文章编号：1005-0906(2015)06-0125-06 DOI: 10.13597/j.cnki.maize.science.20150622

基于渗漏池法研究施肥对东北中部雨养区玉米氮素地下淋溶的影响

彭 畅[1,2],朱 平[2],张秀芝[2],牛红红[2],李 强[2],高洪军[2],张玉龙[1]
(1.沈阳农业大学,沈阳 110866; 2.吉林省农业科学院,长春 130033)

摘 要：2010~2013年,对东北玉米土壤氮素地下淋溶年际发生规律和氮排放强度进行研究。结果表明,淋溶年平均发生7~8次,受降雨影响较大,其中6月和7月的淋溶次数占全年的2/3。农田氮素淋溶排放强度年际间差异较大,最高值与最低值差8倍左右,农田本底(不施肥)流失量平均为5 kg/hm^2,各施肥处理在4.53~7.17 kg/hm^2,农田本底氮素流失70%以上,整体来看,北方农区氮素的地下淋溶强度不高,约占施氮量的5%左右,受降雨、施肥、土壤类型等综合因素的影响。

关键词：玉米;渗漏;地下淋溶;氮排放强度
中图分类号：S513.062 **文献标识码**：A

Study of the Influence of Fertilization on Nitrogen Leaching Underground in Northeast Central Raining Area by Percolating Pools

PENG Chang[1,2], ZHU Ping[2], ZHANG Xiu-zhi[2], NIU Hong-hong[2], GAO Hong-jun[2], ZHANG Yu-long[1]
(1. *Shenyang Agricultural University, Shenyang* 110866;
2. *Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun* 130033, China)

Abstract: Research had been conducted on the inter-annual occurrence law of the nitrogen underground leaching and nitrogen emission intensity in the northeastern corn soil during the period of 2010-2013. The results indicated that leaching occurred 7-8 times annually on average, influenced by the rainfall to a relative large degree, of which leaching occurred in June and July accounted for two-thirds that of the whole year's. The farmland nitrogen emission intensity was of a relatively great inter-annual difference, with about eight times of gap between the highest and lowest value; the farmland background loss was 5 kg/ha on average, fertilization controlled within 4.53-7.17 kg/ha; the farmland background nitrogen loss accounted for over 70% of the total loss. Nitrogen underground leaching is not high as a whole in the northern agricultural area, about 5% of the fertilized nitrogen amount, and was a comprehensive result affected by the rainfall, fertilization, soil type and other factors.

Key words: Corn; Percolation pool; Underground leaching; Nitrogen emission intensity

农田的地下淋溶是旱地氮素流失的主要途径之一。淋溶的发生一般多在强降雨或不合理灌溉条件下,水分不能充分入渗土壤,悬浮的土壤颗粒和溶出的土壤养分随地下淋溶迁移,造成养分流失从而引发环境污染[1]。第一次全国污染普查公报显示,农业源总氮排放占排放总量的57.2%,河流、湖泊等水体的富营养化日益严峻[2,3],已经是水环境和河流污染的主要问题之一,在集约化栽培的蔬菜产区,地下水硝酸盐严重超标[4~6],超标率达到了36%,个别农区地下水硝酸盐浓度已超过欧美国家[7]。吉林省是我国重要的商品粮基地。玉米播种面积稳定在233万hm^{2}左右,玉米总产量约1 600万t,玉米单产水平、人均占有量、商品率及出口量均居全国首位,对保障国家粮食安全具有举足轻重的作用。在保障粮食安全的刚性需求下,化肥用量呈显著增加态势,从

收稿日期：2015-08-10
基金项目：吉林省重点科技攻关项目(20140204017NY)、农业部生态环境专项(2110402)、国家科技支撑计划(2012BAD04B00)
作者简介：彭 畅(1977-),女,吉林公主岭人,博士,研究员,从事黑土资源保护与农业面源污染控制研究。
E-mail:pengchang2005@163.com
张玉龙为本文通讯作者。E-mail:ylzsau@163.com

1980年至2005年吉林省的化肥用量从19.3万t增长至159.1万t,增加了7.2倍,导致吉林省农田土壤单位面积上的氮、磷平衡显著增加[8],引发了一系列的农业面源污染问题[9]。2013年吉林省环境公报显示,我省主要江河水库水质一般于Ⅱ类和Ⅲ类水质之间,但部分水库已经处于中度和轻度富营养状态。本研究以吉林省中部半湿润区农田土壤氮素淋溶特征为切入点,基于渗漏池方法研究旱田玉米田氮素地下淋溶年际间的变化规律,明确农田氮排放基本特征和排放强度,为我省农业面源污染提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

采样地点位于吉林省农业科学院国家黑土肥力与肥料效益监测站(东经124°48′07.2″,北纬43°30′52.5″),典型雨养生态农业区。试验地地势平坦,海拔220 m,黑土区地下水埋深5~20 m。年平均气温4℃~5℃,年降雨量400~700 mm,年日照时数2 500~2 700 h,土壤冻结深度1.5~1.7 m。土壤为典型黑土(中层黑土),成土母质为第四纪黄土状沉积物。

1.2 试验设计

试验设8个处理,3次重复,共24个小区。①不施肥(CK)、②不施氮肥(N0)、③0.5倍OPT优化、④0.75倍OPT、⑤OPT、⑥1.5倍OPT、⑦M,单施有机肥,总氮量与OPT氮量相同、⑨OPT(M),总氮量与OPT氮量相同,化肥氮与有机氮比1∶1,小区面积2 m^2。氮肥品种为尿素、二铵;磷肥品种为二铵和过磷酸钙;钾肥为氯化钾,有机肥为牛粪,无机氮肥分2次施用,40%氮肥和磷钾肥底施,60%氮肥在玉米拔节前(6月末)施入。种植模式为春玉米1年1季连作,每年5月初穴播,9月末收获,品种为先玉335,密度为6万株/hm^2。监测年限为2010~2013年。

表1 各处理施肥情况

Table 1 Fertilization of different treatments kg/hm^2

处 理 Treatment	N(化肥) N(Fertilizer)	N(有机肥) N(Organic fertilizer)	P_2O_5	K_2O
CK	0	0	0	0
N0	0	0	100	120
0.5倍OPT	90	0	100	120
0.75倍OPT	135	0	100	120
OPT	180	0	100	120
1.5倍OPT	270	0	100	120
M	0	180	100	120
OPT(M)	90	90	100	120

1.3 淋溶水样采集

在每次较大降水后2~4 d内,检查淋溶液收集桶是否有淋溶液,如果已经产生淋溶,在地下渗漏池的出水口(土壤表面下120 cm处)接取土壤淋溶液,并记录每次淋溶液总量。将淋溶液摇匀后,取混合水样化验分析测试。

1.4 渗漏池示意图

渗漏池法将供试土体置于事先建成的渗漏池内,观测自土体渗出的水量、浓度(图1)。定期观测和测定自池内流出的渗漏液的数量及其氮(磷)浓度,通过渗漏水量与其浓度之积即可计算出氮(磷)等养分的渗漏损失量。

图1 渗漏池示意图

Fig.1 Sketch of leakage pond

1.5　计算公式与测定方法

水样分析测定方法:总氮(TN)采用水质凯氏氮的测定(GB 11891-89),数据分析采用excel2010、spss22.0和SAS9.2。

计算公式:

(1) $NL=\sum_{i=1}^{n}Li\times Di$

式中,NL-年度淋溶氮量(kg/hm^2);L_i-第i次淋失水量(mm);D_i-第i次淋溶液氮浓度(mg/L)。

(2) $NLR(\%)=N_{FTl}/FN\times100\%$

式中,NLR(Nitrogen Loss Rate)-氮流失率(%);N_{FTl}(Fertilization Treatment Loss)-施肥处理氮流失量;FN(Fertilization Nitrogen)-施氮量。

2　结果与分析

2.1　淋溶发生时间规律

2010~2013年4年间共发生29次淋溶事件,监测年度内发生淋溶次数为5~11次,年均发生7~8次。淋溶集中发生于每年的5~9月,在10月至4月(次年)不发生淋溶。2013年发生次数最多为11次,其次为2012年为8次,2011和2010年各发生5次。而7月份最多,4年累计发生了10次,占发生比例的34.5%。2012年发生次数最多为5次,主要是发生了连续的降雨,导致淋溶次数的增加,其次为6月,4年累计发生8次,约占总发生率的30%,也较高,而此时正是玉米拔节追肥时期,同时也是降雨旺季,如果大量不合理的施肥会严重导致肥料的淋失而产生环境污染,因此该时期应该严格控制肥料的施用,并同时避免雨前施肥。8月和9月占发生总比例的20.7%和13.8%,4年累计发生6次和4次,从降雨量与淋溶发生的同步情况来看(图2),降雨多集中于6~8月,占全生育期降雨量(5~9月)的83%,而此期发生的淋溶次数也较多,占到了全年的85%,且有较好的同步趋势。而5月发生次数最少,4年内仅在2013年发生了1次,5月正是北方玉米播种的季节,该时期受气候影响,降雨量较全年整体偏低,是导致淋溶次数较少的主要原因。

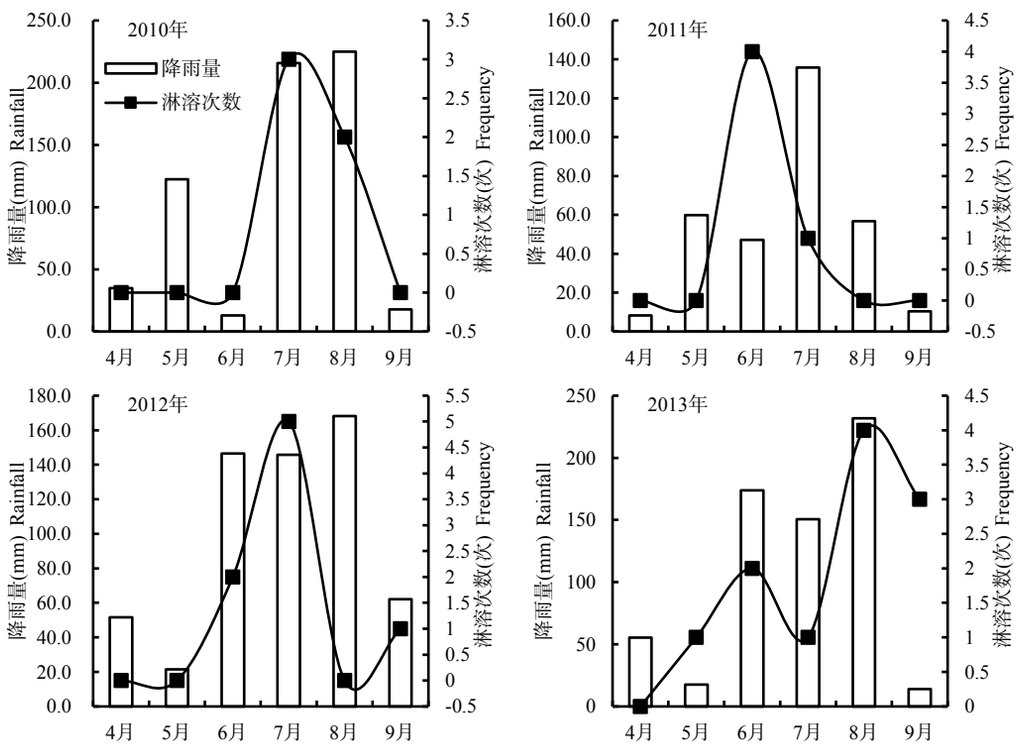

图2　各月降雨量与淋溶发生次数同步变化情况(2010~2013)

Fig.2　Synchronous changes between rainfall and leaching frequency of each month(2010-2013)

2.2　长期施肥对总氮流失排放强度的影响

农田总氮的排放强度是衡量土壤污染的基础指标。由于受多种因素包括外力降雨的作用和人为施肥的影响,因此,年际间变异较大,也正反映了农业面源污染的不确定性特点。从表3可以看出,氮排放强度年际间差异较大,各处理间的变异系数在64.1%~110.1%。农田本底(不施肥)总氮多年的流失量为1.04~8.60 kg/hm^2,平均值为4.96 kg/hm^2,最

大值约是最小值的8倍左右。0.5倍OPT处理总氮排放强度低于农田本底值，但变异系数较高，为96.2%，多年平均总氮流失量为4.53 kg/hm²。当施氮量增加到1.5倍OPT(270 kg/hm²)时，年际平均流失量最高，达到7.17 kg/hm²，年际间的变化范围在2.53～18.96 kg/hm²，最大值是最小值的7.5倍。不施氮肥(单施PK)加速了土壤中氮的矿化来满足植物的需求，在提供作物营养的同时，也向土壤中释放了大量的无机氮，而且偏施磷钾肥作物长势也不如常规施肥，因此导致无机氮不能充分利用，使土壤中大量氮素排放到了环境中。3个OPT等氮量处理，总氮流失强度差异不大，其中，以有机肥配施无机肥流失量偏高，多年的平均流失强度为5.22 kg/hm²，分别比单施化肥处理和单施有机肥处理增加6.7%和7.6%。无机肥配合有机肥的施用可能某种程度上增加了土壤中氮矿化的速率，使土壤中无机氮含量增加，导致随水流失增加。

表3 农田总氮流失情况

Table 3 Total nitrogen leaching loss in farmland kg/hm²

处 理 Treatment	最小值 Min	最大值 Max	平均值 Average	变异系数(%) CV	占本底流失(%) Accounting for background loss
CK	1.04	8.60	4.96	64.1	100.0
N0	1.68	11.55	6.05	67.9	82.0
0.5倍OPT	1.21	10.93	4.53	96.2	109.5
0.75倍OPT	1.03	11.76	5.57	80.7	89.0
OPT	1.25	12.86	4.89	110.1	101.4
M	1.93	11.08	4.85	87.0	102.3
OPT(M)	1.85	13.22	5.22	102.9	95.0
1.5倍OPT	2.53	18.96	7.17	110.1	69.2

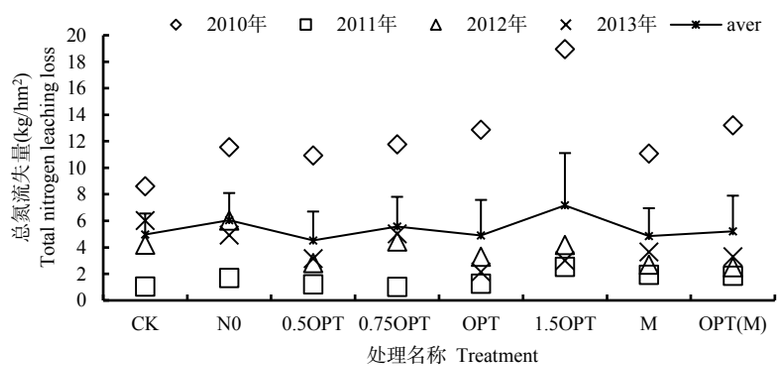

图3 各处理总氮年均流失量(2010～2013)

Fig.3 Annual averageleaching loss of total nitrogen under different treatments(2010–2013)

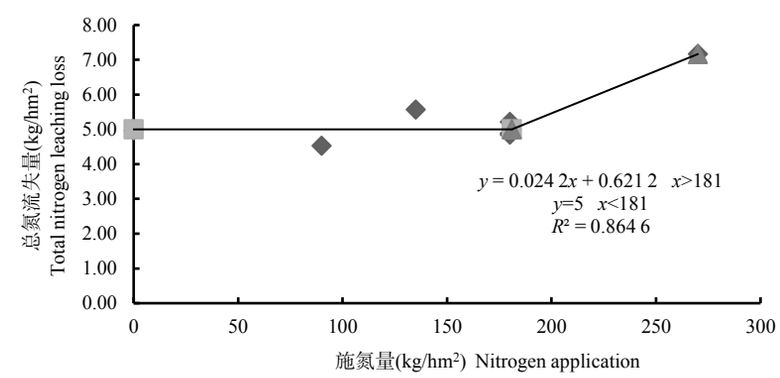

图4 施氮量与总氮流失量的关系

Fig.4 Relationship between N application and leaching loss of total nitrogen

各处理间总氮排放强度由高到低为1.5倍OPT>N0>0.75 倍 OPT>OPT(M) >CK>OPT>M>0.5 倍 OPT。其中,OPT、M 和0.5倍OPT处理农田氮素排放强度低于无肥区处理的氮流失排放,说明了农田的本底流失占据了主体,占69.2%～110%,本底流失量高也是多年施肥导致土壤中残留大量的氮,在外力降雨的作用下,加之地上部长势不好,覆盖度较低,是导致氮流失量偏高重要原因。各年际间比较来看,总氮流失量由高到低为2010>2013>2012>2011年,与全年降雨量有较好的同步趋势。总氮的排放强度随施氮量的增加没有表现出递增趋势,而是呈"平台加线性"相关关系,当施氮量低于该值时,总氮的流失排放强度变化不明显;高于该施氮量,总氮排放强度呈显著线性递增,每增加100 kg/hm^{2}的施氮量,总氮流失量增加2.4 kg(R^2=0.864 6**)。

2.3　长期施肥对总氮流失率的影响

氮流失率是衡量氮肥对养分流失影响的重要参数指标。多年施肥,总氮的流失率差异较大。随施氮量的增加,流失率表现为降低趋势。增施氮肥后,土壤对外源氮素有一定的吸收和缓冲作用,导致氮流失量增加幅度小于氮施用增加的幅度,而使流失率有所降低。施氮量小于135 kg/hm^2(0.5倍OPT和0.75倍OPT)时,氮素的流失率小于5%,分别为5%和4.1%,每施用100 kg的氮肥约有5%的氮素发生了流失;施氮量等于或高于180 kg,总氮的流失率一般小于3%,变化范围在2.7%～2.9%。总氮流失率的年际间变化趋势与总氮流失排放强度变化趋势相同。各年际间表现为2010>2013>2012>2011年,与降雨量密切相关。整体来看,北方农区氮素的总氮地下淋溶率不高,个别降雨较多年份一般在7%左右,各年平均氮素流失率不足5%,一方面原因是由于该区属雨养农业区,无灌溉,土壤水分没有足够下渗的水流,因此淋溶损失较低;同时,由于该区土壤类型属黑土,尤其耕层以下质地较黏重,增加了土壤淋溶发生的难度,也是导致氮淋溶率较低的重要原因。

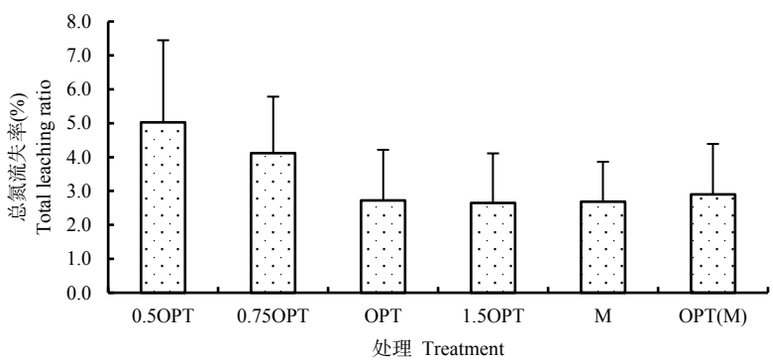

图5　各处理总氮流失率(2010～2013)

Fig.5　Total nitrogen leaching ratio of different treatments(2010–2013)

3　结论与讨论

土壤氮淋失数量主要取决于土壤溶液中氮的含量和土壤水分的运动情况,即土体内水流的驱动作用是氮素淋失发生的重要条件[10～12]。淋溶集中发生于每年的5～9月,年均发生7次,其中,6～9月的淋溶次数占到了全年的96.5%。淋溶与降雨密切相关[13～15],北方雨热同季,此时正是玉米拔节期追肥盛期,应该严格控制肥料的施用和避免雨前施肥。

农田总氮的排放强度年际间变异较大。农田本底(不施肥)多年总氮的平均值为4.96 kg/hm^2,其他施氮处理流失量平均为4.53～7.17 kg/hm^2。有机无机配合施用可能某种程度上增加了土壤微生物的活性,促进了土壤本底氮矿化,使土壤中无机氮含量增加,导致随水流失增加。农田的本底氮流失占70%以上,多年施肥导致土壤中残留大量的氮[16,17],在外力降雨的作用下,加之地上部长势不好覆盖度较低[18,19],导致氮流失量偏高。在施氮量小于180 kg/hm^{2}时,总氮的流失量随施氮量增加变化不明显,流失量在5 kg/hm^{2}上下波动,约占施肥量的3%左右;当高于该施氮量,总氮排放显著线性递增。在氮素投入过量情况下,除小部分被微生物固定于土壤的有机氮库外,大部分外源氮投入以无机氮的形式(铵态氮或硝态氮)累积在土壤中,以各种形式损失出土壤–作物系统[20,21]进入环境系统,因此导致流失量的增加。氮流失率随施氮量的增加而降低。

北方农区氮素的地下淋溶量和流失率不高,氮素流失量约占施氮量的5%左右,受施肥、土壤类型、降雨等综合因素的影响。

参考文献:

[1] CaracoN F, Correll D L, Howarth R W, et al. Nonpoint pollution of surface waters with phosphros and nitrogen[M]. Ecology, 1998.

[2] 仓恒瑾,许炼峰,李志安,等 . 农业非点源污染控制中的最佳管理措施及其发展趋势[J] . 生态科学,2005,24(2):173-177 .
Cang H J, Xu L F, Li Z A, et al. Using best management practices to control agricultural non-point source pollution[J]. Ecologic science, 2005, 24(2): 173-177. (in Chinese)

[3] 姜 霞,钟立香,王书航,等 . 巢湖水华暴发期水-沉积物界面溶解性氮形态的变化[J] . 中国环境科学,2009,29(11):1158-1163 .
Jiang X, Zhong L X, Wang S H, et al. Dissolvable nitrogen variation at water-sedimeterinterface during alga blooming process in Chaohu Lake[J]. China Environmental Science, 2009, 29(11): 1158-1163. (in Chinese)

[4] 黄元仿,曹 兵,胡克林,等 . 不同施肥条件下菜地土壤无机氮动态及其淋洗污染潜力[J] . 土壤通报,1997,28(4):175-177 .
Huang Y F, Cao B, Hu K L, et al. Under different fertilization soil inorganic nitrogen and its leaching potential pollution[J]. Chinese Journal of Soil Science, 1997, 28(4): 175-177. (in Chinese)

[5] 汤丽玲,陈 清,张宏彦,等 . 不同灌溉措施对露地菜田土壤无机氮残留的影响[J] . 植物营养与肥料学报,2002,8(3):282-287 .
Tang L L, Chen Q, Zhang H Y, et al. Effects of different irrigation and fertilization strategies on soil inorganic N residues in open field of vegetable rotation system[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2002, 8(3): 282-287. (in Chinese)

[6] 袁新民,同延安,杨学云,等 . 不同施氮量对土壤NO_3-N累积的影响[J] . 干旱地区农业研究,2000,19(1):8-13 .
Yuan X M, Tong Y A, Yang X Y, et al. Effect of N-fertilizer rate on soil nitrate nitrogen accumulation[J]. Agriculture Research in the Arid Areas, 2000, 19(1): 8-13. (in Chinese)

[7] 刘宏斌,李志宏,张云贵,等 . 北京平原农区地下水硝态氮污染状况及其影响因素研究[J] . 土壤学报,2006,43(3):405-413 .
Liu H B, Li Z H, Zhang Y G, et al. Nitrate contamination of groundwater and its affecting factors in rural areas of Beijing plain[J]. Acta Pedologica Sinica, 2006, 43(3): 405-413. (in Chinese)

[8] 曹 宁,曲 东,陈新平,等 . 东北地区农田土壤氮磷平衡及其对面源染污的贡献分析[J] . 西北农林科技大学学报(自然科学版),2006,34(7):127 -133 .
Cao N, Qu D, Chen X P, et al. Analysis of the contribution to non-point pollution made by balanced fertilizer in Northwest China[J]. Jounal of Northwest Sci-Tech Univ. of Agri. and For.(Nat. Sci. Ed.), 2006, 34(7): 127-133. (in Chinese)

[9] 彭 畅,朱 平,牛红红,等 . 农田氮磷流失与农业非点源污染及其防治[J] . 土壤通报,2010,41(2):508-512 .
Peng C, Zhu P, Niu H H, et al. Nitrogen and phosphorus loss of farmland agriculral non-point source pollution and its prevention[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2010, 41(2): 508-512. (in Chinese)

[10] 王 辉,王全九,邵明安 . 降水条件下黄土坡地氮素淋溶特征的研究[J] . 水土保持学报,2005,19(5):61-64 .
Wang H, Wang Q J, Shao M A. Characteristics of nitrogen leaching from sloping land on loess plateau under rainfall conditions[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2005, 19(5): 61-64. (in Chinese)

[11] Mack U D, Feger K H, Gong Y S, et al. Soil water balance and nitrate leaching in winter wheat-summer maize double-cropping systems with different irrigation and N fertilization in the North China Plain[J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2005, 168(4): 28-40.

[12] Gheysari M, Mirlatifi S M, Homaee M, et al. Nitrate leaching in a silage maize field under different irrigation and nitrogen fertilizer rates[J]. Agricultural Water Management, 2009, 96(2): 946 - 954.

[13] 段永惠,张乃明,张玉娟 . 施肥对农田氮磷污染物径流输出的影响研究[J] . 土壤,2005,37(1):48-51 .
Duan Y H, Zhang N M, Zhang Y J. Effect of fertilizer application on nitrogen and phosphorus loss with farmland runoff[J]. Soil, 2005, 37(1): 35-48. (in Chinese)

[14] 张国梁,章 申 . 农田氮素淋失研究进展[J] . 土壤,1998,30(6):291-297 .
Zhang G L, Zhang S. Study progress of nitrogen in farmland[J]. Soil, 1998, 30(6): 291-297. (in Chinese)

[15] 张学军,赵桂芳,朱雯清,等 . 菜田土壤氮素淋失及其调控措施的研究进展[J] . 生态环境,2004,13(1):105-108 .
Zhang X J, Zhao G F, Zhu W Q, et al. Nitrogen leaching from vegetable soil and control measures: a review[J]. Ecology and Environment, 2004, 13(1): 105-108. (in Chinese)

[16] 熊淑萍,姬兴杰,赵巧梅,等 . 不同肥料类型对土壤硝态氮时空变异的影响[J] . 干旱地区农业研究,2007,25(6):171-176 .
Xiong S P, Ji X J, Zhao Q M, et al. Effects of different fertilizers onthe spatial- temporal variations of soil nitrate[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2007, 25(6): 171-176. (in Chinese)

[17] 李燕婷,李秀英,赵秉强,等 . 缓释复混肥料对玉米产量和土壤硝态氮淋失累积效应的影响[J] . 中国土壤与肥料,2008(5):45-48 .
Li Y T, Li X Y, Zhao B Q, et al. Effect of controlled-release compounded fertilizers on maize yields and leaching loss of nitrate in soil profile[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2008(5): 45-48. (in Chinese)

[18] 焦菊英,王万中,李 靖 . 黄土高原林草水土保持有效盖度分析[J] . 植物生态学报, 2000,24(5):608-612 .
Jiao J Y, Wang W Z, Li J. Effective cover rate of woodland and grassland for soil and water conservation[J]. Chinesejournal of Plant Ecology, 2000, 24(5): 608-612. (in Chinese)

[19] 安 倩,胡振华,李 飞 . 植被的景观格局与土壤侵蚀控制作用[J] . 山西水土保持科技,2014(2):1-4 .
An Q, Hu Z H, Li F. Landscape pattern of vegetation and soil erosion control[J]. Soil and Water Conservation Science and Technology in Shanxi, 2014(2): 1-4. (in Chinese)

[20] 朱兆良 . 农田中氮肥的损失与对策[J] . 土壤与环境,2000,9(1):1-6 .
Zhu Z L. Loss of fertilizer N from plants-soil system and the strategies and techniques for its reduction[J]. Soil and Environmental Sciences, 2000, 9(1): 1-6.(in Chinese)

[21] Jokela W E, Andall G W. Fate offertilizer nitrogen as affected by time and rate of application on corn[J]. Soil Science Society of America Journal, 1997, 61: 1695-1073.

(责任编辑:姜媛媛)