

长期不同施肥对壤土氮素分布的影响

赵 聪^{1,2}, 曹莹菲^{1,2}, 刘 克^{1,2}, 杨学云^{1,2}, 吕家珑^{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:在冬小麦-夏玉米轮作制度下,研究不同有机肥-无机肥长期施用对壤土碱解氮以及 NO_3^- -N 的分布、累积和阶段性移动的影响。结果表明:施用有机肥、化肥和两者混合施用有助于提高土壤碱解氮和硝态氮的含量,尤其对耕层土壤影响较为显著;有机肥对土壤中碱解氮含量的增加效果较为明显,而化肥则易提高土壤中硝态氮的含量;与对照相比有机肥会减缓土壤剖面深层硝态氮含量的积累,有效控制硝态氮向下淋溶;整个剖面中同年秋季土壤的氮含量>夏季土壤。所有处理中,施用低量有机肥或者其配施低量化肥($\text{M150 t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $\text{N150 kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $\text{P60 kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)是较为理想的施肥方式,既提高土壤肥力又缓解 NO_3^- -N 在土壤剖面中的累积和淋失。

关键词:施肥;土壤;碱解氮;硝态氮;不同季节;分布

中图分类号:S153.6 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2013)07-1375-07 doi:10.11654/jaes.2013.07.014

Effects of Long-term Different Fertilization on the Nitrogen Distribution in Manural Loessial Soil

ZHAO Cong^{1,2}, CAO Ying-fei^{1,2}, LIU Ke^{1,2}, YANG Xue-yun^{1,2}, LÜ Jia-long^{1,2*}

(1.College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling 712100, China; 2.Key Laboratory of Plant Nutrition and Agri-Environment in Northwest Region, Ministry of Agriculture, P.R. China, Yangling 712100, China)

Abstract: This study had evaluated the effects of long-term different fertilizer treatments including organic manure, chemical fertilizer, and their combinations on accumulation and movement of NO_3^- -N and alkali-hydrolyzable N in Manural Loessial Soil under wheat-corn rotation system. The different fertilizer treatments increased the contents of alkali-hydrolyzable nitrogen and nitrate nitrogen in the soil, especially the available nitrogen in plow layer. The addition of manure had more significant positive effect on alkali-hydrolyzable N in the soil; and the application of chemical fertilizer had more significant role in increasing soil NO_3^- -N. Compared to the control (without addition of fertilizer), the addition of manure decreased the accumulation and leaching of NO_3^- -N in soil profile. The contents of soil nitrogen in fall was higher than that in summer in the same year. The application of low rate of manure or combining with low rates of chemical fertilizer ($\text{M150 t}\cdot\text{hm}^{-2}$, $\text{N150 kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, $\text{P 60 kg}\cdot\text{hm}^{-2}$) was the effective way to control accumulation of NO_3^- -N in soil profiles and leaching loss.

Keywords: fertilization; soil; alkali-hydrolyzable nitrogen; nitrate nitrogen; different seasons; distribution

氮是土壤肥力的重要指标之一,也是作物所必需的元素之一,影响着土壤的物理、化学和生物学性质。研究氮素在土壤剖面、季节性的变化规律,是为调节氮素利用积累、维持和提高土壤质量、促进农业可持续发展、减少无机氮淋溶从而影响环境等问题提供依据。

施用肥料对农业增产功不可没,但是施用不合理,随即产生如降低肥料利用率、增加成本、污染环境

等问题,特别是土壤中硝态氮的淋溶和积累会导致土壤肥力降低,造成硝态氮在土壤以及作物中的无效累积和富集,污染生态环境^[1-7],危害人类健康。探明不同化肥用量以及配合有机肥施用对土壤有效氮素累积和淋失的影响,对减轻或避免氮素对地下水的污染等环境问题具有重要的意义。

黄土高原关中地区具有悠久的农耕历史,实行冬小麦-夏玉米轮作制度^[8]。长期的农业耕作,使用肥料,其施肥量、施肥方式对土壤氮素以及生态环境都产生影响,且土壤本身具有复杂性和多变性。因此,人们采取长期试验来研究施肥所产生的问题,尤其是英国洛桑试验站,其科研成果对英国乃至世界农业发展都做

收稿日期:2013-01-22

基金项目:中国农科院土壤质量重点开放实验室开放基金(09-01)

作者简介:赵 聪(1987—),女,山东寿光人,在读硕士,主要从事土壤化学研究。E-mail: caomeizidacong@126.com

* 通信作者:吕家珑

出了巨大贡献^[9]。多年来,人们对关中地区的施肥情况也进行了研究,大量的文献报道了不同肥料施用或配合施用对作物产量与土壤肥力的影响^[10-11],肯定了有机肥-无机肥配合施用的效应,但施肥对土壤氮素的影响造成生态环境方面问题的综合报道较少,对于该区连续长期不同有机肥、无机肥施用对土壤中氮的影响及累积特性等方面还缺乏研究。因此,利用长期定位试验田研究无机肥-有机肥配合施用对土壤氮素的影响,通过关中地区施肥量与有机肥、无机肥对土壤剖面碱解氮和硝态氮含量的影响以及对硝态氮淋溶影响的研究,确定较为理想的施肥方式。

1 材料与方法

1.1 试验设计及试验地概况

供试土壤 2009 年采于长期试验田。长期试验于 1980 年在陕西省杨凌区陈小寨村(简称陈小寨)开始进行,截至 2009 年,该试验田处于渭河的二级阶地上,实行小麦-玉米轮作。当地年平均气温 13℃,年平均降雨量 550~600 mm。

试验田土壤概况:土壤为壤土,有机质含量 11.81 g·kg⁻¹(有机碳 6.85 g·kg⁻¹),全氮含量 0.81 g·kg⁻¹,全磷含量 0.79 g·kg⁻¹,碱解氮含量 61.2 mg·kg⁻¹,速效磷含量 15 mg·kg⁻¹,速效钾含量 295 mg·kg⁻¹,属于中等肥力。pH 值 8.3,质地是粉砂粘壤土。

试验采用田间裂区设计,以施用有机肥为主区,施用化肥为副区,试验共设 9 个处理(表 1),3 次重复,即 27 个小区,每个小区面积 33.34 m²。根据气候情况进行灌溉,一般小麦每季灌水 2~3 次,玉米 2~4 次,每次灌水定额 750~900 m³·hm⁻²。玉米品种为陕单九号,小麦以郑引 1 号为主。此长期试验开始的第一年氮、磷化肥用尿素和过磷酸钙,以后试验期间,各年均用尿素和磷酸二铵。

试验中的施肥量(表 1)均为一年(小麦、玉米各一季,共两季,两季施肥量相同)作物的施肥量,从 1980 年开始,前两季玉米有机肥和磷肥于苗期一次追施,氮肥分苗期和拔节期各半追施,此后全部改为

于苗期一次追施;小麦施肥均结合播前整地时一次施入作为基肥,全是开沟条施。由于多年施用有机肥(土粪)的小区造成土层增高影响灌溉,对有机肥用量作了调整,其中 3 季(1.5 a)未施,2 季(1 a)为原施量的 1/4,自第 9 年开始改为原施量的一半(表 1)。

供试验用的有机肥为农家土粪,质量不一,经测定,其中的有机质含量 17.1~69.4 g·kg⁻¹,全氮含量 1.21~5.11 g·kg⁻¹,全磷含量 0.84~2.98 g·kg⁻¹,全钾含量 20.6~26.5 g·kg⁻¹,碱解氮含量 61~1113 mg·kg⁻¹,速效磷含量 73.4~456.9 mg·kg⁻¹,速效钾含量 830~3749 mg·kg⁻¹。现阶段一年(两次)肥料用量及处理如表 1 所示。

1.2 土壤取样与分析方法

分别在 2009 年 6 月小麦收获后和 2009 年 10 月玉米收获后,分层(0~10、10~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm)采集土壤混合样品(A:夏季土样;B:秋季土样);采集方式为在每个小区用五点法布置样点,每一层次 5 个点土样均匀混合后带回实验室。取新鲜土样用 1 mol·L⁻¹ 的 KCl 浸提土壤中的 NO₃-N(土水比 1:10,振荡 1 h),用连续流动分析仪测定土壤浸提液中 NO₃-N 的含量;剩余土样风干后分别过 1 mm 筛,用碱解扩散法测定土壤中碱解氮含量。

2 结果与分析

2.1 施肥对土壤碱解氮含量的影响

2.1.1 不同处理对耕层土壤碱解氮含量的影响

耕层 0~20 cm 土壤中的氮对作物影响很大,所以将该试验中 0~10、10~20 cm 土壤碱解氮测定结果单独列出见图 1。总体而言,两个季节的土壤,0~10 cm 土层中的碱解氮都显著大于 10~20 cm 土层,0~10 cm 土壤中的平均碱解氮含量是 10~20 cm 的 1.93 倍,施肥处理对 0~10 cm 和 10~20 cm 土壤中碱解氮含量影响的变化趋势是一致的。

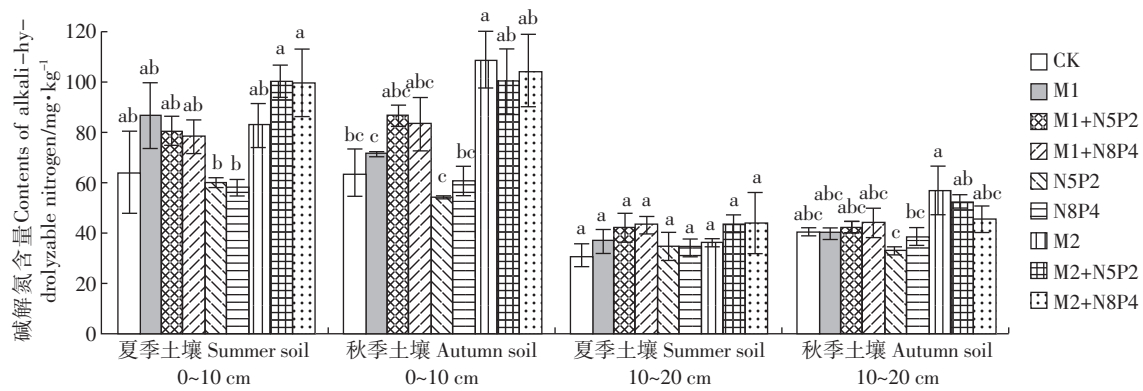
与对照(CK)长年不施肥相比,不同施肥处理夏季土壤、秋季土壤中碱解氮含量都有一定程度的增加,其中高量有机肥与无机肥配合即处理 M2+N8P4

表 1 有机肥与化肥配施定位试验方案

Table 1 Program of organic manure and chemical fertilizer application in the located experiment

处理 Treatments	CK	N5P2	N8P4	M1	M1+N5P2	M1+N8P4	M2	M2+N5P2	M2+N8P4
M/t·hm ⁻² ·a ⁻¹	0	0	0	150	150	150	300	300	300
N/kg·hm ⁻² ·a ⁻¹	0	150	240	0	150	240	0	150	240
P ₂ O ₅ /kg·hm ⁻² ·a ⁻¹	0	60	120	0	60	120	0	60	120

注:M:Organic manure



方差分析采用的是 Duncan 氏新复极差法($\alpha=5\%$)。下同

Analysis of variance was used with Duncan New multiple range method($\alpha=5\%$). The same below

图 1 不同处理对土壤耕层碱解氮含量的影响

Figure 1 Effects of contents of alkali-hydrolyzable nitrogen in different treatments in top soil

($M300\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $N240\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $P120\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$) 和 $M2+N5P2$ ($M300\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $N150\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $P60\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)使土壤中碱解氮增加量最大。以夏季土样 0~10 cm 为例, $M2+N8P4$ ($M300\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $N240\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $P120\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$) 处理相比 CK 增加了 $36.11\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

单施有机肥处理, 即处理 M1、M2 与 CK 之间的比较得出, 有机肥增加了土壤中碱解氮含量, 且随着有机肥的增加, 土壤中碱解氮含量是增加的, 特别是秋季土壤, 达到了显著水平; 但是单施化肥, 即处理 N5P2、N8P4 和 CK 之间进行比较, 施化肥处理土壤中碱解氮含量反而低于 CK, 其中, 夏季土壤中碱解氮含量随着化肥用量的增加, 土壤碱解氮是减少的, 秋季土壤碱解氮含量随化肥的增加是增加的。

有机肥和化肥配合施用增加土壤碱解氮的含量最多(对比 CK), 处理 M1+N5P2 与 M2+N5P2 之间、M1+N8P4 与 M2+N8P4 之间的比较得出, 施用相同无机肥的情况下, 配施有机肥增加了土壤碱解氮含量, 且效果非常明显, 达到显著水平。处理 M1+N5P2 和 M1+N8P4 进行比较, 可以得出相同低量有机肥处理中, 土壤中碱解氮含量随无机肥施用量的增加变化不大; 相同高量有机肥处理 M2+N5P2、M2+N8P4 比较的结果也是如此。有机肥和化肥混合施用, 对耕层土壤碱解氮含量影响最大, 碱解氮含量与有机肥用量成正比(起主要作用), 而化肥用量的增加没有明显效果。

2.1.2 不同处理对土壤剖面碱解氮含量的影响

将不同处理的土壤剖面(0~100 cm)碱解氮含量列于表 2(夏季)和表 3(秋季)。表 2 和表 3 中相应的土层碱解氮含量进行比较, 秋季土壤的碱解氮含量>

夏季土壤; 各个处理表层碱解氮含量最大, 随深度的增加, 在 10~40 cm 土层土壤碱解氮急剧减少, 且夏季土壤减少较快; 不同施肥处理对表层(0~20 cm)土壤碱解氮含量影响大, 其增加幅度较大, 达到了显著水平, 2.1.1 已经对不同处理对表层(0~20 cm)碱解氮的影响趋势做出说明, 对较深层次的影响较小, 没有明显的规律, 且不同施肥处理对其影响不显著; 土壤剖面碱解氮含量具有明显的层次性。

夏季土壤剖面中, 单施有机肥处理 M1、M2 相对于 CK 而言, 表层碱解氮含量大, 但随着深度增加, 其含量反而小于 CK; 单施化肥处理 N5P2、N8P4 表层碱解氮含量低于 CK, 底层却高于 CK, 与单施有机肥处理 M1、M2 的结果相反; 混合施肥处理 M1+N5P2、M1+N8P4、M2+N5P2、M2+N8P4 中, 剖面各个土层碱解氮含量都比 CK 高。而秋季土壤则不同, 总体来说, 处理 N5P2、N8P4 的土壤剖面碱解氮含量都低于 CK, 其余各个施肥处理除耕层土壤碱解氮含量大于 CK, 剖面碱解氮含量与 CK 相差不大。

由以上结果可以看出, 施用有机肥和化肥对土壤耕层以下的剖面土壤中碱解氮含量的影响不明显, 剖面碱解氮含量增加最多的是有机和无机肥料配合施用处理。

2.2 施肥对土壤硝态氮含量的影响

2.2.1 不同处理对土壤耕层硝态氮含量的影响

图 2 显示, 施肥可以明显增加土壤耕层的硝态氮含量, 各个施肥处理相对长年不施肥的 CK 处理土壤中硝态氮的含量都有明显的升高, 达到显著水平, 但是由于作物生长需要氮素, 所以各处理之间的硝态氮

表 2 夏季不同土层土壤碱解氮含量($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)Table 2 Contents of different soil layers alkali-hydrolyzable nitrogen in summer($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

土层	CK	M1	M1+N5P2	M1+N8P4	N5P2	N8P4	M2	M2+N5P2	M2+N8P4
0~10 cm	64.24ab	86.89ab	80.78ab	78.81ab	60.56b	58.47b	83.33ab	100.75a	100.35a
10~20 cm	31.05a	36.95a	42.62a	43.65a	35.28a	34.76a	37.10a	43.97a	44.71a
20~40 cm	24.95a	25.76a	22.86a	26.46a	26.57a	22.20a	22.97a	25.71a	22.19a
40~60 cm	19.06a	20.46a	18.55a	18.61a	21.08a	14.79a	14.94a	19.26a	14.90a
60~80 cm	15.65a	13.45a	15.06a	18.84a	19.18a	14.45a	11.99a	15.69a	21.55a
80~100 cm	15.52a	14.66a	15.78a	18.85a	17.02a	15.41a	13.90a	15.68a	19.14a

注:在同一土层处理之间采用 Duncan 氏新复极差法($\alpha=5\%$)。下同。

Note: Analysis of variance was used with Duncan New multiple range method($\alpha=5\%$) in the same layer. The same below.

表 3 秋季不同土层土壤碱解氮含量($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)Table 3 Contents of different soil layers alkali-hydrolyzable nitrogen in autumn($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

土层	CK	M1	M1+N5P2	M1+N8P4	N5P2	N8P4	M2	M2+N5P2	M2+N8P4
0~10 cm	63.54bc	71.66c	87.19abc	84.12abc	54.78c	61.21bc	109.18a	100.58ab	104.87ab
10~20 cm	40.44abc	40.26abc	42.90abc	44.82abc	33.91c	39.13bc	57.34a	53.09ab	45.82abc
20~40 cm	27.08abc	28.69abc	29.60abc	27.09abc	24.05c	26.60bc	33.71ab	31.92ab	34.27a
40~60 cm	19.20a	18.46a	17.40a	19.84a	17.86a	18.80a	22.14a	20.67a	24.36a
60~80 cm	19.91a	21.12a	19.66a	23.17a	17.26a	17.83a	17.70a	18.76a	21.29a
80~100 cm	21.25a	21.88a	19.03a	23.61a	19.60a	20.19a	22.30a	20.78a	22.64a

含量差异多不显著。与碱解氮一样,0~10 cm 土壤中硝态氮的含量显著高于 10~20 cm。

单独施用有机肥处理 M1、M2 与 CK 之间的比较显示有机肥明显增加了土壤耕层硝态氮的含量,但是其含量与有机肥用量的多少并无多大联系,即 M1、M2 处理之间土壤硝态氮含量差异不大。单独施用无机肥处理 N5P2、N8P4 与 CK 相比较结果显示,土壤耕层中硝态氮含量与单独施用化肥的用量也是成正比,且影响较大。有机无机配合施肥中,在相同的有机肥施用下即 M1+N5P2 与 M1+N8P4 的比较和 M2+

N5P2 与 M2+N8P4 的比较得出,随着化肥用量的增加,土壤耕层的硝态氮含量是升高的,且增加幅度较大,达到显著水平;同样,M1+N5P2 与 M2+N5P2 的比较和 M1+N8P4 与 M2+N8P4 的比较得出,相同无机肥用量的情况下,土壤中硝态氮含量与其中的有机肥用量成正比,但是影响并不大。

土壤耕层的硝态氮含量随着处理的变化与土壤中碱解氮的变化具有相似之处,两者具有相关性(相关系数为 0.897 87**),硝态氮含量最高的也是 M2+N8P4($\text{M300 t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $\text{N240 kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $\text{P120 kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)处理,

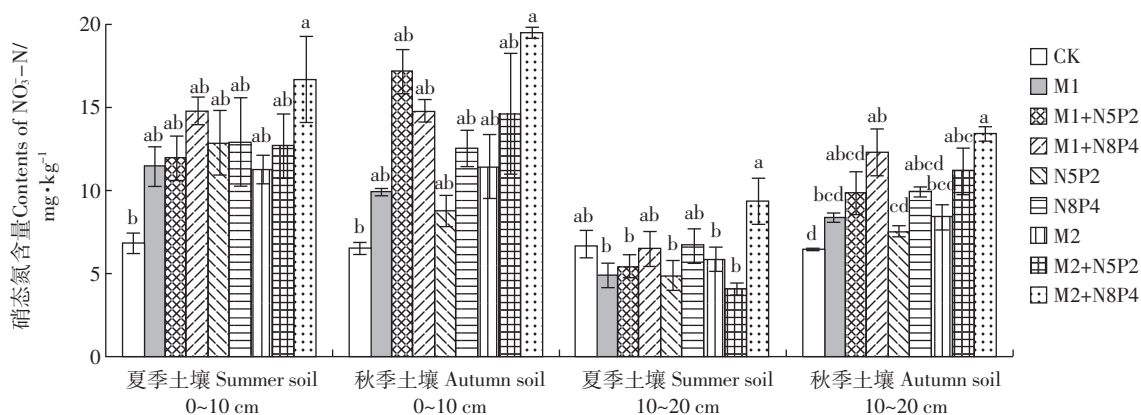


图 2 不同处理对土壤耕层硝态氮含量的影响

Figure 2 Effects of contents of $\text{NO}_3\text{-N}$ in different treatments in top soil

高达 $16.74 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。但与碱解氮不同的是,有机肥对土壤碱解氮含量影响较大,虽然对硝态氮也有作用,但其量的多少则对土壤硝态氮含量大小的影响不明显,而无机肥对土壤硝态氮的含量影响显著。

2.2.2 不同处理对土壤剖面硝态氮含量的影响

在陈小寨长期定位试验中,两个季节土样 0~100 cm 土层剖面 $\text{NO}_3\text{-N}$ 累积特征见表 4 和表 5。整个剖面中硝态氮的含量,秋季土壤>夏季土壤;施肥量对土壤 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的累积影响非常大,从方差分析的结果来看,不同施肥处理对不同土层硝态氮含量的影响大于对碱解氮含量的影响。

对照不施肥处理 CK 的剖面硝态氮含量分布较为均匀,差异不大,其余施肥处理 0~10 cm 土层中硝态氮含量明显高于底下各层。在表 4 夏季土壤中,20 cm 以下的土层中硝态氮的含量大幅度下降,在 60~80 cm 处有一个小高峰;在表 5 秋季土壤 0~100 cm 土层中,随土层深度增加逐渐减少,与夏季土壤的急剧下降形成对比,淋溶也较明显。

表 4、表 5 显示,处理 N5P2、N8P4 与 M1、M2 比较得出,相对于单施有机肥处理(M1、M2),单独施用化肥处理(N5P2、N8P4)的 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量高,甚至在夏季土壤中,单施无机肥(N5P2、N8P4)比有机-无机混合施肥处理 M1+N5P2、M1+N8P4、M2+N5P2 在剖面上的硝态氮含量还高,淋溶也明显;有机肥和化肥混

合施用,处理 M1+N5P2 与 M1+N8P4 的比较和 M2+N5P2 与 M2+N8P4 的比较证明:在施用相同有机肥的基础上,施用化肥多的土壤 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量高,且提高的幅度较大;M1+N5P2、M2+N5P2 的比较和 M1+N8P4、M2+N8P4 的比较说明,无机肥施用量不变,土壤硝态氮含量随有机肥的增加略微上升,差异不大;处理 M1、M2、CK 比较得出,施用有机肥对较深层次的 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量影响不大,甚至在夏季土壤 40 cm 以下,M1、M2 处理 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量比 CK 的含量都少。

以上结果说明,不同土层土壤 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量随化肥施用量增加而增加明显,有机肥有减缓土壤硝态氮淋溶的效果,有机肥(M)与化肥配合施用对土壤中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的影响与其中化肥的施用量有很大关系。不同层次、不同季节,M2+N8P4 ($\text{M}300 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $\text{N}240 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $\text{P}120 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)处理影响都是最大的,且硝态氮含量也是最高的。

3 讨论

3.1 化肥的影响

不少研究表明,随着长期施用无机化肥,土壤中氮素含量增加,特别是土壤中无机氮的增加,自然会造土壤剖面中硝态氮积累,且会向下淋溶。由于长期定位试验施肥量也并不是很大,土壤中的氮素利用率高,被作物所吸收,使耕层土壤中的碱解氮含量小

表 4 夏季土壤不同层次硝态氮含量($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Table 4 Nitrate-N concentrations in different lays in summer($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

土层	CK	M1	M1+N5P2	M1+N8P4	N5P2	N8P4	M2	M2+N5P2	M2+N8P4
0~10 cm	6.93b	11.48ab	11.98ab	14.82ab	12.89ab	12.91ab	11.3ab	12.72ab	16.74a
10~20 cm	6.83ab	4.92b	5.45b	6.51ab	4.90b	6.70ab	5.86b	4.07b	9.36a
20~40 cm	4.01ab	3.89ab	3.13ab	3.56ab	4.62ab	3.48ab	2.75b	3.21ab	8.20a
40~60 cm	2.52ab	2.45b	1.99b	2.21b	3.23ab	5.34a	2.21b	3.71ab	4.58ab
60~80 cm	3.09b	2.71b	2.52b	2.83b	4.51ab	6.25a	2.86b	2.59b	3.86b
80~100 cm	3.01b	2.50b	1.93b	2.15b	3.18ab	5.42a	2.27b	2.18b	3.38ab

表 5 秋季土壤不同层次硝态氮含量($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Table 5 Nitrate-N concentrations in different lays in autumn($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

土层	CK	M1	M1+N5P2	M1+N8P4	N5P2	N8P4	M2	M2+N5P2	M2+N8P4
0~10 cm	6.61b	9.96ab	17.19ab	14.80ab	8.82ab	12.58ab	11.46ab	14.64ab	19.53a
10~20 cm	6.50d	8.38bcd	9.87abcd	12.30ab	7.54cd	9.95abcd	8.40bcd	11.21abc	13.44a
20~40 cm	6.01d	6.60d	7.28cd	10.93ab	6.71d	8.44abc	8.17cd	9.53bc	12.71a
40~60 cm	4.68d	5.28d	5.96cd	10.58a	5.66d	8.46b	5.48d	7.63bc	10.69a
60~80 cm	4.70c	4.89c	6.14c	10.46a	5.54c	8.52b	4.57c	6.12c	8.26b
80~100 cm	4.44c	4.67c	6.06bc	10.94a	5.42bc	8.97ab	4.64c	5.75bc	7.50abc

于CK^[10]。

3.2 有机肥的影响

有机肥中的氮素较多,所以施用的有机肥会增加土壤耕层中碱解氮和硝态氮的含量。但是,各个处理之间对夏季土壤硝态氮含量的影响并不显著,甚至土壤剖面中有减少的趋势,原因是有机肥矿化分解过程中消耗了土壤中的部分氮素,也就是大量微生物的活动使矿质氮被固持,不会产生硝态氮的大量积累,若有机肥C/N高时还会减少硝态氮含量的积累^[12]。所以适当地施用有机肥可以控制硝态氮向下迁移,减缓硝态氮对地下水等的污染,减轻施用氮肥对生态环境的负担,且有利于储存氮素。这与吴金水等的研究结果类似^[13]。

3.3 不同施肥对不同季节土壤剖面中氮素的影响

土壤中碱解氮和NO₃-N含量主要集中在表层,而秋季土样在各个层面含量都比夏季土壤多,有一部分原因是夏季加秋季施肥积累的结果,更重要的是,土壤剖面中氮素含量有一定的季节变化规律,6月份土壤中的氮素含量低于10月份所采的土样,其变化与降雨、温度、作物生长的吸收利用等有密切关系。这与吴金水等研究的土壤剖面中硝态氮含量随季节变化的规律一致^[13]。作物生长使土壤中有效氮素下降,但是经过夏季高温与降雨促进土壤微生物的矿化和氮素的向下淋溶,秋季土壤中氮素含量在土壤剖面中是缓慢下降的,且含量较高;而小麦生长的旺盛时期(4—6月),干旱少雨,60 cm以上土层中的硝态氮要随着土壤水分向上移动,从而被作物吸收,所以60~80 cm有一个硝态氮的小高峰,这个季节限制了硝态氮向土壤深层淋溶,且土壤剖面中表层含量大,底层含量急剧下降。

对于粮食作物,一般认为每季的施肥量有一定的限度^[14],但是过量且长期施肥则引起土壤中NO₃-N的大量累积^[15],成为地下水NO₃-N的潜在污染源。在此试验中,当施肥量为N150 kg·hm⁻²、P60 kg·hm⁻²时,也可能是由于土壤粘化层的存在,NO₃-N分布均匀、累积较少,硝酸氮的累积幅度较小,是缓和的;但当施肥量再加大时,硝态氮累积量大幅度增加,NO₃-N穿过了粘化层向下移动就较快^[10]。

4 结论

(1)长期定位试验不同施肥处理中,整体剖面中同年秋季土壤的氮含量>夏季土壤;土壤剖面碱解氮、硝态氮含量具有明显的层次性。

(2)化肥易提高土壤中硝态氮的含量,而有机肥对土壤中碱解氮含量的增加效果较为明显,且缓解土壤剖面深层硝态氮含量的积累,有效控制硝态氮向下淋溶。所以就土壤中氮素含量来说,施用低量有机肥或者与低量化肥配施的处理(即M150 t·hm⁻²、N150 kg·hm⁻²、P60 kg·hm⁻²),既增加了土壤中有效氮素的含量,也不至于硝态氮向下淋溶影响生态环境,对于土壤环境来说较理想的施肥方式。

(3)施用有机肥,可以增加土壤中碱解氮含量且控制硝态氮含量,但是对于作物产量及其品质的影响,还需进一步研究,确定最为理想的施肥方式,需要适宜的用量、实施合理的有机无机肥料配施,综合作物与土壤环境的条件,找到合适的平衡点。

参考文献:

- [1] Bengstrom L. Nitrate leaching and drainage from annual and perennial crops in tile-drained plots and lysimeters[J]. *Environ Qual*, 1987, 16: 11-18.
- [2] Dou E, Fox R H, Toth J D. Seasonal soil nitrate dynamics in corn as affected by tillage and nitrogen source[J]. *Soil Sci Soc Am J*, 1995, 59: 858-864.
- [3] 郝小雨, 高伟, 王玉军, 等. 有机无机肥料配合施用对设施番茄产量、品质及土壤硝态氮淋失的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2012, 31(3): 538-547.
- HAO Xiao-yu, GAO Wei, WANG Yu-jun, et al. Effects of combined application of organic manure and chemical fertilizers on yield and quality of tomato and soil nitrate leaching loss under greenhouse condition[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2012, 31(3): 538-547.
- [4] 刘红梅, 修伟明, 赵建宁, 等. 不同施肥量和方式对小麦产量及土壤硝态氮的影响[J]. *湖北农业科学*, 2011, 50(2): 253-255.
- LIU Hong-mei, XIU Wei-ming, ZHAO Jian-ning, et al. Effects of nitrogen fertilizer rate and combined application of organic manure and chemical fertilizer on the yield of winter-wheat and accumulation of NO₃-N in soil[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2011, 50(2): 253-255.
- [5] Bergstrom L, Brink N. Effects of differentiated applications of fertilizer N leaching losses and distribution of inorganic N in soil[J]. *Plant and Soil*, 1986, 93(3): 333-345.
- [6] Chang C, Entz T. Nitrate leaching losses under repeated cattle feedlot manure applications in Southern Alberta[J]. *Journal of Environmental Quality*, 1996, 25(1): 145-153.
- [7] Emteryd O, Lu D Q, Nykvist N. Nitrate in soil profiles and nitrate pollution of drinking water in the loess region of China[J]. *Ambio*, 1998, 27(6): 441-443.
- [8] 袁新民, 杨学云, 同延安, 等. 不同施氮量对土壤NO₃-N积累的影响[J]. *干旱区农业研究*, 2001, 19(1): 8-14.
- YUAN Xin-min, YANG Xue-yun, TONG Yan-an, et al. Effect of N-fertilizer rate on soil nitrate nitrogen accumulation[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2001, 19(1): 8-14.

- [9] Jenkinson D S. The Rothamsted long-term experiment: Are they still of use?[J]. *Agron J*, 1991, 82: 2-10.
- [10] 杨学云, 张树兰, 袁新民, 等. 长期施肥对壤土硝态氮分布、累积和移动的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(2): 134-138.
YANG Xue-yun, ZHANG Shu-lan, YUAN Xin-min, et al. A long-term experiment on effect of organic manure and chemical fertilizer on distribution, accumulation and movement of $\text{NO}_3\text{-N}$ in soil[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2001, 7(2): 134-138.
- [11] 杨孔雀, 郝明德, 臧逸飞, 等. 黄绵土长期定位试验中硝态氮剖面分布特征[J]. 西北农业学报, 2011, 20(5): 176-180.
YANG Kong-que, HAO Ming-de, ZANG Yi-fei, et al. Effect of long-term located fertilization on $\text{NO}_3\text{-N}$ accumulation in the profile of loessial soil[J]. *Acta Agriculturae Borealia-Occidentalis Sinica*, 2011, 20(5): 176-180.
- [12] 刘杏认, 任建强, 刘建玲. 不同氮水平下有机碳氮比对土壤硝态氮残留量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(4): 31-32.
LIU Xing-ren, REN Jian-qiang, LIU Jian-ling. Effect of the manure with different C/N under different doses of N fertilizer on the content of soil $\text{NO}_3\text{-N}$ [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2006, 24(4): 31-32.
- [13] 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 Jin-shui, GUO Sheng-li, DANG Ting-hui. Mechanisms in the accumulation and movement profiles of farming land in a semi-arid region[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(10): 2041-2049.
- [14] 王兴仁, 张福锁, Odowski R. 石灰性潮土对氮肥连续施用的环境承受力[J]. 北京农业大学学报, 1995, 21(增刊): 95-98.
WANG Xing-ren, ZHANG Fu-suo, Odowski R. Environment capacity of calcareous meadow soil to nitrogen fertilizer applied continuously[J]. *Acta Agriculturae Universitatis Pekinensis*, 1995, 21(Suppl): 95-98.
- [15] Liang B C, MacKenzie A F. Changes of soil nitrate-nitrogen and denitrification as affected by nitrogen fertilizer on two Quebec soils[J]. *Journal of Environmental Quality*, 1994, 23(3): 521-525.