

施肥对设施菜地土壤硝态氮累积及 pH 的影响

沈灵凤¹, 白玲玉^{1*}, 曾希柏¹, 王玉忠²

(1.中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所 农业部农业环境重点实验室, 北京 100081; 2.甘肃省武威市凉州区农业技术推广中心, 甘肃 武威 733000)

摘 要:在甘肃武威市设施栽培条件下,通过田间小区试验研究了不同施肥量及肥料种类(化肥、有机肥、有机+无机)对设施土壤硝态氮累积、硝态氮在土壤剖面运移及土壤 pH 值变化的影响。结果表明:施氮量和肥料种类对土壤硝态氮的累积和淋溶均有较大的影响,随施氮量的增加,土壤剖面硝态氮累积量增加,其中对 0~20 cm 土层硝态氮累积量的影响最为显著;在同等施氮量时,单施无机肥处理(NPK)、有机无机肥减半配施处理(1/2MNPK)、单施有机肥处理(M),在 40~150 cm 土层硝态氮的累积量分别为 267.33、211.94、125.72 kg·hm⁻²,表明只施用化肥较有机肥、有机肥与化肥配施更易造成土壤硝态氮淋溶并在深层累积。将农户习惯施肥量(MNPK)减半后施用(1/2MNPK)对蔬菜产量没有影响,并且显著减少了硝态氮在土壤中的累积,表明当地农户设施栽培肥料施用量过高,不仅造成肥料利用率低,栽培成本高,还可能给地下水位较浅的地区带来环境污染的风险。此外,土壤硝态氮含量与 pH 值呈极显著负相关关系,表明硝态氮在土壤中大量累积会造成土壤 pH 值的下降。

关键词:设施菜地;硝态氮;有机肥;化肥

中图分类号:S153.6 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2012)07-1350-07

Effects of Fertilization on NO₃-N Accumulation in Greenhouse Soils

SHEN Ling-feng¹, BAI Ling-yu^{1*}, ZENG Xi-bai¹, WANG Yu-zhong²

(1.Institute of Agricultural Environment and Sustainable Development, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Agricultural Environment, Ministry of Agriculture, P.R. China, Beijing 100081, China; 2.Center of Agricultural Technology Extension, Liangzhou District of Wuwei City in Gansu Province, Wuwei 733000, China)

Abstract: A field plot experiment was conducted in Wuwei City, Gansu Province to study the effects of different application rates and types of fertilizer(chemical fertilizer, manure, and chemical fertilizer + manure) on NO₃-N accumulation and leaching in greenhouse soil profiles, and on soil pH change. Obtained results showed that NO₃-N accumulation and leaching in greenhouse soils were affected by the application rates and types of fertilizer. Nitrate content in soil profile increased with N fertilizer application rates, especially in 0~20 cm soil layer. NO₃-N accumulation in 40~150 cm soil layers of NPK, 1/2MNPK, and M treatments with the equal level of N application, were 267.33 kg·hm⁻², 211.94 kg·hm⁻², and 125.72 kg·hm⁻², respectively. It indicated that chemical fertilizer application could easily result to the leaching and accumulation of NO₃-N in deeper soil layers by contrast with the manure or fertilizer + manure application. Furthermore, no effect on vegetable yield and significant decrease in NO₃-N accumulation in greenhouse soils were obtained by halving fertilizer application amount in local farmers' practice. It could be inferred that the high application of fertilizer in greenhouse soils in Wuwei City might lead to the lower utilized coefficient of fertilizer, high cost of production and the possible environmental pollution in some areas with shallow ground water. In addition, the significantly negative correlation between NO₃-N content and soil pH was observed. The substantial accumulation of NO₃-N in soils might be responsible for the decrease of pH.

Keywords: greenhouse soil; NO₃-N; manure; chemical fertilizer

收稿日期:2011-12-26

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划课题(2012BAD15B01)

作者简介:沈灵凤(1987—),女,浙江宁波人,硕士研究生,主要从事退化农业生态系统的修复研究。E-mail:ling871015@163.com

* 通讯作者:白玲玉 E-mail:lingyubai@hotmail.com

设施蔬菜栽培是我国设施农业的重要组成部分,也是农民增收的重要途径,由于具有常年高温、高湿、高施肥、高产出、超强度利用等特点,随着使用年限的延长,设施土壤的养分状况会发生巨大变化。已有的调查研究表明,设施菜地化肥和有机肥频繁且大量施用,造成菜地土壤硝酸盐过量累积及 pH 值下降。刘宏斌等^[1]研究了北京市 254 个深层土壤剖面的硝态氮空间分布特征与累积状况,结果表明,菜田和果园 0~400 cm 土壤剖面硝态氮过量。

硝态氮累积问题突出,对周边地下水水质构成严重的威胁。王朝辉等^[2]对西安市不同类型菜地和农田土壤以及蔬菜的调查研究表明,设施菜地土壤硝态氮的残留量高于农田土壤,严重威胁地下水环境,41.7% 的蔬菜硝态氮含量超过 4 级污染水平,威胁人类身体健康。秦巧燕等^[3]对陕西关中主要蔬菜产区设施栽培土壤中硝态氮的累积现状进行的研究表明,0~2 m 土层硝态氮累积总量远远高于相邻粮田,部分区域地下水硝态氮含量已接近饮用水卫生标准限值。王辉等^[4]对江苏省江南地区不同种植年限大棚蔬菜地土壤的研究表明,随着大棚种植年限的增加,土壤的 pH 逐渐降低,可能与大量施用有机肥及化肥有关。曾路生等^[5]对寿光地区连作种植番茄的大棚菜地酸化与土壤养分变化关系进行了研究,结果表明,大量施肥是导致土壤酸化的重要原因。因此,确定合理的肥料施用量对设施菜地土壤环境及地下水的可持续利用和安全具有十分重要的意义^[6]。

近年来,甘肃武威市凉州区设施菜地的面积发展较快,到 2010 年底,全区日光设施菜地面积已超过 6 130 hm²,占蔬菜种植面积的 28%,耕地总面积的 6%,计划 2015 年全区建成日光设施菜地 1 万 hm²。但与我国其他地区的设施栽培一样,也存在氮肥使用过量、肥料利用率低、氮素在土壤中大量累积的现象,我们对当地 98 个设施菜地进行调查统计显示,农户一般施氮量高达 1 800 kg·hm⁻²·a⁻¹。为此,本试验以甘肃省武威市凉州区高坝镇设施菜地为研究对象,研究不

同施肥处理对设施菜地土壤剖面硝态氮分布及累积的影响,以期为该地区设施栽培合理施肥,减少硝酸盐对环境的污染提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验区域概况

甘肃省武威市位于甘肃省中部,河西走廊东端,地势西南高东北低,平均海拔 1 632 m,属冷温带干旱区,是典型的大陆性气候,日光充足,温差大。丰富的光热资源和较大的昼夜温差,适宜各类植物进行光合作用和养分积累,为提高农作物的质量奠定了良好基础,适宜于发展设施农业。该小区试验始于 2007 年 11 月,在甘肃武威市凉州区主要的蔬菜生产基地高坝镇一座新建的设施大棚中进行,试验地土壤类型为灌漠土,大棚面积为 54 m×7.5 m=390 m²,土壤基本理化性质见表 1。每年种植两茬蔬菜,黄瓜和西红柿轮作:1 月底至 7 月初种植西红柿,7 月至 8 月休闲晒棚,9 月至翌年 1 月初种植黄瓜。

1.2 试验设计

试验设 5 个处理,3 次重复,随机区组排列,各处理分别为 CK (不施肥)、NPK (单施无机肥)、MNPk (农户习惯施肥量,有机无机肥料配施)、1/2MNPk (农户习惯施肥量的一半)、M (单施有机肥)。小区面积为 3.6 m×7.5 m=27 m²,每小区之间用 PVC 板隔离,各处理基肥于每年 8 月一次施入,追肥分别在两茬蔬菜坐果前至采收期之间分 11 次从垄沟随水施入。各处理全年施肥量及肥料换算为 N、P₂O₅、K₂O 的总量见表 2。

1.3 样品采集与分析方法

土壤样品取样时间为 2011 年 1 月 7 日 (本茬西红柿种植前)和 2011 年 5 月 31 日 (西红柿旺果期)。西红柿品种为金棚 186。为避免垄沟底肥料的干扰,每个小区用土钻取垄内侧和垄外侧蔬菜根区土壤共 6 点混合,取样深度为 0~10、10~20、20~40、40~60、60~80、80~100、100~120、120~150 cm,每层土样经充

表 1 供试土壤基本理化性质

Table 1 Principal chemical properties of tested soil

土壤深度/ cm	全 N/ g·kg ⁻¹	全 P/ g·kg ⁻¹	全 K/ g·kg ⁻¹	碱解 N/ mg·kg ⁻¹	硝态 N/ mg·kg ⁻¹	速效 P/ mg·kg ⁻¹	速效 K/ mg·kg ⁻¹	有机质/ mg·kg ⁻¹	pH	阳离子交换量/ cmol(+)·kg ⁻¹
0~20	0.83	0.75	20.9	41	5.02	9.6	89	12.40	8.65	8.36
20~40	0.86	0.78	21.2	42	3.03	14.9	102	13.10	8.72	8.52
40~60	0.54	0.66	20.7	31	2.96	4.6	95	8.84	8.80	7.80
60~80	0.54	0.62	20.7	27	2.63	3.6	90	7.41	8.84	7.04
80~100	0.51	0.58	21.9	25	2.01	3.4	89	6.49	8.80	7.22

表 2 不同处理全年施肥量及氮磷钾养分含量(kg·hm⁻²·a⁻¹)
Table 2 The amount of N, P, K from different fertilization treatments(kg·hm⁻²·a⁻¹)

处理	尿素	过磷酸钙	硫酸钾	磷酸二铵	猪粪	牛粪	折合营养成分		
							N	P ₂ O ₅	K ₂ O
CK	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NPK	1 640	2 590	1 320	700	0	0	900	781	659
MNPK	1 400	1 850	1 260	1 040	51 850	29 630	1 800	1 555	1 306
1/2MNPK	700	930	630	520	25 670	14 810	900	777	653
M	0	0	0	0	53 630	18 670	900	733	651

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,测定土壤硝态氮含量,其余土样带回实验室风干后研磨过筛保存,用于测定土壤 pH 值等。

2 mol·L⁻¹ KCl 浸提(液土比 5:1),连续流动分析仪法测定土壤硝态氮含量^[7];玻璃电极法(水土比 2.5:1)测定土壤 pH 值^[8];烘干法测定土壤含水量^[9];环刀法测定土壤容重。

1.4 数据处理

土壤剖面硝态氮累积量计算公式^[2]:

$$A=C\times(D\times H\times S)\times10^{-6}$$

式中:A 为每一土层的硝态氮累积量,kg·hm⁻²;C 为该土层硝态氮含量,mg·kg⁻¹;D 为该土层土壤容重,kg·m⁻³;H 为该土层的厚度,m;S 为每公顷土地的面积,100 m×100 m。

本研究中的相关数据采用 Excel 和 SAS 8.0 软件处理与统计分析。

2 结果与分析

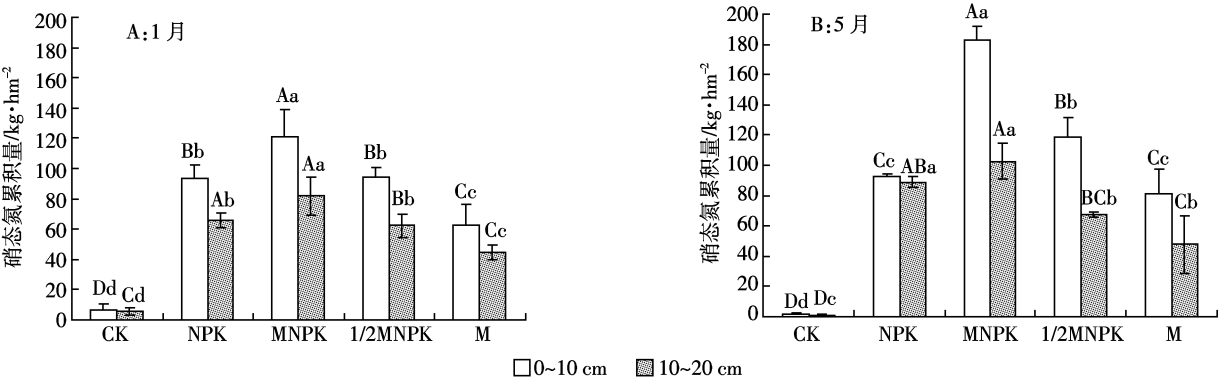
2.1 不同施肥处理对设施菜地土壤硝态氮累积的影响

2.1.1 表层土壤中硝态氮累积量的变化

由图 1A 可以看出,经过连续 3 a 的试验,0~10

cm 和 10~20 cm 土层硝态氮累积量出现了显著的差异。农户习惯施肥处理(MNPK)的施氮量为其他各施肥处理的 2 倍,其 0~10 cm 土层硝态氮累积量达到了 120.85 kg·hm⁻²,极显著高于其他各处理,说明随施氮量的增加,表层土壤硝态氮累积量也增加;单施无机肥处理(NPK)与有机无机减半配施处理(1/2MNPK) 0~10 cm 土层硝态氮累积量无显著差异,但极显著高于单施有机肥处理(M),说明在施氮量相同时,施用无机氮肥比有机氮肥更易在表层土壤中产生硝态氮的累积。与 0~10 cm 土层相比,10~20 cm 土层各处理硝态氮的累积量分别降低了 16.18%、29.46%、32.25%、34.07%、28.79%,说明所有处理的土壤硝态氮均表现出明显的表层累积现象,不同的施肥量与肥料种类对表层土壤硝态氮累积的影响不同。

本茬西红柿旺果期各施肥处理 0~10 cm 和 10~20 cm 土层硝态氮累积量见图 1B,与 1 月份各处理相应土层中硝态氮累积量的规律相同,5 月份土壤中硝态氮含量同样表现出了较明显的表层累积现象。与 1 月份相比,5 月份 MNPK 处理、1/2MNPK 处理、M 处理 0~10 cm 土层硝态氮含量皆出现不同程度的增加,增幅分别为 51.08%、25.31%、29.32%,NPK 处理差异不明显,而 CK 处理则下降了 70.99%。该现象可能是



不同大小写字母分别表示相同土层不同施肥处理间差异达 $P<0.01$ 和 $P<0.05$ 显著性水平

图 1 不同施肥处理对 0~10 cm 和 10~20 cm 土层硝态氮累积量的影响

Figure 1 Effect of fertilization treatments on NO₃-N accumulation in 0~10 cm and 10~20 cm soil layer

因为在西红柿生长旺期,植株对土壤中的氮素需求量大,CK 处理不施用肥料导致养分缺乏,表现出氮素供给不足。而施用有机肥的其他处理的确态氮累积量较高,主要是因为 5 月份气温较高,土壤中微生物活性较高,加快了有机物的分解,氮素矿质化速率增加,使得土壤中硝态氮的增加量超过了植物的吸收量,未被植物吸收的部分累积于土壤中^[10],同时也可能与西红柿生长期追施肥料有关。5 月份 10~20 cm 土层除 CK 处理外,各施肥处理土壤的硝态氮累积量较 1 月份分别增加了 35.12%、25.11%、8.113%、7.04%,出现了明显的硝态氮累积,可能是由于西红柿生长期灌水将 0~10 cm 土层硝态氮淋失到该层,没有被植物吸收的部分保留在土壤中而导致该层土壤的硝态氮增加。

以上试验结果表明,表层土壤中硝态氮的累积量不仅与施用氮肥总量相关,还与施用的肥料种类以及环境温度、蔬菜对养分吸收利用的状况有关。

2.1.2 土壤各剖面硝态氮累积量的变化

不同施肥处理对 0~150 cm 各土壤剖面的硝态氮累积量存在显著的影响(图 2)。施肥处理的各土壤剖面硝态氮的累积量均显著高于 CK 处理,表明肥料的施用导致了土壤剖面中硝态氮的累积,各施肥处理 0~20 cm 土层的硝态氮累积量皆显著高于深层土壤,随着土层深度的增加,土壤中硝态氮有降低的趋势,但耕层以下土层(40~150 cm)各剖面的硝态氮累积量也显著高于 CK 处理,说明在设施栽培条件下硝态氮易在土壤剖面中向下淋溶迁移。

由表 3 可以看出,MNPK 处理各土层的硝态氮累积量均高于 1/2MNPK 处理,且 0~150 cm 土层硝态氮的总累积量为 MNPK>NPK>1/2MNPK>M>CK,MNPK 处理极显著高于 1/2MNPK 处理($P<0.01$),说明随施

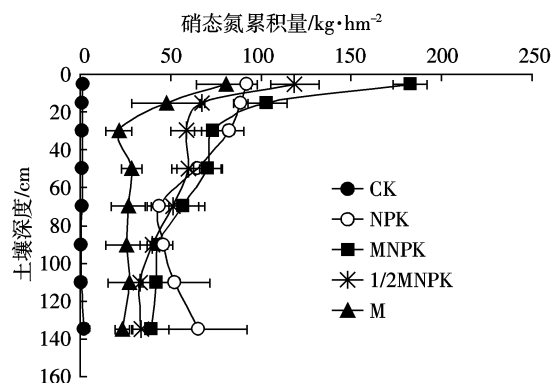


图 2 不同施肥处理对土壤剖面硝态氮累积量的影响

Figure 2 Effect of fertilization treatments on NO_3^- -N accumulation in soil profiles

氮量的增加硝态氮在土层中的累积量也增加,NPK 处理与 1/2MNPK 处理的总累积量无显著差异,但极显著高于 M 处理($P<0.01$),表明在施氮量相同的情况下,施用化肥更容易造成硝态氮在土壤剖面中累积。NPK、MNPK、1/2MNPK、M 处理 40~150 cm 土层硝态氮的累积量占其在 0~150 cm 土壤剖面硝态氮总累积量的比例分别为 50.75%、41.04%、46.88%、46.31%,说明单施化肥更容易造成硝态氮向土壤深层淋溶迁移,而适量施用有机肥能够降低硝态氮在土壤中的累积并减少硝态氮的向下淋溶^[11]。

2.2 不同施肥处理对设施蔬菜产量的影响

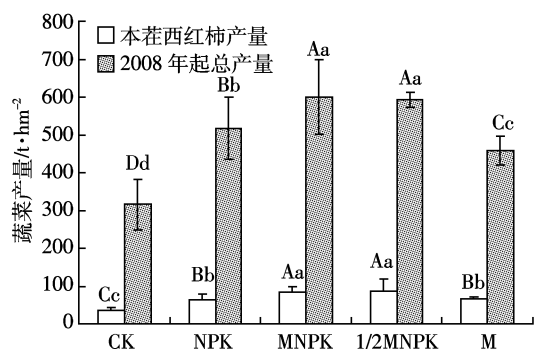
从图 3 可以看到,MNPK 处理本茬西红柿的产量与 1/2MNPK 处理无显著差异,但显著高于 NPK、M、CK 处理。产量大小顺序依次为 1/2MNPK $\approx$ MNPK > M $\approx$ NPK > CK,分别是 86.52、84.52、67.07、64.00、35.07 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。2008 年起,MNPK 处理与 1/2MNPK 处理的总产量分别为 599.41、592.22 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$,两者无显著差异,

表 3 不同施肥处理 0~150 cm 剖面各土层的硝态氮累积量及占总量的百分比

Table 3 Nitrate accumulation from different fertilization treatments in 0~150 cm soil profile and the percentage of the total amount

土壤深度/ cm	CK		NPK		MNPK		1/2MNPK		M	
	硝态氮累积量/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$	百分比/ %	硝态氮累积量/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$	百分比/ %	硝态氮累积量/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$	百分比/ %	硝态氮累积量/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$	百分比/ %	硝态氮累积量/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$	百分比/ %
0~10	1.97	19.60	92.36	17.20	182.58	29.89	118.61	25.67	80.98	28.77
10~20	1.15	11.48	88.91	16.56	102.80	16.83	67.46	14.60	47.73	16.95
20~40	1.39	13.82	82.69	15.40	73.37	12.01	58.55	12.67	21.57	7.66
40~60	1.00	10.00	64.67	12.05	70.41	11.53	59.58	12.89	28.35	10.07
60~80	0.93	9.26	44.06	8.21	57.03	9.34	51.36	11.11	26.55	9.43
80~100	0.54	5.33	46.19	8.61	43.52	7.12	40.07	8.67	25.56	9.08
100~120	0.85	8.46	52.52	9.78	42.04	6.88	33.01	7.14	27.36	9.72
120~150	2.21	22.05	65.42	12.19	39.06	6.39	33.46	7.24	23.43	8.32
0~150	10.04	100	536.81	100	610.80	100	462.09	100	281.53	100

且极显著高于 NPK 处理 ($517.37 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)、M 处理 ($457.59 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) 和 CK 处理 ($315.33 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$), NPK、M、CK 处理之间的产量差异亦达显著水平, 表明有机无机肥料配合施用更能促进蔬菜高产。MNPK 处理是 1/2MNPK 处理施肥量的两倍, 但两者的产量并无显著差异, 可见蔬菜产量并不与施肥量成正比, 1/2MNPK 处理的施肥量足以提供作物生长所需的养分, 而 MNPK 处理施肥量过高, 使得肥料利用率降低。



不同大小写字母分别表示相同时期不同施肥处理间差异达 $P < 0.01$ 和 $P < 0.05$ 显著性水平

图 3 不同施肥处理对设施蔬菜产量的影响

Figure 3 Effect of fertilization treatments on vegetable yields in the greenhouse

2.3 土壤硝态氮含量与 pH 值的关系

图 4 表明, 土壤 pH 值与土壤硝态氮含量呈极显著负相关关系 ($y = -0.0086x + 8.9638$, $r = 0.9130$)。本研究施用的有机肥为猪粪和牛粪, 经过微生物的降解和氨化作用产生大量的 NH_4^+ , 无机氮肥 (尿素、磷酸二铵) 也含有大量的 NH_4^+ , 其中一部分 NH_4^+ 被土壤胶体吸附和植物吸收, 绝大部分则是在硝化细菌的作用下转化为 NO_3^- , 同时释放出 H^+ , 导致土壤 pH 下降^[12]。这表明土壤硝态氮含量的增加是导致土壤 pH 下降的重要因素之一。

3 讨论

设施蔬菜栽培中, 农户为追求高产, 普遍存在过量施用肥料的现象, 以上研究结果表明, 设施菜地土壤硝态氮表聚现象明显, 随着施肥量的增加, 表层土壤硝态氮累积量也增加。虽然土壤各剖面硝态氮累积量在 0~10 cm 土层最高, 表层向深层土壤中硝态氮累积量呈现减少趋势, 但各施肥处理的土壤剖面均存在硝态氮向土壤深层淋溶迁移的现象, 40~150 cm 土层硝态氮的累积量占 0~150 cm 土壤剖面硝态氮总累积

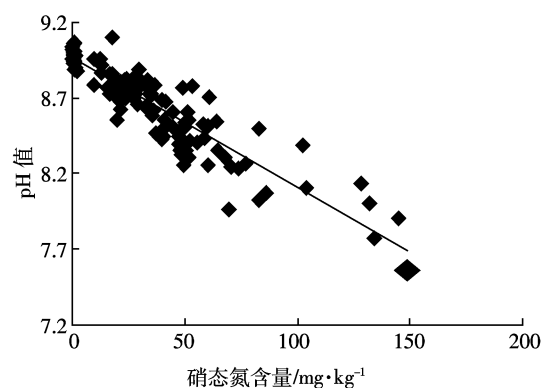


图 4 土壤硝态氮含量与 pH 值的关系

Figure 4 The relationship between NO_3^- -N concentration and pH

量的 41.04%~50.75%。西红柿、黄瓜等属于浅根系作物, 根系分布在 0~40 cm, 淋洗到 40 cm 以下的硝态氮就难以被作物吸收, 导致因施肥增加的硝态氮有近一半不能被土壤吸收, 而且硝态氮不易被土壤胶体吸附, 将在灌溉水的淋洗作用下不断向土壤深层迁移。这与王朝辉等^[2, 11-13]的设施菜地土壤硝态氮累积规律相符。

土壤中硝态氮的累积量除受施肥量影响外, 也与肥料品种有关, 其影响尤其体现于硝态氮在土壤剖面中的淋溶迁移。本研究结果表明, 在施氮量相同的情况下, 0~40 cm 土层硝态氮累积量以 1/2MNPK 处理最高, NPK 处理次之, M 处理最低, 但 40~150 cm 土层硝态氮累积量则以 NPK 最高, 1/2MNPK 处理次之, M 处理最低, 说明施用无机氮肥更容易发生土壤硝态氮向下淋溶, 施用有机肥能够减少土壤中硝态氮的向下淋溶。尿素和磷酸二铵施入土壤后, 由于化肥的快速分解, 土壤中硝态氮含量会迅速增加, 短时间内土壤硝态氮含量增加到较高水平^[7], 灌溉水的淋洗作用使硝态氮向土壤深层迁移, 导致表层土壤硝态氮累积量降低, 而深层土壤硝态氮累积量增加。有机肥施入土壤后养分释放较缓慢, 且有利于提高土壤保存养分的能力, 减少了硝态氮的淋失。这也是 NPK 处理的土壤硝态氮在 40~150 cm 土层, 尤其是 80~150 cm 土层累积量较 1/2MNPK、M 处理高的原因。

Stamatiadis 等^[14]报道美国西兰花地由于表施硝酸铵, 刺激土壤发生硝化作用和酸化, 导致土壤 pH 值降低了 1.4。本研究中, 设施菜地土壤 pH 值与硝态氮含量呈极显著线性负相关, 表明大量施用氮肥可致使土壤硝化作用加强, 从而导致 pH 值下降, 最大降幅达到了 1.3 个单位。由于本研究区域土壤类型主要是灌漠土, 土壤中 CaCO_3 含量较高, 具有较强的缓冲能

力,因此在一定时间内,不会对植物的生长造成影响。但在土壤 pH 缓冲能力较弱的地区,硝酸盐大量累积则有可能造成土壤 pH 值持续降低,最终会成为植物生长的障碍因子。

甘肃武威市凉州区农户习惯施氮量(包括有机肥和化肥)折合成纯氮为 $1\ 800\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 左右,远高于当地农技推广部门提出的推荐施氮量($680\sim 890\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$)。本研究中将农户习惯施肥量(MNPK 处理)减半后施用(1/2MNPK 处理),并没有使蔬菜产量降低,但 MNPK 处理耕层土壤硝态氮累积量和各土壤剖面总累积量均极显著地高于 1/2MNPK 处理,表明当地农民习惯的施肥量过高,这不仅达不到增产目的,还使肥料利用率下降,生产成本增加,同时导致土壤硝态氮的大量累积,对土壤和地下水资源造成污染。土壤硝态氮的大量累积,也可能导致设施蔬菜的品质下降,大量研究表明,土壤中硝酸盐的过量累积可刺激植物,尤其是叶菜类蔬菜过量吸收和累积硝酸盐,而食用硝酸盐含量过高的蔬菜,将对人体健康造成危害^[15-16]。因此,应根据作物养分需求量和土壤养分供应情况合理施肥。

4 结论

(1)设施菜地长期施用有机肥和化肥,均会造成硝态氮在土壤中大量累积,施氮量越高,硝态氮的累积量越大,且存在明显的表聚现象,随着土壤深度的增加,硝态氮累积量有降低的趋势。

(2)硝态氮在土壤剖面中存在向下迁移现象,但有机肥和化肥对硝态氮在土壤剖面中的迁移能力影响不同。在同等施氮水平下,单施化肥更易造成硝态氮的淋溶,并累积于深层土壤,有机肥与化肥配施可减少硝态氮向深层土壤的淋溶迁移,降低硝态氮对地下水的污染风险。

(3)土壤 pH 值与土壤硝态氮含量呈极显著负相关关系,土壤硝态氮含量的增加是导致土壤 pH 下降的重要因素之一。

(4)本研究中将当地设施栽培农户习惯施肥量减半后施用,蔬菜产量并没有因此而降低,却极显著地降低了硝态氮的累积量,说明当地设施菜地种植施肥量过高,肥料利用率低。

参考文献:

[1] 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 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.

[2] 王朝辉,宗志强,李生秀,等.蔬菜的硝态氮累积及菜地土壤的硝态氮残留[J].环境科学,2002,23(3):79-83.

WANG Zhao-hui, ZONG Zhi-qiang, LI Sheng-xiu, et al. Nitrate accumulation in vegetables and its residual in vegetable fields[J]. *Environmental Science*, 2002, 23(3):79-83.

[3] 秦巧燕,贾陈忠,同延安,等.陕西关中蔬菜设施栽培土壤中硝态氮的累积现状[J].长江大学学报(自然科学版),2005,2(11):12-14.

QIN Qiao-yan, JIA Chen-zhong, TONG Yan-an, et al. The status quo of nitrate-N accumulation in vegetables protected fields in Guanzhong Area of Shaanxi Province[J]. *Journal of Yangtze University(Nat Sci Edit)*, 2005, 2(11):12-14.

[4] 刘方春,聂俊华,刘春生,等.不同施肥措施对土壤硝态氮垂直分布的特征影响[J].土壤通报,2005,36(1):50-53.

LIU Fang-chun, NIE Jun-hua, LIU Chun-sheng, et al. Effect of fertilizer application on vertical distribution of NO_3^- -N in soil depth profile[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2005, 36(1):50-53.

[5] 王辉,董元华,李德成,等.不同种植年限大棚蔬菜地土壤养分状况研究[J].土壤,2005,37(4):460-464.

WANG Hui, DONG Yuan-hua, LI De-cheng, et al. Nutrient variation in plastic greenhouse soils with the years of cultivation[J]. *Soils*, 2005, 37(4):460-464.

[6] 曾路生,高岩,李俊良,等.寿光大棚菜地土壤酸化与土壤养分变化关系研究[J].水土保持学报,2010,24(4):157-161.

ZENG Lu-sheng, GAO Yan, LI Jun-liang, et al. Changes of acidification and nutrient accumulation in greenhouse vegetable soils in Shouguang[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2010, 24(4): 157-161.

[7] 张锡洲,余海英,王永东,等.不同形态氮肥对设施土壤速效养分的影响[J].西南农业学报,2010,23(4):1182-1187.

ZHANG Xi-zhou, YU Hai-ying, WANG Yong-dong, et al. Effects of different nitrogen fertilizers on available nutrients concentrations of greenhouse soils[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Science*, 2010, 23(4):1182-1187.

[8] 曾希柏,白玲玉,苏世鸣,等.山东寿光不同种植年限设施土壤的酸化与盐渍化[J].生态学报,2010,30(7):1853-1859.

ZENG Xi-bai, BAI Ling-yu, SU Shi-min, et al. Acidification and salinization in greenhouse soil of different cultivating years from Shouguang City, Shandong[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(7):1853-1859.

[9] 鲍士旦.土壤农化分析[M].第三版.北京:中国农业出版社,2007:22-24.

BAO Shi-dan. Soil agricultural chemical analysis[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2007:22-24.

[10] 张迪,牛明芬,王少军,等.不同有机肥处理对设施菜地土壤硝态氮分布影响[J].农业环境科学学报,2010,29(增刊):156-161.

ZHANG Di, NIU Ming-fen, WANG Shao-jun, et al. Effects of different organic manure fertilization on NO_3^- -N distribution in greenhouse soil[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(Suppl):156-161.

- [11] 孙瑞娟, 王德建, 林静慧, 等. 长期施用有机-无机肥对太湖流域土壤肥力的影响[J]. 土壤, 2009, 41(3):384-388.
SUN Rui-juan, WANG De-jian, LIN Jing-hui, et al. Effects of long term integrated fertilization with organic manure and chemical fertilizers on soil nutrients in Taihu Lake region[J]. *Soils*, 2009, 41(3):384-388.
- [12] 刘庆芳, 吕家珑, 李松岭, 等. 不同种植年限蔬菜大棚土壤中硝态氮时空变异研究[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(2):159-163.
LIU Qing-fang, LÜ Jia-long, LI Song-ling, et al. The spatio-temporal variation of nitric nitrogen in protected vegetable soils in different years of cultivation[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2011, 29(2):159-163.
- [13] 左海军, 张 奇, 徐力刚, 等. 集约化种植条件下土壤硝态氮动态变化及累计特征研究[J]. 水土保持通报, 2009, 29(4):16-21.
ZUO Hai-jun, ZHANG Qi, XU Li-gang, et al. Characteristics of soil nitrate nitrogen dynamic variations and accumulation under intensive planting[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2009, 29(4):16-21.
- [14] Stamatiadia S, Werner M, Buchanan M. Field assessment of soil quality as affected by compost and fertilizer application in a broccoli field[J]. *Applied Soil Ecology*, 1999, 12(3):217-225.
- [15] Petrovic N, Kastori R, Scaife A. Production of leafy vegetable with low concentration of nitrate[R]. Proceedings 2nd Congress of the European Society for Agronomy, Warwick University, 1992:422-423.
- [16] Santamaria P, Elia A, Parente A, et al. Fertilization strategies for lowering nitrate accumulation in leafy vegetables[J]. *Journal of Plant Nutrition*, 1998, 21(9):1791-1803.