

砂质梨园和蔬菜地氮素流失及其影响因素研究

黄丽华¹, 沈根祥¹, 钱晓雍¹, 顾海蓉¹, 仇忠启²

(1.上海市环境科学研究院, 上海 200233; 2.上海上实现代农业开发有限公司, 上海 202183)

摘要:通过对砂质梨园和蔬菜地的全年监测,对砂质农田在实际生产中由于降雨所产生的径流、渗漏及其引起的总氮流失进行了研究,重点分析了砂质农田径流渗漏特征、径流量和总氮流失负荷在全年不同季度的分布及影响因素。结果表明,砂质农田由于颗粒粒径大、透水性强,降雨径流系数较小,大部分雨水通过渗漏进入地下水层。径流主要受降雨和农田植被覆盖的影响,在植被覆盖一定的情况下,径流系数与单次降雨量有较好的相关性,相关系数为0.91。总氮径流流失负荷的变化主要受径流量变化的影响,流失主要集中在径流量较大的7月至9月,而总氮渗漏流失负荷同时受到施肥和渗漏量的影响。在梨园和蔬菜地的施肥水平分别为736.35和525.5 kgN·hm⁻²时,总氮的年流失总负荷分别为60.54和51.86 kg·hm⁻²,其中95%以上通过渗漏流失。

关键词:砂质农田;径流;渗漏;总氮;负荷

中图分类号:X501 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-2043(2008)02-0687-05

Nitrogen Loss in Sandy Pear Orchard and Vegetable Field and Impact Factors

HUANG Li-hua¹, SHEN Gen-xiang¹, QIAN Xiao-yong¹, GU Hai-rong¹, QIU Zhong-qi²

(1.Shanghai Academy of Environmental Sciences, Shanghai, 200233, China; 2.SIIC Modern Agriculture Development Co.Ltd, Shanghai, 202183, China)

Abstract: Nitrogen loss from agriculture production can result in water quality degradation of rivers and lakes, which has attracted wide concentration in recent years. In this study, nitrogen loss derived from precipitation in open field agriculture production was analyzed through a whole year monitoring in pear and vegetable loamy-sand field. The study was focused on the precipitation runoff & leakage characteristic in sandy field, and the runoff variation and nitrogen loss distribution in each quarter of a whole year, as well as the impact factors. The results showed that in the sandy field with coarse-textured granules and strong penetrability, major part of the rain flowed into the sub-ground water layer by leakage, while runoff only accounted for a small part. The runoff variation was mainly influenced by rainfall and vegetation coverage in the field. With the certain vegetation coverage, the runoff coefficient was well correlated with the single rainfall, and the correlation coefficient was 0.91. The variation of total nitrogen runoff load was mainly correlated with runoff volume, and the nitrogen runoff load was mostly distributed in the period of July to September, while the nitrogen leakage load was influenced both by fertilization and leakage volume. When the fertilizer amount in pear orchard and vegetable field were 736.35 and 525.5 kgN·hm⁻², respectively, the total nitrogen load of a whole year were 60.54 and 51.86 kg·hm⁻², and above 95% of them lost by leakage.

Keywords: sandy field; runoff; leakage; total nitrogen; load

氮素流失是引起地下水硝酸盐污染、河流、湖泊等水体富营养化的主要原因之一^[1]。在旱作条件下,降雨冲刷大田后形成高氮含量的径流和渗漏水,造成农田氮素的流失并对水环境产生影响,这一途径已成为

面源污染的重要组成部分^[2-5]。砂质农田由于土壤砂粒含量高、颗粒粒径大及透水性强,对水环境潜在影响大而受到广泛关注^[6]。如美国的佛罗里达州由于其分布广泛的酸性砂质农田而成为研究的热点^[7],荷兰、芬兰等国也对砂质农田研究较多^[8,9],而我国则少有报道。

本文以崇明岛某农业生产基地砂质果园和蔬菜地为研究对象,通过设立径流收集小区和渗漏收集

收稿日期:2007-04-11

基金项目:中国-意大利环境保护合作项目

作者简介:黄丽华(1978—),女,工程师,主要从事农业环境保护研究。

E-mail:huanglh@saes.sh.cn

联系人:沈根祥,教授级高工。E-mail:shengx@saes.sh.cn

管,全年监测了砂质农田在实际生产中由于降雨所产生的径流和渗漏量以及总氮流失负荷,并对砂质农田降雨径流和渗漏特征、径流和总氮流失负荷的全年时段分布、影响因素等进行了分析。

1 试验基地及试验方法

1.1 试验基地概况

本试验在上海崇明岛某农业生产基地进行。农田土壤为滨海盐土,质地为砂壤土,<0.01 mm 粒径含量为 19.4%,<0.001 mm 粒径含量为 2.12%^[10],土壤 pH 值为 6.8,全 N 含量为 69 g·kg⁻¹。试验田包括 2 hm² 梨园和 0.5 hm² 蔬菜地,梨园东西方向开沟作畦,畦面宽 5 m,沟宽 40 cm。蔬菜地在试验期内种植毛豆和玉米,蔬菜地南北方向开沟作畦,畦面宽 4 m,沟宽 30 cm。在梨园和蔬菜地各设立 3 个径流收集小区,对降雨径流进行定量收集。径流小区面积为 12 m²(长 4 m,宽 3 m),小区内农作物种类、种植密度、轮板排布、耕作措施及化肥施用与整块试验田保持一致,3 个径流小区所收集到的降雨径流量及总氮浓度基本能代表整块试验田的污染物流失情况。在每个径流小区附近分别设置一个渗漏水收集管,收集管是一个内径 8 cm,长 2.2 m 底端密封的圆柱,圆柱四周在地下 0.25~0.55 m 的范围内开有小孔,并在这一段外围包扎塑料纱布,用石英砂填充空隙,用以收集农田耕作层土壤的渗漏水。另外,在梨园和蔬菜地开阔区域分别设有雨量筒,用以记录每次降雨雨量。

1.2 降雨径流和渗漏水的收集及计算

在 2005 年 10 月至 2006 年 9 月的监测期内,对试验基地的降雨情况进行了全年观测,利用径流小区对每次降雨径流进行定量收集,径流量取 3 个小区收集量的平均值。在降雨量和径流水定量结果的基础上,根据农田水量平衡简易公式 $Pa = P - Rs - \Delta M$,可计算每次降雨所产生的渗漏水量^[11]。其中: Pa 为单次降雨的渗漏水量,mm; P 为单次降雨量,mm,表示为两个雨量筒所测得的平均值; Rs 为单次降雨农田地表径流量,mm,通过径流小区实际测得; ΔM 为雨前耕作层土壤缺水,即田间持水量与实际含水量的差值。

试验基地土壤为砂性土壤,田间持水量约为 18%,土壤容重约为 1.2 g·cm⁻³。由于试验基地地下水位埋深浅,耕作层土壤(厚度取 25 cm)比较湿润,田间持水量约为 80%。在不考虑雨期水分蒸发的情况下,由以上数据计算得到的 ΔM 值为 11 mm,在此取 11 mm 作为估算值。

1.3 试验田氮肥施用情况

由于本试验在生产田进行,所有农作物的施肥管理措施与当地常规农业生产一致。在试验期内,梨园的梨树完成了落叶、开花、膨果、采收的生理循环,在此期间施用的肥料包括基肥、花蕾肥、膨果肥和恢复肥,基本代表了果树生产的典型施肥过程。蔬菜地在试验期内轮作两茬作物,分别为春夏季的毛豆和秋季的玉米,施用的肥料包括基肥、第一茬追肥和第二茬作物肥料,也代表了典型的蔬菜生产施肥过程。梨园和蔬菜地四季度的氮肥施用情况如表 1 所示。

1.4 水样保存及分析

采集径流水和渗漏水水样后,现场立即过滤并在 -20 °C 下冷冻保存。测定时在常温下解冻,按比例混合,用碱性过硫酸钾氧化,紫外分光光度法测定水样混合样的总氮浓度。

2 结果与分析

2.1 监测期内降雨、径流及渗漏情况

在 2005 年 10 月至 2006 年 9 月的监测期内,试验基地共降雨 42 次,总降雨量为 823.4 mm。降雨的季节分布明显,冬春两季降雨频繁,但单次雨量普遍较小。进入夏季以后,降雨频率降低,但单次降雨量增大。从 9 月份后,降雨频率和单次雨量都有所下降。在这 42 次降雨中,在梨园和蔬菜地分别收集到 11 次和 7 次径流,径流总量分别为 104.5 mm 和 82 mm。根据土壤水分平衡公式计算所得的渗漏总量分别为 371.4 mm 和 393.9 mm。由于试验基地农田为砂质土壤,雨水下渗快,监测期内也少有暴雨,因此径流总量不大,而相应的渗漏量则比较大。降雨量、径流量以及渗漏水量的季度分布如表 2 所示。

从表中可知,监测期内降雨主要集中在第二和第三季度,占全年雨量的 70% 左右。从径流量来看,由

表 1 梨园及蔬菜地氮肥施用量(kgN·hm⁻²)

Table 1 Application amount of nitrogen fertilizer in pear & vegetable field(kgN·hm⁻²)

地块	2005 年第四季度	2006 年第一季度	2006 年第二季度	2006 年第三季度	合计
梨园	0	506.25	146.25	83.85	736.35
蔬菜地	0	219.75	33.75	272	525.5

表 2 监测期内每季度降雨、径流及渗漏分布

Table 2 Rainfall, runoff and leakage distribution in each quarter of monitoring period

季度	降雨量/mm	径流量/mm		渗漏量/mm	
		梨园	蔬菜地	梨园	蔬菜地
2005 年第四季度	90.9	2.5	2.2	41.5	41.8
2006 年第一季度	168.6	5.9	1.2	54	58.8
2006 年第二季度	296.1	30	7.6	140.2	162.6
2006 年第三季度	267.8	66.1	71	135.7	130.7
合计	823.4	104.5	82	371.4	393.9

于 2005 年第四季度和 2006 年第一季度的降雨总量与单次降雨量都比较小,梨园和蔬菜地产生的径流量只占全年径流量的 8% 和 5% 左右。梨园的径流流失主要发生在 2006 年二、三季度,而蔬菜地的径流更主要集中在 2006 年的第三季度。受降雨量影响,大田的渗漏也以 2006 年二、三季度为主,两个季度的渗漏流失占全年 75% 左右。

2.2 大田降雨径流的影响因素分析

降雨径流的影响因素众多,也比较复杂,一般来说,降雨量、土壤特性、地形和垫面都可对降雨径流产生影响^[12]。在一定的土壤特性和地形条件下,降雨量尤其是单次降雨量以及植被覆盖成为影响径流产生的主要因素。图 1 为梨园和蔬菜地月径流系数(月径流量/月降雨量)以及月平均单次降雨量的变化曲线。从图中可以看出,梨园每月的径流系数基本随着平均单次降雨量而变化,相关系数达 0.91,说明梨园全年植被覆盖变化不大,径流量主要受单次降雨量影响。而蔬菜地的径流系数与单次降雨量的相关性则较差。从 2005 年 10 月至 2006 年 4 月,蔬菜地的径流系数基本随着单次降雨量而变化。但在 2006 年 5 月至 7 月,蔬菜地的径流量迅速减少,而到了 8 月和 9 月又

迅速增大。这是由于在此期间,蔬菜地的植被覆盖产生了显著变化,5 月至 7 月,蔬菜地种植的毛豆逐渐茂盛,由于毛豆密度大,枝叶繁多,因此阻截了降雨径流的产生,径流系数变小。而到了 7 月下旬,毛豆全部收割完毕,蔬菜地成了一片裸地,因此径流系数又迅速变大,可见蔬菜地的径流发生量除受单次降雨量的影响以外,还与蔬菜地的地表植被覆盖变化有关。蔬菜地植被覆盖的变化情况如图 2 所示。

2.3 大田氮素流失浓度及其流失负荷

把季度内收集到的径流水和渗漏水分别按比例

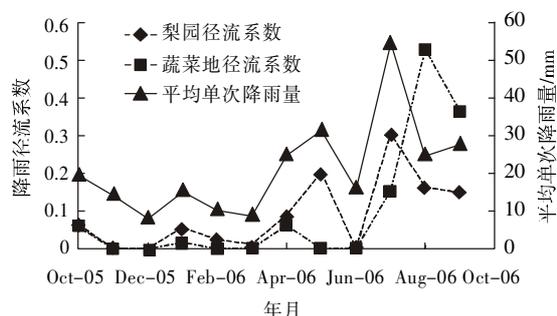


图 1 单次降雨量与径流系数变化情况

Figure 1 Variation of single rainfall and runoff coefficient



图 2 蔬菜田植被覆盖变化 (左图摄于 7 月 13 日,右图摄于 8 月 31 日)

Figure 2 Variation of vegetation coverage in vegetable field

混匀并测定混合溶液的总氮浓度,得到试验期内每个季度的平均浓度,结果如表3所示。根据每个季度的总氮平均浓度与相应季度的径流水和渗漏水量,算得每个季度径流水和渗漏水的总氮流失负荷,结果如表4所示。

由表3可知,各季度径流水和渗漏水的总氮平均浓度都较高,对周边水体的富营养化造成潜在的风险。渗漏水的总氮浓度比同季度径流水的总氮浓度高得多,各季度径流水总氮浓度的波动较小,而渗漏水总氮浓度的波动较大。这可能是由于降雨径流水只与土壤表层接触,接触时间短,受土壤养分含量变化的影响小,而渗漏水流经养分含量高的土壤耕作层,接触时间长,受土壤养分含量变化的影响大所致。

试验期内梨园的径流和渗漏总氮流失负荷分别为2.88和57.66 kg·hm⁻²,蔬菜地的径流和渗漏总氮流失负荷分别为2.18和49.68 kg·hm⁻²。大田总氮流失主要以渗漏流失为主,占总流失量的95%以上,这是由于砂质土壤渗漏量大、渗漏水浓度高所造成的。梨园的渗漏流失主要集中在2006年第一、第二季度,而蔬菜地的渗漏流失则以第一、第三季度为主。由此可见,旱田的氮素主要通过降雨渗漏流失,对地下水造成潜在的污染^[3]。

2.4 影响径流和渗漏总氮负荷的主要因素

总氮流失负荷的影响因素主要为流失水量和浓度^[4]。根据2.3的分析,由于径流水中的氮素浓度受土壤养分含量变化的影响小,波动范围不大,因此径流流失负荷主要随径流量变化。图3为梨园和蔬菜地在试验期内各季度的径流流失负荷和径流量变化曲线,

从图中可见,径流流失负荷的季度变化趋势与径流量变化趋势相似,受田间各季度的施肥影响较小。

渗漏水与土壤耕作层接触更为充分,渗漏水中的总氮浓度受土壤中的养分含量影响较大,因此渗漏水的总氮流失负荷同时受到渗漏水量和田间施肥的影响。图4为梨园和蔬菜地在试验期内各季度的渗漏流失

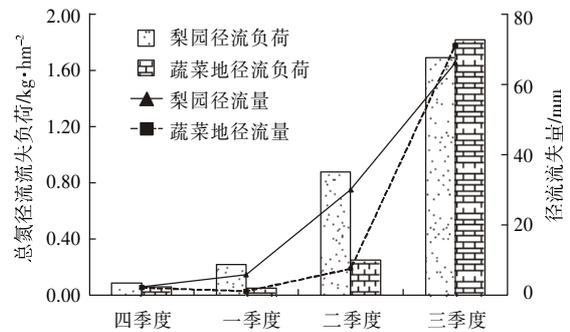


图3 径流量与总氮径流流失负荷的变化情况

Figure 3 Variation of runoff volume and TN load in runoff

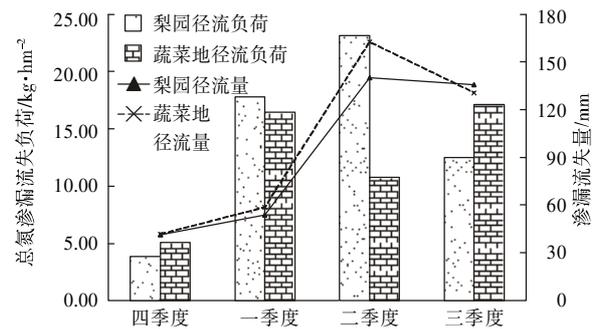


图4 渗漏量与总氮渗漏流失负荷的季度变化情况

Figure 4 Variation of leakage volume and TN load in leakage

表3 各季度径流和渗漏水的总氮平均浓度(mg·L⁻¹)

Table 3 Average TN concentration in runoff and leakage of each quarter(mg·L⁻¹)

		2005年第四季度	2006年第一季度	2006年第二季度	2006年第三季度
梨园	径流水	3.54	3.7	2.93	2.56
	渗漏水	9.29	33.6	16.52	9.21
蔬菜地	径流水	2.68	4.3	3.29	2.56
	渗漏水	12.14	28.5	6.61	13.08

表4 各季度径流和渗漏总氮流失负荷(kg·hm⁻²)

Table 4 TN load in runoff and leakage of each quarter(kg·hm⁻²)

		2005年第四季度	2006年第一季度	2006年第二季度	2006年第三季度	合计
梨园	径流水	0.09	0.22	0.88	1.69	2.88
	渗漏水	3.86	18.14	23.16	12.50	57.66
蔬菜地	径流水	0.06	0.05	0.25	1.82	2.18
	渗漏水	5.07	16.76	10.75	17.10	49.68

失负荷和渗漏量变化曲线,从图中可以看出,梨园各季度的渗漏流失负荷与渗漏量的变化趋势不一样。以梨园为例,2006年第三季度的渗漏量是第一季度的两倍以上,但流失负荷却只有第一季度的68.9%,这是由于施肥量的差异引起的。2006年第一季度的氮肥施用量达 $506.25\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,而第三季度的施用量只有 $83.85\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,施肥量的差异导致第一季度的氮素流失负荷比第三季度高。在蔬菜地的渗漏流失中也有相似的情况,由此说明氮素渗漏流失是降雨渗漏量和施肥量共同作用的结果。

3 结论

(1)砂质农田由于颗粒较大、透水性强,雨水主要通过渗漏进入地下水层,径流量较小。在全年降雨为 824.3 mm 的情况下,梨园和蔬菜地的径流总量仅为 104.5 mm 和 82 mm 。

(2)在农田植被覆盖一定的情况下,旱作农田径流量主要受降雨量影响,径流系数与单次降雨量有较好的相关性。当农田植被产生较大变化时,径流系数将同时受到降雨量和植被覆盖的影响。

(3)在梨园和蔬菜地施肥量分别为 736.35 、 $525.5\text{ kgN}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的水平下,总氮的年流失负荷分别为 60.54 、 $51.86\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,其中95%以上通过渗漏流失,对地表和地下水体造成潜在的污染。

(4)从总氮流失的全年变化来看,径流流失负荷主要集中在第三季度,梨园的渗漏流失负荷主要分布在第一和第二季度,蔬菜地的渗漏流失负荷主要发生在第一和第三季度。

(5)各季度旱田总氮的径流流失负荷主要随径流量而变化,受田间施肥变化的影响较小;而渗漏流失负荷则同时受到渗漏量和田间施肥变化的影响。

参考文献:

- [1] 陈志凡,赵 焯. 基于氮素流失对非点源污染研究的述评[J]. 水土保持研究, 2006, 13(4): 49-53.
- [2] 谢红梅,朱 波. 农田非点源氮污染研究进展[J]. 生态环境, 2003, 12(3): 349-352.
- [3] 陆 敏,刘 敏,黄明蔚,等. 大田条件下稻麦轮作土壤氮素流失研究[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(5): 1234-1239.
- [4] Liu G D, Wu W L, Zhang J. Regional differentiation of non-point source pollution of agriculture-derived nitrate nitrogen in groundwater in northern China[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2005, 107: 211-220.
- [5] 黄沈发,陆贻通,沈根祥,等. 上海郊区旱作农田氮素流失研究[J]. 农村生态环境, 2005, 21(2): 50-53.
- [6] Silva R G, Holub S M, Jorgensen E E, et al. Indicators of nitrate leaching loss under different land use of clayey and sandy soils in southeastern Oklahoma[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2005, 109: 346-359.
- [7] Nair V D, Graetz D A. Agroforestry as an approach to minimizing nutrient loss from heavily fertilized soils: the Florida experience[J]. *Agroforestry Systems*, 2006, 61: 269-279.
- [8] Fraters D Boumans, L J M, Van Drecht G, et al. Nitrogen monitoring in groundwater in the sandy regions of The Netherlands[J]. *Environmental Pollution*, 1998, 102: 479-485.
- [9] Syvasalo E, Regina K, Turtola E, et al. Fluxes of nitrous oxide and methane, and nitrogen leaching from organically and conventionally cultivated sandy soil in western Finland[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2006, 113: 342-348.
- [10] 侯传庆,汪超俊,李正毅,等. 上海土壤[M]. 上海:上海科学技术出版社, 1992. 155-156.
- [11] 唐登银,谢贤群. 农田水分与能量试验研究[M]. 北京: 科学出版社, 1990. 10-16.
- [12] 彭 娜,谢小立,王开峰,等. 红壤坡地降雨入渗、产流及土壤水分分配规律研究[J]. 水土保持学报, 2006, 20(3): 17-20, 69.
- [13] 任丽萍,宋玉芳,许华夏,等. 旱田养分淋溶规律及对地下水影响的研究[J]. 农业环境保护, 2001, 20(3): 133-136.
- [14] 张乃明,张玉娟,陈建军,等. 滇池流域农田土壤氮污染负荷影响因素研究[J]. 中国农学通报, 2004, 20(5): 148-150.