮素和磷素流失最为严重.田间施肥后土壤有效氮和速效磷的含量

会升高,若土壤短期内受大雨影响,氮磷的流失量会非常高,因此,合理的施肥量和施肥方式对降低土壤养分的流失非常重要.

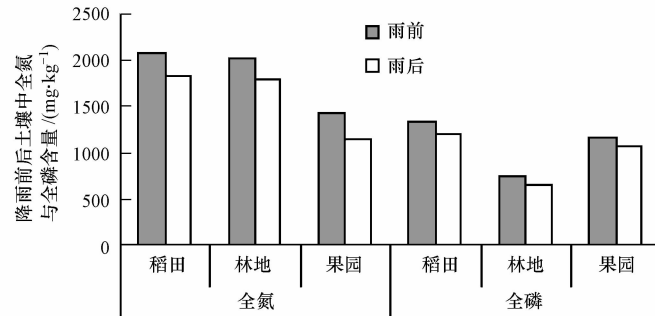


图 4 降雨前后土壤中全氮和全磷含量

Fig. 4 Nitrogen and phosphorus content in soil before and after rainfall

3 结论

(1)不同土地利用方式下的土壤降雨径流过程呈现相近趋势,随降雨历时的增加,径流量逐渐增大,最后趋于稳定.由于土壤理化性质的不同,产流时间,产流量及产沙量各不相同.

(2)随着降雨时间的增加,径流水相中 TN、TP 浓度呈逐渐降低的趋势.在相同降雨强度下,降雨径流水相中氮磷的流失量与土壤有效氮和速效磷含量具有一致性.径流水相中 PN 和 PP 是氮磷流失的最主要形态.

(3)侵蚀泥沙对养分具有富集作用,富集能力与土壤的质地密切相关.降雨径流过程中,氮的流失是以径流水相为主,泥沙相流失较少,而磷的流失与之相反.

参 考 文 献

- [1] Novotny V, Olem H. Water quality, prevention, identification and management of diffuse pollution [M]. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1993
- [2] 秦伯强,杨柳燕,陈非洲,等. 湖泊富营养化发生机制与控制技术及其应用[J]. 科学通报,2006(16): 1857-1866
- [3] 高超,朱建国,窦贻俭. 农业非点源污染对太湖水质的影响:发展态势与研究重点[J]. 长江流域资源与环境,2002,11(3): 260—263
- [4] 全为民,严力蛟. 农业面源污染对水体富营养化的影响及其防治措施[J]. 生态学报,2002,22(3):291-299
- [5] 王春光,叶水根. 流域降雨量和土壤氮含量对流域出口氮污染负荷的影响[J]. 灌溉排水学报,2005,24(6):15-18
- [6] Smith K A, Jackson D R, Pepper T. Nutrient losses by surface runoff following the application of organic manures to arable land: Nitrogen [J]. Environmental Pollution,2001,112:41-51
- [7] 杨丽霞,杨桂山,苑韶峰,等. 不同施肥水平下太湖流域典型蔬菜地土壤磷素径流特征[J]. 中国环境科学,2007,27(4):518-523
- [8] 王勇强,王玉宽,傅斌,等. 不同耕作方式对紫色土侵蚀的影响[J]. 水土保持研究,2007,14(3):333-335
- [9] 申震州,姚文艺,李勉,等. 不同下垫面对坡面侵蚀特征的影响[J]. 水土保持研究,2010,17(1):6-9
- [10] 余进祥,赵小敏,吕珩,等. 鄱阳湖流域不同农业利用方式下的氮磷输出特征[J]. 江西农业大学学报,2010,32(2):394-402
- [11] 徐向舟,刘大庆,张红武,等. 室内人工模拟降雨实验研究[J]. 北京林业大学学报,2006,28(5):52-58
- [12] 梁涛,王红萍,张秀梅,等. 官厅水库周边不同土地利用方式下氮、磷非点源污染模拟研究[J]. 环境科学学报,2005,25(4): 483-490
- [13] 单保庆,尹澄清,于静,等. 降雨-径流过程中土壤表层磷迁移过程的模拟研究[J]. 环境科学学报,2001,21(1):7-12
- [14] 鲁如坤主编. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,1999
- [15] 张瑞国,王克勤,陈奇伯,等. 昆明市水源区不同利用类型坡地径流氮和磷的输出特征[J]. 环境科学研究,2009,22(5):607-611
- [16] 黄满湘,章申,唐以剑,等. 模拟降雨条件下农田径流中氮的流失过程[J]. 土壤与环境,2001,10(1):6-10

CHARACTERISTICS OF NITROGEN AND PHOSPHORUS LOSS FROM SURFACE SOIL IN DIFFERENT LANDUSE

YUAN Xingcheng¹ QIAN Xin¹ PANG Zongqiang² LI Miao²

(1. State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, School of the Environment, Nanjing University, Nanjing, 210093, China; 2. School of Environment Science and Spatial Informatics, China University of Mining and Technology, Xuzhou, 221008, China)

ABSTRACT

Three typical types of land in the northern area of Jiangsu Province were used to study nitrogen and phosphorus loss in artificial rain-runoff simulator. The results showed that the amount of runoff followed the order: paddy field > woodland > orchard under 80 mm · h⁻¹ rainfall condition, and amount of sediment followed the order: orchard > paddy field > woodland. Nitrogen and phosphorus concentration in runoff initially decreased significantly with rainfall, then stabilized. The nitrogen and phosphorus loss correlates with the level of available nitrogen and Olsen-P content in soil. The main form of nitrogen and phosphorus loss was suspended particulate in runoff water. Nitrogen loss occurred mainly in runoff water and phosphorus loss in sediment in the whole rainfall process. The maximum rate of nitrogen and phosphorus loss from surface soil occurred in paddy field, which were 1.12 mg · m⁻² · min⁻¹ and 0.42 mg · m⁻² · min⁻¹, respectively.

Keywords: different landuse, simulation rainfall, nitrogen and phosphorus losses, surface runoff.