

施氮对黄土高原水蚀风蚀交错区土壤矿质氮的影响

陶武辉^{a,b}, 沈玉芳^a, 李世清^a

(西北农林科技大学 a 中国科学院水利部水土保持研究所 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室,

b 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

【摘要】 **【目的】**研究施氮对黄土高原水蚀风蚀交错区不同土层土壤矿质氮含量和累积量的影响。**【方法】**试验设作物和施肥 2 个因子, 分析不同施氮水平和不同作物处理下黄土高原水蚀风蚀交错区 0~100 cm 土层土壤矿质氮的差异。**【结果】**不同施氮处理对土壤硝态氮含量及矿质氮累积量有明显影响, 土壤硝态氮含量和 0~100 cm 土层土壤矿质氮累积量均随施氮量的增加而增加, 但施氮量对土壤铵态氮的影响较小; 不同施氮条件下, 不同土层土壤硝态氮含量和矿质氮累积量均以 0~20 cm 土层最高, 从总体上看, 随着施氮量增加, 较深土层(80~100 cm)土壤硝态氮含量和矿质氮累积量亦有所增加; 不同作物间, 除施 90 kg/hm² 磷+45 kg/hm² 氮处理时, 种植黑麦草作物的 0~20 cm 土层土壤 NO₃⁻-N 含量有所增加外, 其余施氮处理对种植两种不同作物土壤的 NO₃⁻-N 含量和 NH₄⁺-N 含量均未产生明显影响, 在相同施氮处理下, 黑麦草地和苜蓿地 0~100 cm 土层土壤总矿质氮累积量的差异不明显。**【结论】**不同水平氮肥处理均对黄土高原水蚀风蚀交错区土壤矿质氮含量及累积量有一定影响, 土壤矿质氮含量及累积量均与施氮量密切相关。

【关键词】 氮肥; 黄土高原; 水蚀风蚀交错区; 土壤矿质氮

【中图分类号】 S158.5

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2009)10-0103-06

Effect of N fertilization on the mineral nitrogen in soil in wind-water erosion crisscross region on the Loess Plateau

TAO Wu-hui^{a,b}, SHEN Yu-fang^a, LI Shi-qing^a

(a State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of

Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources,

b College of Resources and Environmental Sciences, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: **【Objective】** Field trials were carried out to study the effect of fertilizer on the content and accumulation of mineral nitrogen in soil in wind-water erosion crisscross region on the loess plateau. **【Method】** Two factors, crop plant and N fertilizer, were selected for, under different N fertilizer and crop, analyzing mineral nitrogen in 0—100 cm soil layer in wind-water erosion crisscross region on the loess plateau. **【Result】** The content and accumulation of the mineral nitrogen varied with layer and fertilization treatments. And the same to NO₃⁻-N, but NH₄⁺-N had no significant change. The content and accumulation of the mineral nitrogen was the highest in 0—20 cm layer under different fertilization treatments, and the content and accumulation of NO₃⁻-N in different layers had a similar variation as it improved with the increase of nitrogen level. Different fertilization treatments affected insignificantly the content of NO₃⁻-N and mineral nitrogen in soil except the content of NO₃⁻-N in 0—20 cm layer in the 90 kg/hm² P+45 kg/hm² N treatment. In the same fertilization treatments, the content of mineral nitrogen in alfalfa soil and

* [收稿日期] 2009-02-23

[基金项目] 国家自然科学基金项目(90502006)

[作者简介] 陶武辉(1984—), 男, 江西南昌人, 在读硕士, 主要从事土壤氮素研究。E-mail: taowuhui@yahoo.com.cn

[通信作者] 沈玉芳(1975—), 女, 江苏建湖人, 助理研究员, 博士, 主要从事土壤-植物氮素营养研究。

E-mail: shenyufang11@163.com

ryegrass soil had no significant change. 【Conclusion】 The content and accumulation of the mineral nitrogen varied with layer and fertilization treatments. There was a close relation between the content and accumulation of the mineral nitrogen in soil and N fertilizer.

Key words: N fertilization; loess plateau; wind-water erosion crisscross region; the mineral nitrogen

研究表明,土壤耕层(0~20 cm)有效养分含量在地域水平上存在着显著的空间变异性^[1-4],而植物根系吸收养分不仅仅限于耕层,其下层较深层次的养分含量也对植物生长有较大贡献^[5-7]。因此,研究不同施肥处理土壤剖面有效养分的分布规律及其差异性,对于采取合理施肥技术及合理利用土壤养分资源,提高肥料养分利用率和作物产量,保持和提高土壤肥力具有一定的理论和实践意义^[8-9]。

矿质氮是作物根系吸收氮的主要形式,西欧一些国家一般以土壤矿质氮(硝态氮和铵态氮)作为作物推荐的施肥依据^[10-12]。多年来,美国中部大平原地区用作物播种前 0~100 cm 土层硝态氮的测定结果作为前茬作物氮肥残效,并作为后季作物的供氮指标^[13]。Ferguson 等^[14]对玉米的研究也表明,推荐施肥量与土壤剖面中硝态氮累积量有很大关系,并提出了根据土壤剖面中硝态氮累积量和土壤有机质计算施氮量的公式。胡田田等^[15]、李生秀等^[16]、叶优良等^[17]也对旱地土壤矿质氮剖面分布特点及其对作物吸氮量的意义进行了系统研究,认为 0~100 cm 土层中的矿质氮特别是硝态氮对作物吸氮量有重要贡献。黄土高原北部水蚀风蚀交错区是典型的生态环境脆弱区,强烈的水蚀风蚀是脆弱环境的重要体现,同时也对土壤剖面中的养分分布造成了一定影响,但目前对其不同施肥处理下土壤剖面

中有效养分分布规律及其差异性的研究尚比较少。为此,本研究以黄土高原荒漠化地区陕北神木县六道沟长期施肥土壤为研究对象,研究了施氮对黄土高原水蚀风蚀交错区不同土层土壤矿质氮含量及其累积量的影响,探讨不同施氮处理下土壤剖面矿质氮含量及累积量的变化规律,以期为该地区农业生产中的合理施肥提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验区位于黄土高原陕北神木县六道沟小流域,流域范围为东经 110° 21′ ~ 110° 23′,北纬 38° 46′ ~ 38° 51′,面积 6.89 km²,海拔 1 094.0 ~ 1 273.9 m^[18]。该区地处晋陕蒙接壤区,地理位置上既属于黄土高原向毛乌素沙漠过渡、森林草原向典型干旱草原过渡的过渡地带,又属于流水作用的黄土丘陵区向干燥剥蚀作用的鄂尔多斯高原过渡的水蚀风蚀交错带。六道沟流域地形特点为典型的盖沙黄土丘陵区,属中温带半干旱气候,多年平均降雨量 408.5 mm,6~9 月份降水量占全年的 80.93%,且多为大暴雨^[19],是典型的水蚀风蚀脆弱生态区。

1.2 试验设计

试验区安排在六道沟坝地。供试土壤为风沙新成土,其基本性质见表 1。

表 1 供试土壤的基本性质

Table 1 Basic properties of soil used in the experiment

土层/cm Layer	有机质/(g·kg ⁻¹) O. M.	全 N/(g·kg ⁻¹) T. N	矿质氮/(mg·kg ⁻¹) Mineral N		
			NO ₃ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	Σ
0~20	6.5	0.58	10.7	10.6	21.3
20~40	4.2	0.29	4.5	10.7	15.2
40~60	3.3	0.27	2.0	10.1	12.1
60~80	2.2	0.26	2.0	10.0	12.0
80~100	2.0	0.25	2.2	10.1	12.3

试验设作物和施肥 2 个因子。供试作物分别为多年生禾本科作物黑麦草和豆科作物苜蓿;对黑麦草设不施肥(CK)、施 90 kg/hm² 磷(P₂O₅)(PN0)、施 90 kg/hm² 磷+45 kg/hm² 氮(PN1)、施 90 kg/hm² 磷+90 kg/hm² 氮(PN2)、施 90 kg/hm² 磷+135 kg/hm² 氮(PN3)和施 90 kg/hm² 磷+185 kg/hm² 氮(PN4)共 6 个处理;对苜蓿设不施肥(CK)、施 90

kg/hm² 磷(P₂O₅)(PN0)和施 90 kg/hm² 磷+45 kg/hm² 氮(PN1)共 3 个处理。每个处理 3 次重复,共 27 个小区,按裂区试验设计,随机区组排列,小区面积为 4 m×5 m。分别以尿素和过磷酸钙为氮、磷源,试验分别于 2007-04-23 和 2008-04-23 先后施肥 2 次,第 1 次将肥料撒施后,翻入土壤耕平,施肥土层相对较深;第 2 次将肥料撒施后耙入土壤,施肥土

层相对较浅。播种于 2007-04-25 进行(2 年播种 1 次),种子撒播后耙入 2 cm 土层,每小区播量均为 36 g。为保证出苗,播前每小区灌水 0.5 m³。分别于 2007-08-04,2007-09-22,2008-08-04,2008-09-22 先后 4 次分层(每 20 cm 为 1 层)采集 0~100 cm 土层土样,分析其硝态氮(NO₃⁻-N)和铵态氮(NH₄⁺-N)含量。

1.3 测定方法

土壤有机质用重铬酸钾外加加热法测定;土壤全氮用凯氏法测定;土壤 NO₃⁻-N、NH₄⁺-N 用 Bremner 法浸取,流动分析仪测定。

2 结果与分析

2.1 不同施氮水平下黑麦草地土壤矿质氮的垂直分布

2.1.1 NO₃⁻-N 土壤矿质氮(主要是硝态氮和铵态氮)含量虽只占土壤全氮的 1%~5%,但由于其能为植物直接吸收和利用,故是植物氮营养的重要来源。试验分别于 2007 和 2008 年的 04-23 给种植黑麦草的土壤进行施肥处理,并分别于当年的 08-04 和 09-22 分层采集土样测定其矿质氮含量。为了使

测定结果具有更好的代表性,本研究将每年 2 次的测定结果进行了平均。测定结果(表 2)表明,施肥后 2007 与 2008 年各剖面土壤 NO₃⁻-N 含量变化趋势基本一致。分析施氮对剖面各土层土壤 NO₃⁻-N 含量的影响发现,在不同施氮处理下,均以 0~20 cm 土层土壤的 NO₃⁻-N 含量最高,与其他土层间的差异均达极显著水平($P<0.01$),但施氮水平影响着其他各土层间土壤 NO₃⁻-N 含量的高低顺序。对未施肥的对照(CK)处理,其 20~40 和 40~60 cm 土层土壤的 NO₃⁻-N 含量高于 60~80 和 80~100 cm 土层,但差异性不显著;对 PN0、PN1、PN2 处理,20~40 cm 土层土壤的 NO₃⁻-N 含量显著高于 40~60、60~80 和 80~100 cm 土层,而后三者间差异不明显;PN3、PN4 处理条件下,以 40~60 cm 土层土壤的 NO₃⁻-N 含量最低,PN3 处理各土层土壤 NO₃⁻-N 含量高低顺序为 0~20 cm>20~40 cm>80~100 cm>60~80 cm>40~60 cm,而 PN4 处理各土层土壤 NO₃⁻-N 含量高低顺序为 0~20 cm>80~100 cm>20~40 cm>60~80 cm>40~60 cm。

表 2 土壤剖面中黑麦草地和苜蓿地各土层土壤 NO ₃ ⁻ -N 的垂直分布										
Table 2 Vertical distribution of NO ₃ ⁻ -N in ryegrass and alfalfa soil profile										
采样年份 Year	土层/cm Layer	黑麦草地 Ryegrass soil						苜蓿地 Alfalfa soil		
		CK	PN0	PN1	PN2	PN3	PN4	CK	PN0	PN1
2007	0~20	7.8 A	8.0 A	11.3 A	17.5 A	21.9 A	31.0 A	7.5 A	8.3 A	8.8 A
	20~40	3.3 B	3.3 B	4.3 B	6.9 B	12.8 B	14.3 B	4.0 B	4.8 B	4.8 B
	40~60	2.8 B	1.6 C	1.8 C	3.3 C	5.2 C	5.7 C	2.0 C	2.5 C	2.6 C
	60~80	1.8 B	2.0 C	2.1 C	3.5 C	6.8 C	8.4 C	2.0 C	2.6 C	2.5 C
	80~100	1.9 B	2.2 C	2.3 C	3.8 C	9.5 B	15.0 B	2.3 C	2.8 C	3.1 C
2008	0~20	6.8 A	7.1 A	10.0 A	17.9 A	22.5 A	32.4 A	7.0 A	7.3 A	6.8 A
	20~40	3.0 B	3.1 B	4.2 B	7.3 B	15.0 B	16.7 B	3.9 B	4.7 B	3.0 B
	40~60	3.0 B	1.6 C	1.7 C	3.5 C	5.4 C	6.4 C	2.0 C	2.5 C	3.0 B
	60~80	1.7 B	2.0 C	2.1 C	4.0 C	7.2 C	9.1 C	2.0 C	2.6 C	1.7 C
	80~100	1.9 B	2.2 C	2.3 C	4.4 C	10.7 B	16.8 B	2.3 C	2.8 C	1.9 C

注:同一列数据后标有不同大写字母者表示差异极显著($P<0.01$)。下表同。
Note: Values with different superscripts of capital letter in the same column indicate distinctive difference ($P<0.01$). The following tables are the same.

分析以上结果发现,在施肥条件下,表层土壤 NO₃⁻-N 含量显著提高,且随施氮量增加,除 PN1 处理的 40~60 cm 土层外,其他各土层土壤的 NO₃⁻-N 含量也有明显增加;在 PN2、PN3、PN4 高施氮水平下,60 cm 以下土层土壤中的 NO₃⁻-N 含量高于 40~60 cm 土层;对 PN4 处理,即 185 kg/hm²施氮条件下,80~100 cm 土层土壤 NO₃⁻-N 含量增加显著,接近甚至高于 20~40 cm 土层。其原因可能与土壤硝态氮在干旱气候条件下向上层迁移,在降雨时向深层迁移有关,在高施氮条件下矿质

氮更易在较深土层(80~100 cm)累积。
2.1.2 NH₄⁺-N 分析土壤剖面 NH₄⁺-N 含量的测定结果(表 3)可以发现,2007 和 2008 年土壤不同剖面中的 NH₄⁺-N 含量变化趋势也基本一致,但与土壤剖面中 NO₃⁻-N 含量的变化趋势并不相同。总体看来,不同施肥处理条件下,土壤剖面不同土层土壤 NH₄⁺-N 含量的差异不显著($P>0.01$)。该结果表明,施氮并未对不同土层土壤 NH₄⁺-N 的分布产生明显影响,土壤中的肥料氮很快会经微生物的硝化作用而转化为 NO₃⁻-N,因而各土层土壤

NH₄⁺-N 的分布较为均一,这符合黄土高原土壤剖面 NH₄⁺-N 分布的一般性规律。

表 3 土壤剖面中黑麦草地和苜蓿地各土层土壤 NH₄⁺-N 的垂直分布

Table 3 Vertical distribution of NH₄⁺-N in ryegrass and alfalfa soil profile mg/kg

采样年份 Year	土层/cm Layer	黑麦草地 Ryegrass soil						苜蓿地 Alfalfa Soil		
		CK	PN0	PN1	PN2	PN3	PN4	CK	PN0	PN1
2007	0~20	9.0 A	8.7 A	8.8 A	9.1 A	9.7 A	9.6 A	7.5 A	7.5 A	8.0 A
	20~40	8.2 A	8.5 A	9.0 A	8.1 A	7.6 A	8.9 A	7.0 A	7.6 A	7.4 A
	40~60	7.8 A	8.2 A	8.1 A	8.2 A	7.6 A	7.9 A	7.3 A	8.2 A	8.6 A
	60~80	8.7 A	8.3 A	8.7 A	8.3 A	7.4 A	7.6 A	7.5 A	9.4 A	7.5 A
	80~100	7.8 A	7.8 A	8.9 A	8.0 A	7.7 A	7.5 A	7.6 A	7.3 A	7.3 A
2008	0~20	8.9 A	8.8 A	8.7 A	9.2 A	8.9 A	9.2 A	7.5 A	7.5 A	8.0 A
	20~40	8.5 A	8.8 A	9.2 A	8.4 A	7.2 A	8.3 A	7.0 A	7.8 A	7.3 A
	40~60	7.4 A	8.8 A	8.0 A	8.2 A	7.7 A	8.0 A	7.4 A	8.8 A	8.8 A
	60~80	8.9 A	8.4 A	8.1 A	8.2 A	7.5 A	7.6 A	7.7 A	9.3 A	7.7 A
	80~100	8.0 A	7.8 A	8.9 A	7.8 A	8.0 A	7.2 A	7.6 A	7.8 A	7.6 A

2.2 作物种类对土壤矿质氮的影响

为了比较施肥对土壤矿质氮(NO₃⁻-N+NH₄⁺-N)含量的影响及其与种植作物的关系,本试验比较了黑麦草和苜蓿两种植物对相同肥料处理(CK、PN0 和 PN1)的响应。结果表明(表 2 和表 3),除 PN1 处理黑麦草地 0~20 cm 土层土壤 NO₃⁻-N 含量有所增加外,其他施肥处理对两种作物不同土层土壤 NO₃⁻-N 含量和 NH₄⁺-N 含量均未产生明显影响,相同土层(除 40~60 cm 土层外)不同处理间,土壤 NO₃⁻-N 和 NH₄⁺-N 含量的差异不明显。该研究结果初步表明,至少在低施氮条件下,黑麦草地和苜蓿地不同土层土壤矿质氮含量差异不明显,种植作物种类对土壤矿质氮的分布无明显影响。

2.3 施氮对土壤矿质氮含量及其累积的影响

施氮显著影响作物的生长和土壤的矿质氮含

量。由表 2 可知,对 0~20 cm 土层,与未施肥(CK)对照相比,PN0 处理时黑麦草地土壤 NO₃⁻-N 含量与其接近;与 PN0 处理相比,随施氮量增加,其他处理的 NO₃⁻-N 含量也有所增加。对其他土层也有相同的变化趋势。相关分析表明,在施磷的基础上,0~20,20~40,40~60,60~80 及 80~100 cm 土层的 NO₃⁻-N 含量与施氮量间的相关系数 *r* 在 2007 年分别为 0.99,0.97,0.97,0.96 和 0.93,在 2008 年分别为 0.99,0.96,0.97,0.97 和 0.94;回归系数在 2007 年分别为 0.12,0.07,0.03,0.04 和 0.07,在 2008 年分别为 0.14,0.08,0.03,0.04,0.08。回归分析结果说明,施氮对土壤 NO₃⁻-N 含量的影响随土层深度的变化而改变,其中对 0~20 cm 土层的影响最为显著,对 40~60 cm 土层的影响相对较弱。

施肥对土壤矿质氮累积的影响如表 4 所示。

表 4 黑麦草地和苜蓿地土壤剖面中矿质氮(NO₃⁻-N+NH₄⁺-N)累积量的差异

Table 4 Accumulation of mineral nitrogen (NO₃⁻-N+NH₄⁺-N) in soil profile kg/hm²

采样年份 Year	土层/cm Layer	黑麦草地 Ryegrass Soil						苜蓿地 Alfalfa Soil		
		CK	PN0	PN1	PN2	PN3	PN4	CK	PN0	PN1
2007	0~20	41.9 A	41.8 A	50.1 A	66.5 A	78.9 A	101.6 A	37.4 A	39.3 A	41.9 A
	20~40	29.7 B	30.4 B	34.3 B	38.8 B	52.9 B	60.2 B	28.5 B	32.1 B	31.6 B
	40~60	27.4 B	25.4 B	25.7 C	29.8 C	33.2 C	35.3 C	24.2 B	27.7 C	29.0 B
	60~80	26.9 B	26.8 B	28.0 C	30.6 C	36.8 C	41.3 C	24.7 B	31.0 B	25.9 B
	80~100	25.2 B	26.1 B	29.3 C	30.5 C	44.7 B	58.4 C	25.6 B	26.3 C	27.2 B
	0~100	151.1	150.4	167.3	196.0	246.5	296.8	140.4	156.3	155.5
2008	0~20	39.8 A	40.2 A	47.3 A	68.2 A	79.0 A	104.6 A	36.6 A	37.4 A	40.6 A
	20~40	29.4 B	30.3 B	34.2 B	40.1 B	57.0 B	64.9 B	27.7 B	31.7 B	30.9 B
	40~60	26.6 B	26.4 B	24.5 C	29.9 C	33.6 C	36.8 C	23.9 B	28.7 C	29.1 B
	60~80	26.8 B	26.3 B	25.9 C	30.9 C	37.7 C	42.8 C	24.6 B	30.4 B	26.6B
	80~100	25.4 B	25.6 B	28.7 C	31.1 C	47.9 C	64.5 B	25.2 B	27.1 C	27.2 B
	0~100	148.0	148.7	160.5	200.1	255.2	313.6	137.9	155.2	154.2

由表 4 可知,施氮后土壤剖面发生矿质氮累积,但不同施氮水平、不同土层和不同作物对其累积作

用的影响不同。从不同施氮水平看,总体上不同土层土壤矿质氮累积量均随施氮水平的提高而增加。

在高施氮水平(PN4)下,0~100 cm 土层土壤矿质氮的累积量在 2007 和 2008 年分别高达 296.8 和 313.6 kg/hm²。从不同土层看,在 PN1、PN2、PN3 和 PN4 处理条件下,不同土层土壤矿质氮累积量的大小顺序为 0~20 cm>20~40 cm>80~100 cm>60~80 cm>40~60 cm。这一结果初步揭示 40~60 cm 土层矿质氮(特别是硝态氮)累积量较低,其原因可能与该土层的硝态氮在干旱气候条件下向上层迁移,在降雨时向深层淋溶有关,在高施氮条件下矿质氮更易在较深土层(80~100 cm)累积。比较不同植物可以发现,在 CK、PN0、PN1 处理条件下,黑麦草地和苜蓿地 0~100 cm 土层土壤总矿质氮累积量的差异不明显。

3 讨 论

高施氮水平下,当季植物未完全利用的肥料氮可在土壤中累积,并易发生淋溶,造成矿质氮的深层累积。长期以来,研究人员对不同施肥条件下矿质氮,特别是硝态氮在不同土层土壤中的累积进行了大量研究^[14-17],但对黄土高原北部水蚀风蚀交错区这种典型生态环境脆弱区,不同施肥处理下土壤矿质氮含量及累积量变化的研究较少。本研究表明,在黄土高原水蚀风蚀交错区的土壤条件下,不同施氮水平对土壤的硝态氮含量及矿质氮累积量均有明显影响,土壤硝态氮含量和 0~100 cm 土层土壤矿质氮累积量均随施氮量的增加而增加,但对铵态氮分布的影响相对较小。相关研究表明,对半干旱半湿润旱地土壤,0~60 cm 土层可矿化氮的分布存在明显的层次特征^[20],半干旱半湿润农田生态系统土壤剖面中有大量 NO₃⁻-N 残留^[21];在长期施肥土壤剖面中,NH₄⁺-N 含量及其累积量不仅在不同土层中的差异不大,而且在不同生态系统和管理条件下的差异也不大^[22]。本研究结果与上述研究结果基本一致。

李世清等^[22]对半湿润易旱地区红垆土的研究表明,连续施氮对 NO₃⁻-N 在土层中的残留累积有显著影响,并随着施氮量的增加而增加。本试验结果表明,在不同施肥条件下,不同土层土壤硝态氮含量和矿质氮累积量均以 0~20 cm 土层最高,且随着施肥量增加,较深层次(80~100 cm)土层土壤硝态氮含量和矿质氮累积量也有所增加;在相同施肥条件下,苜蓿地和黑麦草地 0~100 cm 土层土壤矿质氮累积量的差异不明显。

土壤 NO₃⁻-N 的分布特点可能与微生物活动、

施肥量、降雨量及土壤性质等因素有关。表层土壤有机质含量丰富,微生物活动强,矿质氮含量相对较高;一般来说,氮肥表施,土壤表层的 NO₃⁻-N 含量受施肥的影响最大,土层越深,受肥料影响越小,但受试验区集中降雨的影响,雨水淋溶下渗,导致高施氮处理下底层土壤同样受氮素累积的影响;此外,NO₃⁻-N 活性强,易被作物吸收和利用,同时也可通过不同途径从土壤中损失。本研究还表明,土层中有大量 NH₄⁺-N 存在,且分布均一。一般来说,NH₄⁺-N 含量在很大程度上受到土壤矿物组成的影响,且其含量水平比较稳定,被土壤颗粒吸附的 NH₄⁺-N 有可能经过硝化作用而变为 NO₃⁻-N。因此,土壤性质对 NH₄⁺-N 分布影响较大,而受施肥的影响较小。可以看出,土壤剖面中矿质氮含量和分布是微生物活动、施肥量、降雨和土壤性质等环境条件影响下,土壤氮素转化和移动等过程的综合体现。

[参考文献]

- [1] 白由路,金继运,杨俐苹,等. 农田土壤养分变异与施肥推荐[J]. 植物营养与肥料学报,2001,7(2):129-133.
Bai Y L, Jin J Y, Yang L P, et al. Variability of soil nutrients in field and fertilizer recommendation [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2001, 7(2): 129-133. (in Chinese)
- [2] 胡克林,陈德立. 农田土壤养分空间变异性特征 [J]. 农业工程学报,1999,15(3):33-38.
Hu K L, Chen D L. Spatial variability of soil nutrient in wheat field [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 1999, 15(3): 33-38. (in Chinese)
- [3] 黄绍文,金继运,杨俐苹,等. 县级区域粮田土壤养分空间变异与分区管理技术研究 [J]. 土壤学报,2003,40(1):79-88.
Huang S W, Jin J Y, Yang L P, et al. Spatial variability and regionalized management of soil nutrients in the grain crop region in Yutian county [J]. Acta Pedologica Sinica, 2003, 40(1): 79-88. (in Chinese)
- [4] 郑险峰,李紫燕,李世清. 农田浅层土壤氮素空间分布研究 [J]. 土壤与环境,2002,11(4):370-372.
Zheng X F, Li Z Y, Li S Q. Study on the distribution of nitrogen in shallow soil of farmland [J]. Soil and Environmental Sciences, 2002, 11(4): 370-372. (in Chinese)
- [5] 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):2041-2049.
Wu J S, Guo S L, Dang T H. Mechanisms in the accumulation and movement of mineral N in soil profiles of farming land in a semi-arid region [J]. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(10): 2041-2049. (in Chinese)
- [6] 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):783-789.
Zhou S L, Zhang F S, Wang X R. Studies on the spatio-tempo-

ral variations of soil NO_3^- -N and apparent budget of soil nitrogen. I: Winter wheat [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21 (11):783-789. (in Chinese)

[7] 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. II: 夏玉米 [J]. *生态学报*, 2002, 22(1):48-53. 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. II: Summer maize [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22 (1):48-53. (in Chinese)

[8] 何文寿. 宁夏不同农业生态区土壤养分时空变化特征 [J]. *干旱地区农业研究*, 2004, 22(2):25-30, 53. He W S. Temporal and spatial variability of soil N, P and K contents in different agroecological regions of Ningxia [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2004, 22(2):25-30, 53. (in Chinese)

[9] 何文寿. 宁夏农田土壤耕层养分含量的时空变化特征 [J]. *土壤通报*, 2004, 35(6):709-714. He W S. Temporal and spatial variability of soil nutrients in plough layer of farmland soils in Ningxia Province [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2004, 35(6):709-714. (in Chinese)

[10] Olfs H W, Blankenau K, Brentrup F, et al. Soil and plant-based nitrogen-fertilizer recommendations in arable farming [J]. *J Plant Nutr Soil Sci*, 2005, 168(93):414-431.

[11] Drahorad W. Guideline for apple nutrition in the south Tyrol [J]. *Compact Fruit Tree*, 2004, 37(1):30-32.

[12] 汤丽玲, 陈 清, 张福锁, 等. 日光温室番茄的氮素追施与反馈控制 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2004, 10(4):391-397. Tang L L, Chen Q, Zhang F S, et al. Nitrogen topdressing and feedback control in greenhouse tomato [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2004, 10(4):391-397. (in Chinese)

[13] Westcott M, Engel R, Jacobsen J, et al. Residual soil nitrated responses to early and late-season nitrogen applications to irrigated spring wheat [J]. *Fertilizer Facts*, 1997, 13:145-150.

[14] Ferguson R B, Hergert G W, Schepers J S, et al. Site-specific nitrogen management of irrigated maize: Yield and soil residual nitrate effects [J]. *Soil Sci Soc Am J*, 2002, 66:544-553.

[15] 胡田田, 李生秀, 郝乾坤. 旱地土壤矿质氮和可矿化氮与土壤供氮能力的关系 [J]. *水土保持学报*, 2000, 14(4):83-86. Hu T T, Li S X, Hao Q K. Relationship between soil mineralized N, mineralizable N and soil nitrogen-supplying capacity [J]. *Journal of Soil Water Conservation*, 2000, 14(4):83-86. (in Chinese)

[16] 李生秀, 高亚军, 胡田田, 等. 旱地土壤的合理施肥. VII: 旱地土壤起始矿质氮与玉米对产量的反应 [J]. *干旱地区农业研究*, 1993, 11 (增刊):36-39. Li S X, Gao Y J, Hu T T, et al. Rational application of fertilizers on drylands. VII: The correlation between initial nitrate in dryland soil and maize response to N fertilizer [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 1993, 11 (Supple):36-39. (in Chinese)

[17] 叶优良, 李生秀. 石灰性土壤起始 NO_3^- -N 对土壤供氮能力测定方法的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2002, 8(3):310-317. Ye Y L, Li S Y. Influence of initial nitrate-nitrogen on methods of measuring soil nitrogen supplying capacity in calcareous soils [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2002, 8 (3):310-317. (in Chinese)

[18] 唐克丽. 黄土高原水蚀风蚀交错带治理的重要性与紧迫性 [J]. *中国水土保持*, 2000, 24(11):11-12, 17. Tang K L. Importance and urgency of harnessing the interlocked area with both water and wind erosion in the Loess Plateau [J]. *Soil and Water Conservation in China*, 2000, 24 (11):11-12, 17. (in Chinese)

[19] 查 轩, 唐克丽. 水蚀风蚀交错带小流域生态环境综合治理模式研究 [J]. *自然资源学报*, 2000, 15(1):97-100. Zha X, Tang K L. Study on comprehensive control model of small watershed eco-environment in water and wind crisscrossed erosion zone [J]. *Journal of Natural Resources*, 2000, 15(1):97-100. (in Chinese)

[20] 李世清, 李生秀. 作物生长期间土壤可矿化氮的变化 [J]. *水土保持学报*, 1996, 2(9):75-77. Li S Q, Li S X. Changes of soil mineralisable N during crops growth periods [J]. *Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation*, 1996, 2(9):75-77. (in Chinese)

[21] 李世清, 王瑞军, 李紫燕, 等. 半干旱半湿润农田生态系统不可忽视的土壤氮库——土壤剖面中累积的硝态氮 [J]. *干旱地区农业研究*, 2004, 22(4):3-9. Li S Q, Wang R J, Li Z Y, et al. Soil nitrogen pool not to be ignored residual NO_3^- -N accumulated in soil profile in semi-arid and semihumid agro-ecological system [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2004, 22(4):3-9. (in Chinese)

[22] 李世清, 高亚军, 杜建军, 等. 连续施用氮肥对旱地土壤氮素状况的影响 [J]. *干旱地区农业研究*, 1999, 17(3):30-33. Li S Q, Gao Y J, Du J J, et al. Effect of continuously applying nitrogen fertilizer on the nitrogen in dryland soil [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 1999, 17(3):30-33. (in Chinese)