

不同有机肥处理对设施菜地土壤硝态氮分布影响

张迪^{1,2}, 牛明芬¹, 王少军^{1,2}, 赵牧秋², 王 俊², 史 奕²

(1. 沈阳建筑大学市政与环境工程学院, 沈阳 110168; 2. 中科院沈阳应用生态研究所陆地生态过程重点实验室, 沈阳 110016)

摘 要:以辽宁省新民市某设施蔬菜生产基地土壤为研究对象,通过设置 5 个不同有机肥处理的实验小区,系统研究了不同的有机肥施入量($0 \sim 60 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)在黄瓜和豆角生长期对 $0 \sim 40 \text{ cm}$ 土层土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量的影响,以及在黄瓜和豆角分别收获后土壤剖面 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 垂直分布特征。结果表明,土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量的动态变化与植株的生长发育和有机肥施用水平关系密切。5 月份, $0 \sim 40 \text{ cm}$ 土壤各个土层的硝酸盐含量均高于其他时期;对于不同的施肥水平,当施肥量为 $60 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时 $0 \sim 40 \text{ cm}$ 各个土层的土壤硝态氮含量均高于其他处理。土壤剖面 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量分布特征表明,低量有机肥的施入不会引起 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 在深层土壤的累积和淋溶,但会导致填闲作物生长过程中氮素供给的不足;当有机肥的施入量为 $60 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时, $0 \sim 120 \text{ cm}$ 土层出现了不同程度的淋溶现象。

关键词:设施菜地;有机肥;硝态氮

中图分类号:X53 文献标识码:A 文章编号:1672-2043(2010)增刊-0156-06

Effects of Different Organic Manure Fertilization on $\text{NO}_3^- - \text{N}$ Distribution in Greenhouse Soil

ZHANG Di^{1,2}, NIU Ming-fen¹, WANG Shao-jun^{1,2}, ZHAO Mu-qiu², WANG Jun², SHI Yi²

(1. Shenyang Jian Zhu University, Shenyang 110168, China; 2. Key Laboratory of Terrestrial Ecological Process, Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China)

Abstract: A field plot experiment was conducted in Xinmin suburb to study the effects of different applying organic manure ($0 \sim 60 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$) on $\text{NO}_3^- - \text{N}$ distribution and the vertical distribution of $\text{NO}_3^- - \text{N}$ in soil depth profile in greenhouse soil. Five treatments ($0, 10, 20, 40$ and $60 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ of organic manure) were installed. The results showed that the distribution characteristics of $\text{NO}_3^- - \text{N}$ in soil were affected by the growth stage of plants and the application rate of organic manure. The $\text{NO}_3^- - \text{N}$ content in $0 \sim 40 \text{ cm}$ soil layer was higher than the other growth stages in May. For different applying organic manure, when the application rate of organic manure was $60 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, the $\text{NO}_3^- - \text{N}$ content in $0 \sim 40 \text{ cm}$ soil layer was the highest. In the latest growth stages, the low application rate of organic manure could not lead to the accumulation and eluviation in deep-seat soil, but could cause insufficient supply of nitrogen on crops during their growth. When the applying organic manure was $60 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, there were some different degrees about eluviations in the soil of $0 \sim 120 \text{ cm}$.

Keywords: greenhouse soil; organic manure; $\text{NO}_3^- - \text{N}$

氮素是土壤中植物和微生物生长所需的最主要的营养元素,是蔬菜生长、增产的主要营养元素之一,

正确的土壤氮素管理对维持作物产量和环境质量至关重要^[1-2]。土壤中的氮素在微生物的作用下可以转化成多种形态,而且转化过程迅速。硝态氮是植物利用氮素的主要形态,但由于这一形态不易被土壤胶体吸附,一旦氮肥施用过量,氮素就会淋失,对环境造成污染。尤其是在保护地条件下,土壤硝酸盐的污染更为严重^[3-5]。设施土壤的肥水投入为作物需求的

收稿日期:2009-09-09

基金项目:国家科技支撑计划项目(2008BADA7B08);中国科学院知识创新工程重要方向项目(KSCXZ-YW-N-037)

作者简介:张迪(1985—),山东烟台人,硕士研究生,研究方向为环境污染控制与治理。E-mail:zhangdihj@126.com

数倍,大量施肥一方面迅速提高了土壤养分含量,另一方面因植物选择吸收,导致可溶性盐分增加,出现蔬菜品质下降和土壤盐分障碍等问题,同时也会对土壤和地下水产生污染^[6-7],因此设施菜地施肥问题日益受到人们的广泛关注^[8]。许多研究表明,施用有机肥能够减弱土壤硝酸盐的累积和淋溶,从而减少氮肥的淋溶损失和硝态氮对土壤和地下水的污染。但也有研究指出,长期大量使用有机肥料也会造成土体硝酸盐的富集^[9-10]。近年来,关于氮肥施用对农田土壤中 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 累积与淋洗的研究较多^[11-12],但不同的有机肥处理对设施菜地土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的时空分布、动态变化研究较少。本文以辽宁省新民市某设施蔬菜生产基地为研究对象,研究不同有机肥处理对设施菜地耕层土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量随季节动态变化的影响,以及设施土壤剖面 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量的分布特征,旨在为控制和降低设施菜地土壤硝酸盐的累积和淋失,改善蔬菜品质,减少环境污染提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

试验地点设在辽宁省新民市大民屯镇方巾牛村设施蔬菜种植基地(122°50'E, 41°59'N),位于辽河东岸,属辽河冲积平原,土壤类型为耕型壤质黄土状潮棕壤。该试验区是沈阳最大的蔬菜生产基地,截至2006年底,蔬菜种植面积已发展到0.93万 hm^2 ,其中棚菜0.33万 hm^2 ,年蔬菜产量达10亿kg,发展大规模温室蔬菜生产已有10余年历史,在东北地区设施蔬菜生产方面具有较高的代表性。试验所选大棚建立于2005年,其土壤基本理化性质见表1。

表1 供试土壤基本理化性状

Table 1 Principal chemical properties of tested soil

土层 Soil layer	全氮 Total nitrogen/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	有机碳 Organic carbon/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	全磷 Total potassium/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	速磷 Available phosphorus/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	速钾 Available potassium/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$
0~10 cm	1.35	13.07	1.56	74.5	521.8
10~20 cm	1.08	11.95	0.87	58.4	302.6
20~40 cm	1.05	10.89	0.69	30.0	117.9

1.2 试验设计

试验从2008年3月开始至9月结束,其中3月至6月种植黄瓜,在黄瓜之后7月至9月种植豆角。该试验共设5个处理,3次重复,随机区组排列,试验小区面积为3.6 m×5.2 m。供试有机肥采用腐熟鸡

粪(含有机碳250.0 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全氮14.3 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全磷16.2 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全钾13.7 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$),无机肥采用复合肥撒可富(N 15%, P_2O_5 15%, K_2O 15%),各处理均施同等数量的无机肥(折纯氮168 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)。5个处理有机肥用量分别为:CK不施有机肥;处理1施有机肥10 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ (折纯氮94 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$);处理2施有机肥20 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ (折纯氮188 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$);处理3施有机肥40 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ (折纯氮376 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$);处理4施有机肥60 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ (折纯氮564 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)。其中处理4为该地区常规有机肥施用量。

有机肥和化肥均用作基肥,采用沟施方式在黄瓜种植前一次性施入,植物的浇水采用沟灌方式,根据土壤干湿度和植株长势每5~7 d浇水1次。田间管理按植物的传统生产管理统一进行。

1.3 样品采集与分析方法

(1)试验整地前,分别采取试验地的0~10 cm、10~20 cm、20~40 cm本底土样,5点混合,重复3次,测定本底土样养分含量状况。施肥后每月20日均采取各处理的同样各土层土样,5点混合,重复3次,测定其硝态氮含量,分析土壤硝态氮随季节的动态变化。

(2)试验整地前,分别采取试验地的0~10 cm、10~20 cm、20~40 cm、40~60 cm、60~80 cm、80~100 cm、100~120 cm本底土样,5点混合,重复3次;于黄瓜结果末期和豆角的末期分别采取各处理的同样各土层土样,5点混合,测定其硝态氮含量,分析土壤剖面硝态氮含量的动态分布情况。

测定方法:所有土样铵态氮、硝态氮含量均采用 MgO -代氏合金蒸馏法测定;土壤全氮采用开氏蒸馏法测定;全磷采用 $\text{H}_2\text{SO}_4 - \text{HClO}_4$ 消煮-钼锑抗比色法;土壤速效磷用0.5 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaHCO_3 (pH8.5)浸提-钼锑抗比色法;速效钾采用乙酸铵提取-火焰光度计法;有机碳采用TOC-5000A总有机碳分析仪测定。有机肥中全氮采用蒸馏法测定;全磷采用钒钼黄比色法测定。

1.4 数据处理

数据的方差分析和相关分析均采用SPSS16.0软件完成,文中各图通过Excel 2003完成,并且表示多次重复实验的算术平均值和标准误差。

2 结果与分析

2.1 有机肥处理对土壤硝态氮动态变化的影响

2.1.1 0~10 cm 土层硝态氮动态变化

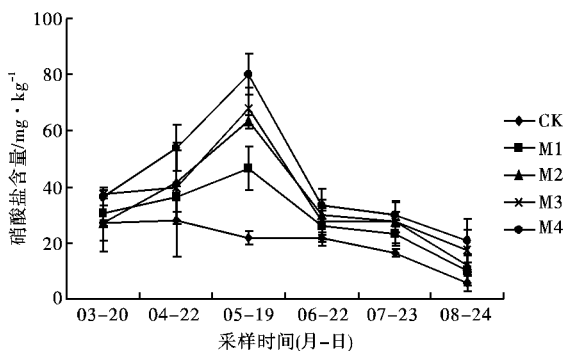


图1 不同有机肥处理0~10 cm 土层硝态氮季节动态变化

Figure 1 Change of $\text{NO}_3^- - \text{N}$ in 0~10 cm soil layer from different treatments

由图1可以看出,0~10 cm 土层 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的动态变化和植株的生长发育密切相关。除CK处理外,其他各处理土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量均随着时间的变化而显著变化,而且变化规律一致。不施有机肥的CK处理,除了在5月份(即黄瓜生长的盛果期) $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量有所下降,黄瓜生长的其他各时期变化不显著;但在豆角生长期间(7—8月),土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量却持续降低,这是因为在此期间并没有继续追肥,植物在生长过程中大量吸收土壤中的氮素,导致豆角生长末期(8月份)土壤中 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量显著低于其生长初期(6月份)。5月份CK处理 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量降低是因为在这一时期黄瓜植株生长旺盛,对土壤中的氮素需求量大,不施用有机肥导致养分缺乏,明显表现出氮素供给不足;而施用有机肥的其他各处理 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量在这一时期均高于其他生长期,最高可达 $79 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,且各处理 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量与对照相比均成极显著差异 ($P < 0.01$),这主要是与有机肥中养分的释放速率有关,5月份有机肥养分释放速率达到最大,超过了黄瓜植株的吸收量,没有被植物吸收的部分在土壤中得到积累。8月份各处理土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量较3月份明显降低,这主要是填闲作物的种植吸收了土壤中的氮素,降低了土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的累积,也可能是 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 随灌溉水淋失至下层土壤中的原因^[13-14]。施用有机肥的各处理与对照(CK处理)相比,分别增加了19%,24%,37%,42%,说明施用有机肥同样也会导致硝态氮在0~10cm土层的积累,但有机肥施入量不同对土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 累积程度的影响是不同的。

2.1.1.2 10~20 cm 土层硝态氮动态变化

10~20 cm 土层 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量随季节变化如图2所示。施用有机肥的各处理土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量均

随着有机肥施用量的增加而增加,在5月份达到最大值;不施用有机肥的CK处理,土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量随生长期的变化而逐渐降低,说明植物在生长过程中也吸收了这一土层的 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 。豆角生长期间(7—8月)各处理土壤中 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量也逐渐降低,与0~10 cm 土层相似。8月份各处理土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量相对较高,与对照(处理CK)相比分别增加了25%,33%,45%,57%,增加量高于0~10 cm 土层,这可能是由于上层土壤的淋失导致10~20 cm 土层硝态氮累积量的增加;也可能与豆角的吸收有关,导致10~20 cm 土层硝态氮并没有被植株充分利用而造成养分在土壤中的积累。由此也可以看出,在施肥量相同的情况下不同土层硝态氮的累积量是不同的。

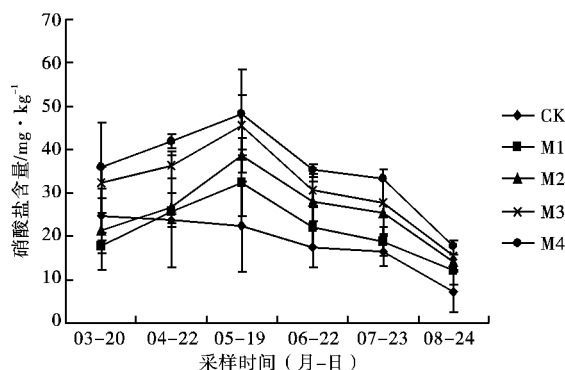


图2 不同有机肥处理10~20 cm 土层硝态氮季节动态变化

Figure 2 Change of $\text{NO}_3^- - \text{N}$ in 10~20 cm soil layer from different fertilization treatments

2.1.3 20~40 cm 土层硝态氮动态变化

黄瓜、豆角均属于浅根系植物,其根系主要分布于0~40 cm 土层,不仅对0~20 cm 土层 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量影响较大,对20~40 cm 土层 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的动态分布也有影响^[9]。由图3可以看出,20~40 cm 土层 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量随季节的动态变化情况,仍然是施用有机肥的处理在5月份(盛果期)土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量高于其他生长期,但是差异不显著;不施有机肥的处理土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量比较接近。在豆角生长末期(8月份)土壤中 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量与生长初期(6月末)差异不显著,说明植物虽然对20~40 cm 土层 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的吸收也有影响,但是影响较弱。施有机肥为10和 $20 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的处理与对照(处理CK)相比,除了盛果期 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量较高之外,其他各时期差异不显著,这说明低量有机肥的施入并不能引起 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 在土壤中的积累;当有机肥的施入量为40和 $60 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,与对照相比差异显著 ($P < 0.05$),说明高量有机

肥的施入会引起 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 在土壤中不同程度的积累。

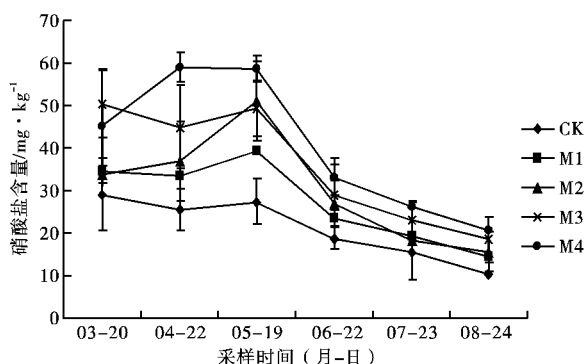


图3 不同有机肥处理20~40 cm 土层硝态氮季节动态变化

Figure 3 Change of $\text{NO}_3^- - \text{N}$ in 20~40 cm soil layer from different fertilization treatments

由以上结果可以看出,施入低量的有机肥不仅不会导致土壤中硝态氮的累积,反而会增强土壤对硝态氮的固定,在一定程度上减弱土壤中硝态氮的累积,这是因为有机肥的养分释放较缓慢,可以缓冲土壤的养分供应强度,从而可以防止植株生育期间对氮素的过多吸收和硝态氮的积累。实际生产中,由于该大棚土壤肥力较低,必须施入适量的有机肥以保证植物生长期间养分供应充足。

2.2 有机肥处理对土壤剖面硝态氮动态分布的影响

比较图4、5可以看出,不同的有机肥施入量对土壤剖面硝态氮的垂直分布影响规律不同。不施用有机肥的CK处理,土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量主要分布在0~40 cm 土层,随着剖面深度的增加,土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量有降低的趋势。而且在不施肥的情况下,各土层 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量基本都低于土壤本底 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量,尤其是0~20 cm 土层,说明该土壤肥力条件下仅施无机肥不能够维持土壤硝态氮的平衡,在黄瓜生长末期表现出硝态氮亏缺现象。当有机肥的施入量为10和20 $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,各土层硝态氮含量与本底含量差异不显著,而高量的有机肥处理(处理4)各土层 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量显著高于本底 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量。由此可以看出,在这一肥力的大棚条件下,为了满足作物的生长需求,适当的增加有机肥的投入是必须的。在60~80 cm 土层,各处理 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量均高于本底 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量,尤其是处理4增加了60%,这可能是由于高量有机肥的投入引起上层土壤淋溶的结果;在80~100 cm 土层,各处理土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量与本底 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量相比,略有增加,处理4最高增加了22%,显著低于60~80 cm 土层的增加量,这说明在该土层虽然也

出现了淋溶现象,但淋溶程度还是很低的;100~120 cm 土层硝态氮含量均低于25 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,与本底硝态氮含量差异不显著,说明最高量的有机肥施入尚未引起硝态氮在这一土层的淋溶,不会对地下水造成大的污染。

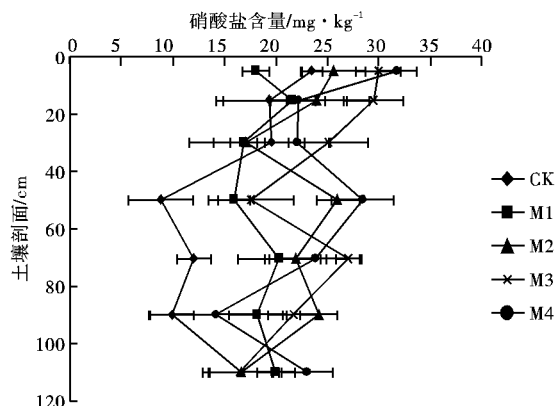


图4 黄瓜种植前各处理土壤剖面本底 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量垂直分布特征

Figure 4 Distribution of $\text{NO}_3^- - \text{N}$ about original quantity in soil profile of different fertilization treatments

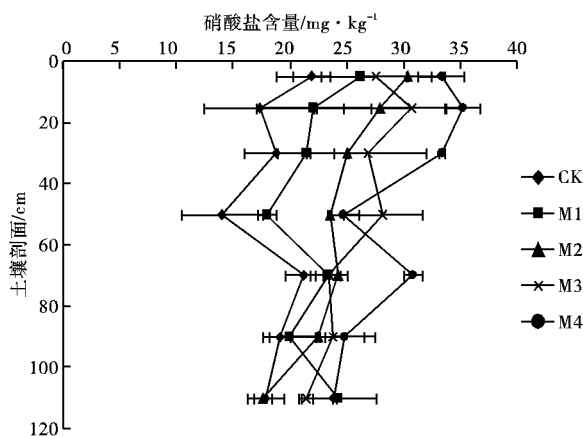


图5 不同有机肥处理对黄瓜收获后土壤剖面 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量垂直分布影响

Figure 5 Distribution of $\text{NO}_3^- - \text{N}$ in soil profile from different fertilization treatments

由豆角收获后土壤剖面 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量垂直分布特征(图6)可以看出,不施有机肥和施低量有机肥的处理,各土层 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量显著低于豆角种植之前的含量。这是因为在黄瓜生长期间有机肥中的养分已经释放完毕,在黄瓜收获后由于没有继续追肥,致使豆角的生长发育吸收了土壤中大量的氮素,各土层 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量均很低,出现氮素严重不足的现象。而施高量有机肥的处理(处理3和4)各土层 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量略低于豆角种植之前的含量,没有引起土壤中

$\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的累积和淋溶。这说明填闲作物的种植能够充分吸收因大量施肥而残存在土壤中的氮素,避免引起氮素的累积等现象。但是鉴于施低量的有机肥会造成填闲作物生长过程中氮素亏损的现象,综合考虑在实际生产中对于该大棚其有机肥的施入量应略低于 $60 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

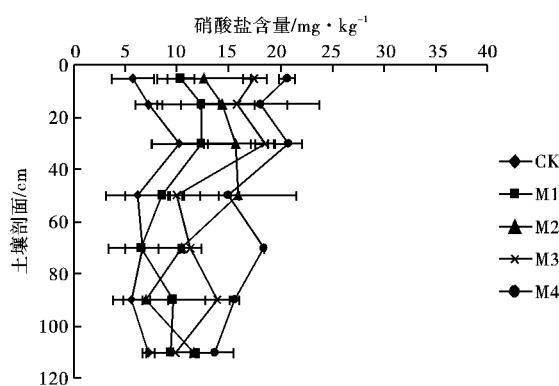


图6 不同有机肥处理对豆角收获后土壤剖面 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量垂直分布影响

Figure 6 Distribution of $\text{NO}_3^- - \text{N}$ in soil profile from different fertilization treatments

3 结论

(1) 施肥是造成土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 累积和污染的一个重要原因,但并不是只要施用肥料(包括化肥和有机肥)就会引起土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 累积和污染,关键在于施用量是否合理^[15-17]。由本实验可以看出,土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量与施肥量密切相关,不同的有机肥施入量对设施土壤各个土层硝酸盐的累积和淋失影响不同,适宜的有机肥施用会提高土壤的养分状况,增强土壤的氮素供给能力,减少硝态氮的累积和土壤剖面硝态氮的垂直迁移。而过量有机肥的施用会直接导致硝态氮在土壤的大量积累,进而影响植物的生长发育。

(2) 在本实验中,当施肥量为 $10 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $20 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,没有引起土壤硝态氮的累积和淋溶,但导致了豆角生长后期氮素严重匮乏;当施肥量为 $60 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,不仅对耕层土壤各土层都造成不同程度的积累,而且引起了硝态氮在深层土壤的轻微淋溶。因此,在该肥力条件下,为了既满足植株的生长需要和提高土壤肥力又不对环境造成污染,实际生产中有机肥的施用量应略低于 $60 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

(3) 虽然有机、无机肥配合施用是一项能明显降低土壤和地下水环境硝酸盐污染的生态保护措施,但

是不能只求高产量、高效益而过量使用肥料,关键是要控制好有机肥的投入量^[18],增强氮肥利用效率,提高作物的产量和品质。

参考文献:

- [1] 周建斌, 陈竹君, 唐莉莉, 等. 日光温室土壤剖面矿质态氮的含量、累积及其分布特性[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(5): 675-680.
ZHOU Jian-bin, CHEN Zhu-jun, TANG Li-li, et al. Mineral nitrogen content and accumulation in soil profiles under sunlight greenhouse cultivation [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2006, 12(5): 675-680.
- [2] 于红梅, 曾燕舞. 填闲作物的种植对下茬蔬菜产量及土壤硝态氮含量影响[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(8): 2336-2337, 2339.
YU Hong-mei, ZENG Yan-wu. Effect of nitrogen-catch crop on vegetables yields and nitrate content [J]. *Journal of Agri Sci*, 2007, 35(8): 2336-2337, 2339.
- [3] 王翠红, 黄启为, 周卫军, 等. 叶菜类蔬菜硝酸盐含量及其与土壤肥力因素的关系[J]. 生态环境, 2005, 14(2): 218-219.
WANG Cui-hong, HUANG Qi-wei, ZHOU Wei-jun, et al. The relationship between soil fertility and content of nitrate in foliage vegetables [J]. *Ecology and Environment*, 2005, 14(2): 218-219.
- [4] 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, 2003, 12(1): 24-28.
Ju Xiao-tang, Zhang Fu-suo. Nitrate accumulation and its implication to environment in North China [J]. *Ecology and Environment*, 2003, 12(1): 24-28.
- [5] 张学军, 赵桂芳, 朱雯清, 等. 菜田土壤氮素淋失及其调控措施的研究进展[J]. 生态环境, 2004, 13(1): 105-108.
ZHANG Xue-jun, ZHAO Gui-fang, ZHU Wen-qing, et al. Nitrogen leaching from vegetables soil and control measures: A review [J]. *Ecology and Environment*, 2004, 13(1): 105-108.
- [6] 王立河, 赵喜茹, 王喜枝, 等. 有机肥与氮肥配施对日光温室黄瓜和土壤硝酸盐含量的影响[J]. 土壤通报, 2007, 38(3): 472-476.
WANG Li-he, ZHAO Xi-ru, WANG Xi-zhi, et al. Effect of co-application of organic and nitrogen fertilizer on nitrate content of cucumber and soil in greenhouse [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2007, 38(3): 472-476.
- [7] 周建斌, 翟丙年, 陈竹君, 等. 设施栽培菜地土壤养分的空间累积及其潜在的环境效应[J]. 农业环境科学学报, 2004, 23(3): 332-335.
ZHOU Jian-bin, ZHAI Bing-nian, CHEN Zhu-jun, et al. Nutrient accumulations in soil profiles under canopy vegetable cultivation and their potential environmental impacts [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2004, 23(2): 332-335.
- [8] 杨丽娟, 张玉龙. 保护地菜田土壤硝酸盐累积及其调控措施的研究进展[J]. 土壤通报, 2001, 32(2): 66-69.
YANG Li-juan, ZHANG Yu-long. Accumulation of $\text{NO}_3^- - \text{N}$ and research progress of control measures in protected soil [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2001, 32(2): 66-69.

- [9] 吴建繁. 无公害蔬菜营养与施肥研究进展[J]. 植物学通报, 2000, 17(6): 494-498.
- WU Jian-fan. Research progress of nutrition and fertilization on pollution-free vegetables[J]. *Chinese Bulletin of Botany*, 2000, 17(6): 494-498.
- [10] 袁新民, 同延安, 杨学云, 等. 有机肥对土壤 NO_3^- -N 累积的影响[J]. 土壤与环境, 2000, 9(3): 197-200.
- YUAN Xin-min, TONG Yan-an, YANG Xue-yun, et al. Effects of organic manure fertilization on NO_3^- -N accumulation in soil[J]. *Soil and Environment*, 2000, 9(3): 197-200.
- [11] 徐福利, 梁银丽, 张成娥, 等. 施肥对日光温室土壤硝酸盐分布特征的影响[J]. 西北植物学报, 2003, 23(10): 1762-1767.
- XU Fu-li, LIANG Yin-li, ZHANG Cheng-e, et al. Nitrate distribution characteristics in soil at fertilization on cucumber at sunlight greenhouse in loess plateau[J]. *Acta Bot Boreal Occident Sin*, 2003, 23(10): 1762-1767.
- [12] 徐福利, 梁银丽, 张成娥, 等. 施肥对日光温室黄瓜和土壤硝酸盐含量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(1): 68-72.
- XU Fu-li, LIANG Yin-li, ZHANG Cheng-e, et al. Effect of fertilization on distribution of nitrate in cucumber and soil in sunlight greenhouse[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2004, 10(1): 68-72.
- [13] 赵明, 赵征宇, 蔡葵, 等. 畜禽有机肥料当季速效氮磷钾养分释放规律[J]. 山东农业科学, 2004, 10(5): 59-61.
- ZHAO Ming, ZHAO Zheng-yu, CAI Kui, et al. Current-year release patterns of nitrogen, phosphorous and potassium from animal organic manure[J]. *Shandong Agricultural Science*, 2004, 10(5): 59-61.
- [14] 杨丽娟, 张玉, 李晓安, 等. 灌水方法对塑料大棚土壤-植株硝酸盐分配影响[J]. 土壤通报, 2000, 31(2): 43-47.
- ZHANG Li-juan, ZHANG Yu, LI Xiao-an, et al. Effects of irrigation regime on nitrate distribution in soil-plant system under protected cultivation[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2000, 31(2): 43-47.
- [15] Gupta S, Munyankusi E, Moncrief J, et al. Tillage and manure application effects on mineral nitrogen leaching from seasonally frozen soils[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2004, 33(4): 1238-1246.
- [16] Breschini S J, Hartz T K. Presidedress soil nitrate testing reduces nitrogen fertilizer use and nitrate leaching hazard in lettuce production[J]. *Hortscience*, 2002, 37(7): 1061-1064.
- [17] Zhu J H, Li X L, Christie P, et al. Environmental implications of low nitrogen use efficiency in excessively fertilizer hot pepper cropping systems[J]. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 2005, 11(1): 70-80.
- [18] 黄绍敏, 宝德俊. 施 N 对土壤和地下水 NO_3^- -N 含量的影响[J]. 农业环境保护, 2000, 19(4): 228-229.
- HUANG Shao-min, BAO De-jun. Effect of nitrogen fertilization on nitrate in soil and groundwater[J]. *Agriculture Environment Protection*, 2000, 19(4): 228-229.