

不同氮肥用量下冬小麦土壤剖面累积硝态氮 及其与氮素表观盈亏的关系

刘瑞¹, 戴相林¹, 周建斌^{1*}, 张鹏¹, 崔亚胜², 王天泰³

(1 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西杨凌 712100; 2 户县土肥站, 陕西户县 710300;

3 周至县土肥站, 陕西周至 710400)

摘要: 以在陕西关中地区户县、周至两县连续 2 年的 20 余个“3414”肥料田间试验为研究对象, 研究了不同施氮量下冬小麦收获后土壤 2 m 剖面硝态氮的分布、累积及其与土壤氮素表观盈亏量间的关系。结果表明: 随着氮肥用量的提高, 土壤剖面硝态氮累积量明显增加, 其向土壤下层淋溶的程度也越严重; 当施氮量为 180 ~ 240 kg/hm² 时, 一些试验点的土壤氮素已经表现出盈余; 当施氮量达到 270 ~ 360 kg/hm², 所有试验点土壤氮素均明显盈余。不同施氮量时土壤表观氮素平衡值(施氮量与氮素携出量的差值)与土壤 0—2 m 剖面硝态氮累积量之间呈极显著正相关, 说明土壤表观氮素平衡和盈亏决定了土壤剖面硝酸盐的累积状况; 土壤氮素表观盈余值每增加 100 kg/hm², 0—2 m 土壤剖面硝态氮累积量增加约 62.5 kg/hm²。

关键词: 冬小麦; 施氮量; 土壤硝态氮; 氮素表观盈亏

中图分类号: S153.6⁺1; S512.1⁺1.062

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2011)06-1335-07

Relationship between accumulated nitrate nitrogen in soil profiles and apparent nitrogen budget in winter wheat fields under nitrogen fertilization

LIU Rui¹, DAI Xiang-lin¹, ZHOU Jian-bin^{1*}, ZHANG Peng¹, CUI Ya-sheng², WANG Tian-tai³

(1 College of Resource and Environmental Sciences, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 Station of Soil and Fertilizer of Huxian, Huxian, Shaanxi 710300, China;

3 Station of Soil and Fertilizer of Zhouzhi, Zhouzhi, Shaanxi 710400, China)

Abstract: More than 20 field experiments designed with the “3414” plan were carried out in Huxian County and Zhouzhi County, Guanzhong Plain, Shaanxi during 2008 and 2009 to evaluate the nitrate nitrogen (NO₃-N) accumulation in soil profiles after harvesting winter wheat; and its relationship with the apparent N budget in soil was also studied. The results show that the amounts of NO₃-N accumulation in the soil profiles and their extents to leach into the deeper soil layers are increased significantly as the nitrogen fertilizer usage increased. When the N fertilizer rate reaches to 180–240 kg/ha, positive budget of nitrogen in soil is observed in some experiment sites, and when N fertilizer rate reaches to the 270–360 kg/ha, positive budget of nitrogen in soil is observed in all experiment sites. There is a positive correlation between the apparent balances of soil N and the accumulation of NO₃-N in soil profiles (0–2 m). This indicates the amount of NO₃-N in the soil profile is mainly determined by the apparent N budget balances in soil. The NO₃-N accumulation in the soil profile is increased about 62.5 kg/ha with each 100 kg/ha increase of apparent N budget in soil.

Key words: winter wheat; N-fertilizer rate; soil NO₃-N; apparent N budget in soil

收稿日期: 2011-04-12

接受日期: 2011-06-25

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划课题(2008BADA4B09); 国家自然科学基金项目(40773057); 西北农林科技大学创新团队项目。

作者简介: 刘瑞(1985—), 男, 陕西彬县, 硕士, 主要从事植物营养与环境方面研究。E-mail: liurui766@163.com

* 通讯作者 Tel: 029-87082793, E-mail: jbzhou@nwsuaf.edu.cn

当今世界粮食生产中产量增长不可缺少的重要条件是施用化肥,其中氮肥的作用更为突出。据中国农业统计年鉴,我国氮肥施用量约占化肥总量的60%左右,氮肥的施用极大地推动了农业生产的发展,较大幅度地提高了作物产量,保障了我国的粮食安全。

大量研究表明,我国麦类作物施用氮肥的利用率平均在28%~41%之间^[1],如氮肥施用不合理,则利用率更低^[2-3]。氮肥施用不当不仅导致氮素的大量损失,造成资源浪费,而且会对生态环境产生极大的不良影响^[4-5]。施入土壤氮肥的去向之一是以 NO_3^- -N形式在土壤剖面累积,关于施肥对土壤残留硝态氮分布及累积的影响,国内外已有了大量的研究。在高施肥区土壤剖面中 NO_3^- -N的累积量可达2200 kg/hm²,其中50%以上的 NO_3^- -N集中在100—500 cm土层^[6];连续施用氮肥15年后,100—180 cm土层 NO_3^- -N的积累量达到601 kg/hm²^[7]。累积在土壤剖面的 NO_3^- -N,会随降雨和灌溉水淋至土壤下层,导致地下水污染。一些研究表明,过量施用氮肥是导致硝态氮在土壤中淋溶损失进而产生环境问题的主要原因^[8-12]。因此,研究氮肥施用对土壤硝态氮积累的影响对农业生产中控制氮肥对环境的危害具有重要的实践意义。

目前,对硝态氮在农田土壤剖面的分布和累积已有了大量的研究^[13-16],但研究的重点多集中

在不同施氮量对土壤剖面硝态氮累积量方面。应该看到,土壤剖面硝态氮的累积是氮肥用量与氮素吸收、损失等平衡的结果^[17-18],因此,有必要研究土壤剖面硝态氮累积量与土壤氮素表观平衡间的关系。已有的关于土壤剖面硝态氮累积量与土壤氮素表观平衡关系的研究多集中在一个或少量的试验点上,较大范围内的研究报道尚较少。因此,本文结合正在实施的测土施肥项目,研究了陕西省关中西部灌区县域尺度的生产中冬小麦收获后土壤剖面硝态氮的分布变化特征,分析了土壤剖面硝态氮累积量与农田土壤氮素表观平衡间的关系,旨在为该区域小麦生产中的氮肥管理以及土壤环境保护提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

田间试验在陕西省关中西部的户县和周至两个县进行,该地区属半湿润易旱气候,降水量在600~650 mm之间,年平均气温13.0~13.5℃,海拔420~600 m。作物种植方式为小麦—玉米轮作,一年两熟,有灌溉条件。2008~2009及2009~2010年分别在上述两县共布置了12个和11个小麦田间肥料试验,试验地土壤类型主要为壤土,少量为潮土,土壤基础肥力状况见表1。

表1 陕西关中西部不同地点田间试验土壤肥力基本性状

Table 1 Basic soil characteristics at different sites in western Guanzhong Plain, Shaanxi

县区 County	试验点数 Number of site		有机质 Organic matter (g/kg)		全氮 Total N (g/kg)	
	2008	2009	2008	2009	2008	2009
户县 Huxian	4	4	16.7 ± 3.3	20.5 ± 2.9	0.73 ± 0.15	0.84 ± 0.1
周至 Zhouzhi	8	7	16.5 ± 3.4	17.5 ± 1.4	0.69 ± 0.12	0.74 ± 0.05
县区 County	试验点数 Number of site		速效磷 Olsen P (mg/kg)		速效钾 Available K (mg/kg)	
	2008	2009	2008	2009	2008	2009
户县 Huxian	4	4	25.3 ± 10.9	29.3 ± 15.0	152 ± 62.0	137 ± 47.5
周至 Zhouzhi	8	7	11.4 ± 7.1	29.9 ± 12.7	112 ± 37.4	117 ± 22.5

1.2 田间试验设计

田间试验设计采用“3414”完全方案,包括:N、P、K三个研究因素,每个因素设4个水平,即0、1、2和3,其中0水平为不施肥,2水平为当地认为的合理施肥量、1水平为2水平的0.5倍,3水平为2水平的1.5倍,共计14个处理(N0P0K0, N0P2K2,

N1P2K2, N2P0K2, N2P1K2, N2P2K2, N2P3K2, N2P2K0, N2P2K1, N2P2K3, N3P2K2, N2P1K1, N1P2K1, N1P1K2)。本文只选取N0P2K2、N1P2K2、N2P2K2、N3P2K2四个处理作为研究对象,分别用N0、N1、N2、N3表示。不同地区根据生产情况不同,采用了不同的2水平施肥量(表2)。

表 2 不同试验地点小麦氮、磷及钾肥的施肥量 (kg/hm²)
Table 2 The application rates of N, P and K fertilizer application rates in the different regions

地区 Regions	N		P ₂ O ₅		K ₂ O	
	2008	2009	2008	2009	2008	2009
户县 Huxian	240	180	75	90	180	75
周至塬区 South tableland of Zhouzhi	210	195	75	90	120	90
周至灌区 Irrigation region of Zhouzhi	240	210	120	120	150	90
周至下湿地 Wet region of Zhouzhi	225	210	90	120	150	150

试验地选择平整均匀的田块,小区面积 20 m²,随机排列,其中 2009 年周至县终南镇王才屯重复 2 次、户县余下乡后寨村试验点重复 3 次,其余试验点各无重复。供试冬小麦品种为西农 979,播种量为 175 kg/hm²。肥料为尿素、过磷酸钙和氯化钾,所有肥料均作为基肥一次性施入。不同地点小麦灌溉时期存在差异,或进行冬季,或实施春灌,灌溉量为当地农民习惯灌溉量;其他田间管理措施与周围农户一致。

1.3 测定项目及方法

采集 2008 ~ 2009、2009 ~ 2010 两季小麦种植前试验地的耕层土样,测定土壤基础养分含量,其中土壤全氮含量用凯氏法,速效磷用钼锑抗比色法,速效钾用火焰光度计法测定,有机质用丘林法测定。

在两季小麦收获期,采集各试验点 14 个处理中的 N0P2K2 (N0)、N1P2K2 (N1)、N2P2K2 (N2)、N3P2K2 (N3) 4 个处理的植株地上部分样品,采样时每小区采集 0.50 m × 0.50 m 样方,将样品分为子粒、颖壳、茎秆和叶片,于 70℃ 烘干后,称重。样品粉碎后,采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮,半微量凯氏定氮仪测定全氮,钒钼黄比色法测定全磷,火焰分光光度计法测定全钾。同时,采集各试验点上述 4 个处理的 0—2 m 土壤剖面样品(每 20 cm 为一个样品,每小区采 2 钻,将相同层次土样混合),用烘干法测定土壤含水量;称取 5.00 g 新鲜土样,加入 50 mL 1 mol/L 的 KCl 浸提,振荡 60 min,过滤后用连续流动分析仪 (BRAN + LUEBBE) 测定硝态氮含量。

1.4 数据处理

养分投入仅包括化肥施入量和由秸秆带入的养分含量,不考虑降水、灌溉、大气沉降等带入的养分。养分支出仅包括因作物收获而带出的养分,不考虑因淋洗、挥发和反消化造成的养分损失^[19]。

养分平衡采用表观平衡法计算,即:

平衡值 = 养分投入量 - 作物携出量;

盈余率% = (平衡值/作物携出量) × 100;

其中,正值表示盈余,负值表示亏缺。

试验数据采用 Excel 2003 和 SAS 8.0 软件进行处理。

2 结果与分析

2.1 不同施氮量对小麦收获后土壤 0—2 m 剖面硝态氮分布的影响

由图 1 可以看出,随着氮肥用量的增加,不同试验点小麦收获后土壤剖面硝态氮含量呈增加的趋势。不同氮肥水平相比,户县 N1 处理土壤剖面硝态氮平均含量与 N0 处理间的差异未达显著水平,而 N2 和 N3 均与 N0 的差异达显著水平;周至县 N1、N2 和 N3 处理土壤剖面硝态氮平均含量均显著高于 N0 处理。相关分析表明,周至和户县土壤 0—2 m 剖面硝态氮平均含量与施氮量的关系均达显著水平。

从图 1 还可以看出,施氮对土壤剖面各层硝态氮含量的影响不尽相同。施氮明显增加了 0—60 cm 土层硝态氮含量,且不同氮肥用量下土壤硝态氮含量的变化趋势均为 N3 > N2 > N1 > N0。在 60—100 cm 土层,N2 处理的硝态氮含量明显低于 N3 水平,而其他施氮水平下土壤剖面硝态氮含量自上而下逐渐降低。在 100—200 cm 土壤剖面各处理的硝态氮分布规律均不太明显,只有户县地区 N3 水平的硝态氮含量明显高于其他处理。

2.2 不同施氮量对小麦收获后土壤剖面硝态氮累积量的影响

图 2 显示,随着氮肥用量的增加,冬小麦收获后 0—2 m 土层土壤积累的硝态氮数量呈指数趋势增加。冬小麦收获后两年 23 个试验点 0—2 m 土层积累的硝态氮在 52.4 ~ 809.7 kg/hm² 之间,平均为 280.2 kg/hm²。同时对各试验点各处理土壤剖面硝态氮累积量的统计发现,硝态氮累积量大于 300 kg/hm²

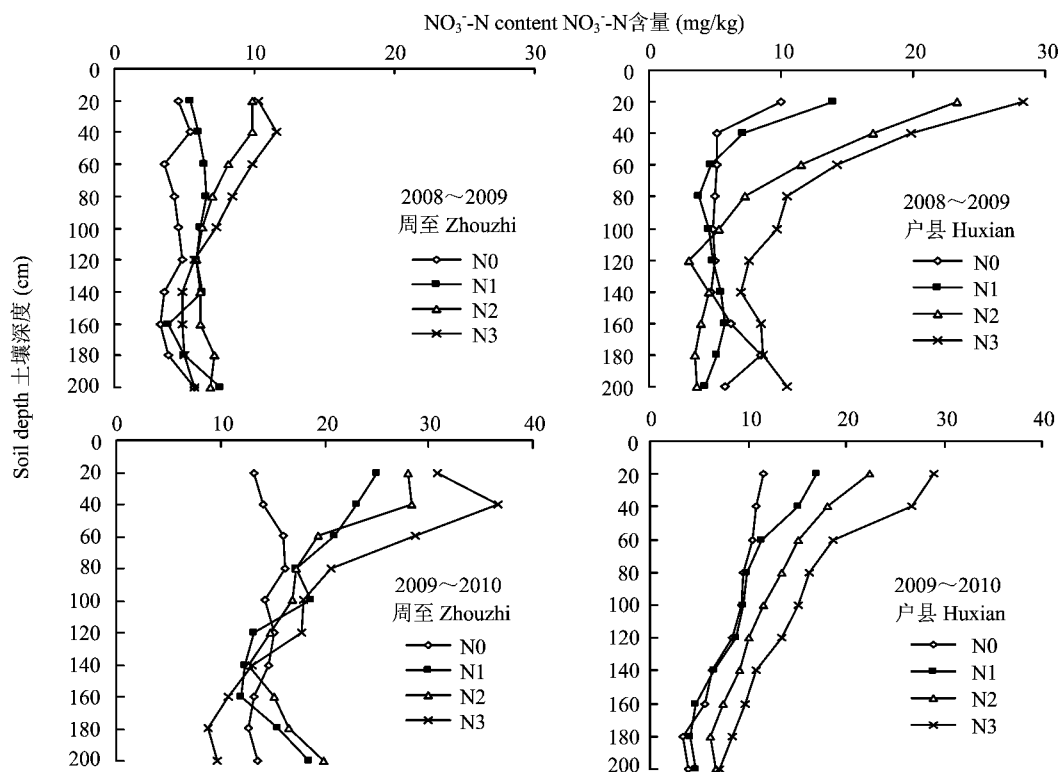


图1 2008~2009、2009~2010年小麦收获后土壤0—2 m剖面硝态氮分布

Fig.1 Distribution of $\text{NO}_3\text{-N}$ in 0–2 m soil profiles after the harvest of wheat in 2008–2009 and 2009–2010

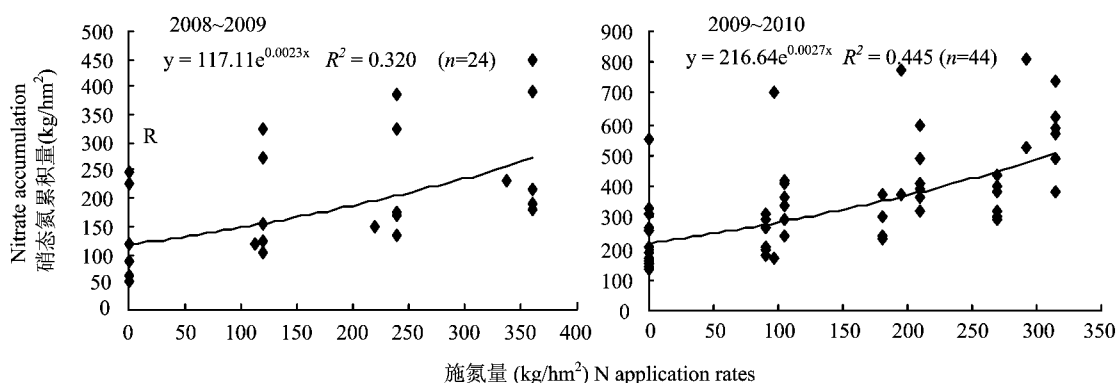


图2 2008~2009、2009~2010年小麦收获后土壤0—2 m剖面硝态氮累积量与施氮量的关系

Fig.2 Relationship between $\text{NO}_3\text{-N}$ accumulation in 0–2 m soil profiles and N application rates after the harvest of wheat in 2008–2009 and 2009–2010

的试验处理占 47.6%, 大于 500 kg/hm^2 的试验处理占 11.9%。将两年数据平均可以看出, 当施氮量分别为 N1、N2、N3 时, 0—2 m 土壤剖面硝态氮累积量分别为 N0 处理的 1.4、1.7 和 2.1 倍, 说明随着施氮量的增加硝态氮的累积越明显。同时, 周至和户县 N3 处理的 0—60 cm 土壤硝态氮累积量占 0—2 m 剖面硝态氮累积量的比例分别达 54.2% 和 51.5%, 且均高于其他处理, 说明过量施肥显著影响土壤剖

面上层硝态氮的累积量。

2.3 不同施氮量对土壤氮素表观平衡的影响

由表 3 可以看出, 随着氮肥用量的增加, 小麦氮素携出量呈增加趋势, 氮素表观平衡值逐渐增大。N3 处理连续两年土壤氮素携出量均小于氮肥投入量, 氮素出现明显的盈余; N0 及 N1 处理连续两年土壤氮素均发生亏缺; 而 N2 处理土壤氮素 2008~2009 年出现盈余, 而 2009~2010 年发生亏缺。从

表 3 不同施氮量下农田土壤氮素平衡状况
Table 3 Balances of N in soil under the different nitrogen application rates

处理 Treatment	2008 ~ 2009				2009 ~ 2010			
	氮投入量	氮携出量	平衡值	盈余率	氮投入量	氮携出量	平衡值	盈余率
	N input (kg/hm ²)	N output (kg/hm ²)	Balance (kg/hm ²)	Accum. rate (%)	N input (kg/hm ²)	N output (kg/hm ²)	Balance (kg/hm ²)	Accum. rate (%)
N0	0	149.7	-149.7 D	-100	0	203.2	-203.2 D	-100
N1	115.7	184.1	-68.4 C	-37.2	98	205.6	-107.6 C	-52.3
N2	231.4	208.6	22.8 B	11	196	207.9	-11.9 B	-5.7
N3	347.1	201.4	145.7 A	72.3	294	222.5	71.5 A	32.2

注 (Note): 同列数据后不同字母表示处理间差异达 1% 显著水平 Values followed by different letters in the same column indicate the significance at the 1% level.

不同年份平均看,N2 处理土壤氮素基本达到平衡,而 N3 处理的氮素投入过量。

2.4 农田氮素表观平衡与土壤剖面硝态氮累积量的关系

由图 3 可以看出,随着农田土壤氮素表观平衡值(施入化肥氮与作物吸收氮的差值)的增加,不同

年份土壤 0—2 m 剖面累积的硝态氮量随之增加。相关分析表明,两年不同处理土壤氮素平衡值与土壤 0—2 m 剖面累积的硝态氮量间均呈极显著正相关($P<0.01$)。从回归方程看,两年土壤氮表观平衡值每增加 100 kg/hm²,0—2 m 土壤剖面硝态氮的累积量分别增加约 50.8 和 74.3 kg/hm²。

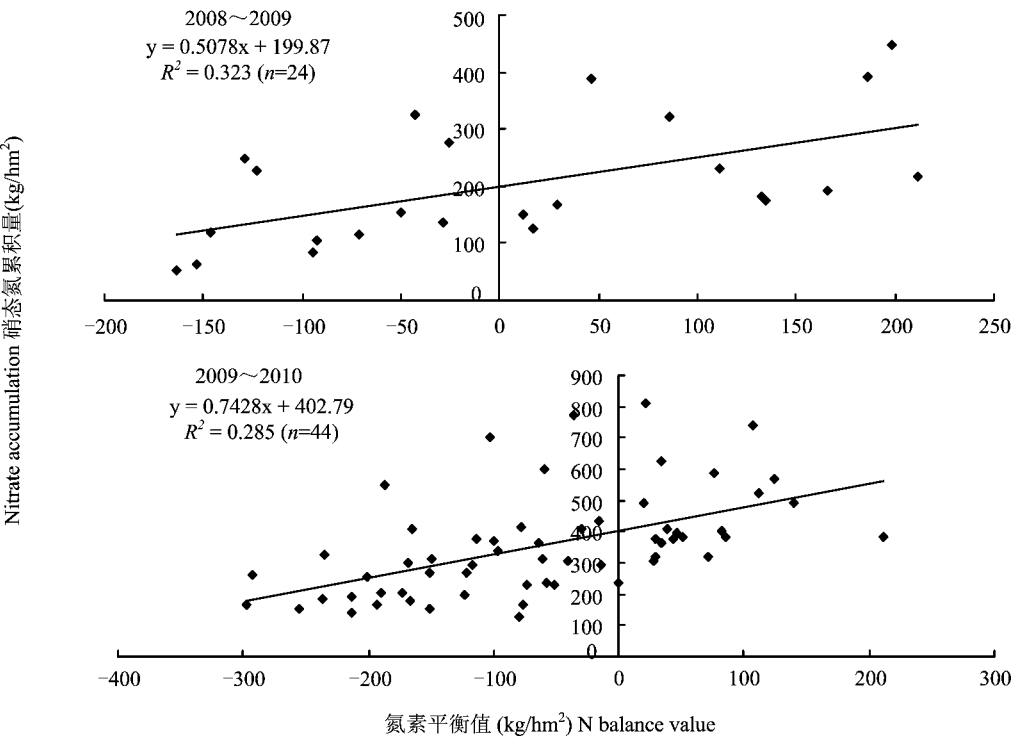


图 3 2008 ~ 2009、2009 ~ 2010 年小麦收获后土壤 0—2 m 剖面硝态氮累积量与氮素表观平衡值的关系
Fig. 3 Relationship between NO₃ -N accumulation in 0—2 m soil profiles and apparent N balance value in 2008—2009 and 2009—2010

3 讨论

本试验表明,研究地区一季小麦收获后土壤

0—2 m 剖面累积的硝态氮在 52.4 ~ 809.7 kg/hm² 之间,平均 280.2 kg/hm²,土壤氮表观平衡值每增加 100 kg/hm²,土壤剖面硝态氮累积量增加约 62.5

kg/hm²;施氮量与土壤剖面的硝态氮累积量呈显著正相关。这与其他学者的研究结果相一致。党廷辉等^[20]在渭北地区进行的15年的长期定位试验结果表明,连续每年施N 180 kg/hm²时,相应的土壤剖面硝态氮年均累积量为79.4 kg/hm²,氮肥利用率仅为30.9%;氮肥单施17年后,土壤剖面硝态氮累积量高达1000 kg/hm²以上,并且分布于0—3 m整个剖面^[21]。高亚军等^[22]研究表明,不同施氮量下春玉米收获后0—2 m土壤硝态氮累积量为185.7—748.0 kg/hm²;当施氮量为225、337.5和450 kg/hm²时,土壤硝态氮累积量分别为不施氮处理的1.6、2.1和4.1倍。可见,大量施用氮肥是农田土壤剖面硝态氮大量累积主要原因。长此下去,不仅浪费宝贵的养分资源,同时会带来严重的环境问题。

图3表明,当一季小麦生产中农田土壤氮素表现平衡值为0时,土壤剖面硝态氮的累积量也在200—400 kg/hm²,这可能与研究地区生产中长期过量施用氮肥有关。据同延安等^[23]1994—1997年间在陕西关中地区的调查,有50%以上的农户氮肥施用过量,小麦氮肥用量较推荐量高出55 kg/hm²。近10余年来,这一地区的氮肥用量还在增加,因此,过量施用氮肥的问题变得越来越突出。由于研究地区位于渭河一级阶地或二级阶地,地下水位低。我们在研究中观察到,一些地区地下水位不足2 m深。因此,大量累积在土壤剖面的硝态氮随灌溉或降水进入地下水的风险极大,这一问题应引起研究地区足够的重视。

本研究发现,不同施氮处理农田土壤氮素表现平衡值与其相应的土壤0—2 m硝态氮累积量之间呈极显著正相关,这与其他学者的研究结果是一致的^[24],表明氮素的施用量与携出量间的平衡状况是影响土壤剖面硝态氮累积量的关键因素。因此,为了防止硝态氮的严重累积及其对环境 and 人类生活所产生的威胁,农业生产中平衡施肥尤为重要。本研究同时发现,不同年份间土壤氮素表现平衡值每增加100 kg/hm²,0—2 m土壤剖面硝态氮的累积量存在差异(图3),这可能与不同年份间气候及作物产量水平的不同有关。

本研究中土壤剖面硝态氮累积量及小麦氮素携出量存在较大的变异,这与田间试验在不同农户田块进行,且研究的范围广,生产条件及水平等的差异有关。

参考文献:

- [1] 朱兆良,文启孝,等. 中国土壤氮素[M]. 南京:江苏科学技术出版社,1992. 213—249.
Zhu Z L, Wen Q X *et al.* Soil nitrogen of China [M]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1992. 213—249.
- [2] 张维理,田哲旭,张宁,等. 我国北方农田氮肥造成地下水硝酸盐污染的调查[J]. 植物营养与肥料学报,1995,1(2): 80—87.
Zhang W L, Tian Z X, Zhang N *et al.* Investigation of nitrate pollution in ground water due to nitrogen fertilization in agriculture in north China[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 1995, 1(2): 80—87.
- [3] 张均华,刘建立,张佳宝,等. 施氮量对稻麦干物质转运与氮肥利用的影响[J]. 作物学报,2010,36(10): 1736—1742.
Zhang J H, Liu J L, Zhang J B *et al.* Effects of nitrogen application rates on translocation of dry matter and utilization of nitrogen in rice and wheat[J]. Acta Agron. Sin., 2010, 36(10): 1736—1742.
- [4] 吕殿青,同延安,孙本华. 氮肥施用对环境污染影响的研究[J]. 植物营养与肥料学报,1998,4(1): 8—15.
Lv D Q, Tong Y A, Sun B H. Study on effect of nitrogen fertilizer use on environment pollution[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 1998, 4(1): 8—15.
- [5] 王朝辉,李生秀,王西娜,苏涛. 旱地土壤硝态氮残留淋溶及影响因素研究[J]. 土壤,2006,38(6): 676—681.
Wang Z H, Li S X, Wang X N, Su T. Nitrate nitrogen residue and leaching in dryland soil and influence factors[J]. Soils., 2006, 38(6): 676—681.
- [6] Michori P. Nitrogen budget under coffee (Br. Thesis Serv. DX 175716) [D]. Reading, England: University of Reading, 1993.
- [7] 樊军,郝明德,党廷辉. 长期施肥条件下土壤剖面中硝态氮的分布[J]. 土壤与环境,2000,9(1): 23—26.
Fan J, Hao M D, Dang T H. NO₃-N distribution in soil profile under long term fertilization[J]. Soil. Environ. Sci., 2000, 9(1): 23—26.
- [8] Di H J, Cameron K C. Nitrate leaching in temperate agroecosystems: sources, factors and mitigating strategies[J]. Nutr. Cycl. Agroecosys., 2002, 46: 237—256.
- [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 Q Z, Chen X, Shen S M. Advances in studies on accumulation and leaching of nitrate in farming soil[J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2002, 13(2): 233—238.
- [10] 李世清,李生秀. 半干旱地区农田生态系统中硝态氮的淋失[J]. 应用生态学报,2000,11(2): 240—242.
Li S Q, Li S X. Leaching loss of nitrate from semiarid area agroecosystem[J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2000, 11(2): 240—242.
- [11] 古巧珍,杨学云,孙本华,马路军. 旱地壤土长期定位施肥土壤剖面硝态氮分布于累积研究[J]. 干旱地区农业研究,2003,21(4): 48—52.
Gu Q Z, Yang X Y, Sun B H, Ma L J. Effect of long-term fertilization on distribution and accumulation of NO₃-N in loess profile of dry-land[J]. Agric. Res. Arid Areas., 2003, 21(4): 48—52.

- 48-52.
- [12] 王春阳,周建斌,郑险峰,李生秀.不同栽培模式对小麦-玉米轮作体系土壤硝态氮残留的影响[J].植物营养与肥料学报,2007,13(6):991-997.
- Wang C Y, Zhou J B, Zheng X F, Li S X. Effects of different cultivation methods on soil residual nitrate under winter wheat-summer maize cropping system[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2007, 13(6): 991-997.
- [13] 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,2004,37(5):692-698.
- Liu H B, Li Z H, Zhang Y G *et al.* Characteristics of nitrate distribution and accumulation in soil profiles under main agro-land use types in Beijing[J]. Sci. Agric. Sin., 2004, 37(5): 692-698.
- [14] 高亚军,李云,李生秀,等.旱地小麦不同栽培条件对土壤硝态氮残留的影响[J].生态学报,2005,25(11):2901-2909.
- Gao Y J, Li Y, Li S X *et al.* Effects of different wheat cultivation methods on residual nitrate nitrogen in soil in dryland[J]. Acta Ecol. Sin., 2005, 25(11): 2901-2909.
- [15] 李晓欣,胡春胜,程一松.不同施肥处理对作物产量及土壤中硝态氮累积的影响[J].干旱地区农业研究,2003,21(3):38-42.
- Li X X, Hu C S, Cheng Y S. Effects of different fertilizers on crop yields and nitrate accumulation[J]. Agric. Res. Arid Areas., 2003, 21(3): 38-42.
- [16] 杨玉惠,张仁陟.黄土高原半干旱地区施氮对土壤硝态氮分布与累积的影响[J].甘肃农业大学学报,2006,41(6):102-107.
- Yang Y H, Zhang R Z. Effects of nitrogen fertilization on the distribution and accumulation of nitrate nitrogen in soil in the loess plateau semi-arid areas[J]. J. Gansu Agric. Univ., 2006, 41(6): 102-107.
- [17] 王启现,王璞,申丽霞,等.施氮时期对玉米土壤硝态氮含量变化及氮盈亏的影响[J].生态学报,2004,24(8):1582-1588.
- Wang Q X, Wang P, Shen L X *et al.* Effect of nitrogen application time on dynamics of nitrate content and apparent nitrogen budget in the soil of summer maize fields[J]. Acta Ecol. Sin., 2004, 24(8): 1582-1588.
- [18] 摄晓燕,谢永生,郝明德,等.黄土旱塬长期施肥对小麦产量及养分平衡的影响[J].干旱地区农业研究,2009,27(6):27-31.
- She X Y, Xie Y S, Hao M D *et al.* Effect of long-term fertilization on wheat yield and nutrient balance in dryland of the Loess Plateau[J]. Agric. Res. Arid Areas, 2009, 27(6): 27-31.
- [19] 周顺利,张福锁,王兴仁.土壤硝态氮时空变异与土壤氮素表观盈亏研究 I. 冬小麦[J].生态学报,2001,21(11):1782-1789.
- Zhou S L, Zhang F S, Wang X R. Studies on the spatio-temporal variations of soil NO_3^- -N and apparent budget of soil nitrogen I. Winter wheat[J]. Acta Ecol. Sin., 2001, 21(11): 1782-1789.
- [20] 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):58-60.
- Dang T H, Guo S L, Hao M D. The amount and ratio of NO_3^- -N accumulation under long-term fertilization in dryhighland of Loess Plateau[J]. Res. Soil Water Conserv., 2003, 10(1): 58-60.
- [21] 郭胜利,党廷辉,郝明德.施肥对半干旱地区小麦产量、 NO_3^- -N累积和水分平衡的影响[J].中国农业科学,2005,38(4):754-760.
- Guo S L, Dang T H, Hao M D. Effects of fertilization on wheat yield, NO_3^- -N accumulation and soil water content in semi-arid area of China[J]. Sci. Agric. Sin., 2005, 38(4): 754-760.
- [22] 高亚军,李生秀,李世清,等.施肥与灌水对硝态氮在土壤中残留的影响[J].水土保持学报,2005,19(6):61-64.
- Gao Y J, Li S X, Li S Q *et al.* Effect of fertilization and irrigation on residual nitrate N in soil[J]. J. Soil Water Conserv., 2005, 19(6): 61-64.
- [23] 同延安, Ove Emteryd, 张树兰, 梁东丽. 陕西省氮肥过量施用现状评价[J]. 中国农业科学, 2004, 37(8): 1239-1244.
- Tong Y A, Ove Emteryd, Zhang S L, Liang D L. Evaluation of over-application of nitrogen fertilizer in China's Shaanxi Province[J]. Sci. Agric. Sin., 2004, 37(8): 1239-1244.
- [24] 党廷辉, 戚龙海, 郭胜利, 郝明德. 旱地土壤硝态氮与氮素平衡、氮肥利用的关系[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(3): 573-577.
- Dang T H, Qi L H, Guo S L, Hao M D. Relationship between soil nitrate, nitrogen balance and utilization in rainfed land[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2009, 15(3): 573-577.