文章编号:1000-7601(2019)05-0171-05 doi:10.7606/j.issn.1000-7601.2019.05.25

陕西省新老苹果产区果园土壤硝态氮累积特性研究

陈翠霞[1,2],刘占军[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:以陕西省新、老果区(分别为洛川及礼泉)为研究对象,调查了两县各 15 个成龄果园的施肥现状,计算了果园氮素表观平衡,并测定了这 15 个果园的 0~200 cm 土壤剖面硝态氮含量,分析了树龄、施氮量与土壤剖面硝态氮累积量的关系。结果表明:新、老果区苹果园均过量施用氮肥,平均施氮量分别高达 1 287±244 kg·hm^{-2}(洛川)和 1 193±300 kg·hm^{-2}(礼泉),导致土壤中盈余了大量的氮素。新、老果区土壤 0~200 cm 硝态氮累积量分别达 2 724 kg·hm^{-2}和 5 226 kg·hm^{-2},老果区土壤剖面硝态氮累积量显著高于新果区。相关分析表明,果园土壤剖面累积的硝态氮与树龄和施氮量呈正相关,与树龄的相关系数为 0.641,与洛川、礼泉果园施氮量的相关系数分别为 0.402 和 0.306。因此,建议研究区域采取措施控制果园施氮量,减少果园土壤硝态氮累积带来的资源浪费及环境污染。

关键词:硝态氮累积;苹果园;树龄;施氮量;陕西省新老苹果产区

中图分类号:S661.1;S158.3 **文献标志码**:A

Characteristics of nitrate accumulation in soils of new and old apple orchards in Shaanxi Province

CHEN Cui-xia[1,2], LIU Zhan-jun[1,2], CHEN Zhu-jun[1,2], ZHOU Jian-bin[1,2]

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

Abstract: This study surveyed the fertilizer application of fifteen different apple orchards in Luochuan (new apple producing county) and Liquan (old apple producing county) in Shaanxi province. Samples of soil profile from 15 orchards for each region were collected from the two counties for measuring NO_3^--N contents in the 0~200 cm soil profiles; meanwhile, the relationships between orchard age, N application rate, and NO_3^--N accumulation were also studied. The results showed that excessive N fertilization was very common in both new and old apple orchards in Shaanxi province. The average N application rates were 1 287±244 kg·hm^{-2} and 1 193±300 kg·hm^{-2} for the two counties, respectively. It resulted in high N surplus in the soil profiles. The accumulations of NO_3^--N in the 0~200 cm soil profile in apple orchard of Luochuan and Liquan were 2 724 kg·hm^{-2} and 5 226 kg·hm^{-2}, respectively. Nitrate accumulations in the old orchards were significantly higher than that in new orchards. The NO_3^--N accumulation in soil profile was positively correlated with the N application rate and the orchard ages. The correlation coefficient with the orchard age was 0.641, and the correlation coefficients with the N application rate was 0.402 and 0.306 for the Luochuan and Liquan counties, respectively. Therefore, controlling N application rate should be an effect way to reduce soil nitrate accumulation in the apple orchards in the region. As a result, that will reduce the resource waste and minimize the pollution to the environment.

Keywords: nitrate accumulation; apple orchard; tree age; the N application rate; the new and old apple orchards in Shaanxi province

收稿日期:2018-01-10 **修回日期**:2019-07-18

基金项目:"十三五"国家重点研发计划课题(2017YFD0200106)

作者简介:陈翠霞(1993-),女,新疆库尔勒人,硕士研究生,研究方向为果园养分管理与调控。E-mail:644924941@qq.com

通信作者:周建斌(1964-),男,陕西大荔人,教授,主要从事农田土壤氮、碳转化机理及调控研究。E-mail: jbzhou@nwsuaf.edu.cn

中国是世界上最大的苹果生产国,产区主要集中在黄土高原和渤海湾两大区域[1-2],其中黄土高原是世界上适宜苹果生长的最佳优生区[3-4]。陕西省作为黄土高原的苹果主产省份,2015 年全省苹果种植面积和产量分别占中国苹果总种植面积和总产量的 29.85%和 24.34%,位居全国第一,苹果产业已成为带动当地果农增收的富民产业[5-6]。

施肥是提高苹果产量与品质的有效措施。但陕西苹果园氮、磷肥过量施用问题突出[7-8],一些地区施氮量超过推荐量的 2~3 倍[9-10],导致肥料利用率低,土壤氮素盈余量增加。果园 0~400 cm 土壤剖面硝态氮累积量平均达 2 155 kg·hm^{-2},显著高于农田、菜地[11]。对黄土高原苹果园土壤剖面累积硝态氮的问题已有一些研究,不同研究者的结果有所差异。白茹等[12]研究表明,渭北苹果园 0~120 cm 土壤剖面硝态氮累积量为 868 kg·hm^{-2}。郭胜利等[13]研究发现,长武盛果期苹果园土壤 0~600 cm 土壤剖面累积的硝态氮量达 3 032 kg·hm^{-2}。土壤剖面硝态氮累积量与树龄有关,冉伟等[14]发现,渭北 15 a 和 37 a 果园 0~400 cm 土壤剖面累积的硝态氮量分别为 834 kg·hm^{-2} 和 1 026 kg·hm^{-2}。刘小勇等[15]测定的甘肃陇东旱塬 15、20、22 a 苹果园 0~120 cm 土层硝态氮累积分别为 448、563、770 kg·hm^{-2}。与多雨区和灌溉区相比,黄土高原土层深厚,淋失和反硝化作用较弱,而且地下水埋深在 60 m 以下,因此土壤剖面累积的硝态氮进入地下水有一个相对漫长的过程,但其潜在的生态环境效应值得关注[16]。

改革开放后陕西苹果产业的快速发展以位于黄土高原南部的礼泉等区县为代表,显著的经济效应带动了苹果在黄土高原地区的大面积栽培。之后,以洛川为代表的苹果最佳优生区已成为陕西苹果的主产区。新、老果区树龄、施肥现状等存在差异,但目前对于陕西新、老果区土壤剖面硝态氮的累积研究较少。因此,本试验以礼泉及洛川为研究区域,研究了陕西省新、老苹果产区土壤剖面硝态氮的累积及分布,旨在探讨果园施氮量、树龄与土壤硝态氮累积的关系,进而为陕西地区控制并减少果园硝态氮的累积、推荐施肥以及果业持续健康发展提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

选择陕西省洛川、礼泉两县作为全省新、老苹果主产区的代表,其中洛川县位于渭北旱塬中部(E109°13′-109°45′,N35°26′-36°04′),属暖温带半湿润大陆性季风气候,年均气温 9.2℃,海拔 1 100~1 200 m,年均降水量 622 mm,土壤多为黄绵土;2015 年全县苹果栽培面积占耕地总面积的 76.9%,多数果园于 2000 年前后建园;栽植密度 600~800 株·hm^{-2},果园多无灌溉条件。果园施肥以化肥为主,年施肥量水平为:N 1 200~1 300 kg·hm^{-2},P_2O_5 750~850 kg·hm^{-2},K_2O 1 200~1 300 kg·hm^{-2}。

礼泉县地处关中平原(E108°17′-108°41′,N34°20′-34°50′),地势为西北高、东南低,海拔 402~1 467 m,属于暖温带半干旱大陆性气候,年均降水量 534 mm,主要土壤类型为褐土。该县苹果产业发展较早,果园大多建于上个世纪 80 年代末至 90 年代初,2015 年全县苹果栽培面积占耕地总面积的 51.2%,栽植密度 1 100~1 200 株·hm^{-2},果园灌溉水主要来源于宝鸡峡水库,一般每年灌溉 2 次,灌溉量为 540~680 m^3·hm^{-2}。果园施肥以化肥为主,年施肥量为:N 1 100~1 200 kg·hm^{-2}、$P_2O_5$600~700 kg·hm^{-2},K_2O 900~1000 kg·hm^{-2}。

1.2 研究方法

2016 年 11 月下旬果实收获后,分别在洛川县凤栖镇芦白村和礼泉县西张堡镇张家村选择 15 个具有代表性的果园,共 30 个果园,通过挨家挨户走访调查的方式,详细调查各果园农户在全年苹果各生育期的施氮肥种类和施氮量,最后通过计算转化为纯氮量。洛川县取样果园的树龄分布情况为:2 个 0~10 a 果园、4 个 10~15 a 果园、8 个 15~20 a 果园、1 个 24 a 果园;礼泉县取样果园树龄分布情况:1 个 0~10 a 果园、6 个 20~25 a 果园、2 个 25~30 a 果园、6 个 30~35 a 果园。采用土钻法采集 0~200 cm 土壤样品(每 20 cm 为一层),采样点选择时避开当年施肥点,同一果园采取三钻土,相同土层充分混匀,测定土壤硝态氮含量。硝态氮采用 1 mol·L^{-1} KCl 溶液浸提,连续自动分析仪测定,烘干法测定土壤剖面含水量。

1.3 数据处理

以下式计算出土壤剖面不同土层内硝态氮的累积量:

$$A = h \times d \times p \times 10$$

式中,A 为硝态氮累积量(kg·hm^{-2}),d 为土壤容重(g·cm^{-3}),h 为土层厚度(cm),p 为硝态氮浓度(mg·kg^{-1})。

氮素养分平衡采用表观平衡法计算:

氮素表观平衡值=氮素投入量-氮素携出量

其中氮素投入量只考虑氮肥,氮素携出量=作物产

量×养分含量/1000 计算得到,其他途径带出的养分所占比例较小,这里不予考虑。以上公式中氮素表观平衡值、氮素投入量、氮素携出量及作物产量的单位均为 kg·hm^{-2},养分含量的单位为 g·kg^{-1}。

化肥养分含量根据产品标注含量计算,数据整理和分析采用 Excle 2007 软件进行。

2　结果与分析

2.1　洛川、礼泉两县采样果园土壤氮素的表观平衡

洛川县采样点果园的平均施氮量为 1 287±244 kg·hm^{-2},全县的平均施氮量为 1 208±364 kg·hm^{-2};礼泉县采样点果园的平均施氮量为 1 193±300 kg·hm^{-2},全县的平均施氮量为 1 115±417 kg·hm^{-2},可见本研究所选的取样果园具有代表性。由表 1 可知:洛川、礼泉两县果园氮盈余量分别高达:1 115±121 kg·hm^{-2}和 957±95 kg·hm^{-2}。采样的两个县 15 个果园氮素平衡各指标间无显著差异。

表 1　洛川、礼泉两县采样果园的氮素平衡

Table 1　Nitrogen balance of sampling orchards in Luochuan and Liquan counties

地点 County	平均施氮量 Average N input /(kg·hm^{-2})	氮素携出量 N output (kg·hm^{-2})	表观盈余量 Balance /(kg·hm^{-2})
洛川(n=15) Luochuan	1 287±244a	172±16a	1 115±121a
礼泉(n=15) Liquan	1 193±300a	158±10a	957±95a

注:表中数字表示均值±标准差,同一列中不同字母表示处理间差异显著(p<0.05)。

Note: Numbers in the table indicate mean±sd. Different lowercase letters in the same row mean significant difference (p<0.05).

2.2　洛川、礼泉两县采样果园土壤剖面硝态氮含量分布特征

由图 1 可以看出,两县不同树龄果园均呈现出随着树龄增加,硝态氮累积量增加的趋势。硝态氮在两县不同树龄的苹果园 0~200 cm 土壤剖面上都发生了淋溶现象,礼泉果园在 0~200 cm 土壤剖面上没出现明显的累积峰,在 80~100 cm 土层以下分布均匀,其中 20~35 a 果园的硝态氮含量在 200 cm 土层深处约高达 250 mg·kg^{-1},明显表现出硝态氮深层累积的特征。洛川大多果园硝态氮含量在 120 cm 相对平稳,0~10、10~15、15~20、>20 a 苹果园地 0~200 cm 土层土壤硝态氮含量变化范围为5.7~330.9 mg·kg^{-1},其中>20 a 果园的土壤硝态氮含量高达 231.1 mg·kg^{-1},0~10、10~15、15~20 a 果园土壤剖面的硝态氮含量相对较低,其平均值分别为 30.3、69.3、130.2 mg·kg。礼泉 0~10、20~25、25~30、30~35 a 苹果园地 0~200 cm 土层土壤硝态氮平均值的变化范围为 27.8~297.4 mg·kg^{-1},其中 30~35a 果园土壤硝态氮含量最高,达到 241.6 mg·kg,0~10、20~25、25~30 a 果园土壤剖面的硝态氮含量平均值分别为 18.2、161.2、215.2 mg·kg。

2.3　洛川、礼泉两县采样果园土壤剖面硝态氮总累积量

由图 2 可以看出,洛川、礼泉果园 0~200 cm 土壤平均硝态氮累积量分别达 2 724 kg·hm^{-2}和5 226 kg·hm^{-2},两地苹果园土壤剖面硝态氮累积严重;两县相比,礼泉果园 0~200 cm 土壤硝态氮的累积量是洛川果园的近 2 倍。随树龄的增加,土壤剖面硝态氮累积量呈显著增加的趋势。

由图 2 可知,两县果园土壤硝态氮累积量在 0~100、100~200 cm 两个土层的分布特性有一些差异,洛川果园 0~100 cm 土层硝态氮累积量均高于 100~200 cm 土层硝态氮累积量,0~10、10~15、15~20、>20 a 果园 0~100 cm 土层硝态氮累积量占 0~200 cm 总累积量比例分别为 52.6%、57.3%、54.2%、53.8%。礼泉除 0~10 a 果园外,其它不同果龄果园 0~100 cm 土层硝态氮累积量均低于 100~200 cm 土层硝态氮累积量,0~10、20~25、25~30、30~35 a

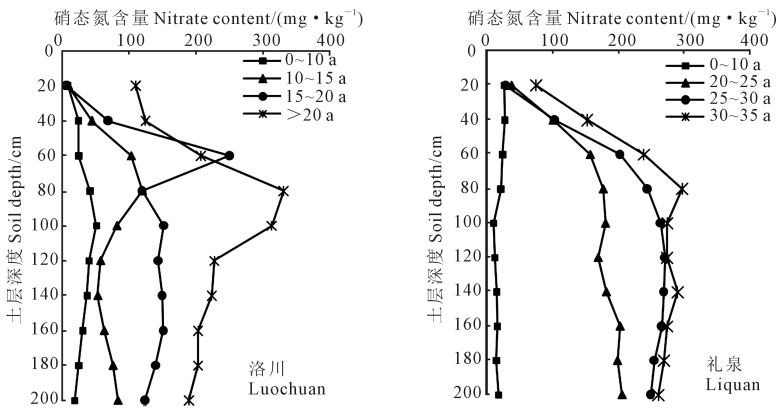


图 1　洛川、礼泉两县不同树龄果园土壤剖面硝态氮分布特征

Fig.1　NO_3^--N distributions in soil profiles of different ages of apple orchards in Luochuan and Liquan counties

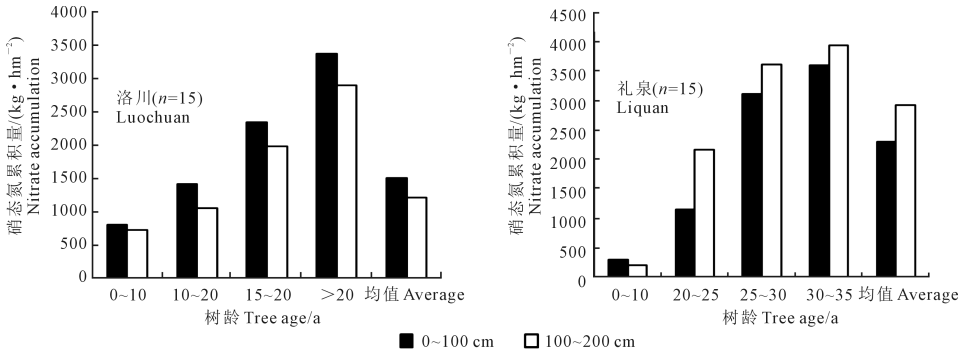


图 2 洛川、礼泉两县不同树龄果园土壤剖面硝态氮累积分布

Fig.2 NO_3^--N accumulated in soil profiles of different ages of apple orchard in Luochuan and Liquan counties

果园 0~100 cm 土层硝态氮累积量占 0~200 cm 总累积量比例分别为 58.6%、34.8%、46.2%、47.7%,表现出礼泉果园的土壤硝态氮累积比洛川果园更具有向深层转移的趋势特性。

2.4 果园土壤剖面硝态氮累积量与树龄及施氮量的关系

由图 3 可以看出,随着氮肥投入量的增加,两县果园 0~200 cm 土层累积的硝态氮量呈现增加的趋势,礼泉大部分果园土壤的硝态氮累积量高于洛川果园。相关分析表明,两县果园施氮量与土壤 0~200 cm 剖面的硝态氮累积量呈显著正相关。

图 4 是两地不同果园树龄与土壤硝态氮累积量相关性的结果,可看出随着种植年限的增加,果园土壤 0~200 cm 剖面累积的硝态氮量表现出显著增加的规律,相关分析表明,土壤 0~200 cm 剖面累积的硝态氮量与果园树龄间呈显著正相关。

3 讨 论

本研究发现陕西苹果产区土壤硝态氮累积相当严重,洛川、礼泉产区 0~200 cm 土壤硝态氮累积分别达 2 724 kg·hm^{-2}和 5 226 kg·hm^{-2}。冉伟等[14]研究渭北旱塬不同树龄(10、15、20、26 a 和 37 a)果园 0~200 cm 硝态氮累积量分别为:691、820、550、667 kg·hm^{-2}和 791 kg·hm^{-2}。郭胜利等[13]研究表明:在垣面和梁地的盛果期果园 0~200 cm 硝态氮累积量分别达 2 034 kg·hm^{-2}和 552 kg·hm^{-2}。樊军等[17]测定渭北旱塬塬面 10、15、22 a 和 34 a 果园 0~200 cm 硝态氮累积量分别为 1 754、5 986、1 940 kg·hm^{-2}和 2 449 kg·hm^{-2}。与前人研究相比,本研究测定土壤硝态氮累积量更高,这与不同区域果园施肥量、产量及土壤等因素有关。随着树龄增加,果园土壤累积硝态氮也明显增加,这与前人研究一致[18]。有研究表明[19],长期氮肥投入、施肥方法和土壤水分循环平衡与硝态氮累积密切相关,其中长期氮肥投入是硝态氮累积的物质条件。也有研究表明施氮量与土壤硝态氮累积量呈正相关[12]。两县果园土壤硝态氮累积量均很高,这与当地果园氮肥长期投入过高密切相关,本研究调查发现洛川、礼泉果园近年施氮量分别高达 1 287±244 kg·hm^{-2}及 1 193±300 kg·hm^{-2},根据王小英等[20]对陕西省施肥状况的评价研究,本研究调查的施氮量已达到合理施氮量的 4~5 倍,王小英等[20]研究表明陕北高原、渭北旱塬、关中灌区氮投入量分别为 490、587、619 kg·hm^{-2},全省平均为 558 kg·hm^{-2}。赵佐平等[8]调查渭北旱塬果园施肥现状表明:施氮量平均为 672 kg·hm^{-2};近年对黄土高原苹果产区施氮量研究表明[21]:果农施氮过量比例高

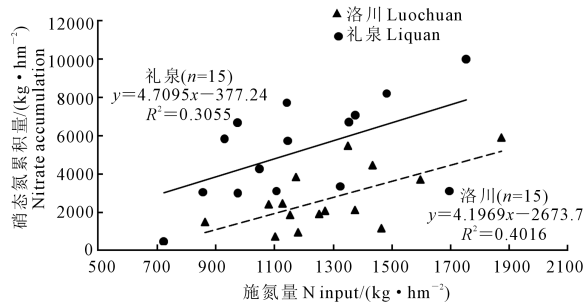


图 3 洛川、礼泉两县果园土壤 0~200 cm 剖面硝态氮累积量与施氮量的关系

Fig.3 Relationship between NO_3^--N accumulation in 0~200 cm soil profiles and N application rates in Luochuan and Liquan counties

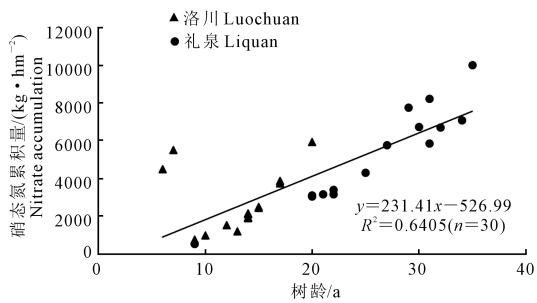


图 4 洛川、礼泉两县果园土壤 0~200 cm 剖面硝态氮累积量与树龄的关系

Fig.4 Relationship between NO_3^--N accumulation in 0~200 cm soil profile and orchard ages in Luochuan and Liquan counties

达 90% 以上,施氮量平均高达 1 032±32 kg·hm^{-2},土壤中氮肥盈余为 746±33 kg·hm^{-2}。胡道春等[22]调查了黄土高原苹果园施肥现状:2015 年氮肥用量平均为 1 220 kg·hm^{-2}。可见,陕西现阶段果园施氮量远高于推荐量,成为该区土壤硝态氮累积量高的主要原因。

新老果区相比,果园 0~200 cm 土壤硝态氮累积存在显著差异,老果区累积量是新果区的 2 倍(图 2),这是因为老果区树龄较新果区长 10 a 左右,树龄越长,土壤硝态氮累积量越高[13-15]。从硝态氮累积在 0~100 cm 和 100~200 cm 两个土层分布差异来看,洛川 0~100 cm 土层硝态氮累积量高于 100~200 cm 土层,礼泉则呈现出相反趋势,说明礼泉果园的土壤硝态氮累积比洛川果园更具有向深层转移的趋势特性,这与灌溉条件有关。相比无灌溉条件的洛川果园,礼泉果园灌溉量为 540~680 m^3·hm^{-2}。由于水分是硝态氮向土体深层迁移的动力[23-24],大量灌溉会导致硝态氮向土体下层淋溶并累积[25-26]。郭胜利[13]、车升国等[27]研究表明,长期种植果树,果园土壤会出现干层,降低水分入渗,硝态氮不会迅速向下迁移。然而在有灌溉条件的果园,此趋势会很明显,因此如何防止根区外的硝态氮向下迁移值得关注。在保证产量和质量的前提下,降低化肥投入量,对减少硝态氮累积有重要的意义[28],也有研究[29]表明通过氮肥与磷钾肥的合理配施也可减少氮素在土壤中累积。此外,在生产中采取一定的节水保水措施,可减少果园蒸发量,最大限度减少硝态氮的淋溶累积。

4　结　论

陕西省洛川、礼泉苹果产区过高的施氮量(1 240±273 kg·hm^{-2}),造成土壤剖面中盈余大量氮素,两县平均分别高达 2 724 kg·hm^{-2}和 5 226 kg·hm^{-2}。随着树龄、施氮量增加,果园土壤硝态氮累积量呈显著增加的趋势。洛川果园 0~100 cm 土层硝态氮累积量高于 100~200 cm 土层,礼泉除 0~10 a 果园外,其它不同果龄果园 0~100 cm 土层硝态氮累积量均低于 100~200 cm 土层硝态氮累积量,这与礼泉果园具有灌溉条件,硝态氮淋溶作用强有关。

参 考 文 献:

[1] 陈学森, 韩明玉, 苏桂林,等. 当今世界苹果产业发展趋势及我国苹果产业优质高效发展意见[J]. 果树学报, 2010, 27(4):598-604.

[2] 粮农组织全球各地办事处. 联合国粮食及农业组织统计数据库[DB/OL], Rome: Vialedelle Terme di Caracalla,2017,[2017 年 11 月 12 日], http://faostat.fao.org.

[3] 魏钦平, 张继祥, 毛志泉,等. 苹果优质生产的最适气象因子和气候区划[J]. 应用生态学报, 2003, 14(5):713-716.

[4] 魏钦平, 程述汉, 唐芳,等. 红富士苹果品质与生态气象因子关系的研究[J]. 应用生态学报, 1999, 10(3):289-292.

[5] 叶礼奇, 王立群, 刘金成. 中国统计年鉴 2015[J]. 北京,中国统计出版社, 2015.

[6] 张雪阳, 朱海霞, 张会新. 陕西苹果产业发展现状与发展思路[J]. 西北大学学报(哲学社会科学版), 2005, 35(1):36-41.

[7] 彭福田, 姜远茂. 不同产量水平苹果园氮磷钾营养特点研究[J]. 中国农业科学, 2006, 39(2):361-367.

[8] 赵佐平,同延安,刘芬,等.渭北旱塬苹果园施肥现状分析评估[J]. 中国生态农业学报,2012,20(8):1003-1009.

[9] 刘侯俊,巨晓棠,同延安,等. 陕西省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.

[10] 王圣瑞,马文奇,徐文华,等. 陕西省苹果施肥状况与评价[J].干旱地区农业研究,2004,22(1):146-151.

[11] Ju X. Significant accumulation of nitrate in Chinese semi-humid croplands[R]. Beijing: China Agricultural University,2016.

[12] 白茹, 李丙智, 张林森,等. 陕西渭北苹果园土壤 NO_3^--N 累积的影响因素研究[J]. 果树学报, 2007, 24(4):411-414.

[13] 郭胜利, 车升国. 黄土区退果还耕对黑垆土硝态氮积累和迁移的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(5):1037-1043.

[14] 冉伟, 谢永生, 郝明德. 渭北旱塬苹果园土壤矿质氮累积与分布研究[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(3):157-160.

[15] 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积累特征[J]. 应用生态学报, 2010, 21(3):796-800.

[16] 党廷辉, 郭胜利, 郝明德. 黄土旱塬长期施肥下硝态氮深层累积的定量研究[J]. 水土保持研究, 2003, 10(1):58-75.

[17] 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.

[18] 郭胜利, 郝明德, 党廷辉. 黄土高原沟壑区小流域土壤 NO_3^--N 的积累特征及其影响因素[J]. 自然资源学报, 2003, 18(1):37-43.

[19] Zeng S C, Zhi-Yao S U, Chen B G, et al. Nitrogen and phosphorus runoff Losses from orchard soils in south China as affected by fertilization depths and rates[J]. Pedosphere, 2008, 18(1):0-53.

[20] 王小英,同延安,刘芬,等. 陕西省苹果施肥状况评价[J]. 植物营养与肥料学报,2013, 19(1):206-213.

[21] 赵帅翔, 张卫峰, 姜远茂,等. 黄土高原苹果过量施氮因素分析[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(2):484-491.

[22] 胡道春, 金龙, 武瑞婵,等.黄土高原苹果园施肥现状调查分析[J]. 陕西农业科学, 2017,63(11):44-49.

[23] 郭胜利, 吴金水, 郝明德,等. 长期施肥对 NO_3^--N 深层积累和土壤剖面中水分分布的影响[J]. 应用生态学报, 2003, 14(1):75-78.

[24] 吴金水, 郭胜利, 党廷辉. 半干旱区农田土壤无机氮积累与迁移机理[J]. 生态学报, 2003, 23(10):2040-2049.

[25] 郭胜利, 党廷辉, 郝明德. 黄土高原沟壑区沟坡地土壤剖面中矿质氮的分布特征[J]. 水土保持学报, 2003, 17(2):31-33.

[26] Yan L, Liu H, Huang G, et al. Nitrate nitrogen accumulation and leaching pattern at a winter wheat: summer maize cropping field in the North China Plain[J]. Environmental Earth Sciences, 2016, 75(2):1-12.

[27] 车升国, 郭胜利, 高会议. 黄土高原沟壑区果园还耕对土壤水分的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(4):71-75.

[28] 巨晓棠, 张福锁. 中国北方土壤硝态氮的累积及其对环境的影响[J]. 生态环境学报, 2003, 12(1):24-28.

[29] 党廷辉, 郭胜利, 樊军,等. 长期施肥条件下黄土旱塬土壤 NO_3^--N 的淋溶分布规律[J]. 应用生态学报, 2003, 14(8):1265-1268.