

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第37卷 第11期

Vol.37 No.11

2016

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

承德市大气污染源排放清单及典型行业对 PM _{2.5} 的影响	陈国磊, 周颖, 程水源, 杨孝文, 王晓琦 (4069)
浙江省木制品行业挥发性有机物排放特征及排放系数	姚轶, 王浙明, 何志桥, 徐志荣, 顾震宇 (4080)
山西省人为源 VOCs 排放清单及其对臭氧生成贡献	闫雨龙, 彭林 (4086)
某化工区典型高污染过程 VOCs 污染特征及来源解析	高松, 崔虎雄, 伏晴艳, 高爽, 田新愿, 方方, 衣学文 (4094)
加油 VOCs 排放因子测试方法研究与应用	黄玉虎, 常耀卿, 任碧琪, 秦建平, 胡玮, 刘明宇 (4103)
北京市生活垃圾填埋场氨排放特征研究	崔彤, 李金香, 杨妍研, 程刚 (4110)
西安市人为源大气氨排放清单及特征	苏航, 闫东杰, 黄学敏, 宋文斌, 王惠琴, 宋雪娟 (4117)
佛山市冬夏季非甲烷烃污染特征研究	周雪明, 项萍, 段菁春, 贺克斌, 马永亮, 邓思欣, 司徒淑婷, 谭吉华 (4124)
天津市道路环境大气颗粒物水溶性无机离子分析	赵梦雪, 吴琳, 方小珍, 杨志文, 李凤华, 毛洪钧 (4133)
戴云山国家级自然保护区大气氮沉降特点	袁磊, 李文周, 陈文伟, 张金波, 蔡祖聪 (4142)
青岛近海冬季大气生物气溶胶中微生物活性研究	孟祥斌, 李孟哲, 李鸿涛, 高冬梅, 祁建华 (4147)
玉米秸秆烟尘中正构脂肪酸的分子与碳同位素组成	刘刚, 孙丽娜, 徐慧, 李久海, 李中平, 李立武 (4156)
极低风速条件下水-气界面甲烷气体传输速率分析	张成, 吕新彪, 龙丽, 张军伟, 穆晓辉, 李迎晨, 王圣瑞, 张文丽, 肖尚斌 (4162)
典型水库型湖泊中 CDOM 吸收及荧光光谱变化特征: 基于沿岸生态系统分析	陈雪霜, 江韬, 卢松, 白薇扬, 张成, 王定勇, 魏世强 (4168)
西苕溪支流河口水体营养盐的特征及源贡献分析	陈诗文, 袁旭音, 金晶, 李正阳, 许海燕 (4179)
周村水库主库区热分层初期氮素降低的驱动因子分析	张春华, 黄廷林, 方开凯, 周石磊, 夏超 (4187)
太湖湖泛易发区沉积物中有机磷形态分布特征	董丹萍, 章婷曦, 张丁予, 王巧云, 李德芳, 王国祥 (4194)
多重扰动对湖泊内源磷迁移转化的影响	蔡顺智, 李大鹏, 王忍, 刘焱见, 徐垚, 于胜楠, 黄勇 (4203)
丹江口库区覆膜耕作土壤氮素淋失随夏玉米生长期的变化	王伟, 于兴修, 汉强, 刘航, 徐苗苗, 任瑞, 张家鹏 (4212)
营养盐恢复对氮磷饥饿铜绿微囊藻生长的影响	岳冬梅, 李洁, 肖琳 (4220)
氯灭活地下水源中 3 种优势真菌的效能与机制	文刚, 朱红, 黄廷林, 赵建超, 任崴, 徐向前 (4228)
净水工艺对饮用水中微生物多重耐药性的影响与分析	马晓琳, 陆洋, 王钰, 侯誉, 白晓慧 (4235)
单过硫酸氢钾复合粉在饮用水消毒过程中的副产物生成特性及遗传毒性变化	敖秀玮, 李豪杰, 刘文君, 余京儒 (4241)
三维有序介孔 Co ₃ O ₄ 非均相活化单过硫酸氢钾降解罗丹明 B	冯善方, 邓思萍, 杜嘉雯, 马晓雁, 卢遇安, 高乃云, 邓靖 (4247)
调控絮体形态强化电絮凝减缓膜污染	赵凯, 杨春风, 孙境求, 李静, 胡承志 (4255)
初始 pH 值对序批式 CANON 工艺脱氮效果和 N ₂ O 释放的影响	付昆明, 王会芳, 苏雪莹, 周厚田 (4261)
3DBER-S-Fe 同步脱氮除磷及去除邻苯二甲酸酯的工艺特性	张娅, 郝瑞霞, 徐鹏程, 徐忠强 (4268)
基于反硝化脱氮的硫铁复合填料除磷机制	范军辉, 郝瑞霞, 李萌, 朱晚霞, 万京京 (4275)
基于 ABR-MBR 组合工艺优化反硝化除磷性能的研究	程朝阳, 赵诗惠, 吕亮, 吴鹏, 沈耀良 (4282)
中常温变化对 PN-ANAMMOX 联合工艺脱氮效果的影响	袁砚, 朱亮 (4289)
生物活性炭对不同 C/N 比废水同步硝化反硝化脱氮效果的影响	崔延瑞, 邱鑫, 张庆荣, 王琦, 吴青, 孙剑辉 (4296)
ANAMMOX 菌利用零价铁还原硝酸盐脱氮研究	周健, 完颜德卿, 黄勇, 刘忻, 袁怡, 李祥, 姚鹏程, 杨朋兵, 薛鹏程 (4302)
间歇曝气 SBR 与传统 SBR 处理养猪沼液的比较研究	董宝刚, 宋小燕, 刘锐, 川岸朋树, 张永明, 陈吕军 (4309)
应用解蛋白菌生物预水解剩余污泥	何晶晶, 王颖, 胡洁, 吕凡, 邵立明 (4317)
应用环境多介质逸度模型研究废旧电器拆解区多溴联苯醚的迁移及归趋	薛南冬, 陈宣宇, 杨兵, 秦普丰, 龙雨 (4326)
南宁市多环境介质中多环芳烃分布特征	苗迎, 孔祥胜 (4333)
杭州城区室内灰尘中多溴联苯醚的含量及人体暴露水平	金漫彤, 滕丹丹, 郑艳霞, 胡张璇, 沈学优, 金赞芳 (4341)
应用线性自由能关系估算药用活性化合物的生物碳质-水吸附系数	王佳怡, 毕二平 (4349)
表流湿地细菌群落结构特征	魏佳明, 崔丽娟, 李伟, 雷茵茹, 于菁菁, 秦鹏, 穆泳林, 梁钊瑞 (4357)
城市污水中硝化菌群落结构与性能分析	于莉芳, 杜倩倩, 傅学焘, 张茹, 李文江, 彭党聪 (4366)
DNA 和 cDNA 水平对比研究施肥对稻田土壤细菌多样性的影响	王聪, 吴讷, 侯海军, 汤亚芳, 沈健林, 秦红灵 (4372)
培养条件下双酚 A 对稻田土壤微生物群落特征的影响	刘畅, 黄雅丹, 张莹, 靳振江, 梁月明, 宋昂, 王腾, 郭佳怡, 李强 (4380)
1 株兼具好、厌氧汞甲基化能力细菌的分离鉴定	陶兰兰, 向玉萍, 王定勇, 黄曼琳, 申鸿 (4389)
北京地区菜田土壤抗生素抗性基因的分布特征	张兰河, 王佳佳, 哈雪姣, 邱孟超, 高敏, 仇天雷, 王旭明 (4395)
梅花鹿养殖场抗生素抗性基因分布特征	黄福义, 安新丽, 陈青林, 任红云, 苏建强 (4402)
几种高硅质矿物细颗粒的 A549 细胞毒性对比	霍婷婷, 董发勤, 邓建军, 张青碧, 贺小春, 孙东平 (4410)
添加复合吸附剂对土壤吸附菲和 Cr(VI) 的影响	李文斌, 孟昭福, 吴琼, 许绍娥, 刘泽 (4419)
生物炭对西北黄土吸附壬基酚的影响	张振国, 蒋煜峰, 慕仲锋, 孙航, 周琦, 展惠英 (4428)
集雨种植下不同沟垄比对土壤呼吸的影响及其对水热因子的响应	王昌江, 施成晓, 冯帆, 陈婷, 张磊, 吕晓康, 王伟, 廖允成 (4437)
秸秆还田与化肥减量配施对稻-菜轮作下土壤养分及酶活性的影响	黄容, 高明, 万毅林, 田冬, 陶睿, 王芳丽 (4446)
《环境科学》征稿简则 (4161) 《环境科学》征订启事 (4365) 信息 (4123, 4132, 4409)	

丹江口库区覆膜耕作土壤氮素淋失随夏玉米生长期的变化

王伟, 于兴修*, 汉强, 刘航, 徐苗苗, 任瑞, 张家鹏

(湖北大学资源环境学院, 区域开发与环境响应湖北省重点实验室, 武汉 430062)

摘要: 土壤氮素淋失是农业非点源污染的重要形式, 也是水源地水质恶化的重要原因. 以丹江口库区五龙池小流域为研究区, 以农田黄棕壤种植夏玉米为例进行田间氮素淋失实验, 通过与无覆膜耕作进行对比, 研究覆膜耕作条件下土壤氮素淋失随玉米生长期的变化. 结果表明, 覆膜耕作土壤 TN 和 NO_3^- -N 淋失量均明显低于无覆膜耕作, 分别低 25.68% 和 20.25%. 夏玉米生长期, 覆膜土壤 TN 淋失量表现为苗期最高, 拔节期和抽穗期显著降低, 成熟期略微升高的变化趋势; 覆膜土壤 NO_3^- -N 淋失量表现为在苗期最高, 拔节期显著降低, 随后缓慢降低的变化过程; 覆膜土壤 NH_4^+ -N 淋失量表现为在苗期较低, 拔节期升至峰值, 抽穗期降至谷值, 成熟期显著升高的变化特征. 覆膜土壤 TN 和 NO_3^- -N 淋失量分别与土壤中 TN 和 NO_3^- -N 含量之间呈线性函数和指数函数关系; 与土壤含水量和降雨量之间呈线性函数关系. 上述结果表明, 覆膜能降低土壤中氮素的淋失量, 将对减少库区农业非点源污染具有明显的作用.

关键词: 地膜覆盖; 夏玉米; 土壤氮素淋失; 阴阳离子树脂吸附法; 丹江口库区

中图分类号: X523 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2016)11-4212-08 DOI: 10.13227/j.hjxx.201604171

Change of Soil Nitrogen Leaching with Summer Maize Growing Periods Under Plastic Film Mulched Cultivation in Danjiangkou Reservoir Area, China

WANG Wei, YU Xing-xiu*, HAN Qiang, LIU Hang, XU Miao-miao, REN Rui, ZHANG Jia-peng

(Key Laboratory of Regional Development and Environmental Response in Hubei Province, Faculty of Resources and Environmental Science, Hubei University, Wuhan 430062, China)

Abstract: As an important form of agricultural non-point source pollution, soil nitrogen leaching deteriorates water quality. Compared with non-mulching cultivated land, field experiment explored the change characteristics of soil nitrogen leaching under plastic film mulching ridge-furrow in Wulongchi small watershed during summer maize growing period. The results showed that the amounts of mulching tillage soil TN and NO_3^- -N leaching were significantly lower than those with non-mulched treatment, by 25.68% and 20.25%, respectively. With the advance of the summer maize growth period, leaching amount of mulched soil TN was highest at seedling stage, lowest at heading stage and higher in maturation period; leaching amount of mulched soil NO_3^- -N was highest at seedling stage, lowest in maturation period; leaching amount of mulched soil NH_4^+ -N was lower at seedling stage, increased to the peak at the jointing stage, decreased to the valley value at heading stage, and obviously increased in maturation period. Linear function relationship was found between mulched soil TN leaching and TN content, while exponential relationship was found between mulched soil NO_3^- -N leaching and NO_3^- -N content. In addition, there was linear function relationship of mulched soil TN and NO_3^- -N leaching amount with soil moisture and rainfall. It was concluded that the plastic film mulched on summer maize could reduce the leaching loss of soil nitrogen, and it would have a significant effect on the reduction of reservoir area of agricultural non-point source pollution.

Key words: plastic film mulching; summer maize; soil nitrogen leaching; anion and cation resin adsorption method; Danjiangkou reservoir

农田土壤氮素淋失是农业非点源污染领域的研究热点^[1,2]. 有研究表明, 土壤剖面氮素的富集与过饱和土壤水分的垂直运移是引起土壤氮素淋失的两个条件^[3]. 土壤氮素含量^[4]、土壤含水量^[5]和降雨量^[6]对氮素淋失有影响. 这些因子的时间变异使土壤氮素淋失过程有明显变化^[7]. 一方面, 不同生长期的作物对氮素的吸收利用程度有差异^[8,9]; 另一方面, 作物不同生长期的降雨量和土壤含水量等因素也会有显著差异^[10], 导致土壤中氮素积累和迁移

的过程发生变化, 从而对土壤中氮素的淋失产生影响. 因而, 研究作物生长期内的土壤氮素淋失变化过程, 有利于深入分析作物对氮素的吸收利用与降雨量、土壤含水量等多种因素综合影响下的土壤中氮素淋失机制.

收稿日期: 2016-04-22; 修订日期: 2016-06-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(41471227); 矿区环境污染控制与修复湖北省重点实验室开放基金项目(201303)

作者简介: 王伟(1990~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为资源利用与环境效应, E-mail: longxiww@163.com

* 通讯联系人, E-mail: xxy2000@126.com

作为提高作物产量重要措施的地膜覆盖,具有一定的不透水性和耐侵蚀性,既可减少地表直接接纳雨水的面积和降低雨水的直接入渗能力^[11],影响土壤水分的运移^[12],又能增加土壤氮素随地表径流流失^[13,14],从而减少土壤氮素淋失^[15]。地膜覆盖通过调节土壤水热条件,改变土壤中氮素的积累与迁移途径,也可影响土壤氮素的淋失^[16~18]。有研究认为,作物生长期内覆膜土壤氮素有表聚现象^[9],减缓了表层土壤氮素向下层土壤迁移的速度^[16],同时覆膜还能促进作物根系对土壤氮素的吸收,减少土壤中氮素的含量^[19],进而降低土壤氮素淋失风险。但也有研究认为,覆膜可使 NO_3^- -N在土壤剖面中过分累积,尤其在作物生长后期和收获后会增加土壤 NO_3^- -N的淋失风险^[20]。可见,关于作物不同生长期覆膜土壤氮素淋失的研究结果不一致,深入分析覆膜条件下土壤氮素淋失随作物生长期的变化过程尤为必要。

丹江口水库是我国南水北调中线工程的重要水源地。农业非点源污染是导致库区部分库汉、库湾水体水质超标的主要原因^[11]。本研究以丹江口库区青塘河五龙池小流域黄棕壤为例,分析覆膜耕作土壤氮素淋失随夏玉米生长期的变化特征,以期为深入探讨农田土壤氮素淋失机制和农业非点源污染防治提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

五龙池小流域位于湖北省丹江口库区北岸的习家店镇(32°45'N,110°13'E),面积约为192 hm²,海拔278~402 m,属典型的北亚热带半湿润季风气候,年平均气温为16.1℃,多年平均降水量797.6 mm,降水集中在4~10月,占年降水量的84.5%。

本区地势北高南低,以丘陵和岗地为主;土壤类型以黄棕壤为主,局部为紫色土,土层厚度分布不均,在10~60 cm之间,土质松散,极易随雨水流失和淋失;土地利用类型以农地和林地为主,种植农作物主要有玉米(*Zea mays* L.)、油菜(*Brassica campestris* L.)、花生(*Arachis hypogaea*)等。该流域是丹江口库区小流域综合治理的典型示范小流域,在丹江口库区代表性较强。

1.2 研究方法

1.2.1 实验设计

实验小区设计:选择研究区内代表性的垄作夏玉米黄棕壤(表1),播前按照当地耕作方式施肥(脼铵氮肥1 212 kg·hm⁻²,TN≥30%, NH_4^+ -N=15%,HG/T 4214-2011),然后整地形成垄沟结构,其中,垄宽40 cm,垄沟宽20 cm,垄高10 cm。实验设覆膜和无覆膜2种处理,3次重复均为不同处理的相间分布,共设6个实验小区。各小区面积为1.2 m×10 m,包括两个相邻的垄,两垄间的垄沟。在各小区两端边缘和相邻小区垄沟中间位置(10 cm)插入30 cm高的铝塑板,插入土中20 cm,外露10 cm,以防小区相互干扰。

淋失装置设计:采用阴、阳离子树脂吸附法测田间土壤氮素淋失量。淋失装置包括:铝合金管(管高30 cm,管径5 cm),装有阴、阳离子交换树脂各13 g的树脂袋,滤纸和珍珠岩袋。实验时将铝合金管在垄顶垂直打入土壤,垂直拔出铝合金管后,去掉铝合金管底端10 cm处土壤,依次放入滤纸-树脂袋-滤纸-珍珠岩袋。最后将淋失装置放回初次打入的位置,待培养结束后送回实验室分析。采样时每个小区沿对角线安装3组淋失装置,为3次重复。其中,覆膜小区中淋失装置垂直打入垄顶后,用薄膜覆盖。

表1 实验田土壤主要理化性质

Table 1 Main physical and chemical properties of soil in experimental field								
容重 /g·cm ⁻³	有机质 /g·kg ⁻¹	总磷 /g·kg ⁻¹	速效磷 /mg·kg ⁻¹	总氮 /g·kg ⁻¹	碱解氮 /mg·kg ⁻¹	硝态氮 /mg·kg ⁻¹	铵态氮 /mg·kg ⁻¹	pH
1.84	9.95	0.21	16.19	0.59	23.19	40.54	8.41	7.81

1.2.2 样品采集与分析

样品采集:玉米于2015年7月19日在垄顶点播(株距50 cm,行距60 cm),然后用薄膜(GB 4455-95)覆盖覆膜小区的垄。玉米出苗后,在玉米发芽处的薄膜上进行开孔。淋失装置分别在苗期(7月19日~8月7日)、拔节期(8月8日~8月22日)、抽穗期(8月23日~9月12日)、成熟期(9月13日

~10月5日)布设,培养结束后将铝合金管中土壤样品和阴、阳离子交换树脂送回实验室,用于分析土壤中氮素(TN、 NO_3^- -N和 NH_4^+ -N)含量和淋失量。

样品分析:阴、阳离子交换树脂袋送回实验室后立即用150 mL 2 mol·L⁻¹ KCl浸提。TN(土壤样品和浸提液)分别用高氯酸-浓硫酸消解靛酚蓝比色法^[21]和碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法测定

(HJ 636-2012); NO_3^- -N和 NH_4^+ -N(土壤样品和浸提液)分别用双波长系数法(HJ/T 346-2007)和纳氏试剂比色法(HJ 535-2009)通过紫外可见分光光度计(UV-1200)测定. 土壤含水量用烘干法(105℃, 24 h)测量. 降雨量由五龙池小流域内的气象观测站观测记录.

1.2.3 数据处理

用最小显著性差异法(Least Significant Difference)检验不同数据间的差异显著性,显著性水平设置为0.05;用回归分析探讨土壤氮素含量,土壤含水量和降雨量对氮素淋失量的影响. 分析软件和作图工具分别在SPSS 19.0和Excel 2010中进行. 分析过程中所用土壤氮素淋失量和淋失比例的计算公式如下:

土壤氮素淋失量($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$) = 树脂吸附氮含量(kg)/铝合金管管底面积(m^2) $\times 10\,000$

土壤氮素淋失比例(%) = 各生长期土壤氮素

淋失量($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)/生长期土壤氮素淋失总量($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)

2 结果与分析

2.1 夏玉米生长期土壤氮素平均淋失量

整个夏玉米生长期,覆膜土壤TN和 NO_3^- -N平均淋失量均明显低于无覆膜耕作,分别低25.68%和20.25%;尽管覆膜土壤 NH_4^+ -N淋失量与无覆膜耕作相比在统计学上差异不显著,但较无覆膜耕作少13.84%(表2). 从夏玉米各生长期来看,覆膜土壤TN和 NO_3^- -N淋失量也都明显低于无覆膜耕作[图1(a)和1(b)],说明覆膜对减少土壤中氮素淋失作用明显. 就覆膜土壤而言,整个夏玉米生长期, NO_3^- -N平均淋失量占TN平均淋失量的59.95%,远高于 NH_4^+ -N平均淋失量占TN平均淋失量的8.06%(表2),说明 NO_3^- -N是土壤中氮素淋失的主要形态.

表2 夏玉米生长期土壤氮素平均淋失量¹⁾/ $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$

Table 2 Average leaching amount of soil nitrogen in summer maize growing period/ $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$

处理	TN		NO_3^- -N		NH_4^+ -N	
	覆膜	无覆膜	覆膜	无覆膜	覆膜	无覆膜
平均淋失量	12.05 ± 3.53a	16.22 ± 3.21b	7.23 ± 3.48a	9.06 ± 3.14b	0.97 ± 0.12a	1.13 ± 0.16a

1)表中数据为均值±标准误差. 各观测指标同一行不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)

2.2 夏玉米生长期覆膜土壤氮素淋失量的变化

夏玉米生长期,覆膜土壤氮素淋失量的变化趋势与无覆膜耕作大致相同,但不同氮素形态的变化趋势有差别(图1). 随着生长期的推进,覆膜土壤TN淋失量呈总体降低的变化趋势,具体表现为前期迅速降低,后期略微升高的“V”型变化特点;覆膜土壤 NO_3^- -N淋失量呈线性减少的变化趋势;覆膜土壤 NH_4^+ -N淋失量呈升高-降低-升高“N”型变化特征.

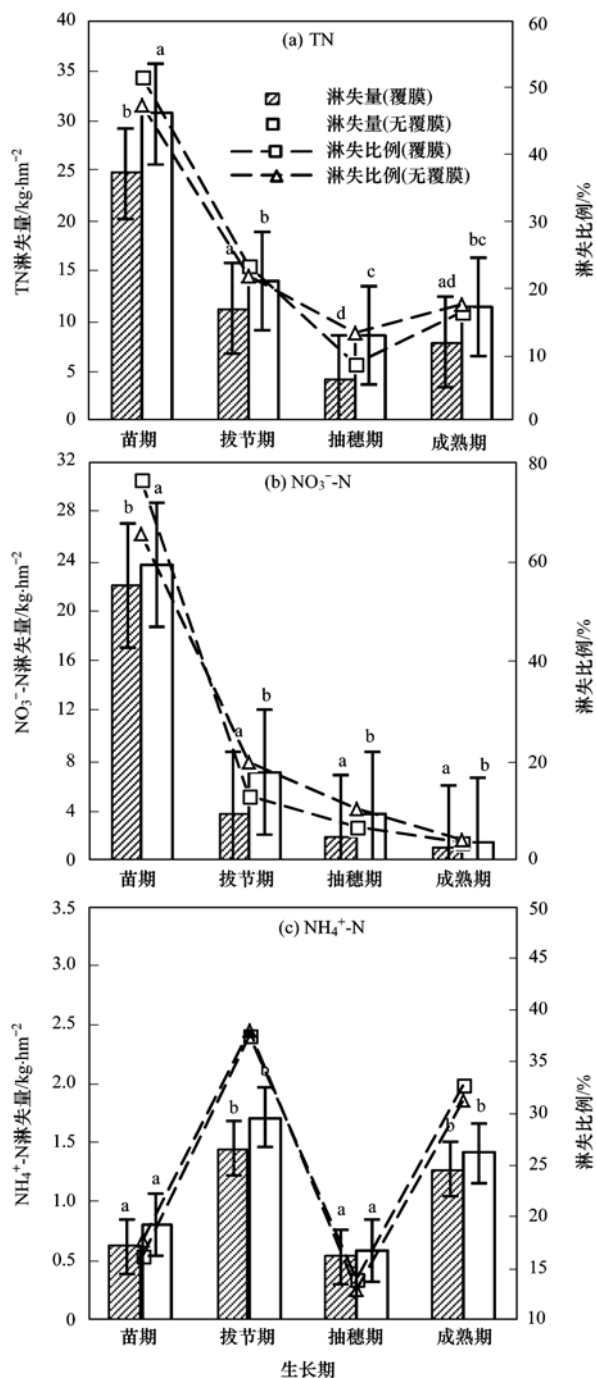
覆膜土壤TN淋失量在苗期出现峰值,淋失比例为51.50%;在拔节期和抽穗期均显著降低,较苗期分别减少54.72%和83.21%,并在抽穗期降至谷值,淋失比例为8.63%;在成熟期略有升高[图1(a)]. 覆膜土壤 NO_3^- -N淋失量在苗期最高,淋失比例为76.50%;在拔节期显著降低,较苗期减少82.90%,随后缓慢降低,在成熟期降至最低,淋失比例为6.64%[图1(b)]. 覆膜土壤 NH_4^+ -N淋失量在苗期较低,在拔节期显著升高,较苗期增加47.04%;在抽穗期显著降低,较拔节期减少63.10%;在成熟期显著升高,较抽穗期增加57.88%[图1(c)].

2.3 覆膜土壤氮素淋失量随生长期变化的影响因子

2.3.1 覆膜土壤氮素含量

夏玉米生长期,覆膜土壤TN、 NO_3^- -N和 NH_4^+ -N含量的变化趋势与无覆膜土壤基本一致(图2). 覆膜土壤TN含量在苗期最高,为0.69 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,随着生长期的推进,在抽穗期降至谷值,较苗期降低25.13%,在成熟期显著升高,较抽穗期增加9.44%[图2(a)]. 覆膜土壤 NO_3^- -N含量在苗期最高,为69.33 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,随着生长期的推进,在抽穗期降至谷值,较苗期低88.47%,在成熟期略微增加,较抽穗期增加52.49%[图2(b)]. 覆膜土壤 NH_4^+ -N含量在苗期较高,为5.69 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,随着生长期推进,在拔节期略有降低,较苗期降低11.33%,在成熟期升至最高,较拔节期增加了64.94%[图2(c)].

由图3可以看出,夏玉米生长期覆膜土壤TN淋失量与土壤TN含量之间可以用线性函数表示[图3(a)],说明覆膜土壤TN淋失量随土壤TN含量升高快速增加. 夏玉米生长期覆膜土壤 NO_3^- -N淋失量与土壤 NO_3^- -N含量之间可以用指数函数表示



图中不同小写字母表示观测指标差异显著 ($P < 0.05$)

图1 夏玉米生长期土壤 TN、 NO_3^- -N 和 NH_4^+ -N 淋失量和淋失比例的变化

Fig. 1 Changes of TN, NO_3^- -N and NH_4^+ -N leaching

amount and ratio in soil during the growth period of summer maize

[图 3(b)], 说明覆膜土壤 NO_3^- -N 淋失量随土壤 NO_3^- -N 含量升高缓慢增加. 夏玉米生长期覆膜土壤 NH_4^+ -N 淋失量与土壤 NH_4^+ -N 含量之间可以用多项式函数表示 [图 3(c)], 说明覆膜土壤 NH_4^+ -N 含量对土壤 NH_4^+ -N 淋失量的影响较小.

2.3.2 覆膜土壤含水量

夏玉米各生长期, 覆膜土壤平均含水量均高于无覆膜耕作, 分别高 2.88%、7.30%、10.63% 和 40.84% (图 4). 夏玉米生长期, 覆膜土壤含水量与无覆膜土壤的变化动态大致相同 (图 4). 覆膜土壤含水量在苗期最高, 为 21.59%, 随着生长期的推进, 覆膜土壤含水量逐渐降低, 在成熟期降至最低, 为 12.66%.

由图 5 分析可知, 夏玉米生长期覆膜土壤 TN 和 NO_3^- -N 淋失量分别与土壤含水量之间均可用线性函数表示 [图 5(a) 和 5(b)], 说明覆膜土壤 TN 和 NO_3^- -N 淋失量均随土壤含水量升高快速增加. 夏玉米生长期覆膜土壤 NH_4^+ -N 淋失量与土壤含水量之间可用多项式函数表示 [图 5(c)], 说明土壤含水量对覆膜土壤 NH_4^+ -N 淋失量影响较小.

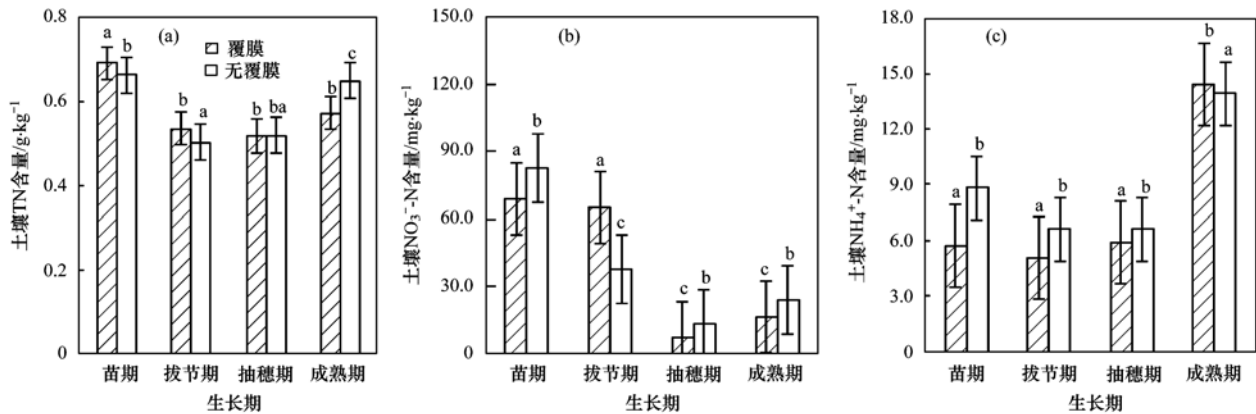
2.3.3 降雨量

夏玉米生长期, 累积降雨量在苗期最高, 占整个生长期总降雨量的 55.08%; 拔节期次之, 占 22.89%; 抽穗期最少, 仅占 8.92%; 成熟期占 13.11% (图 6). 由图 7 可以看出, 夏玉米生长期覆膜土壤 TN 和 NO_3^- -N 淋失量分别与降雨量之间均可用线性函数表示 [图 7(a) 和 7(b)], 说明覆膜土壤 TN 和 NO_3^- -N 淋失量均随降雨量增加快速增加. 夏玉米生长期覆膜土壤 NH_4^+ -N 淋失量与降雨量可用多项式函数表示 [图 7(c)], 说明降雨量对覆膜土壤 NH_4^+ -N 淋失量影响较微弱.

3 讨论

地膜覆盖可降低降雨的直接入渗能力, 调节土壤含水量和氮素含量, 从而影响土壤氮素淋失. 本研究显示, 整个夏玉米生长期, 覆膜土壤 TN 和 NO_3^- -N 平均淋失量均明显低于无覆膜耕作, 分别低 25.68% 和 20.25% (表 2); 夏玉米各生长期, 覆膜土壤 TN 和 NO_3^- -N 淋失量也都明显低于无覆膜耕作 [图 1(a) 和 1(b)]. 这与 Zhang 等^[22]的研究结果基本一致. 其原因可能为, 一是覆膜具有一定的不透水性和耐侵蚀性, 可减少地表直接接纳雨水的面积和降低雨水的直接入渗能力, 影响土壤水分的运移, 降低土壤中氮素的淋失风险^[11,12]; 二是覆膜土壤中氮素有表聚现象^[9], 能减缓土壤氮素向下层运移速度^[16], 减少土壤氮素淋失量; 三是覆膜的保温保墒效应促进了作物的生长, 使作物根系充分吸收土壤氮素^[19], 降低土壤氮素淋失量.

夏玉米生长期, NO_3^- -N 平均淋失量占 TN 平



图中不同小写字母表示观测指标差异显著 ($P < 0.05$)

图2 夏玉米生长期土壤 TN、 NO_3^- -N 和 NH_4^+ -N 含量的变化

Fig. 2 Changes of TN, NO_3^- -N and NH_4^+ -N content in soil during the growth period of summer maize

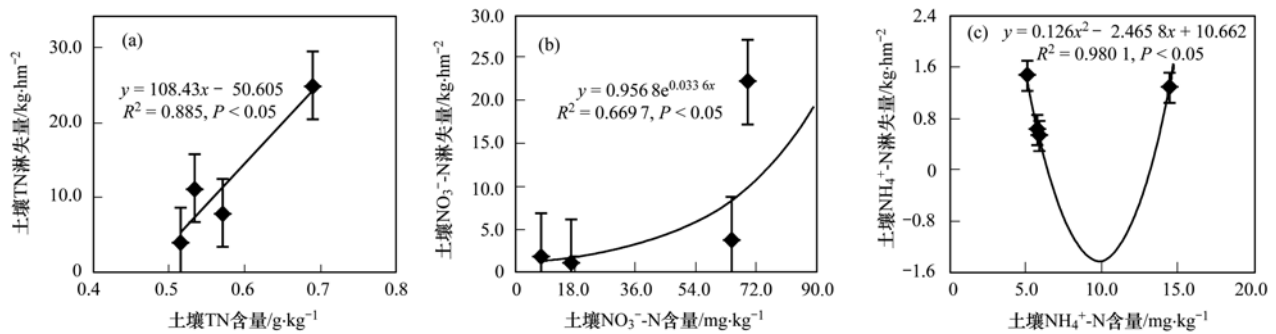
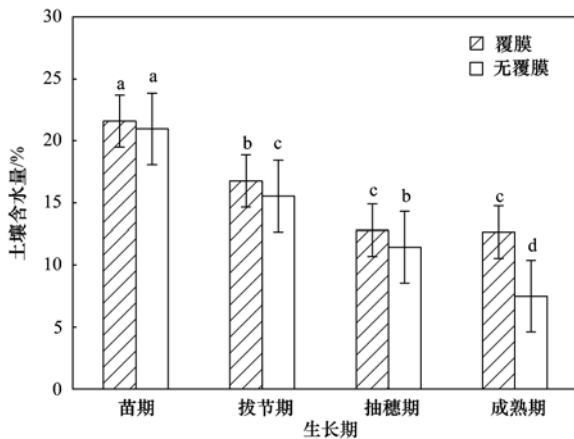


图3 夏玉米生长期覆膜土壤中氮素淋失量与氮素含量的关系

Fig. 3 Relationship between nitrogen leaching and nitrogen content in mulched soil during the growth period of summer maize



图中不同小写字母表示观测指标差异显著 ($P < 0.05$)

图4 夏玉米生长期土壤含水量的变化

Fig. 4 Changes of soil water content during the growing period of summer maize

均淋失量的 59.94% (表 2), 这与已有研究基本一致^[7,23], 表明 NO_3^- -N 是土壤中氮素淋失的主要形态. 原因可能与 NO_3^- -N 自身理化性质有关, NO_3^- -N 是非吸附性离子, 不易被土壤胶体和土壤颗粒吸附, 易随土壤水分迁移^[24]. 另外, 覆膜通过调节土壤含水量

改变土壤净氮矿化速率^[22], 较强的土壤硝化作用使土壤 NH_4^+ -N 转化为 NO_3^- -N^[25], 也可使 NO_3^- -N 淋失量增加.

随着夏玉米生长期的推进, 覆膜土壤 TN 和 NO_3^- -N 淋失量在苗期最高, 随后二者均不同程度减少 [图 1(a) 和 1(b)]. 播前施肥是导致苗期覆膜土壤 TN 和 NO_3^- -N 淋失量较高的原因之一, 施肥使盈余的大量氮素在土壤中累积, 增加土壤氮素含量^[26]. 土壤中氮素含量越多, 随水分运移向下淋失的氮量也增加^[27]. 本研究表明, 夏玉米生长期, 土壤 TN 和 NO_3^- -N 含量越高, 其淋失量也越大 [图 3(a) 和 3(b)], 这与 Vázquez 等^[14] 研究结果相一致. 降雨是土壤中氮素淋失的主要驱动因子^[28], 本研究中, 苗期降雨量均明显高于其他各生长期 (图 6), 由于雨水进入农田后, 不能被全部被土壤滞留和作物利用, 土壤氮素易随水分淋失^[9], 这也是导致苗期土壤 TN 和 NO_3^- -N 淋失量较高的原因之一. 玉米生长旺盛充分吸收土壤氮素, 同时土壤含水量和降雨量的减少导致拔节期、抽穗期和成熟期 TN 和 NO_3^- -N

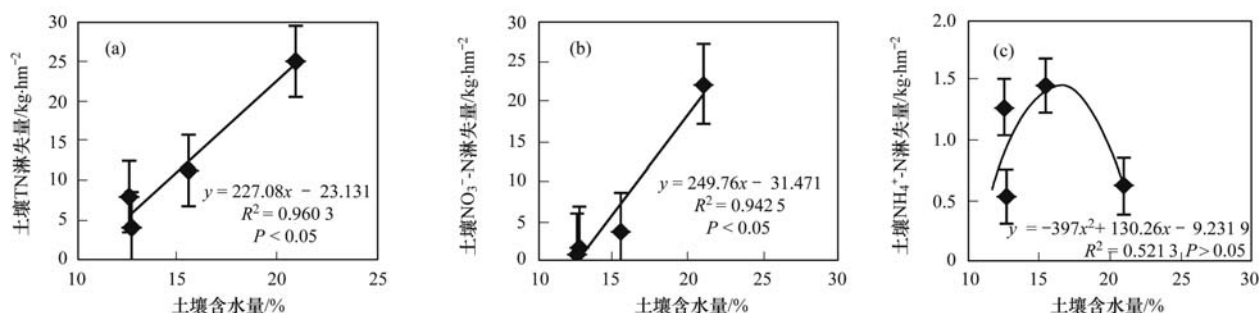


图5 夏玉米生长期内覆膜土壤中氮素淋失量与土壤含水量的关系

Fig. 5 Relationship between nitrogen leaching and water content in mulched soil during the growth period of summer maize

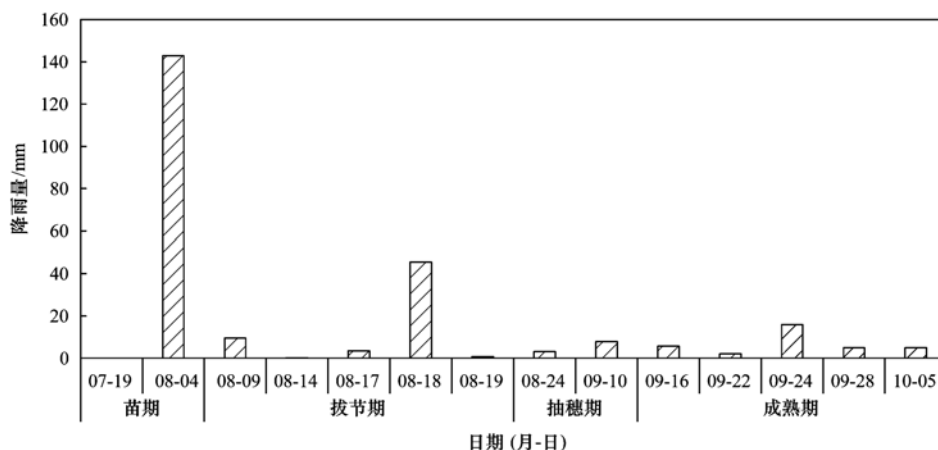


图6 夏玉米生长期内降雨量的变化

Fig. 6 Changes of rainfall during the growing period of summer maize

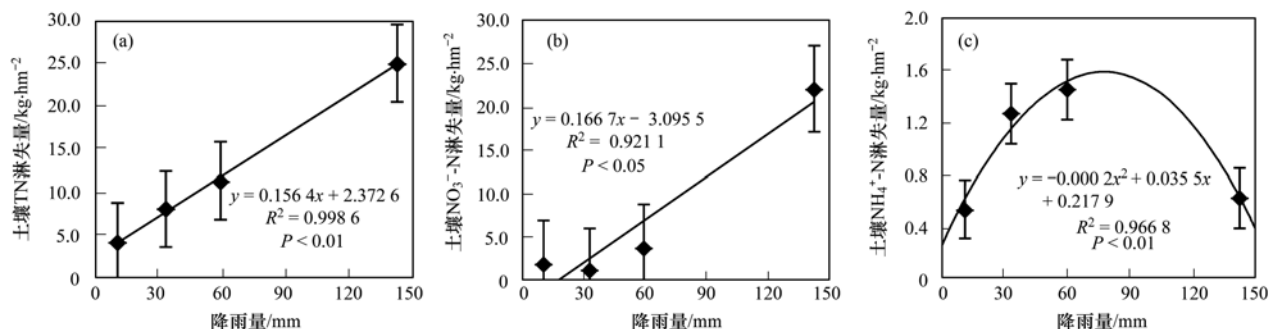


图7 夏玉米生长期内覆膜土壤氮素淋失量与降雨量的关系

Fig. 7 Relationship between leaching amount and rainfall in mulched soil during the growth period of summer Maize

淋失量不同程度降低。

覆膜土壤 TN 和 NO_3^- -N 淋失量与土壤含水量和降雨量密切相关。本研究显示,随着土壤含水量和降雨量增加,土壤 TN 和 NO_3^- -N 淋失量增多(图 5 和图 7)。一方面,土壤水分的垂直运移是氮素淋失的载体^[29],当土壤含水量达到或超过田间持水量时,水分易渗漏,引起氮素淋失^[5];另一方面,土壤含水量是影响土壤氮素转化的主要因素,当土壤含水量在 15% ~ 35% 范围内时,能够促进土壤氮素矿化,

提高土壤氮素含量^[22],增加氮素淋失风险。降雨量较少使土壤含水量较低,可减少土壤中矿化氮的含量^[30],降低土壤中氮素的淋失风险;较大降雨易形成土壤下渗水流,为土壤中氮素的淋失提供载体,增加了土壤中氮素的淋失风险^[4]。当然,氮素淋失还受土壤温度、耕作方式等多种因素的综合影响,存在着较大的年际变化特征^[9],未来可结合这些因素开展多种因素影响下的多年定位综合研究,以准确反映覆膜条件下土壤氮素淋失的变化特征。

4 结论

(1) 覆膜能降低耕层土壤氮素的淋失量, 对减少库区农业非点源污染具有明显的作用. 覆膜土壤 TN 和 NO_3^- -N 淋失量均明显低于无覆膜耕作, 分别低 25.68% 和 20.25%. NO_3^- -N 是覆膜土壤中氮素淋失的主要形态. NO_3^- -N 平均淋失量占 TN 平均淋失量的 59.95%.

(2) 夏玉米生长期内覆膜土壤 TN 和 NO_3^- -N 淋失量具有明显的变化特征. 覆膜土壤 TN 淋失量表现为在苗期最高, 拔节期和抽穗期显著降低, 成熟期略微升高的变化特点; 覆膜土壤 NO_3^- -N 淋失量呈现出在苗期最高, 拔节期显著降低, 随后缓慢降低的变化趋势.

(3) 夏玉米生长期内覆膜土壤 TN 和 NO_3^- -N 淋失量的变化与土壤 TN、 NO_3^- -N 含量, 土壤含水量和降雨量等因子关系密切. 覆膜土壤 TN 和 NO_3^- -N 淋失量分别与土壤中 TN 和 NO_3^- -N 含量之间呈线性函数和指数函数关系, 说明土壤中 TN 和 NO_3^- -N 含量越高, 其淋失风险也越大; 与降雨量和土壤含水量之间均呈显线性函数关系, 说明随着降雨量和耕层含水量的增加, TN 和 NO_3^- -N 淋失量明显增加.

参考文献:

- [1] Li S X, Wang Z H, Li S Q, *et al.* Effect of nitrogen fertilization under plastic mulched and non-plastic mulched conditions on water use by maize plants in dryland areas of China [J]. *Agricultural Water Management*, 2015, **162**: 15-32.
- [2] 杨世琦, 韩瑞芸, 王永生, 等. 猪粪还田对土壤硝态氮淋失的影响研究-以黄灌区稻旱轮作制为例[J]. *中国环境科学*, 2016, **36**(2): 492-499.
Yang S Q, Han R Y, Wang Y S, *et al.* Effect of swine manure application to soil nitrate leaching of paddy-upland rotation-a case study in the Yellow River irrigation area [J]. *China Environmental Science*, 2016, **36**(2): 492-499.
- [3] 丁燕, 杨宪龙, 同延安, 等. 小麦-玉米轮作体系农田氮素淋失特征及氮素表观平衡[J]. *环境科学学报*, 2015, **35**(6): 1914-1921.
Ding Y, Yang X L, Tong Y A, *et al.* Characteristics of N leaching and apparent N budget in cultivated lands under a Winter wheat-summer maize rotation system [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2015, **35**(6): 1914-1921.
- [4] Zhou M H, Butterbach-Bahl K. Assessment of nitrate leaching loss on a yield-scaled basis from maize and wheat cropping systems [J]. *Plant and Soil*, 2014, **374**(1-2): 977-991.
- [5] 张学军, 任发春, 赵营, 等. 引黄灌区设施菜田硝态氮淋失的季节性特征[J]. *农业环境科学学报*, 2014, **33**(10): 1964-1972.
Zhang X J, Ren F C, Zhao Y, *et al.* Seasonal changes of nitrate leaching in greenhouse vegetable field in yellow river irrigation region of Ningxia, China [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2014, **33**(10): 1964-1972.
- [6] Hu K L, Li Y, Chen W P, *et al.* Modeling nitrate leaching and optimizing water and nitrogen management under irrigated maize in desert oases in northwestern China [J]. *Journal of Environmental Quality*, 2010, **39**(2): 667-677.
- [7] 张亦涛, 王洪媛, 刘宏斌, 等. 基于大型渗漏池监测的褐潮土农田水、氮淋失特征[J]. *中国农业科学*, 2016, **49**(1): 110-119.
Zhang Y T, Wang H Y, Liu H B, *et al.* Characteristics of field water and nitrogen leaching in a haplic luvisol soil based on large lysimeter [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2016, **49**(1): 110-119.
- [8] 漆婧华, 张峰, 王莺, 等. 黄土高原半干旱区覆膜玉米农田氮变化动态研究[J]. *草业学报*, 2014, **23**(5): 13-23.
Qi J H, Zhang F, Wang Y, *et al.* Nitrogen dynamics under plastic mulching on the Loess Plateau [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2014, **23**(5): 13-23.
- [9] 张仙梅, 黄高宝, 李玲玲, 等. 覆膜方式对旱作玉米硝态氮时空动态及氮素利用效率的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2011, **29**(5): 26-32.
Zhang X M, Huang G B, Li L L, *et al.* Effects of mulching patterns on spatio-temporal variation of soil nitrate and nitrogen utilization efficiency of maize on dry land [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2011, **29**(5): 26-32.
- [10] Zhao H, Xiong Y C, Li F M, *et al.* Plastic film mulch for half growing-season maximized WUE and yield of potato via moisture-temperature improvement in a semi-arid agroecosystem [J]. *Agricultural Water Management*, 2012, **104**: 68-78.
- [11] Liu Y, Tao Y, Wan K Y, *et al.* Runoff and nutrient losses in citrus orchards on sloping land subjected to different surface mulching practices in the Danjiangkou Reservoir area of China [J]. *Agricultural Water Management*, 2012, **110**: 34-40.
- [12] 刘战东, 高阳, 刘祖贵, 等. 降雨特性和覆盖方式对麦田土壤水分的影响[J]. *农业工程学报*, 2012, **28**(13): 113-120.
Liu Z D, Gao Y, Liu Z G, *et al.* Effects of rainfall characteristics and covering methods on soil moisture of winter wheat [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, **28**(13): 113-120.
- [13] Romic D, Romic M, Borosic J, *et al.* Mulching decreases nitrate leaching in bell pepper (*Capsicum annuum* L.) cultivation [J]. *Agricultural Water Management*, 2003, **60**(2): 87-97.
- [14] Vázquez N, Pardo A, Suso M L, *et al.* Drainage and nitrate leaching under processing tomato growth with drip irrigation and plastic mulching [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2006, **112**(4): 313-323.
- [15] 陈火君, 卫泽斌, 吴启堂, 等. 薄膜覆盖减少化肥养分流失研究[J]. *环境科学*, 2010, **31**(3): 775-780.
Chen H J, Wei Z B, Wu Q T, *et al.* Reducing nutrients loss by plastic film covering chemical fertilizers [J]. *Environmental Science*, 2010, **31**(3): 775-780.
- [16] Wang X K, Li Z B, Xing Y Y. Effects of mulching and nitrogen on soil temperature, water content, nitrate-N content and maize yield in the Loess Plateau of China [J]. *Agricultural Water Management*, 2015, **161**: 53-64.
- [17] Gan Y T, Siddique K H M, Turner N C, *et al.* Ridge-furrow mulching systems-an innovative technique for boosting crop productivity in semiarid rain-fed environments [J]. *Advances in*

- Agronomy, 2013, **118**: 429-476.
- [18] Li R, Hou X Q, Jia Z K, *et al.* Effects on soil temperature, moisture, and maize yield of cultivation with ridge and furrow mulching in the rainfed area of the Loess Plateau, China [J]. Agricultural Water Management, 2013, **116**: 101-109.
- [19] Li Y S, Wu L H, Zhao L M, *et al.* Influence of continuous plastic film mulching on yield, water use efficiency and soil properties of rice fields under non-flooding condition [J]. Soil and Tillage Research, 2007, **93**(2): 370-378.
- [20] Li F M, Wang J, Xu J Z, *et al.* Productivity and soil response to plastic film mulching durations for spring wheat on entisols in the semiarid Loess Plateau of China [J]. Soil and Tillage Research, 2013, **78**(1): 9-20.
- [21] 劳家桢. 土壤农化分析手册[M]. 北京: 农业出版社, 1988. 241-253.
- [22] Zhang H Y, Liu Q J, Yu X X, *et al.* Effects of plastic mulch duration on nitrogen mineralization and leaching in peanut (*Arachis hypogaea*) cultivated land in the Yimeng Mountainous Area, China [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2012, **158**: 164-171.
- [23] Yang X L, Lu Y L, Tong Y A, *et al.* A 5-year lysimeter monitoring of nitrate leaching from wheat-maize rotation system; comparison between optimum N fertilization and conventional farmer N fertilization [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2015, **199**: 34-42.
- [24] 高茹, 李裕元, 杨蕊, 等. 亚热带主要耕作土壤硝态氮淋失特征试验研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, **18**(4): 839-852.
- Gao R, Li Y Y, Yang R, *et al.* Study on nitrate leaching characteristics in arable soils in subtropical region [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2012, **18**(4): 839-852.
- [25] 刘杏认, 董云社, 齐玉春, 等. 温带典型草地土壤净氮矿化作用研究[J]. 环境科学, 2007, **28**(3): 633-639.
- Liu X R, Dong Y S, Qi Y C, *et al.* Soil net nitrogen mineralization in the typical temperate grassland [J]. Environmental Science, 2007, **28**(3): 633-639.
- [26] Fan J, Hao M D, Shao M A. Nitrate accumulation in soil profile of dry land farming in northwest China [J]. Pedosphere, 2003, **13**(4): 367-374.
- [27] Huang M X, Liang T, Ouyang Z, *et al.* Leaching losses of nitrate nitrogen and dissolved organic nitrogen from a yearly two crops system, wheat-maize, under monsoon situations [J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2011, **91**(1): 77-89.
- [28] 高海鹰, 黄丽江, 张奇, 等. 不同降雨强度对农田土壤氮素淋失的影响及 LEACHM 模型验证[J]. 农业环境科学学报, 2008, **27**(4): 1346-1352.
- Gao H Y, Huang L J, Zhang Q, *et al.* Nitrogen leaching under different rainfall intensities for agricultural soils-laboratory experiments and numerical modeling using LEACHM [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2008, **27**(4): 1346-1352.
- [29] Sharma S K, Manchanda H R. Influence of leaching with different amounts of water on desalinization and permeability behaviour of chloride and sulphate-dominated saline soils [J]. Agricultural Water Management, 1996, **31**(3): 225-235.
- [30] Huang Z Q, Xu Z H, Blumfield T J, *et al.* Soil nitrogen mineralization and fate of ($^{15}\text{NH}_4$) $_2\text{SO}_4$ in field-incubated soil in a hardwood plantation of subtropical Australia: the effect of mulching [J]. Journal of Soils and Sediments, 2008, **8**(6): 389-397.

CONTENTS

Air Pollutant Emission Inventory and Impact of Typical Industries on PM _{2.5} in Chengde	CHEN Guo-lei, ZHOU Ying, CHENG Shui-yuan, <i>et al.</i> (4069)
Pollution Characteristics and Emission Coefficient of Volatile Organic Compounds from Woodwork-making Industry in Zhejiang Province	YAO Yi, WANG Zhe-ming, HE Zhi-qiao, <i>et al.</i> (4080)
Emission Inventory of Anthropogenic VOCs and Its Contribution to Ozone Formation in Shanxi Province	YAN Yu-long, PENG Lin (4086)
Characteristics and Source Apportionment of VOCs of High Pollution Process at Chemical Industrial Area in Winter of China	GAO Song, CUI Hu-xiong, FU Qing-yan, <i>et al.</i> (4094)
Study and Application of Test Method for VOCs Emission Factor of Refueling in Service Station	HUANG Yu-hu, CHANG Yao-qing, REN Bi-qi, <i>et al.</i> (4103)
NH ₃ Emission Characteristics in Landfill Sites in Beijing	CUI Tong, LI Jin-xiang, YANG Yan-yan, <i>et al.</i> (4110)
Inventory and Characteristics of Anthropogenic Ammonia Emission in Xi'an	SU Hang, YAN Dong-jie, HUANG Xue-min, <i>et al.</i> (4117)
Pollution Characteristics of Non-methane Hydrocarbons During Winter and Summer in Foshan City	ZHOU Xue-ming, XIANG Ping, DUAN Jing-chun, <i>et al.</i> (4124)
Water-soluble Inorganic Ions in the Road Ambient Atmospheric Particles of Tianjin	ZHAO Meng-xue, WU Lin, FANG Xiao-zhen, <i>et al.</i> (4133)
Characteristics of Nitrogen Deposition in Daiyun Mountain National Nature Reserve	YUAN Lei, LI Wen-zhou, CHEN Wen-wei, <i>et al.</i> (4142)
Microbial Activity in Bioaerosols in Winter at the Coastal Region of Qingdao	MENG Xiang-bin, LI Meng-zhe, LI Hong-tao, <i>et al.</i> (4147)
Molecular and Carbon Isotopic Compositions of <i>n</i> -Alkanoic Acids in Smoke from Maize Straw Combustion	LIU Gang, SUN Li-na, XU Hui, <i>et al.</i> (4156)
Gas Transfer Velocity of CH ₄ at Extremely Low Wind Speeds	ZHANG Cheng, LÜ Xin-biao, LONG Li, <i>et al.</i> (4162)
Spectral Characteristics of Chromophoric Dissolved Organic Matter (DOM) from a Typical Reservoir Lake from Inland of Three Gorges Reservoir Areas: In the View of Riparian Ecosystem Analysis	CHEN Xue-shuang, JIANG Tao, LU Song, <i>et al.</i> (4168)
Characteristics and Pollution Source Analysis of Nutrients in Tributary Outlets of Xitaoxi Watershed	CHEN Shi-wen, YUAN Xu-yin, JIN Jing, <i>et al.</i> (4179)
Analysis of Driving Factors on the Nitrogen Decrease in the Early Stage of the Thermal Stratification in Main Area of Zhoucun Reservoir	ZHANG Chun-hua, HUANG Ting-lin, FANG Kai-kai, <i>et al.</i> (4187)
Characteristics of Organic Phosphorus Fractions in the Sediments of the Black Water Aggregation in Lake Taihu	DONG Dan-ping, ZHANG Ting-xi, ZHANG Ding-yu, <i>et al.</i> (4194)
Impacts of Multiple Disturbance on Migration and Transformation of Endogenous Phosphorus in Lake	CAI Shun-zhi, LI Da-peng, WANG Ren, <i>et al.</i> (4203)
Change of Soil Nitrogen Leaching with Summer Maize Growing Periods Under Plastic Film Mulched Cultivation in Danjiangkou Reservoir Area, China	WANG Wei, YU Xing-xiu, HAN Qiang, <i>et al.</i> (4212)
Nutrients Recovery on the Growth of Nitrogen and Phosphorus Starved <i>Microcystis aeruginosa</i>	YUE Dong-mei, LI Jie, XIAO Lin (4220)
Inactivation Efficiency and Mechanism of Three Dominant Fungal Spores in Drinking Groundwater by Chlorine	WEN Gang, ZHU Hong, HUANG Ting-lin, <i>et al.</i> (4228)
Effect of Water Treatment Process on the Bacterial Multidrug Resistance in Drinking Water	MA Xiao-lin, LU Yang, WANG Yu, <i>et al.</i> (4235)
Characteristics of Disinfection By-products and Genotoxicity During Drinking Water Disinfection with Potassium Monopersulfate Compound Powder	AO Xiu-wei, LI Hao-jie, LIU Wen-jun, <i>et al.</i> (4241)
Heterogeneous Activation of Peroxymonosulfate with Three-dimensional Ordered Mesoporous Co ₃ O ₄ for the Degradation of Rhodamine B	FENG Shan-fang, DENG Si-ping, DU Jia-wen, <i>et al.</i> (4247)
Enhanced Mitigation of Membrane Fouling by Regulations on Floc Morphology in Electrocoagulation	ZHAO Kai, YANG Chun-feng, SUN Jing-qiu, <i>et al.</i> (4255)
Effect of Initial pH on Nitrogen Removal Performance and N ₂ O Emission of a Sequencing Batch CANON Reactor	FU Kun-ming, WANG Hui-fang, SU Xue-ying, <i>et al.</i> (4261)
Operational Characteristics of the Simultaneous Nitrogen and Phosphorus Removal and Removal of Phthalate Esters by Three-dimensional Biofilm-electrode Coupled with Iron/Sulfur Reactor	ZHANG Ya, HAO Rui-xia, XU Peng-cheng, <i>et al.</i> (4268)
Phosphorus Removal Mechanism of Sulfur/Sponge Iron Composite Fillers Based on Denitrification	FAN Jun-hui, HAO Rui-xia, LI Meng, <i>et al.</i> (4275)
Optimization of Denitrifying Phosphorus Removal Performance Based on ABR-MBR Combined Process	CHENG Chao-yang, ZHAO Shi-hui, LÜ Liang, <i>et al.</i> (4282)
Effect of Moderate and Room Temperature on Nitrogen Removal in PN-ANAMMOX Process	YUAN Yan, ZHU Liang (4289)
Influence of Biological Activated Carbon on Simultaneous Nitrification and Denitrification in Inflow with Different C/N Ratios	CUI Yan-ni, QIU Xin, ZHANG Qing-rong, <i>et al.</i> (4296)
Biotransformation of Nitrate to Nitrogen Gas Driven by ANAMMOX Microbes via Zero-valent Iron Under Anaerobic Conditions	ZHOU Jian, WANYAN De-qing, HUANG Yong, <i>et al.</i> (4302)
A Comparative Study on Performance of an Intermittent Aeration SBR and a Traditional SBR for Treatment of Digested Piggery Wastewater	DONG Bao-gang, SONG Xiao-yan, LIU Rui, <i>et al.</i> (4309)
Biological Pre-treatment of Surplus Sludge Using the Protease-secreting Bacteria	HE Pin-jing, WANG Ying, HU Jie, <i>et al.</i> (4317)
Transfer and Fate of Polybrominated Diphenyl Ethers in an Electrical Equipment Dismantling Area Using a Multimedia Fugacity Model	XUE Nan-dong, CHEN Xuan-yu, YANG Bing, <i>et al.</i> (4326)
Distribution Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Environmental Media in Nanning City	MIAO Ying, KONG Xiang-sheng (4333)
PBDEs Levels in House Dust and Human Exposure to PBDEs via Dust Ingestion in Hangzhou	JIN Man-tong, TENG Dan-dan, ZHENG Yan-xia, <i>et al.</i> (4341)
Evaluating Biochar-Water Sorption Coefficients of Pharmaceutically Active Compounds by Using a Linear Free Energy Relationship	WANG Jia-yi, BI Er-ping (4349)
Characteristics of Bacterial Communities in Surface-flow Constructed Wetlands	WEI Jia-ming, CUI Li-juan, LI Wei, <i>et al.</i> (4357)
Community Structure and Activity Analysis of the Nitrifiers in Raw Sewage of Wastewater Treatment Plants	YU Li-fang, DU Qian-qian, FU Xue-tao, <i>et al.</i> (4366)
Effects of Fertilization on Soil Microbial Abundance and Community Structure at DNA and cDNA Levels in Paddy Soils	WANG Cong, WU Ne, HOU Hai-jun, <i>et al.</i> (4372)
Effects of Bisphenol A on Characteristics of Paddy Soil Microbial Community Under Different Cultural Conditions	LIU Chang, HUANG Ya-dan, ZHANG Ying, <i>et al.</i> (4380)
Identification of a Facultative Bacterium Strain with the Ability to Methylate Mercury Under Both Aerobic and Anaerobic Conditions	TAO Lan-lan, XIANG Yu-ping, WANG Ding-yong, <i>et al.</i> (4389)
Distribution Characteristics of Antibiotic Resistance Genes in Vegetable Soils in Beijing	ZHANG Lan-he, WANG Jia-jia, HA Xue-jiao, <i>et al.</i> (4395)
Distribution Characteristics of Antibiotic Resistance Genes in Sika Deer Farm	HUANG Fu-yi, AN Xin-li, CHEN Qing-lin, <i>et al.</i> (4402)
Comparison of Toxic Effect of Siliceous Mineral Dusts on Lung Epithelial A549 Cells	HUO Ting-ting, DONG Fa-qin, DENG Jian-jun, <i>et al.</i> (4410)
Effect of Adding Compound Adsorbent on Phenanthrene and Cr(VI) Absorption by Lou Soil	LI Wen-bin, MENG Zhao-fu, WU Qiong, <i>et al.</i> (4419)
Effect of Biochar on Adsorption Behavior of Nonylphenol onto Loess Soil in Northwest China	ZHANG Zhen-guo, JIANG Yu-feng, MU Zhong-feng, <i>et al.</i> (4428)
Soil Respiration in Response to Different Ridge/Furrow Ratios and Its Relationship with Soil Moisture and Temperature Under Ridge-Furrow Planting Patterns	WANG Chang-jiang, SHI Cheng-xiao, FENG Fan, <i>et al.</i> (4437)
Effects of Straw in Combination with Reducing Fertilization Rate on Soil Nutrients and Enzyme Activity in the Paddy-Vegetable Rotation Soils	HUANG Rong, GAO Ming, WAN Yi-lin, <i>et al.</i> (4446)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 赵进才

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 刘 毅 汤鸿霄 孟 伟 周宗灿 林金明
赵进才 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2016年11月15日 第37卷 第11期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 37 No. 11 Nov. 15, 2016

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	赵进才	Editor-in -Chief		ZHAO Jin-cai
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易集团有限公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 120.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行