

郑州郊区菜地氮磷随暴雨径流流失特征研究

万红友, 万云蕾, 田立

(郑州大学 水利与环境学院, 河南 郑州 450001)

摘要:采用实验室人工模拟降雨方法,以普通农田土壤做对比,研究了郑州市惠济区常规菜地和大棚菜地土壤氮磷随暴雨径流流失特征。研究结果表明:径流中磷素的浓度随着降雨时间的延长逐渐减小,氮素的浓度随降雨时间变化不明显;氮素主要以颗粒态氮和硝态氮形态流失,磷素主要以颗粒态形式流失;大棚菜地的氮磷流失量明显大于常规菜地,常规菜地和普通农田的氮磷流失量比较接近。

关键词:人工降雨;菜地;暴雨径流;氮流失;磷流失

中图分类号: X703.1

文献标识码: A

0 引言

当代农业生产大多采取高投入、高产出的集约化经营方式,化肥等农业生产资料过量投入现象较为普遍,导致土壤中过剩的氮磷元素通过淋溶作用随地表径流向水体迁移^[1-2],不仅降低了肥料利用率,增加了施肥成本,而且还会造成对河流、湖泊的大面积面源污染^[3]。

菜地土壤作为农业土壤中的一种重要类型,最显著的特点就是土壤复种指数高,施肥频率高,加速了土壤熟化,加快了土壤物质的转化与迁移,使菜地土壤氮磷养分大量积累^[4]。对于城市郊区而言,土地利用类型大多以菜地为主,因此,了解菜地土壤的氮磷流失特征可以为城郊水体富营养化的防治提供科学依据。降雨径流是引起土壤氮磷损失的重要原因^[5],作物覆盖度、坡度和雨强是影响径流量的主要因素。覆盖度越低、坡度和雨强越大,径流量越大^[6]。本研究基于实验室人工模拟降雨实验,在忽略坡度和地表覆盖度等影响因素的情况下,以普通农田做对比,研究了郑州市惠济区菜地集中的毛庄乡常规菜地和大棚菜地中不同形态氮磷随暴雨径流的流失特征,旨在探讨不同菜地类型与土壤氮磷流失的关系。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

惠济区位于黄河中下游分界点。该区地势平

坦,北依黄河,西靠邙山,总面积 232.8 km²,属于典型的大陆性季风湿润气候,冬冷夏热、干湿集中、春暖秋凉、四季分明,年平均气温 14.4℃,7月最热,平均 27.3℃;1月最冷,平均 -0.2℃。年平均降雨量 640.9 mm,大部分集中在 7、8、9 三个月,冬春雨雪极少,全年平均日照时间约为 2 400 h,全年无霜期 206~234 d,其中 6℃以上适宜作物生长的时间可达 242 d。该区的主要种植作物有:大田作物(小麦、玉米、大豆)、蔬菜、水稻^[7]。

1.2 研究方法

1.2.1 人工模拟降雨装置

作者使用的降雨装置模仿中国科学院地理与资源研究所研制的人工降雨实验装置^[8],并根据实验室具体条件加以改造,由盛水容器、供水水箱、潜水泵、浮子流量计、降雨罩和集流槽等部件组成,降雨面积为 2 m×0.5 m。其中,盛土采用木箱,尺寸为 2 m×0.5 m×0.45 m,降雨罩由 2 m×0.5 m 不锈钢骨架和两排 2 m 长带有塑料喷嘴的树脂管制作,雨量由浮子流量计控制。降雨时产生的地表径流将通过集流槽收集并定时采样进行测定。与其他的人工降雨模拟装置相比,此装置具有占地面积小、降雨均匀、参数易于控制等特点,可有效减少实验误差,适于实验室模拟实验。

1.2.2 实验设计与分析测定

根据惠济区土地利用现状,本研究选择毛庄乡作为采样点,分别对当地的普通农田、常规菜地

收稿日期:2009-12-14;修订日期:2010-01-22

基金项目:河南省教育厅自然科学基金研究计划资助项目

作者简介:万红友(1977-),男,郑州大学讲师,博士,主要从事土壤资源与环境等方面研究, E-mail:hywan@zhu.edu.cn.

和大棚菜地土壤进行采样,其中,普通农田和常规菜地耕作时间在 20 a 以上,大棚菜地的耕作时间在 10 a 以上.每一类土样设置多个采样点,分别采集 0~20 cm 耕层土样.土样取回后充分混合并测定其理化性状,如表 1 所示.在盛土容器下部铺入约 20 cm 厚碎石,再装入等量 0~20 cm 耕层土样,安装好人工模拟降雨装置,利用集流槽收集径流水溶液.因为暴雨是该地区产流的主要形式,根据郑州市往年的有关降雨资料^[9-12],此次试验降雨强度设定为 2 mm/min.产流后每隔 15 min 取样一次,连续取样 90 min,分析水样中总氮、铵态

氮、硝态氮、亚硝态氮、总磷、磷酸根态磷的浓度.实验用水为自来水,并测定其相应指标.径流水中的氮磷浓度均已经减去雨水氮磷含量背景值.

水样中总氮用过硫酸钾-紫外分光光度法测定;铵态氮用靛酚蓝比色法测定;硝态氮用紫外分光光度法测定;亚硝态氮用 N-(1-萘基)-乙二胺光度法测定;总磷用过硫酸钾消解-钼锑抗分光光度法测定;磷酸根态磷用异丁醇萃取-钼蓝比色法测定.

表 1 土壤理化性状
Tab. 1 Physic-chemical characters of soil

土地类型	土壤全氮 含量 /(g·kg ⁻¹)	土壤全磷 含量 /(g·kg ⁻¹)	有机质的 含量 /(g·kg ⁻¹)	土壤速效 磷含量 /(mg·kg ⁻¹)	硝态氮的 含量 /(mg·kg ⁻¹)	铵态氮的 含量 /(mg·kg ⁻¹)
普通农田	0.889	0.755	6.212	8.678	10.201	13.577
常规菜地	1.186	0.950	6.754	35.312	13.395	14.653
大棚菜地	1.648	1.351	6.398	43.739	7.749	10.239

2 结果与讨论

2.1 氮素流失特征分析

人工降雨条件下,土壤中氮素的迁移主要包括两部分,一部分是随入渗水分的纵向迁移,另一部分是随地表径流的横向迁移.因为纵向迁移的氮素占总迁移量的比例通常较小且危害不大,所以本研究主要考察氮素随地表径流的横向迁移.

图 1 所示为 3 种土地类型产流后地表径流水中总氮含量随时间的变化过程.

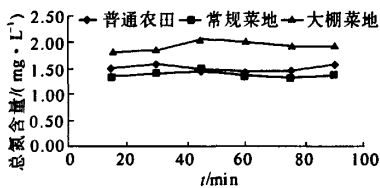


图 1 不同土地利用类型径流水总氮迁移特征
Fig. 1 TN loss characteristics under different Landuse

从图中可以看到:3 种土地类型径流水中总氮的含量随着降雨时间的推移并未呈现太大的变化,大棚菜地的总氮流失量明显高于常规菜地和普通农田,普通农田的总氮流失量总体高于常规菜地,在产流中期比较接近.观察原土中全氮含量,由表 1 可知,大棚菜地土壤中全氮含量最高,常规菜地居中,普通农田最低,与径流水中总氮含量并未呈现密切的相关性.所以人工降雨过程中影响总氮流失量的因素很多,并不简单取决于土

壤表层氮素的含量.

图 2 所示为 3 种土地类型产流后地表径流水中硝氮含量随时间的变化过程,图中显示,普通农田的硝氮流失量一直保持较高的水平,产流初期尤为明显,但在产流初期径流水中硝氮含量随降雨时间的延长下降的速率也很快,产流约 0.5 h 之后,硝氮流失量下降速率减缓,基本达到一个稳定的水平.常规菜地和大棚菜地的流失量比较接近.

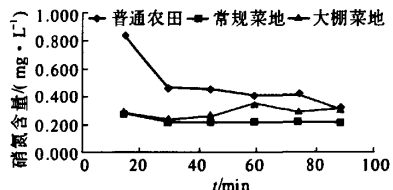


图 2 不同土地利用类型径流水硝氮迁移特征
Fig. 2 NO₃-N loss characteristics under different landuse

亚硝氮的流失过程和硝氮流失显示出很大的不同,如图 3 所示,大棚菜地的亚硝氮流失量明显高于另外两种土地类型,普通农田的亚硝氮流失量又高于常规菜地,而且 3 种土地类型的亚硝氮流失量有明显的落差,流失过程呈现出较为一致的特征,都是随时间的推移呈现先快后慢的下降趋势.

3 种土地类型的氮氮流失过程从图 4 中可知,和亚硝氮的流失曲线相似,都是随降雨时间的延长呈现先快后慢的下降趋势,且落差分明,只有常规菜地曲线略有波动.不同的是,径流水中氮氮流失量按由高到低的顺序排列分别是:大棚菜地、

常规菜地和普通农田,这一点与土壤表层的全氮含量呈现一定的相关性。

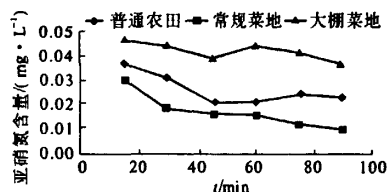


图3 不同土地利用类型径流水亚硝氮迁移特征

Fig. 3 $\text{NO}_2\text{-N}$ loss characteristics under different landuse

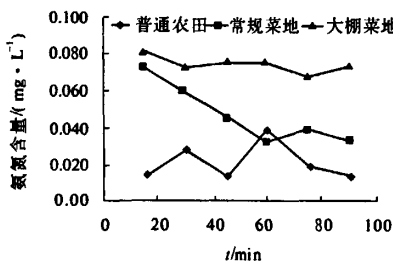


图4 不同土地利用类型径流水氨氮迁移特征

Fig. 4 $\text{NH}_3\text{-N}$ loss characteristics under different landuse

径流水总氮(TN)包括悬浮颗粒态氮(PN)和溶解态氮(DN),而溶解态氮包括硝氮、亚硝氮、氨氮和可溶态有机氮。研究表明,可溶态有机氮只占总溶解态氮的很小一部分,通常只有20%左右^[13-14],因此,通过计算可粗略得到DN值: $\text{DN} = (\text{硝氮} + \text{亚硝氮} + \text{氨氮}) / 80\%$,利用所测总氮数据与之做差得到PN值: $\text{PN} = \text{TN} - (\text{硝氮} + \text{亚硝氮} + \text{氨氮}) / 80\%$ (图5)。

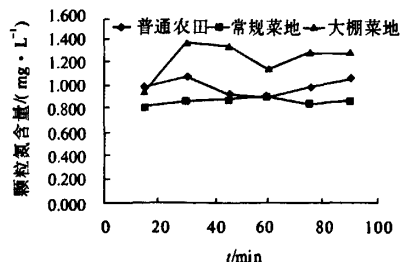


图5 不同土地利用类型径流水颗粒氮迁移特征

Fig. 5 PN loss characteristics under different landuse

通过对比,可以看到,在氮素流失中,颗粒氮所占比例最大,另外,硝态氮占溶解态氮流失的绝大部分。所以,在暴雨径流过程中,颗粒态氮和硝态氮是氮素流失的主要形式。

2.2 磷素流失特征分析

3种不同类型土地的径流水总磷含量除了大棚菜地波动较大外,常规菜地和普通农田均随时间段的推移呈现先快后慢的下降趋势(图6)。反映了产流初始时土壤中总磷含量最高,随着时间

的推移而随径流迁移的过程。然而径流水总磷的流失量和流失速度不尽相同。大棚菜地的径流水总磷流失量和流失速率均为最大,常规菜地和普通农田的总磷流失特征比较接近。这反映了土壤表层磷含量对总磷流失的影响,大棚菜地每年的高强度施肥是造成径流水总磷大量流失的最主要原因。常规菜地和普通农田施肥相对较少,而且可与外界接触散失,因此表层土壤磷含量较低。由此看出,对于同一降雨强度和相似的环境条件,不同土地利用类型代表了不同的施肥强度和耕作方式,其总磷流失量和流失速率主要取决于土壤表层磷素的含量。

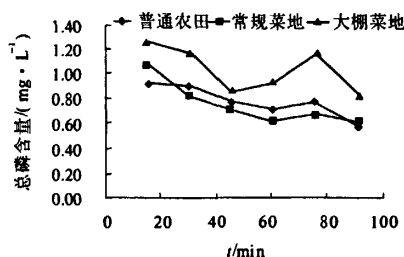


图6 不同土地利用类型径流水总磷迁移特征

Fig. 6 TP loss characteristics under different landuse

磷酸根态磷随径流水的迁移特征和总磷的迁移特征呈现一定的相关性(图7),总体看来,都是随时间段的推移呈现先快后慢的下降趋势,而且大棚菜地的磷酸根态磷流失量和流失速率最大,常规菜地和普通农田的流失特征比较接近。

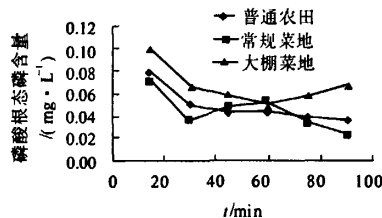


图7 不同土地利用类型径流水磷酸根态磷迁移特征

Fig. 7 $\text{PO}_4\text{-P}$ loss characteristics under different landuse

在暴雨作用下,从土壤向地表径流水相迁移的总磷(TP)包括颗粒态磷(PP)和溶解态磷(DP)两个部分。研究表明,在DP中,磷酸根态磷的流失比例最大,大约占DP的76%~99%^[6],所以,设定中间比例88%,根据所测数据可以粗略计算出径流水中DP的含量: $\text{DP} = \text{磷酸根态磷} / 88\%$,利用所测总磷数据与之做差,可得到PP在径流水中的含量: $\text{PP} = \text{TP} - \text{DP}$ (图8)。与图6对比,可以看到,径流水中颗粒态磷占总磷的绝大部分。因此,在暴雨径流过程中,颗粒态磷是磷素流失的主要形式。

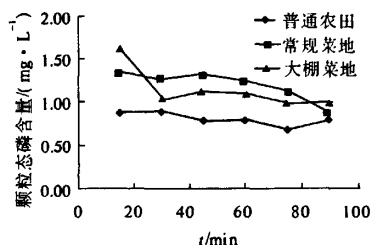


图8 不同土地利用类型径流水颗粒态磷迁移特征

Fig.8 PP loss characteristics under different landuse

3 结论

(1)在暴雨条件下,随着降雨时间的延长,3种土地类型的地表径流中磷素的流失量和流失速率均逐渐减小,而氮素的流失量和流失速率随降雨时间没有明显变化。

(2)在相同降雨条件下,3种类型土壤氮素都主要以颗粒态和硝态氮形态流失,磷素都主要以颗粒态形式流失。

(3)大棚菜地地表径流水的氮磷流失量明显大于常规菜地,常规菜地和普通农田的氮磷流失量比较接近。

参考文献:

- [1] 杨红薇,张建强,唐家良,等.紫色土坡地不同种植模式下水土和养分流失动态特征[J].中国生态农业学报,2008,16(3):615-619.
- [2] 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):310-314.
- [3] 司友斌,王慎强,陈怀满.农田氮、磷的流失与水体富营养化[J].土壤,2000(4):188-193.

- [4] 段立珍,汪建飞,于群英.长期施肥对菜地土壤氮磷钾养分积累的影响[J].中国农学通报,2007,23(3):293-296.
- [5] 陈志良,程炯,刘平,等.暴雨径流对流域不同土地利用土壤氮磷流失的影响[J].水土保持学报,2008,22(5):30-33.
- [6] 梁涛,王浩,章申,等.西苕溪流域不同土地类型下磷素随暴雨径流的迁移特征[J].环境科学,2003,24(2):35-40.
- [7] 张花荣,赵玉正,张晓玲,等.惠济区土壤养分状况分析及施肥技术指导策略[J].河南农业,2008,2:26.
- [8] 梁涛,张秀梅,章申,等.西苕溪流域不同土地类型下氮元素输移过程[J].地理学报,2002,57(4):389-396.
- [9] 赵海青,王若瑜,李社宗,等.2007年8月2日郑州突发大暴雨天气过程的诊断分析[C]//中国气象学会2007年年会天气预报预警和影响评估技术分会场论文集,广州.2007,1319-1330.
- [10] 余卫东,杨君健,朱晓东.河南省不同强度降水变化及对水旱灾害的影响[J].安徽农业科学,2008,36(25):11010-11012.
- [11] 刘问世.河南年鉴[M].河南:河南年鉴出版社,1985:619-641.
- [12] 卢大伟.河南年鉴[M].河南:河南年鉴出版社,2006:383.
- [13] 李国栋,胡正义,杨林章,等.太湖典型菜地土壤氮磷向水体径流输出与生态草带拦截控制[J].生态学杂志,2006,25(8):905-910.
- [14] 付融冰,杨海真,顾国维,等.潜流水平湿地对农业灌溉径流氮磷的去除[J].中国环境科学,2005,25(6):669-673.

Characteristics of Nitrogen and Phosphorus Loss in Surface Runoff of Zhengzhou Suburban Vegetable Fields

WAN Hong-you, WAN Yun-lei, TIAN Li

(School of Water Conservancy and Environment Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: By means of artificial simulation of rainfall in laboratory, taking ordinary agricultural soil to contrast, characteristics of nitrogen and phosphorus loss with the storm runoff in conventional vegetable soil and greenhouse vegetable soil of Huiji District, Zhengzhou City were studied. The results show that: as the rainfall time goes on, the concentration of phosphorus in runoff gradually reducing, and the concentration of nitrogen did not change significantly; nitrogen loss mainly in nitrate and particulate form, phosphorus loss mainly in particulate form; the amount of nitrogen and phosphorus loss in greenhouse vegetable soil were significantly greater than those in conventional vegetable soil, and the amount of nitrogen and phosphorus loss in conventional and ordinary vegetable soil were approximate.

Key words: artificial rainstorm; vegetable field; storm runoff; nitrogen loss; phosphorus loss