

设施高肥力蔬菜地氮素调控下磷素特征研究

王 恒¹, 金圣爱^{2*}, 李俊良², 董家贵¹, 张兰芳³, 陈为堂¹, 葛晓梅¹

(1.日照市农业局, 山东 日照 276826; 2.青岛农业大学资源与环境学院, 山东 青岛 266109; 3.日照市农产品质量安全检验检测中心, 山东 日照 276826)

摘 要:设施蔬菜种植中存在不合理施肥现象,土壤养分严重失调。为了解设施蔬菜地高氮肥力水平下不同氮素水平对磷素的养分吸收影响,2004—2007年在山东寿光进行不同氮素水平调控和秸秆还田试验,并于2007年冬春季进行裂区淋滤试验。结果表明,不同水平的氮素调控影响磷素含量变化,空白(NN)、有机肥(MN)、有机肥+秸秆(MN+S)供氮水平下土壤全磷含量逐年下降,降幅 NN>MN>MN+S,全磷增幅传统氮素(CN)>传统氮素+秸秆(CN+S)>氮素优化+秸秆(SN+S)>氮素优化(SN)。CN、CN+S供氮水平下土壤速效磷含量达到 213.7、225.4 mg·kg⁻¹,增长了 17.1%、23.5%,磷素累积明显;其他供氮水平下速效磷含量逐年下降,降幅 NN>MN>MN+S>SN+S>SN>CN>CN+S,减少氮素供应有利于减缓磷素累积,促进磷的吸收利用。除 NN 供氮水平下土壤有机磷含量下降外,其他处理均不同程度增加,CN、CN+S 供氮水平下土壤有机磷含量累积明显(308.4、331.4 mg·kg⁻¹),分别增长了 28.5%、38.2%。SN+S 供氮水平下磷的吸收系数(P₂O₅,mg·100 g⁻¹)达到了 1 571,增长了 143.6%;CN、CN+S 供氮水平下磷的吸收系数出现了负增长,CN 供氮水平下达到了 416(P₂O₅,mg·100 g⁻¹),下降了 35.5%。添加小麦秸秆极大地提高了磷的吸收能力,在一定程度上能减缓土壤速效磷的累积。淋滤液中全磷含量 SN>SN+S,有机磷含量 SN>SN+S,秸秆还田对阻控有机磷素淋溶有一定的作用,但整个冬春生长季渗滤液中全磷含量在 2.6~12.0 mg·L⁻¹,有机磷含量在 0.42~4.1 mg·L⁻¹,淋出液水质仍超过了国家安全水质标准。因此,在高肥力水平下进行氮素调控,优化氮素供应量,促进了磷素的吸收利用,对农民在高肥力水平下施肥具有指导意义。建议农民在以后的种植中减少氮肥供应量及添加高碳源秸秆进行还田,以提高肥料的利用率,减少氮磷对土壤及水体的污染。

关键词:设施;氮素调控;秸秆;磷;淋洗

中图分类号:S143.1

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2014)03-0253-06

doi: 10.13254/j.jare.2013.0237

Phosphorus Characteristics with Controlled Nitrogen in Fertile Soils in Protected Vegetable Field

WANG Heng¹, JIN Sheng-ai^{2*}, LI Jun-liang², DONG Jia-gui¹, ZHANG Lan-fang³, CHEN Wei-tang¹, GE Xiao-mei¹

(1.Rizhao Agriculture Bureau, Rizhao 276826, China; 2.College of Resources and Environment, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China; 3.Rizhao Exam and Inspection Center for Agricultural Products Safety and Quality, Rizhao 276826, China)

Abstract: There is an unreasonable phenomenon of fertilization in vegetable facility cultivation, with the serious imbalance of soil nutrient. In purpose of understanding the absorption characteristics of phosphorus from nitrogen-rich soil, a long-term nitrogen-controlled experiment was carried from the year 2004 to 2007, and a split plot experiment of leaching was carried in winter-spring season of 2007. The results showed that the content of phosphorus varied with different nitrogen control. The TP was decreased with nitrogen supply of none (NN)、or-ganic manure(MN)、organic manure and straw(MN+S), and the decreased range was NN>MN>MN+S, meanwhile the increase range of TP was traditional-nitrogen(CN)>traditional-nitrogen+straw(CN+S)>optimized-nitrogen+straw(SN+S)>optimized-nitrogen(SN). The available P with CN and CN+S reached to 213.7 mg·kg⁻¹、225.4 mg·kg⁻¹, which increased by 17.1 percent and 23.5 percent, which declared the phosphorus was accumulated; The available P with other nitrogen controlled decreased with the range of NN>MN>MN+S>SN+S>SN>CN>CN+S, which showed that the supply reduction of nitrogen could slowdown the phosphorus accumulated and promote the utilization ratio of phosphorus. The organophosphorus was increased except NN, with obvious increase with CN、CN+S (308.4 mg·kg⁻¹、331.4 mg·kg⁻¹) by 28.5 percent and 38.2 percent. The absorption coefficient of phosphorus with SN+S (P₂O₅,mg·100 g⁻¹) reached to 1 571, increased by 143.6 percent; Otherwise the absorption coefficient of phosphorus with CN、CN+S showed negative growth, the CN dipped to 416 (P₂O₅,mg·100 g⁻¹) by 35.5 percent. Adding wheat straw could greatly improved the capacity of absorption of phosphorus and slow down the accumulation of available phosphorus to some extent. The concentrations of total phosphorus in the filtrate with SN+S were less than SN, contrary to the concentration of

收稿日期:2013-12-06

基金项目:国家“十一五”科技支撑项目(2006BAD17B07);农业部 948 项目(2006-G60(2))

作者简介:王 恒(1981—),男,山东滕州人,硕士研究生,农艺师,主要从事土壤养分与肥料研究。E-mail: wangheng0603@126.com

* 通信作者:金圣爱 E-mail: shengaij@163.com

organophosphorus, thus the straw returning had a certain effect on stopping the organophosphorus leaching, the concentrations of total phosphorus in the filtrate was 2.62~12 mg·L⁻¹, and the concentrations of organophosphorus was 0.42~4.12 mg·L⁻¹, both of them exceeded the national security quality standards of water. Consequently, control-optimization supply of nitrogen in high fertile soil could promote the absorption and utilization of phosphorus, and had directive significance to guide famer's fertilization. Reducing the supply of nitrogen and returning the straw with high carbon are suggested to improve the utilization rate of fertilizer and reduce the pollution of nitrogen and phosphorus in soil and water bodies.

Keywords: facility; nitrogen controlled; straw; phosphorus; leaching

保护地蔬菜生产发展迅速,使用年限逐年增加,其土壤条件发生了很大变化。为了提高保护地蔬菜单产,增加效益,农民盲目加大氮肥、磷肥用量,造成土壤养分之间比例严重失调,肥料利用率降低^[1]。山东省寿光市是“中国蔬菜之乡”,大水大肥的现象非常普遍^[2],急需保护地土壤养分资源情况的相关试验。综合寿光有关日光温室施肥的调查资料发现,平均每季养分投入化肥氮为 1 257 kg·hm⁻²,远远超过作物的实际需求^[3]。对山东省寿光市日光温室蔬菜的施肥现状的调查结果表明,化肥投入量高出一般推荐量的 2~5 倍,氮磷钾肥的当季利用率均不到 10%,土壤中均含有大量的氮和难溶性磷,速效氮含量较高,而有效磷含量一般较低,土壤磷素累积严重,可供作物利用的磷不足,制约作物的生长发育^[4-5]。近几年来,活化土壤难溶性磷,增强土壤供磷能力,减少磷肥的投入,也逐渐引起人们的关注。土壤中存在大量的微生物,这些微生物能够将难溶磷转化为植物可吸收利用的有效磷。但在含氮量较高的土壤中,C/N 较低,微生物活性不高,制约了其固氮、解磷、解钾的能力。杨赵等^[6]研究表明,添加有机质能有效增加土壤全氮含量,而降低土壤有效氮含量,特别是添加小麦秸秆,有效地减少了氮素的流失量,但却增加了磷的流失量。小麦秸秆含碳量较高,农田添加小麦秸秆,可以提高土壤有机质和 C/N 值,为土壤微生物的生长繁殖提供丰富的能量和环境,提高微生物的活性,从而有利于土壤中累积态难溶性磷元素的溶解和释放,减缓了氮素的流失,提高了氮素、磷素的利用率^[7-10]。为此,本试验以寿光蔬菜保护地的 0~30 cm 高氮土壤为供试材料,通过不同的氮素调控及添加秸秆提高碳氮比,研究土壤中

不同供氮水平下磷素的特征变化情况及淋溶状况,从而为指导农民合理施肥及对当地水的氮磷淋溶风险提供依据。

1 材料与方 法

1.1 试验时间、地点

试验于 2004 年 1 月—2007 年 12 月在山东省寿光市古城街道罗庄村(36°55'N,118°45'E)进行,温室内的种植面积为 84.0 m×7.8 m,已连续种植 5 年番茄。种植方式为典型的一年两季,试验开始前取 0~60 cm 土壤,土壤基础肥力状况如表 1 所示。

1.2 试验材料

2004—2007 年 4 年供试番茄品种分别为“189”、“852”、“189”、“金棚 1 号”、“布鲁斯特”、“千禧樱桃”、“布鲁斯特”、“千禧樱桃”。畦宽为 1.0 m,畦间距为 0.4 m,行间距 0.7 m,株间距 0.35 m,每公顷种植密度约为 35 000 株,樱桃番茄的种植密度每公顷 45 000 株。种植方式为典型的一年两季,即 2—6 月为冬春季、8 月至来年 1 月为秋冬季,7 月份休闲。

1.3 试验设计

1.3.1 氮素调控试验

淋洗装置见图 1。

2004 年冬春季至 2007 年冬春季连续 4 年的试验中,共设置 7 个处理,如下:

(1)对照(NN):不施有机肥(主要为鸡粪)和化学氮肥;

(2)有机肥处理(MN):只施用有机肥,8 个生长季节的有机肥施用量分别为 8、11、8、11、5、8、8、8 t·hm⁻²,均匀撒施后翻耕,不追施化学氮肥;

表 1 试验地土壤的基础理化性状

Table 1 Soil physico-chemical characteristics of the experimental greenhouse

土层深度/cm	有机质/g·kg ⁻¹	全氮/g·kg ⁻¹	硝态氮/mg·kg ⁻¹	有效磷/mg·kg ⁻¹	速效钾/mg·kg ⁻¹	pH (0.01 mol·L ⁻¹ CaCl ₂)	EC/μs·cm ⁻¹
0~30	14.7	1.21	34.9	340	223	6.03	279.5
30~60	4.65	0.47	31.7	136	111	6.60	211

注:采样时间为 2003 年 12 月 10 日,上一季番茄种植完毕,为 5 点的混合样;pH 和 EC 的液土比为 5:1。

(3)传统氮素处理(CN):8个生长季基施有机肥分别为8、11、8、11、5、8、8、12 t·hm⁻²,根据当地农户调查结果,每次追施 N 120 kg·hm⁻²;

(4)氮素优化处理(SN):8个生长季基施有机肥分别为8、11、8、11、5、8、8、8 t·hm⁻²,在综合考虑灌溉水带入氮素、土壤氮素的基础上确定追施氮量(公式1);

施氮量 = 修正的氮素供应目标值-0~30 cm 土层硝态氮-灌溉水带入氮量 (1)

氮素供应目标值因番茄茬口和生育时期而不同,具体为冬春季番茄第一、二、三穗果膨大期追肥时的氮素供应目标值为 N 250 kg·hm⁻²,第四、五穗果膨大期则为 N 200 kg·hm⁻²;秋冬季番茄第一、二、三和四穗果膨大期每次追肥时的氮素供应目标值为 N 200 kg·hm⁻²,第五穗果膨大期则为 N 250 kg·hm⁻²^[11];

(5)有机肥+秸秆处理(MN+S):2006年秋冬季进行裂区试验,在MN处理的基础上添加风干小麦秸秆 2 t·hm⁻²;

(6)传统氮素+秸秆处理(CN+S):2006年秋冬季进行裂区试验,在CN处理的基础上添加风干小麦秸秆 2 t·hm⁻²;

(7)氮素优化+秸秆处理(SN+S):2006年秋冬季进行裂区试验,在SN处理的基础上添加风干小麦秸秆 2 t·hm⁻²。

各处理每季均以底肥施入 300 kg·hm⁻² P₂O₅(过磷酸钙,12% P₂O₅);钾肥 400 kg·hm⁻² K₂O(K₂SO₄,52%),分次施入。试验小区两侧 0~50 cm 纵向埋农膜防止小区间肥料相互渗透。

1.3.2 渗滤试验

2007年冬春季和秋冬季间休闲时,将6个渗滤计分别埋装于氮素优化处理和氮素优化+秸秆处理小

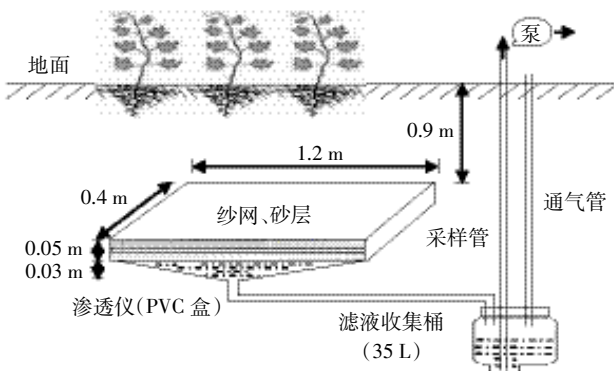


图1 淋洗装置构造图

Figure 1 Leaching device

区(图1中用白色立方体标注),监测添加小麦秸秆对于菜田土壤磷的淋洗状况,间隔14 d左右取样。

1.4 测定项目与方法

试验前(2003年12月)采集0~60 cm基础土壤样品,之后每年秋冬季结束后取0~30 cm表层土壤。测定全磷(高氯酸-浓硫酸消煮-钼锑抗比色法)、速效磷(0.5 mol·L⁻¹ NaHCO₃浸-钼锑抗比色法)、有机磷(高温电炉灼烧-0.2 mol·L⁻¹ (1/2)H₂SO₄浸提)以及磷的吸收系数(磷酸二铵溶液浸提-钼锑抗比色法)。用浓H₂SO₄-HNO₃联合消煮钼锑抗比色法测定溶液中的全磷和有机磷含量。土壤样品和植物样品的分析测定均按照鲍士旦主编的《土壤农化分析》标准进行^[12]。

2 结果与讨论

2.1 氮调控下土壤中磷的含量指标变化

在4年生长季中,速效磷含量变化较明显(图2)。2007年NN、MN、SN+S、SN处理的速效磷含量分别为122.4、130.0、150.2、155.0 mg·kg⁻¹,比2004年下降了32.9%、28.7%、17.7%、15.0%。磷与氮在作物吸收、利用方面有相互协助作用,合理的施用氮肥通常能促进植物对磷的吸收利用,磷参与氮代谢、硝酸盐还原、氮的同化以及蛋白质的合成。在氮肥供应过量,土壤中含氮量过高的情况下,磷的吸收有被抑制的可能^[13]。

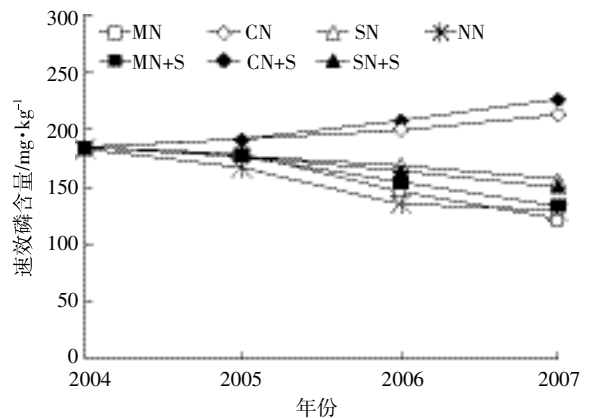


图2 2004—2007年不同调氮措施下0~30 cm土壤速效磷含量变化

Figure 2 The content of available P in 0~30 cm soils with different N controlling from 2004 to 2007

在农民传统施肥模式下,速效磷含量逐年增加,磷肥的有效性可持续多年。不同水平的氮素调控均能减少表层土壤速效磷的含量,传统施肥模式下添加秸秆还田,在一定程度上减缓了速效磷的增加,但是添加秸秆对速效磷含量的影响不是很明显,这可能和

添加秸秆的量有关系,另外试验处理在调控氮素的同时,仍然采取了基施 $300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \text{ P}_2\text{O}_5$ (过磷酸钙, $12\% \text{ P}_2\text{O}_5$), 没有考虑高氮磷土壤调氮的同时调磷的影响,需要改进试验处理。

在高氮水平下减少氮素供应有利于促进累积态有机磷向无机磷转化,从而被作物吸收利用,减缓磷素累积。图 3 表明,试验结束时只有 NN 处理的有机磷含量表现出明显下降趋势,下降到 $181.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 下降了 24.5% 。其余处理的有机磷含量不同程度增加。其中增幅最大的 CN+S 处理增加了 38.2% , CN、SN+S、SN 分别增加了 28.5% 、 20.6% 、 16.0% 。各添加秸秆在一定程度上促进了无机态磷向有机态磷的转化,有机磷的增加对于土壤肥力的提高有着积极的意义,但土壤有机磷易于被淋失,CN+S 处理在试验结束时仍达到了 $331.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, CN 处理为 $308.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 从环境效益的角度分析,其磷素的面源污染风险仍然较大。

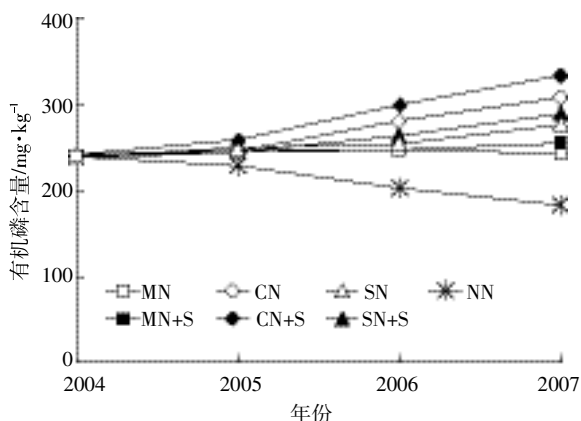


图 3 2004—2007 年不同调氮措施下 0~30 cm 土壤有机磷含量变化

Figure 3 The content of organophosphorus in 0~30 cm soils with different N controlling from 2004 to 2007

NN 处理每季仅施入 $300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的 P_2O_5 和 $400 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的 K_2O , 在没有氮肥和有机鸡粪的情况下, 2007 年全磷含量为 $1.70 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ (图 4), 比 2004 年下降了 23.2% , 达到极显著水平, 下降趋势较明显。表明其仍处于肥沃水平, 在高氮肥力水平保护地栽培耕作中减少氮素供应相应有利于减缓磷素累积。MN 处理全磷含量降低了 9.6% , 呈缓慢下降趋势。2007 年传统处理全磷含量为 $2.49 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 比 2004 年增加了 14.5% , 达到极显著水平。

土壤样品与 $25 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的磷酸二铵溶液 (pH=7) 在一定条件下反应, 反应前后磷量的差, 即土壤对磷的吸

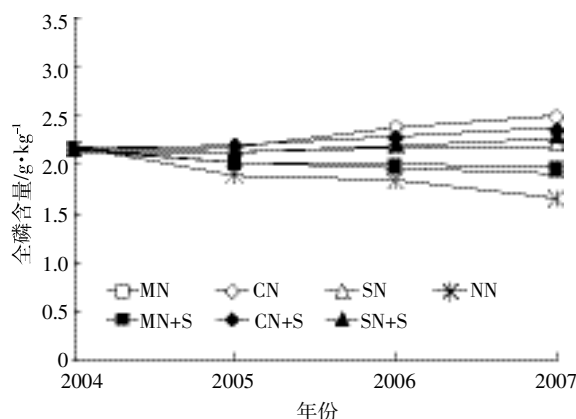


图 4 2004—2007 年不同调氮措施下 0~30 cm 土壤全磷含量变化

Figure 4 The content of TP in 0~30 cm soils with different N controlling from 2004 to 2007

收量, 换算成为每 100 g 土壤吸收固定磷 (P_2O_5) mg 数, 得到磷吸收系数。土壤中的活性铁、铝、钙等会与磷生成不溶性物质, 从而不能被植物吸收。土壤吸收固定磷的能力被称为磷吸收力, 以磷吸收系数表示, 见表 2。

表 2 土壤磷吸收能力与磷酸吸收系数的关系 ($\text{P}_2\text{O}_5, \text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$)^[4]

Table 2 The relationship between absorbency and absorption coefficient of phosphorus^[4]

项目	吸收力强弱程度				
	弱	较弱	普通	较强	强
磷吸收系数	<500	501~700	701~1 000	1 001~1 500	>1 501

2004 年试验初表层土壤的磷吸收系数仅为 $645 (\text{P}_2\text{O}_5, \text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1})$, 吸收能力处于较弱水平。2004—2007 年氮素调控试验后进行磷吸收能力的测定, 磷吸收系数 ($\text{P}_2\text{O}_5, \text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$) 在 $416 \sim 1 571$ 之间变化 (图 5), 其中 SN+S 处理的磷吸收系数达到了 $1 571$, 增长了 143.6% , 吸收能力强; 其次为 SN、NN、MN+S, 分别增长了 71.2% 、 38.6% 、 12.9% 。氮素调控下添加秸秆, 提高了土壤的 C/N、C/P, 活化了土壤中的微生物, 极大地促进了作物对磷的吸收。而在磷累计比较严重的环境下仍进行传统模式的施肥, CN、CN+S 的磷吸收系数下降明显, 分别下降了 35.5% 和 11.0% , 磷的吸收利用率不高。

2.2 氮调控下渗滤液中磷含量的变化

有机态磷易转化, 秸秆中的磷大部分呈有机态, 且难分解。从图 6 中可以看出渗滤液中总磷含量 SN 处理略高于 SN+S 处理, 添加秸秆多少能减少淋出的

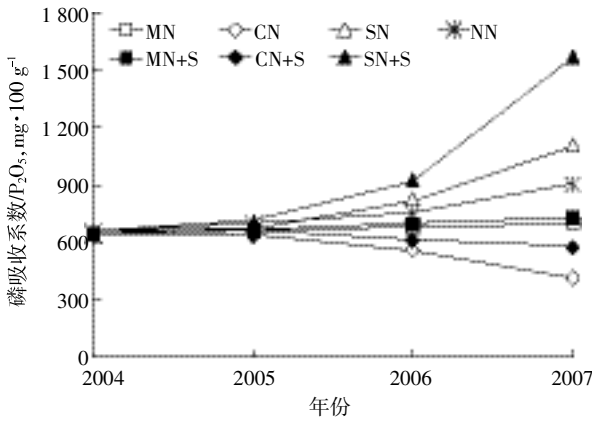


图 5 2004—2007 年不同调氮措施下 0~30 cm 土壤磷吸收系数变化

Figure 5 The absorption coefficient of P in 0~30 cm soils with N controlling from 2004 to 2007

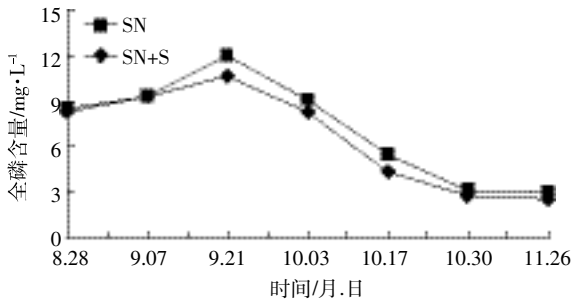


图 6 2007 年冬春季氮素优化措施下渗滤液中总磷含量变化
Figure 6 The content of TP in leachate with different N controlling during winter-spring season in 2007

磷总量,但是效果不是很明显。本试验基础土壤氮、磷含量均极高,而试验只对氮素进行了调控,每年都有磷肥投入,最终土壤全磷和 Olsen-P 的含量比较高,本季淋洗结束时渗滤液中总磷含量在 2.6~12.0 mg·L⁻¹,污染风险较大^[15]。

添加秸秆处理渗滤液中有机磷浓度高于未添加秸秆的处理(图 7),呈先升高后下降的趋势,且峰值出现在前期。而 SN+S 处理的土壤有机磷含量增幅大于 SN 处理,二者含量吻合。添加小麦秸秆提高了土壤的 C/N 比值和 C/P 比值,提高了微生物活性,促进了土壤中微生物对肥料磷的生物固定,合成有机态磷,从而增大了有机磷被淋溶的可能性,而后期随着番茄进入旺盛生长季加大了对有效磷的需求,有机态磷又逐渐被矿化为无机态磷,因此,淋溶的有机磷量也随之减少。整个冬春生长季渗滤液中有机磷含量在 0.4~4.1 mg·L⁻¹,按照水体磷酸盐(以 P 计算)一级标准是浓度<0.5 mg·L⁻¹,二级标准为<1 mg·L⁻¹ [14],试验结

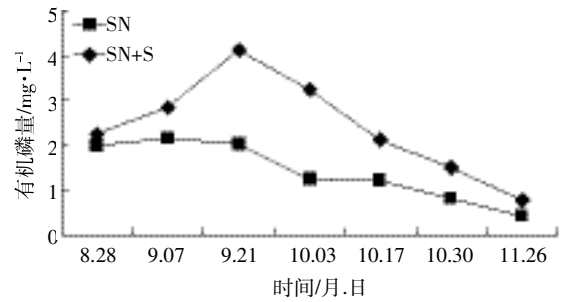


图 7 2007 年冬春季氮素优化措施下渗滤液中有机磷含量变化
Figure 7 The content of organophosphorus in leachate with N controlling in winter-spring season in 2007

束时,淋出液水质超过了安全水质标准,因此保护地富磷土壤磷素淋失问题应引起关注。添加秸秆在一定程度上降低了累积态磷被淋溶的风险,需要进一步添加秸秆,进行模拟淋洗试验。金圣爱等^[16]的研究表明,有机态磷在第 3~4 d 就达到了高峰,有机态磷早于无机态磷淋出,土壤中可溶性有机态磷在前期就可淋洗殆尽。但是本试验是间隔 14 d 取 1 次水样,是否存在淋溶周期过短及取样间隔期过大,有待进一步改进。

秸秆还田对阻控磷素淋溶有一定的作用,但本试验处理中将添加秸秆量固定在了小麦秸秆 2 t·hm⁻²,不同的碳源,不同的添加量,对 C/N 的影响是不一样的,在以后的试验中需要进一步改进^[17]。同时,本试验每个生长季添加的有机肥均为发酵后的鸡粪,存在不同阶段发酵程度不一样,生物活性不一样的可能性,如果添加商品生物有机肥,提供外源微生物菌会对高肥力水平土壤的磷素产生怎样的影响,值得进一步探究。

3 结论

在高肥力水平下进行氮素调控,优化氮素供应量,对农民在高肥力水平模式下的施肥有明显的指导意义。不同水平的氮素供应,影响磷素含量的变化,NN、MN、MN+S 供氮水平下土壤全磷含量逐年下降,降幅 NN>MN>MN+S,全磷增幅 CN>CN+S>SN+S>SN。SN+S 处理速效磷含量下降了 17.7%,有机磷含量增加了 20.6%,但是磷吸收系数(P₂O₅,mg·100 g⁻¹)达到 1 571,增长 143.6%,极大地提高了磷的吸收能力。CN、CN+S 供氮水平下土壤速效磷含量达到 213.7、225.4 mg·kg⁻¹,有机磷含量达到了 308.4、331.4 mg·kg⁻¹,磷素累积明显。其他供氮水平下速效磷含量逐年下降,降幅 NN>MN>MN+S>SN+S>SN>CN>CN+S。CN、CN+S 供氮水平下磷的吸收系数出现了负增长,CN 供氮水平下达到了 416(P₂O₅,mg·100 g⁻¹),下降了 35.5%。

整个冬春生长季渗滤液中总磷含量在 2.6~12.0 mg·L⁻¹,有机磷含量在 0.4~4.1 mg·L⁻¹,淋出液水质超过了安全水质标准。

由于磷与氮在作物吸收、利用方面有相互协助作用,合理施用氮肥通常能促进植物对磷的吸收利用。不同水平的氮素调控影响磷素含量变化,空白和有机肥处理的土壤全磷含量有所下降,传统处理和传统加秸秆处理的土壤全磷、速效磷含量逐渐增高,均处于较高的肥力水平,累积明显,但添加秸秆还田处理在一定程度上减缓了速效磷的增加。农民的传统施肥模式下土壤磷吸收系数逐年下降明显,建议农民在以后的种植中减少氮肥供应量及添加高碳源秸秆进行还田,以提高肥料的利用率,减少氮磷对土壤及水体的污染。

参考文献:

- [1] 刘敬娟,陈中赫. 平衡施肥技术在保护地番茄上应用[J]. 北方园艺, 2002(1):21-22.
LIU Jing-juan, CHEN Zhong-he. Balanced fertilization technology in tomato[J]. *North Horticulture*, 2002(1):20-22.(in Chinese)
- [2] 葛晓光. 我国蔬菜日光温室产业的现状与升级问题的探讨(一)——我国蔬菜日光温室发展与存在的问题[J]. 温室园艺, 2005(8):12-14.
GE Xiao-guang. Discussion on industry status and upgrade issues of greenhouse vegetable[J]. *Greenhouse Horticulture*, 2005(8):12-14.(in Chinese)
- [3] 李俊良,朱建华,张晓晟,等. 保护地番茄养分利用及土壤氮素淋失[J]. 应用与环境生物学报, 2001, 7(2):126-129.
LI Jun-liang, ZHU Jian-hua, ZHANG Xiao-sheng, et al. Nitrate leaching loss from soil and nutrient utilization by tomato protected field[J]. *Chinese Journal of Applied Environmental Biology*, 2001, 7(2):126-129.(in Chinese)
- [4] 马文奇,毛达如,张福锁. 山东省蔬菜大棚养分积累状况[J]. 磷肥与复肥, 2000, 15(3):65-67.
MA Wen-qi, MAO Da-ru, ZHANG Fu-suo. Nutrients accumulation within vegetable awning(greenhouse)in Shandong province[J]. *Phosphate & Compound Fertilizer*, 2000, 15(3):65-67.(in Chinese)
- [5] Zhu J H, Li X, Christie P. Environmental implications of low nitrogen use efficiency in excessively fertilized hot pepper cropping systems[J]. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 2005, 111(2):70-80.
- [6] 杨 赵,杨育华,支国强,等. 不同碳形态有机质对土壤氮磷流失的影响[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(6G):51-54.
YANG Zhao, YANG Yu-hua, ZHI Guo-qiang, et al. Effect of different carbon sources of organic matter on the soil nitrogen and phosphorus loss[J]. *Environment Science & Technology*, 2011, 34(6G):51-54.(in Chinese)
- [7] 朱自学,刘天学. 秸秆还田的生态效应研究进展[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(23):7221-7223.
ZHU Zi-xue, LIU Tian-xue. Research process of ecological effect of returning straw into field[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2007, 35(23):7221-7223.(in Chinese)
- [8] 薛景珍,郭树范,程国华,等. 长期使用含氯化肥对土壤微生物区系及固氮菌生理群的影响[J]. 土壤通报, 1995, 26(3):135-138.
XUE Jing-zhen, GUO Shu-fan, CHENG Guo-hua, et al. Effects of long-term application of chlorine-containing fertilizers on microbial flora and nitrogen-fixing bacteria physiological groups[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 1995, 26(3):135-138.(in Chinese)
- [9] 劳秀荣,孙伟红,王 真,等. 秸秆还田与化肥配合施用对土壤肥力的影响[J]. 土壤学报, 2003, 40(4):618-623.
LAO Xiu-rong, SUN Wei-hong, WANG Zhen, et al. Effect of matching use of straw and chemical fertilizer on soil fertility[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2003, 40(4):618-623.(in Chinese)
- [10] Gagnon B, Lalande R, et al. Enzyme activities following paper sludge addition in a winter cabbage-sweet corn rotation[J]. *Can J Soil Sci*, 2000, 80: 91-105.
- [11] 高 兵,李俊良,陈 清,等. 不同水氮管理对日光温室番茄产量及土壤无机氮的影响[J]. 水土保持学报, 2008, 22(6):136-140.
GAO Bing, LI Jun-liang, CHEN Qing, et al. Effects of different irrigation and fertilization strategies on the yield and inorganic N in greenhouse tomato system[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2008, 22(6):136-140.(in Chinese)
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社, 2000: 105-110.
BAO Shi-dan. Soil agricultural chemistry analytical[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 105-110.(in Chinese)
- [13] 胡霭堂. 植物营养学(第二版)[M]. 北京:中国农业大学出版社, 2003.
HU Ai-tang. Plant nutrition(second edition)[M]. Beijing: China Agriculture University Press, 2003.(in Chinese)
- [14] 全国农技推广中心. 土壤分析技术规范(第二版)[M]. 北京:中国农业出版社, 2006.
National Agricultural Technology Promotion Center. Technical specifications of soil analysis(second edition)[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2006.(in Chinese)
- [15] 国家环保局,国家技术监督局. 污水综合排放标准[M]. 北京:中国环境科学出版社, 2000.
National Environmental Protection Agency, Bureau of Technical Supervision. Wastewater discharge standard[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2000.(in Chinese)
- [16] 金圣爱,王 恒,刘庆花,等. 山东寿光设施菜地富磷土壤磷素淋溶特征研究[J]. 土壤通报, 2010, 41(3):577-581.
JIN Sheng-ai, WANG Heng, LIU Qing-hua, et al. Phosphorus leaching characteristics of the phosphorus-rich soils in protected field production in Shouguang city[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2010, 41(3): 577-581.(in Chinese)
- [17] 赵建荣,高德才,汪建飞,等. 不同 C/N 下鸡粪麦秸高温堆肥腐熟过程研究[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(5):1014-1020.
ZHAO Jian-rong, GAO De-cai, WANG Jian-fei, et al. The high-rate composting of manure and wheat straw in different C/N[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2011, 30(5):1014-1020.(in Chinese)