

高晶波, 路永莉, 陈竹君, 等. 猕猴桃园氮素投入特点及硝态氮累积和迁移特性研究[J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(2):322-328.

GAO Jing-bo, LU Yong-li, CHEN Zhu-jun, et al. Nitrogen inputs and nitrate accumulation and movement in soil of kiwifruit orchards[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2016, 35(2): 322-328.

猕猴桃园氮素投入特点及硝态氮累积和迁移特性研究

高晶波^{1,2}, 路永莉^{1,2}, 陈竹君^{1,2}, 周建斌^{1,2*}

(1.西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2.农业部西北植物营养与农业环境重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘要:为指导果园科学施肥及合理评价施肥对环境的影响, 2014年对该区域的陕西省周至县俞家河小流域氮素投入状况进行了调查, 并采集猕猴桃园土壤样品进行测定, 评价了猕猴桃园土壤硝态氮(NO_3^- -N)累积及降雨对坡地猕猴桃园 NO_3^- -N迁移特性的影响。结果表明: 该区域猕猴桃园氮素投入量过高, 盈余量高达 $1195 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 0~200 cm土壤剖面 NO_3^- -N累积量高达 $827 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 且52.1%的 NO_3^- -N累积在100~200 cm土层; 对于坡地猕猴桃园, 坡下部0~200 cm土壤剖面 NO_3^- -N累积量明显高于坡上部, 在经过一个雨季后, 0~200 cm土壤剖面 NO_3^- -N发生明显的向深层土壤淋溶现象且坡下部与坡上部0~200 cm土壤剖面 NO_3^- -N累积量差异增大。俞家河小流域猕猴桃园大量氮素盈余, 造成土壤 NO_3^- -N过分累积, 在集中降雨条件下, NO_3^- -N出现明显的向深层土壤淋溶且可能存在顺坡向下迁移的趋势, 不仅造成氮肥的损失, 而且对地表及地下水环境构成潜在威胁。

关键词:秦岭北麓; 猕猴桃园; 硝态氮累积; 雨季; 硝态氮迁移

中图分类号: S153.6 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2016)02-0322-07 doi:10.11654/jaes.2016.02.016

Nitrogen inputs and nitrate accumulation and movement in soil of kiwifruit orchards

GAO Jing-bo^{1,2}, LU Yong-li^{1,2}, CHEN Zhu-jun^{1,2}, ZHOU Jian-bin^{1,2*}

(1.College of Natural Resource and Environment, Northwest A&F University, Yangling 712100, China; 2.Key Laboratory of Plant Nutrition and the Agri-environment in Northwest China, Ministry of Agriculture, Yangling 712100, China)

Abstract: The northern slope region of the Qinling Mountains is the main growing area of kiwifruit in Shaanxi Province. However, inadequate application of nitrogen(N) in kiwifruit orchard is very common. Therefore, studying N plant utilization and movement in soil is of great significance for achieving balanced fertilization and evaluating the effect of N fertilization on the environment in this region. A survey was conducted in Yujiahe catchment in 2014 to assess the status of N inputs. Soil profile samples in 0~200 cm depth from mature kiwifruit orchards were collected to examine the accumulation and movement of NO_3^- -N in the soil profiles of sloping kiwifruit orchard. Excessive applications of N were very severe in the catchment. The surplus of N applied was high up to $1195 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ with residual NO_3^- -N being $827 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ in the 0~200 cm soil profile, of which 52% of N was accumulated in 100~200 cm soil profile. The accumulation of NO_3^- -N in the 0~200 cm soil profile was dependent on the locations within an orchard; more NO_3^- -N was accumulated in the lower part than in the upper one of a slope. After a rainy season, NO_3^- -N was leached to deeper part of the soil profile. It is concluded that excessive additions of N to kiwifruit orchard in Yujiahe catchment results in high accumulation of NO_3^- -N in the soil. The NO_3^- -N leaching in soil profiles during the rainy season is also severe. Nitrate leaching not only wastes N fertilizer resource, but also increases potential risk to the quality of both surface and groundwater.

Keywords: northern slope region of Qinling Mountains; kiwifruit orchard; NO_3^- -N accumulation; rainy season; NO_3^- -N movement

收稿日期: 2015-08-28

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划项目课题(2012BAD15B04); 高等学校学科创新引智计划(B12007)资助项目

作者简介: 高晶波(1989—), 男, 山东烟台人, 在读硕士, 主要从事果园水肥一体化技术及农业面源污染防治方面的研究。E-mail: jingbogao0927@163.com

* 通信作者: 周建斌 E-mail: jbzhou@nwsuaf.edu.cn

自上世纪80年代以来,我国果树种植发展迅猛,种植面积从178.3万 hm^2 增加到1237.1万 hm^2 ,增加了近6倍(国家统计局2014)。随着果树种植面积的增加,果园氮肥投入量也在不断攀升,过量施氮问题日益凸显。卢树昌等^[2]对河北省果园调查发现,果园氮素投入水平总体较高,其平均投入量为 $619\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$;巨晓棠等^[3]对山东省惠民县果园氮素投入状况调查发现,其果园氮素平均投入量为 $842\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$;赵佐平等^[4]研究发现,陕西省果园主要分布区氮素投入量高达 $1066\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

过量的氮肥投入造成果园土壤 NO_3^--N 大量累积。刘宏斌等^[5]2004年对北京市254个深层土壤剖面 NO_3^--N 累积研究发现,果园土壤平均高达 $1148\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$;刘小勇等^[6]对甘肃陇东地区不同树龄苹果园土壤矿质态氮的分布和积累特性研究发现,22年生果园0~120 cm土层 NO_3^--N 累积量高达 $2602\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$;樊军等^[7]对陕西省长武县果园土壤 NO_3^--N 累积研究表明,土壤0~200 cm剖面 NO_3^--N 累积量高达 $1940\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。在水分利用不当的情况下,土壤 NO_3^--N 过量累积极易向下淋溶进而污染地下水^[8-9]。巨晓棠等^[3]对山东省惠民县保护地浅水井取样调查发现, NO_3^--N 含量超标率高达99%;茹淑华等^[10]于2006—2012年对河北省11个地市地下水连续取样监测表明,河北省地下水 NO_3^--N 含量呈逐年明显增加的趋势,其 NO_3^--N 含量超标率为22%。可见前人对 NO_3^--N 的淋溶损失已开展了不少研究,但大都集中在小田块尺度,且多以平地为主要研究对象,对小流域尺度尤其是流域内坡地果园系统氮素养分盈余状况及其雨季前后 NO_3^--N 累积及迁移特性研究相对较少。

陕西省是我国猕猴桃主要产区之一,截至2014年底,全省猕猴桃种植面积为62000 hm^2 ,产量达120.59万t,面积和产量占全国的60%以上;陕西猕猴桃生产主要集中在秦岭北麓地区^[11-12]。该区域土壤多发育于山前洪积扇,耕地坡度大,加之猕猴桃果园养分投入尤其是氮肥的投入量过高,灌溉量大,属 NO_3^--N 淋溶的高风险区,而关于该区域猕猴桃园 NO_3^--N 累积的研究尚鲜见报道。因此,本研究选择位于秦岭北麓周至县竹峪镇猕猴桃密集种植区的俞家河小流域为研究对象,研究了猕猴桃栽培下土壤氮素盈余及土壤 NO_3^--N 累积状况,以及降雨对猕猴桃园土壤硝态氮淋溶的影响,旨在评价该区域猕猴桃园土壤硝态氮累积及淋溶风险,为有效控制农业面源污染的发生提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区域为陕西省周至县西南塬区的俞家河小流域($107^{\circ}39'\sim 108^{\circ}37'\text{E}$, $33^{\circ}42'\sim 34^{\circ}14'\text{N}$),流域面积为412.37 hm^2 ,海拔482~680 m,南依秦岭,北濒渭水,属温带大陆性季风气候,年平均气温 13.2°C ,年平均降水651 mm,集中在每年7—9月,无霜期225 d,年均光照时数2154.7 h,流域地貌为典型“V”形沟谷地貌,土壤多发于山前洪积扇,耕地以坡地为主,其种植作物主要为猕猴桃,猕猴桃园85%分布在 $2\sim 15^{\circ}$ 的坡地上,主要土壤类型为塬土中的立茬土,质地较为黏重,物理性质不良。

1.2 试验设计

1.2.1 猕猴桃园氮素投入与携出状况研究

2014年在该流域随机选取78个猕猴桃园,调查果园氮素投入状况及果实产量,并在整个流域范围内选取46个有一定代表性的成龄猕猴桃园,采用土钻采集土壤剖面样品(0~200 cm,每20 cm为一层),同一果园选择3个点,相同土层混合组成混合土样;测定土壤 NO_3^--N 含量,研究猕猴桃园 NO_3^--N 累积状况。同时,随机选取46个果园中10个猕猴桃园并在果实收获期和收获后分别采集果实样品与修剪枝条样品,以评价猕猴桃园氮素投入与携出状况。

1.2.2 猕猴桃园 NO_3^--N 淋溶特性研究

沿俞家河两岸,随机选取6个具有一定坡度($3^{\circ}\sim 5^{\circ}$)的猕猴桃园,将每一果园上部定义为“坡上部”,下部定义为“坡下部”,坡面平均长度为57 m。于2014年5月和10月分别在各果园的坡上部和坡下部采用土钻采集土壤样品(0~200 cm,每20 cm为一层),同一果园同一坡度沿等高线采集3点作为3次重复,每点为3钻相同土层混合样,测定土壤 NO_3^--N 含量,探究雨季前后坡地猕猴桃园土壤 NO_3^--N 空间分布及迁移特性。

1.3 样品采集与测定

土壤样品采集与测定:土壤样品采集深度均为200 cm,每20 cm为一个土层分层采样。每层土样经充分混合后,取100 g左右装入塑料袋标记密封,置于冷藏箱内带回实验室立即浸提,测定土壤 NO_3^--N 含量。 $1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{KCl}$ 浸提(水土比10:1),全自动流动分析仪(AA3, Bran and Luebbe, Germany)法测定 NO_3^--N 含量^[13]。

植物样品采集与测定:在果实收获期,每个猕猴

桃园采集果实样品 20 个以上组成混合样。同时,在果实收获后称量修剪枝条总量并采集枝条样品带回实验室测定。测定养分含量前应先果实切片,枝条剪碎,烘干至恒重,计算含水量,然后粉碎过 0.25 mm 筛以备测定,采用 $H_2SO_4-H_2O_2$ 消煮,采用 AA3 型全自动流动分析仪测定果实 N 含量。

1.4 参数选择及计算方法

氮素平衡:氮素表观平衡=输入项(化肥氮+有机肥氮+沉降氮)-输出项(收获携走氮+树体贮存氮)

输入项:化肥氮依据调查农户施肥包装袋上标识的养分含量计算;有机肥依据调查的实际值,根据《中国有机肥养分志》提供的标准值计算^[14];沉降氮参考梁婷等^[15]对陕西省 5 个监测点连续一年观测所得结果。

输出项:调查区果实产量、面积按照农户实际调查值计算,果实及枝条养分含量按照实验测定结果计算,树体贮存氮参考王建等^[16]对陕西省周至县 10 年生猕猴桃树体各器官年周期氮素累积量数据。本区域猕猴桃园农户未将脱落叶片移出果园,而是将其翻压入土,养分归还于土壤,因此叶片氮素养分携出量并未计入输出项之中。

降雨数据:由本研究所布设的雨量计及当地气象部门提供。该区域 1990—2014 年年降雨量数据显示,其平均降雨量为 651 mm,5—10 月总降雨量为 544 mm;2014 年年降雨量为 711 mm,5—10 月总降雨量为 515 mm。

1.5 数据处理

采用 Excel 2003 软件进行数据分析,用 SAS 8.0 统计分析软件对数据进行差异显著性检验(LSD 法),采用 SigmaPlot 12.0 软件作图。

2 结果与分析

2.1 猕猴桃园氮素养分投入现状

由图 1 可以看出,研究区域猕猴桃园化肥氮投入量差异较大,但普遍偏高;调查的 78 个成龄猕猴桃园化肥氮投入量变幅为 189~2541 $kg \cdot hm^{-2}$,平均高达 1047 $kg \cdot hm^{-2}$,有机肥氮投入量为 246 $kg \cdot hm^{-2}$,表明该研究区域氮素投入仍以化肥氮为主。

根据路永莉等^[17]2012、2013 年对该区域猕猴桃园化肥氮投入量及猕猴桃产量进行调查所得结果,当地猕猴桃园适宜化肥氮投入量 375~500 $kg \cdot hm^{-2}$;依据养分投入量的分级方法和原则^[18],将小于合理用量的 50% 定义为“过低”,大于合理用量的 50% 为“过高”,

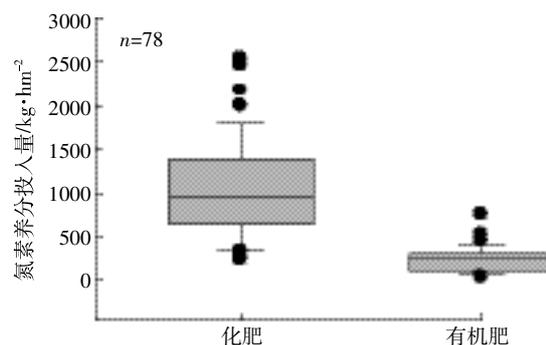


图 1 2014 年俞家河小流域猕猴桃园氮素投入量

Figure 1 Nitrogen inputs from mineral fertilizer and manure in Yujiahe catchment in 2014

“合理”与“过低”之间为“偏低”,“合理”与“过高”之间为“偏高”这一分级标准。由此得出,该区域在 2014 年化肥氮投入量合理比例仅占 6.4%,投入偏低比例为 11.5%,投入超过适宜水平的比例占 82.1%,其中投入过高比例占 67.9%(表 1)。这说明该区域化肥氮投入过量现象较严重。

表 1 俞家河小流域猕猴桃园化肥氮投入分级

Table 1 Grades of N inputs from chemical fertilizer in Yujiahe catchment

分级 Grade	样本数量 Sample size	样本分布频率% Sample distribution frequency/%
过低 Low(<188)	0	0
偏低 Slight low(188~375)	9	11.5
合理 Rational(375~500)	5	6.4
偏高 Slight high(500~750)	11	14.1
过高 High(>750)	53	68.0
总计 Total	78	100

注:括号内为化肥氮投入量($kg \cdot hm^{-2}$)。

Note: () indicates actual inputs of chemical N fertilizer($kg \cdot hm^{-2}$).

2.2 猕猴桃园氮素养分表观平衡

由表 2 可以看出,猕猴桃园系统每年的氮素投入量为 1322 $kg \cdot hm^{-2}$,而化肥氮成为氮素投入的主要形式。对于猕猴桃园而言,每年由果实收获、枝条修剪及树体贮存所携出的氮素分别为 62、28、37 $kg \cdot hm^{-2}$,三者总携出量为 127 $kg \cdot hm^{-2}$,仅为氮素养分投入量的 9.6%,远低于氮素养分投入量,氮素表观盈余量高达 1195 $kg \cdot hm^{-2}$ 。

2.3 猕猴桃园土壤剖面 NO_3^-N 含量及累积量

由图 2 可以看出,在 0~80 cm 土层,随着土层的加深, NO_3^-N 含量增加,在 80 cm 土层出现最大值(36.3 $mg \cdot kg^{-1}$);80 cm 以下随土层的加深, NO_3^-N 含

表2 猕猴桃园氮素平衡状况($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)Table 2 Average annual nitrogen balance in kiwifruit orchards($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)

输入 Inputs 和输出 Outputs	平均值(标准差)
施用化肥氮 Chemical N	1047(563)
施用有机肥氮 Manure N	246(148)
大气干湿沉降氮 Wet and Dry deposition N	29 ^[5]
总输入 Total input	1322(526)
果实携出氮 N removed by fruits harvest	62(14)
枝条携出氮 N Removed by wood pruning	28(7)
树体贮存氮 N stored in kiwifruit vine	37 ^[6]
总携出 Total output	127(16)
氮素表现盈余 N surplus	1195

注:树体贮存氮参考王建等^[6]研究结果,按照树体贮存氮=树体年周期吸收氮素总量-(果实收获+叶片携出+枝条修剪)所得。

Note: N stored in kiwifruit vine obtained from the data from literature (Wang Jian et al^[6]): N stored in kiwifruit vine=annual N absorption of kiwifruit vine-N removed by fruits harvest plus N removed by leaves plus N removed by wood pruning.

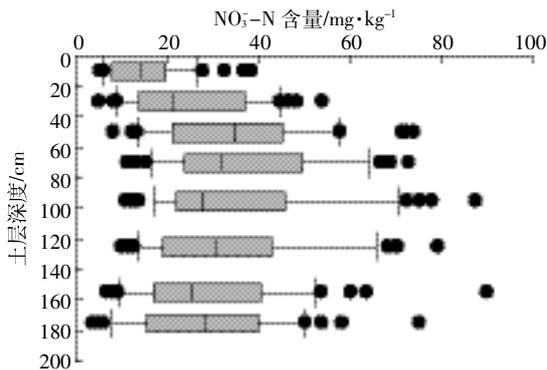


图2 猕猴桃园 0~200 cm 土壤剖面 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量变化($n=46$)
Figure 2 Changes of $\text{NO}_3\text{-N}$ content in 0~200 cm soil profile of kiwifruit orchards($n=46$)

量降低,在 170~200 cm 土层 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量出现最低($29.2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$),但仍高于表层土壤 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量。这说明猕猴桃园土壤 $\text{NO}_3\text{-N}$ 出现明显的向土壤深层淋溶现象。

该区域猕猴桃园土壤 $\text{NO}_3\text{-N}$ 累积现象突出(图3)。在 0~200 cm 土壤剖面 $\text{NO}_3\text{-N}$ 累积量平均高达 $827 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,其中 0~100 cm 土层 $\text{NO}_3\text{-N}$ 累积量为 $396 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,占 0~200 cm 土层 $\text{NO}_3\text{-N}$ 累积量的 47.9%;而 100~200 cm 土层 $\text{NO}_3\text{-N}$ 累积量为 $431 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,占 0~200 cm 土层 $\text{NO}_3\text{-N}$ 累积量的 52.1%。

2.4 雨季前后猕猴桃园不同坡位土壤剖面 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量及累积量变化

由图4可以看出,在雨季之前,坡上部与坡下部土壤剖面 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量均出现先增加后减少的趋势,

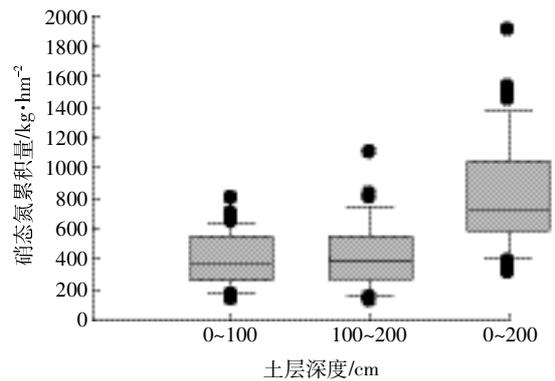
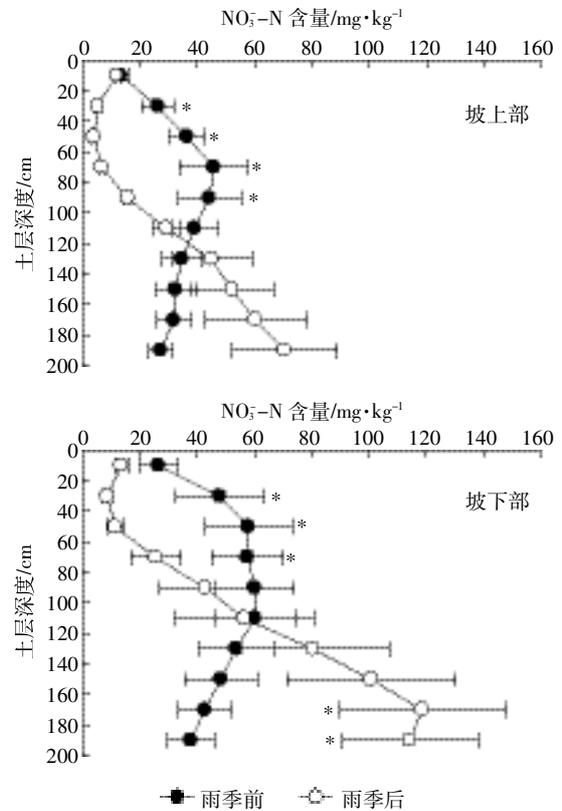


图3 猕猴桃园 0~200 cm 土壤剖面 $\text{NO}_3\text{-N}$ 累积量变化($n=46$)
Figure 3 Changes of $\text{NO}_3\text{-N}$ accumulation in 0~200 cm soil profile of kiwifruit orchards($n=46$)



*表示各处理间差异显著($P<0.05$)

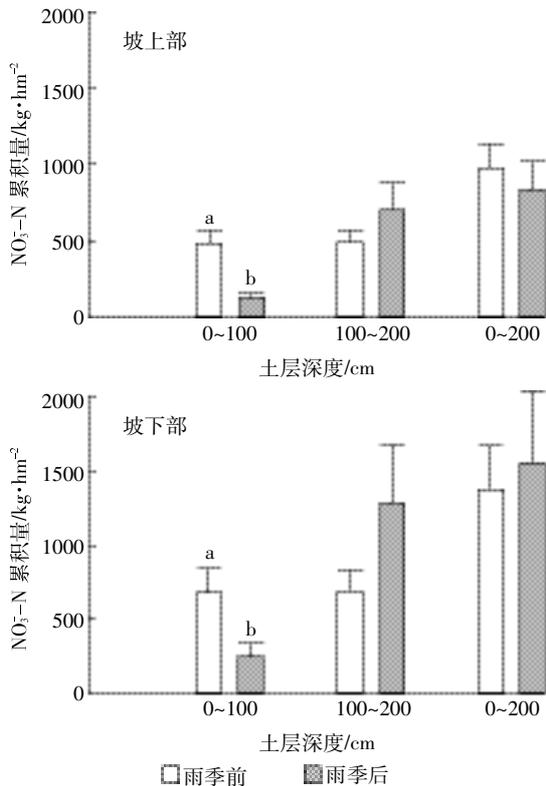
*indicates significant differences($P<0.05$) between different treatments

图4 雨季前后同一坡位 0~200 cm 土壤剖面 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量变化
Figure 4 Changes of $\text{NO}_3\text{-N}$ content in 0~200 cm soil profile at different slope positions before and after a rainy season(Mean \pm SE)

其 $\text{NO}_3\text{-N}$ 最大含量主要分布于 60~120 cm 土层,分别为 45.7 、 $60.8 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。经过一季降雨之后,坡上部与坡下部土壤剖面 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量出现先减少后增加的趋势,且 $\text{NO}_3\text{-N}$ 最大含量分布于 160 cm 以下土层,分别为 70.4 、 $118.7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。这说明,经过一季降雨,

NO_3^- -N 出现明显向深层土壤淋溶现象,其迁移距离超过 60 cm。对比雨季前后可知,坡下部各土层 NO_3^- -N 含量均明显高于坡上部各土层 NO_3^- -N 含量,且雨季前后,随着土层深度的增加,坡上部与坡下部各土层 NO_3^- -N 含量差异逐渐增大。

由图 5 可以看出,较雨季前相比,雨季坡上部与坡下部 0~100 cm 土层 NO_3^- -N 累积量均明显降低,差异达显著水平($P<0.05$)。雨季前,坡上部 0~100 cm 与 100~200 cm 土层 NO_3^- -N 累积量分别为 $485 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $490 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,占 0~200 cm 土壤剖面 NO_3^- -N 累积量的 49.7%和 50.3%;雨季后,二者的比例分别为 15.9%和 84.1%。在雨季前后,坡下部土壤 NO_3^- -N 的累积量也呈现相似的规律,且雨季后,坡上部与坡下部 100~200 cm 土层 NO_3^- -N 累积量分别增加 214、 $591 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,说明经过一季降雨之后 0~100 cm 土壤 NO_3^- -N 出现了明显向下淋溶的现象。对于坡上部与坡下部而言,无论雨季前还是雨季后,坡下部 0~200 cm 土层 NO_3^- -N 累积量均高于坡上部,且雨季之



不同小写字母表示各处理间差异显著($P<0.05$)

Different lowercase letters indicate significant differences ($P<0.05$) between different treatments

图 5 雨季前后同一坡位 0~200 cm 土层 NO_3^- -N 累积量变化

Figure 5 Change of NO_3^- -N accumulation in 0~200 cm soil profile at different slope positions before and after rainy season (Mean \pm SE)

后两者之间的差异增大,坡上部雨季后 0~200 cm 土层 NO_3^- -N 与雨季前相比有所降低,降幅为 14.1%,而坡下部雨季后 0~200 cm 土层 NO_3^- -N 累积量与雨季前相比有所增加,增幅为 13.1%,说明降雨引起 NO_3^- -N 向深层土壤淋溶及可能向地势低的部位移动。

3 讨论

3.1 研究区猕猴桃园氮素施用状况分析

研究小流域猕猴桃园肥料氮平均投入量为推荐施用量的 2 倍以上^[16,19-21],投入过量的所占比例高达 82.1%(表 1),说明当地猕猴桃生产中过量施用氮肥问题较为严重。猕猴桃园 0~200 cm 土壤剖面 NO_3^- -N 累积量高达 $827 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,显著高于当地农田土壤,进一步印证了猕猴桃园过量施用氮肥问题^[22-23]。土壤 0~200 cm 剖面累积的 NO_3^- -N,有 52.1%位于 100~200 cm 土层(图 3),而猕猴桃的根系主要集中在 0~60 cm 土层,占根总量的 90.6%~92.0%^[24-25]。如果以 100 cm 作为评价 NO_3^- -N 淋失的界限,那么在猕猴桃园 0~200 cm 土壤剖面内将有超过 50%的 NO_3^- -N 因无法被猕猴桃根系吸收利用而被淋溶到更深层土壤,不仅造成养分的大量损失,而且对地下水环境构成了潜在的威胁^[26]。因此,研究区域过量施用氮肥引起的硝态氮的淋溶损失风险值得关注。

同时我们发现,该区域尚有少量猕猴桃园(占研究果园的 11.5%)存在化肥氮投入不足的问题。因此,有必要针对不同果园开展测土施肥的研究工作,指导果农针对性的施肥。

3.2 降雨对坡地猕猴桃园土壤硝态氮迁移特性的影响

已有的关于果园硝态氮淋溶的研究多集中在其在土壤剖面的垂直迁移方面,对坡地果园硝态氮随坡向迁移的研究相对较少。本研究监测了研究小流域 6 个成龄猕猴桃园雨季前后坡上部与坡下部 0~200 cm 土壤剖面 NO_3^- -N 的分布,发现与雨季前相比,雨季后坡上部 0~200 cm 土壤剖面 NO_3^- -N 累积量明显减少,而坡下部 0~200 cm 土壤剖面 NO_3^- -N 累积量增加(图 5),说明经过一个雨季可能引起土壤 NO_3^- -N 由坡上向坡下迁移。水分是土壤养分流失的主要驱动力之一^[27],对黄土高原中部不同相对高度及不同坡位土壤水分变化的研究表明^[28-29]:相对高度与土壤含水量呈负相关,即随着相对高度的增加,土壤含水量呈降低趋势,同一坡面自坡底到坡顶土壤水分也有类似的变化趋势。由于研究地区猕猴桃园多建在坡地,因此,雨季后坡下土壤剖面硝态氮累积量的增加与水分的移

动有关。为防止硝态氮的淋溶损失,应采取秸秆覆盖、修拦蓄梁等方式保蓄水分。

硝态氮由坡上向坡下迁移的机理包括地表径流及壤中流^[28]。本研究尚难以准确区分二者对硝态氮迁移的贡献,但我们在研究中发现,该区域猕猴桃园由于坡度较缓($3^{\circ}\sim 5^{\circ}$),加之猕猴桃树冠较大,郁闭度高,土壤表面粗糙,在降雨过程中未明显观察到地表径流产生。紫色土坡耕地累积的硝酸盐的移动表明^[30],壤中流迁移是硝酸盐淋失的主要机制。据刘全等^[31]对3场自然降雨过程中壤中流所携带 NO_3^- -N流失研究表明,由壤中流携带的 NO_3^- -N流失量占径流小区硝态氮总流失量的87.8%~99.0%,表明壤中流是坡耕地 NO_3^- -N流失的主要方式。因此,壤中流也可能是本试验条件下土壤 NO_3^- -N由坡上向坡下迁移的主要机理。

4 结论

(1)秦岭北麓俞家河小流域猕猴桃园化肥氮投入过量问题较为严重;(2)过高的养分投入及过低的养分携出,造成大量氮素盈余于猕猴桃园土壤中,致使猕猴桃园土壤 NO_3^- -N大量累积,0~200 cm NO_3^- -N累积量高达 $827\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,且超过50%的 NO_3^- -N已达到作物难以利用的深度;(3)经过一个雨季猕猴桃园下层土壤及坡下土壤剖面 NO_3^- -N累积量增加,说明 NO_3^- -N垂直及径向淋溶明显,其对地表及地下水环境的潜在威胁值得关注。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国统计局. 中国统计年鉴 2014[M]. 北京: 中国统计出版社, 2014: 368-372.
National Bureau of Statistics of China. China statistical year book 2014 [M]. Beijing: China statistics press, 2014: 368-372.
- [2] 卢树昌, 陈清, 张福锁, 等. 河北省果园氮素投入特点及其土壤氮素负荷分析[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(5): 858-865.
LU Shu-chang, CHEN Qing, ZHANG Fu-suo, et al. Analysis of nitrogen input and soil nitrogen load in orchards of Hebei Province[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2008, 14(5): 858-865.
- [3] Ju X T, Kou C L, Zhang F S, et al. Nitrogen balance and groundwater nitrate contamination: Comparison among three intensive cropping systems on the North China Plain[J]. *Environmental Pollution*, 2006, 143(1): 117-125.
- [4] 赵佐平, 闫莎, 刘芬, 等. 陕西果园主要分布区氮素投入特点及氮负荷风险分析[J]. 生态学报, 2014, 34(19): 5642-5649.
ZHAO Zuo-ping, YAN Sha, LIU Fen, et al. Analysis of nitrogen input and soil nitrogen loading in different kinds of orchards in Shaanxi Province[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(19): 5642-5649.
- [5] 刘宏斌, 李志宏, 张云贵, 等. 北京市农田土壤硝态氮的分布与累积特征[J]. 中国农业科学学报, 2004, 37(5): 692-698.
LIU Hong-bin, LI Zhi-hong, ZHANG Yun-gui, et al. Characteristics of nitrate distribution and accumulation in soil profiles under main agro-land use types in Beijing[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(5): 692-698.
- [6] 刘小勇, 董铁, 张坤, 等. 甘肃陇东旱塬不同树龄苹果园矿质氮的分布和累积特征[J]. 应用生态学报, 2010, 21(3): 796-800.
LIU Xiao-yong, DONG Tie, ZHANG Kun, et al. Distribution and accumulation of mineral nitrogen in apple orchard soils in dry plateau of eastern Gansu Province[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(3): 796-800.
- [7] 樊军, 邵明安, 郝明德, 等. 黄土旱塬塬面生态系统土壤硝酸盐累积分布特征[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(1): 8-12.
FAN Jun, SHAO Ming-an, HAO Ming-de, et al. Nitrate accumulation and distribution in soil profile in ecosystem of upland on the Loess Plateau[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2005, 11(1): 8-12.
- [8] 黄满湘, 章申, 张国良. 北京地区冬小麦/夏玉米连作条件下 NO_3^- -N淋失[J]. 地理研究, 2002, 21(4): 425-433.
HUANG Man-xiang, ZHANG Shen, ZHANG Guo-liang, et al. Nitrate leaching from a winter wheat/summer maize rotation in Beijing Area[J]. *Geographical Research*, 2002, 21(4): 425-433.
- [9] 张庆忠, 陈欣, 沈善敏. 农田土壤硝酸盐积累与淋失研究进展[J]. 应用生态学报, 2002, 13(2): 233-238.
ZHANG Qing-zhong, CHEN Xin, SHEN Shan-min, et al. Advances in studies on accumulation and leaching of nitrate in farming soil[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(2): 233-238.
- [10] 茹淑华, 张国印, 孙世友, 等. 河北省地下水硝酸盐污染总体状况及时空变异规律[J]. 农业资源与环境学报, 2013, 30(5): 48-52.
RU Shu-hua, ZHANG Guo-yin, SUN Shi-you, et al. Status of the contamination and spatial-temporal variations of nitrate in groundwater of Hebei Province, China[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2013, 30(5): 48-52.
- [11] 陕西省统计局. 2014年陕西省果业发展统计(监测)公报[EB/OL]. Bureau of Statistics of Shaanxi. <http://www.shaanxi.gov.cn/0/1/65/365/370/192956.htm>.
- [12] 周胜男, 刘天军. 陕西省猕猴桃种植投入产出效率分析[J]. 贵州农业科学, 2013, 41(3): 135-139.
ZHOU Sheng-nan, LIU Tian-jun. Input-output efficiency of kiwifruit cultivation in Shaanxi Province[J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2013, 41(3): 135-139.
- [13] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 49-51, 265-267.
BAO Shi-dan. Chemical analysis in soil and plant[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2000: 49-51, 265-267.
- [14] 全国农业技术推广服务中心. 中国有机肥养分志[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 44-45.
National agricultural technology extension and service centre. China organic fertilizer records[M]. Beijing: China Agricultural Press, 1999: 44-45.
- [15] 梁婷, 同延安, 林文, 等. 陕西省不同生态区大气氮素干湿沉降的时空变异[J]. 生态学报, 2014, 34(3): 738-745.

- LIANG Ting, TONG Yan-an, LIN Wen, et al. Spatial-temporal variability of dry and wet deposition of atmospheric nitrogen in different ecological regions of Shaanxi[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(3): 738-745.
- [16] 王 建, 同延安. 猕猴桃树对氮素吸收、利用和贮存的定量研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 2008, 14(6): 1170-1177.
- WANG Jian, TONG Yan-an. Study on absorption, utilization and storage of nitrogen of kiwifruit tree[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2008, 14(6): 1170-1177.
- [17] 路永莉, 康婷婷, 张晓佳, 等. 秦岭北麓猕猴桃果园施肥现状与评价[J]. *植物营养与肥料学报*, <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.3996.S.20150421.1434.006.html>.
- LU Yong-li, KANG Ting-ting, ZHANG Xiao-jia, et al. Evaluation of current fertilization status in kiwifruit orchards on the northern slope of Qinling Mountains: A case study of Yujiahe catchment, in Zhouzhi County[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.3996.S.20150421.1434.006.html>.
- [18] 王小英, 同延安, 刘 芬, 等. 陕西苹果施肥现状评价[J]. *植物营养与肥料学报*, 2013, 19(1): 206-213.
- WANG Xiao-ying, TONG Yan-an, LIU Fen, et al. Evaluation of the situation of fertilization in apple fields in Shaanxi Province[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2013, 19(1): 206-213.
- [19] 刘侯俊, 巨晓棠, 同延安, 等. 陕西主要果树的施肥现状及存在问题[J]. *干旱地区农业研究*, 2002, 20(1): 38-44.
- LIU Hou-jun, JU Xiao-tang, TONG Yan-an, et al. The status and problems of fertilization of main fruit trees in Shaanxi Province[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2002, 20(1): 38-44.
- [20] 乔继红, 张 斌, 杨苏鲜. 户县猕猴桃测土配方施肥技术[J]. *中国农业推广*, 2009, 25(10): 41-42.
- QIAO Ji-hong, ZHANG Bin, YANG Su-xian. The kiwifruit trees soil testing and fertilization recommendation in Huxian county[J]. *China Agricultural Technology Extension*, 2009, 25(10): 41-42.
- [21] 张福锁, 陈新平, 陈 清. 中国主要作物施肥指南[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2009: 48-87.
- ZHANG Fu-suo, CHEN Xin-ping, CHEN Qing. Fertilization guide on major crops of China[M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2009: 48-87.
- [22] Oenema O, Kros H, De Vries W. Approaches and uncertainties in nutrient budgets: Implications for nutrient management and environmental policies[J]. *European Journal of Agronomy*, 2003, 20(1/2): 3-16.
- [23] 寇长林, 巨晓棠, 张福锁. 三种集约化种植体系氮素平衡及其对地下水硝酸盐含量的影响[J]. *应用生态学报*, 2005, 16(4): 660-667.
- KOU Chang-lin, JU Xiao-tang, ZHANG Fu-suo. Nitrogen balance and its effects on nitrate-N concentration of groundwater in three intensive cropping systems of North China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(4): 660-667.
- [24] 范崇辉, 杨喜良. 秦美猕猴桃根系分布试验[J]. *陕西农业科学*, 2003(5): 13-14.
- FAN Chong-hui, YANG Xi-liang. Study on the roots distribution of Qinmei kiwifruit[J]. *Shaanxi Journal of Agricultural Sciences*, 2003(5): 13-14.
- [25] 王 建, 同延安, 高义民. 秦岭北麓地区猕猴桃根系分布与生长动态研究[J]. *安徽农业科学*, 2010, 38(15): 8085-8087.
- WANG Jian, TONG Yan-an, GAO Yi-min. Study on the roots distribution and growth dynamics of kiwifruit in Northern Area of Qinling[J]. *Journal of Anhui Agri Sci*, 2010, 38(15): 8085-8087.
- [26] Ju X T, Xing G X, Chen X P, et al. Reducing environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems[J]. *PNAS*, 2009, 106(19): 8077-8078.
- [27] 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 Hai-ying, HUANG Li-jiang, ZHANG Qi, 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.
- [28] 邱 扬, 傅伯杰, 王 军, 等. 黄土丘陵小流域土壤水分的空间异质性及其影响因子[J]. *应用生态学报*, 2001, 12(5): 715-720.
- QIU Yang, FU Bo-jie, WANG Jun, et al. Spatial heterogeneity of soil moisture content on the Loess Plateau, China and its relation to influencing factors[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, 12(5): 715-720.
- [29] 刘春利, 邵明安. 黄土高原坡地表层土壤饱和导水率和水分含量空间变异特征[J]. *中国水土保持科学*, 2009, 7(1): 13-18.
- LIU Chun-li, SHAO Ming-an. Spatial variation of saturated hydraulic conductivity and soil water of the surface layer of a slope on the Loess Plateau[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2009, 7(1): 13-18.
- [30] 朱 波, 汪 涛, 况福虹, 等. 紫色土坡耕地硝酸盐淋失特征[J]. *环境科学学报*, 2008, 28(3): 525-533.
- ZHU Bo, WANG Tao, KUANG Fu-hong, et al. Characteristics of nitrate leaching from hilly cropland of purple soil[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2008, 28(3): 525-533.
- [31] 刘 泉, 李占斌, 等. 汉江水源区自然降雨过程下坡地壤中流对硝态氮流失的影响[J]. *水土保持学报*, 2012, 26(5): 1-6.
- LIU Quan, LI Zhan-bin, et al. Effects of nitrate-N loss by subsurface flow of slope land under natural rainfall processes in Hanjiang River water source area[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2012, 26(5): 1-6.