ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV

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

环境科学
(HUANJING KEXUE)
ENVIRONMENTAL SCIENCE
第37卷 第11期
2016年11月15日

目 次

第 37 卷第 11 期
2016 年 11 月

环 境 科 学
ENVIRONMENTAL SCIENCE

Vol. 37, No. 11
Nov. ,2016

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%. 夏玉米生长期内,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.hjkx.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汊、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控提供依据．

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 hm^2，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(脲铵氮肥 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监测站观测记录.

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($kg\cdot hm^{-2}$) = 树脂吸附氮含量(kg)/铝合金管管底面积(m^2) ×10 000

土壤氮素淋失比例(%) = 各生长期土壤氮素淋失量($kg\cdot hm^{-2}$)/生长期内土壤氮素淋失总量($kg\cdot hm^{-2}$)

2 结果与分析

2.1 夏玉米生长期内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 夏玉米生长期内土壤氮素平均淋失量[1)]/$kg\cdot hm^{-2}$

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

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 夏玉米生长期内覆膜土壤氮素淋失量的变化

夏玉米生长期内,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.

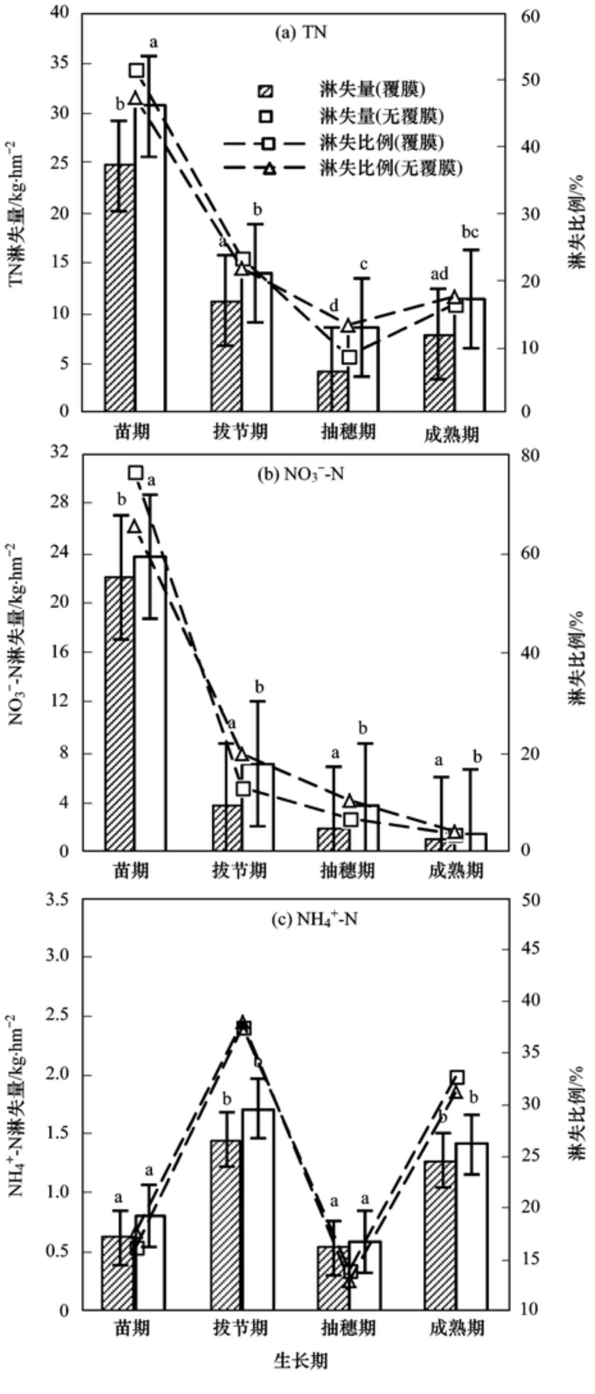
覆膜土壤TN淋失量在苗期出现峰值,淋失比例为51.50%;在拔节期和抽穗期均显著降低,较苗期分别减少54.72%和83.21%,并在抽穗期降至谷值,淋失比例为8.63%;在成熟期略有升高[图1(a)]. 覆膜土壤NO_3^--N淋失量在苗期最高,淋失比例为76.50%;在拔节期显著降低,较苗期减少82.90%,随后缓慢降低,在成熟期降至最低,淋失比例为6.64%[图1(b)]. 覆膜土壤NH_4^+-N淋失量在苗期较低,在拔节期显著升高,较苗期增加47.04%;在抽穗期显著降低,较拔节期减少63.10%;在成熟期显著升高,较抽穗期增加57.88%[图1(c)].

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

夏玉米生长期内,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 $g\cdot kg^{-1}$,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 $mg\cdot kg^{-1}$,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 $mg\cdot kg^{-1}$,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,夏玉米生长期内覆膜土壤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. 夏玉米生长期内覆膜土壤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　夏玉米生长期内土壤 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．夏玉米生长期内覆膜土壤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)．夏玉米生长期内，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，夏玉米生长期内覆膜土壤 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．夏玉米生长期内覆膜土壤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.

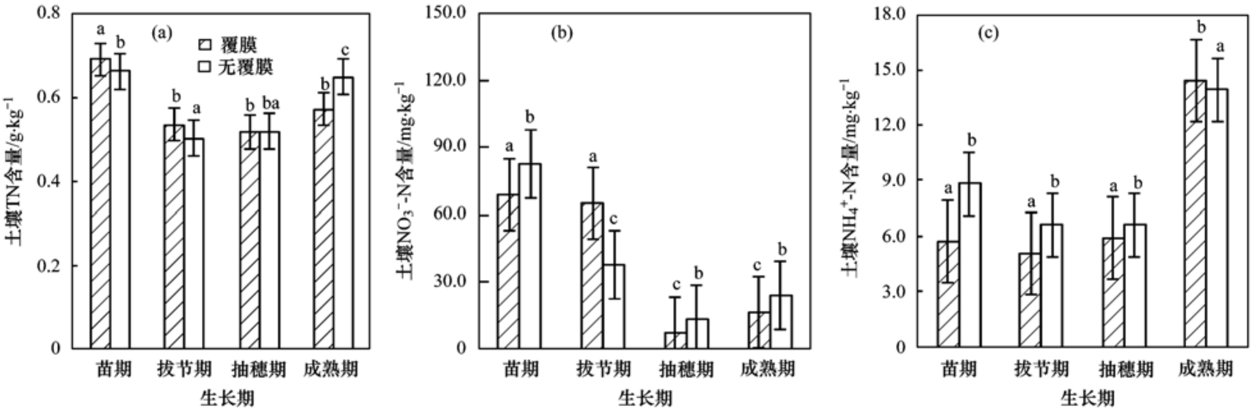
2.3.3　降雨量

夏玉米生长期内，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，夏玉米生长期内覆膜土壤 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．夏玉米生长期内覆膜土壤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.

夏玉米生长期内，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 夏玉米生长期内土壤 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

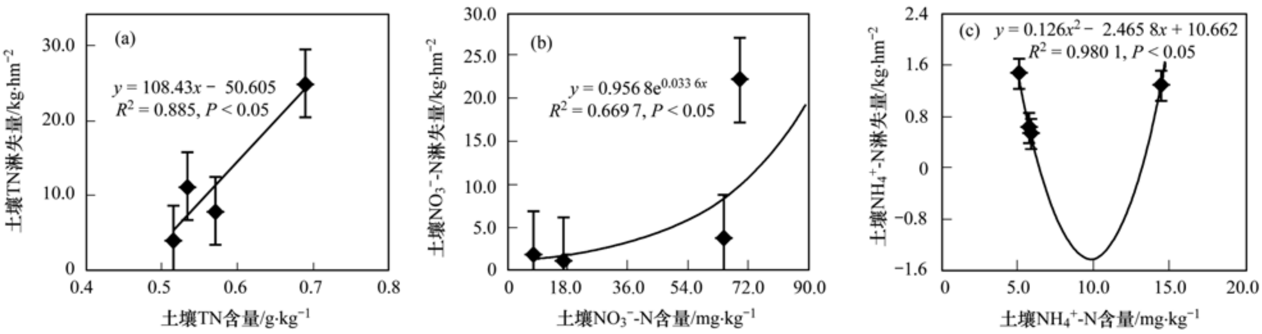
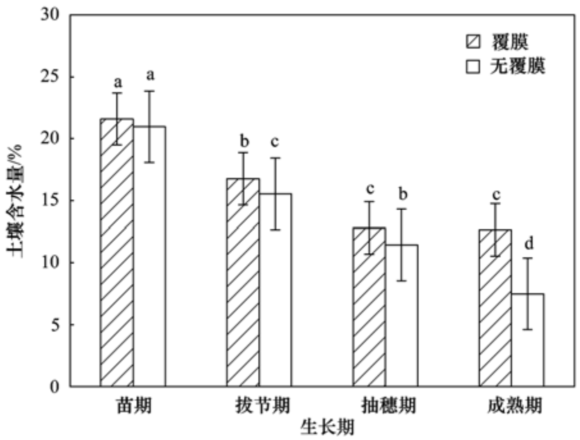


图3 夏玉米生长期内覆膜土壤中氮素淋失量与氮素含量的关系

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 夏玉米生长期内土壤含水量的变化

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,夏玉米生长期内,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

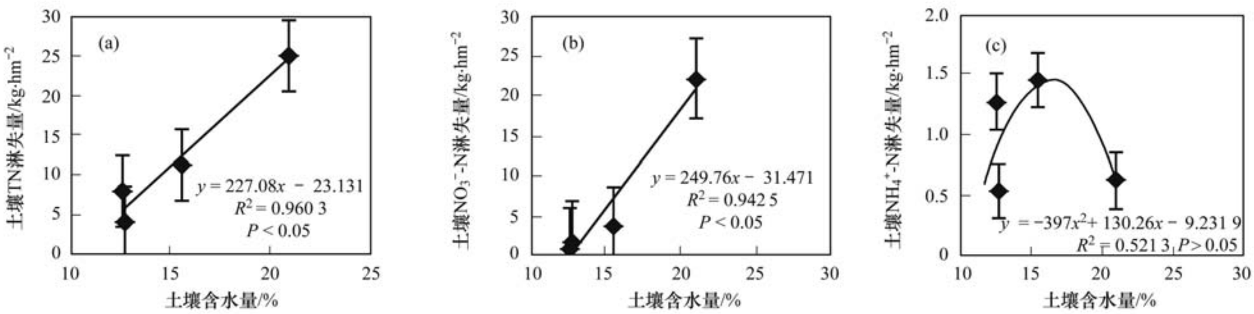


图 5　夏玉米生长期内覆膜土壤中氮素淋失量与土壤含水量的关系

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

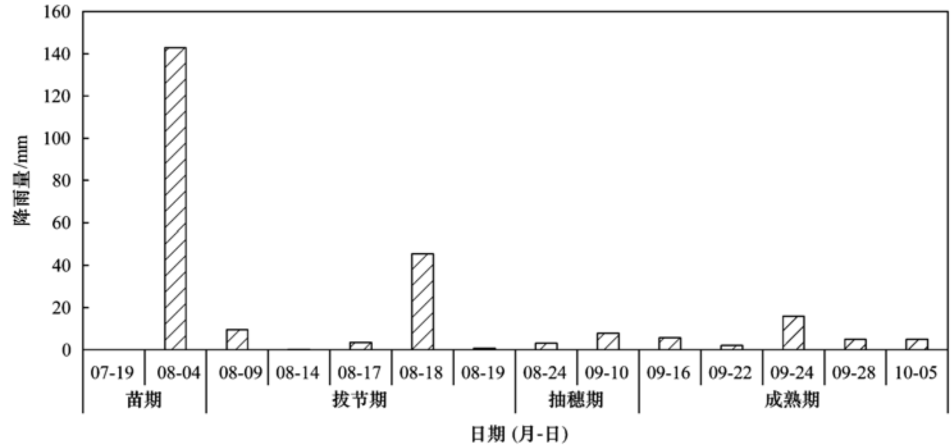


图 6　夏玉米生长期内降雨量的变化

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

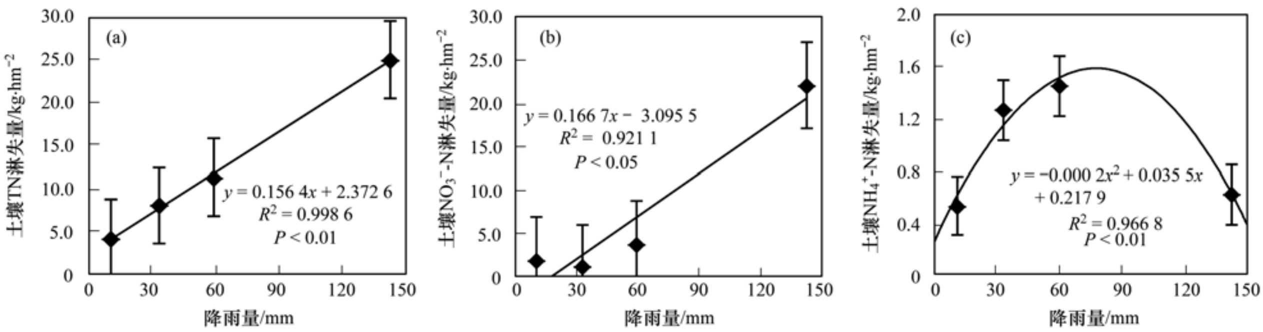


图 7　夏玉米生长期内覆膜土壤氮素淋失量与降雨量的关系

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] 劳家柽. 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 $(^{15}NH_4)_2SO_4$ 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.

HUANJING KEXUE

Environmental Science (monthly)

Vol. 37 No. 11

Nov. 15, 2016

CONTENTS

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
主　办	中国科学院生态环境研究中心
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
主　编	赵进才
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
出　版	科学出版社 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码：100717
印刷装订	北京北林印刷厂
发　行	科学出版社 电话：010-64017032 E-mail：journal@mail.sciencep.com
订购处	全国各地邮电局
国外总发行	中国国际图书贸易集团有限公司 （北京 399 信箱）

Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
Editor-in -Chief		ZHAO Jin-cai
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
Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing　100717, China
Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
Distributed	by	Science Press Tel: 010-64017032 E-mail: journal@mail.sciencep.com
Domestic		All Local Post Offices in China
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