

连续多年不同灌溉方式对保护地 土壤磷剖面分布的影响

金 烁, 张玉龙, 张玉玲, 韩 琳, 王 娇, 刘 洋, 魏岩岩

(沈阳农业大学土地与环境学院, 农业部东北土壤与环境重点开放实验室, 辽宁 沈阳 110866)

摘 要: 自以同一方案连续 12 a 进行定位灌溉试验的栽培番茄保护地, 分层采集 0~100 cm 土层的土壤样本, 研究了灌溉方式对保护地土壤全磷、速效磷(Olsen-P)含量及其剖面分布的影响。结果表明, 0~60 cm 土层土壤全磷、速效磷含量明显高于 60~100 cm 土层; 土层不同灌溉处理间土壤全磷、速效磷含量及其剖面分布 0~60 cm 土层表现出了明显差异, 总体上沟灌和滴灌高于渗灌, 而沟灌和滴灌之间差异不明显; 速效磷占全磷比例在 0~40 cm 土层以滴灌处理为最高, 其它两灌溉处理相对较低; 与滴灌、渗灌处理不同, 沟灌处理土壤的速效磷占全磷比例随土层深度增加变化不明显。相关分析结果表明, 各灌溉处理土壤速效磷与全磷之间呈极显著正相关关系, 而全磷、速效磷含量与有机质间呈显著的指数正相关关系。

关键词: 保护地; 节水灌溉; 土壤磷素分布

中图分类号: S153.6*1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2010)04-0213-04

磷是作物生长必需的大量营养元素之一^[1]。保护地作物栽培具有露地栽培无可比拟的优点: 它通过人工调节水、肥、气、热条件, 可以充分利用光能, 使土地生产力和光能利用率成倍提高。保护地多年连作, 高投入、高产出, 加上盲目施肥和不合理的水分管理, 导致耕层土壤氮、磷等元素大量累积, 这已成为保护地土壤的一个重要特征。研究表明, 蔬菜保护地土壤全磷和速效磷的含量高达相邻一般耕地的 2.8 和 14 倍之多, 但这些磷素主要积累在 0~20 cm 土层^[2]。水分管理是保护地生产实现作物高产的重要措施, 当前, 虽然滴灌、渗灌等新的灌水方法与技术被引入且应用面积逐年扩大, 但沟灌、畦灌等传统灌溉方法使用的还相当普遍。传统的灌溉方法以及不合理的灌水技术, 不但造成保护地蔬菜栽培的水量浪费, 还会影响到保护地土壤水、气、热和生物活性以及室内的空气湿度和温度, 影响到土壤的营养供应, 致使土壤板结、作物病虫害多发^[3]。灌水方式不同, 灌水后水分在土壤中的分布、运移亦不相同, 一方面会使土壤中养分元素赋存形态不同、作物吸收利用数量相异, 另一方面也可能使得这些元素以不同形态随水运动而发生迁移。因此, 灌水方法、灌水技术有可能会影响磷素的数量、形态及其剖面分布。然而, 到目前为止就不同灌水方式对土壤磷素的数量、形态和剖面分布影响的研究还少见报道。

本文对连续 12 a 使用沟灌、滴灌和渗灌灌溉栽培番茄的保护地土壤的全磷和速效磷含量、剖面分布进行研究, 以期为保护地蔬菜栽培水分、磷等养分元素的合理管理提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计与试验方法

保护地长期定位灌溉试验在沈阳农业大学校内科研基地保护地内进行, 试验按同一方案连续进行了 12 a; 土壤类型为草甸土, 基本化学性状为: 有机质 22.70 g/kg, 全氮 1.30 g/kg, 全磷 1.86 g/kg, 速效磷 103.00 mg/kg, 全钾 17.60 g/kg, 速效钾 164.00 mg/kg, pH 6.8。供试作物为番茄, 品种是 L402。

试验设沟灌、滴灌和渗灌 3 个处理, 每一处理 2 次重复, 小区随机排列, 小区面积 16.5 m²。灌水控制上限、下限 (S_u 、 S_d) 分别设定为土壤水吸力 6 kPa、40 kPa; 使用事先测定求得的供试保护地土壤水分特征曲线将 S_u 、 S_d 换算成相应的土壤体积含水量 W_u 、 W_d , 再用下式求出单位面积的单次灌水量 Q (m³/hm²):

$$Q = (W_u - W_d) \times H \times a \times 10000$$

式中, H 设为计划湿润层厚度, 渗灌取 0.3 m, 滴灌和沟灌取值 0.4 m; a 为湿润比, 沟灌为 1.0、滴灌和渗灌为 0.5。在整个生长季过程中: 沟灌灌水 6 次, 灌溉

收稿日期: 2009-12-20

基金项目: 辽宁农业科技攻关重大项目(2008212003); 辽宁省教育厅优秀人才支持计划项目

作者简介: 金 烁(1983—), 女, 辽宁沈阳人, 在读硕士研究生, 从事土壤改良与农业节水方面研究。E-mail: jinshuo529@163.com。

通讯作者: 张玉龙(1954—), 男, 教授, 博士研究生导师, 主要从事土壤改良及旱作农业方面的研究。E-mail: ylzau@163.com。

定额是 $3\ 388.3\ \text{m}^3/\text{hm}^2$; 滴灌灌水 11 次, 灌溉定额是 $3\ 156.0\ \text{m}^3/\text{hm}^2$; 渗灌灌水 12 次, 灌溉定额是 $2\ 790.9\ \text{m}^3/\text{hm}^2$ 。

为防止水分相互渗透, 各小区之间用埋深 60 cm 塑料薄膜隔开。滴灌带置于地表, 出水孔与作物根部位置相对; 渗灌管为外径 20 mm、内径 16 mm 的黑色微孔管(河南济源灌溉设备厂生产), 该管埋深 30 cm, 位置与作物行垂直对应, 管下铺宽 10 cm 的塑料薄膜防渗, 管上铺 2 cm 厚的稻壳作为过滤层。

在各小区中部按 10 cm、20 cm、30 cm、40 cm 和 50 cm 深度埋设张力计(澳大利亚 ICT 公司生产)和地温计, 观测土壤水分吸力和地温变化。以埋深 20 cm 深度土壤水分吸力读数指示灌水, 即当该观测值达到 40 kPa 时予以灌水。

春季番茄移栽前整地、施入农肥(鸡粪) $37\ 500\ \text{kg}/\text{hm}^2$; 移栽时施尿素 $300\ \text{kg}/\text{hm}^2$, 磷酸二铵 $225\ \text{kg}/\text{hm}^2$, 硫酸钾 $300\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 。

1.2 土壤样品采集及其分析方法

于 2009 年春季整地之前采集土壤样品, 取样深度为 0~10 cm、10~20 cm、20~30 cm、30~40 cm、40~60 cm、60~80 cm 和 80~100 cm; 采样时采用“S”形布点, 每小区取 7 点, 充分混合后得供试土壤样品。

全磷采用 $\text{HClO}_4 - \text{H}_2\text{SO}_4$ 消煮, 速效磷(Olsen-P)用 $0.5\ \text{mol/L}\ \text{NaHCO}_3$ (pH8.5) 浸提, 钼锑抗比色法测定; 土壤有机质, 用 C、N、S 元素分析仪(Elementar III 型, 德国)测定。

2 结果与分析

2.1 土壤全磷的剖面分布

表 1 是不同灌溉处理土壤全磷含量剖面分布的测定结果。从表中可以看出, 各处理土壤全磷含量均表现为表层含量高、随着土层深度加深而逐渐降低的分布趋势; 在 0~60 cm 土层全磷含量下降迅速, 而在 60~100 cm 土层含量低且变化速度明显变缓。比较沟灌、滴灌和渗灌各处理不同土层全磷含量, 可以认为 0~30 cm 土层是全磷含量较高层, 30~40 cm 土层是过渡层, 而 40~100 cm 则是较低层。

沟灌和滴灌处理各深度土层土壤全磷含量均大于渗灌。沟灌与滴灌处理相比较, 0~30 cm 土层土壤全磷含量沟灌高于滴灌, 20~30 cm 和 30~40 cm 土层两者相近, 而在 30~100 cm 土层则滴灌处理高于沟灌。对同一土层不同灌溉处理间全磷含量进行方差分析, 结果表明不同灌溉处理间土壤全磷含量在 0~40 cm 土层差异达到 1% 显著水平, 在 40~100

cm 土层则差异不明显。

表 1 不同灌溉处理土壤全磷含量

Table 1 The content of total-P under different irrigation methods

土层深度 Soil layer (cm)	沟灌 Furrow irrigation (g/kg)	滴灌 Drip irrigation (g/kg)	渗灌 Subsurface irrigation (g/kg)
0~10	3.180aA	2.446bA	2.339bA
10~20	2.886aA	2.399abA	1.990bB
20~30	2.129aB	2.095abA	1.652bC
30~40	1.519abBC	1.614aB	1.121bD
40~60	0.886aCD	1.139aC	0.852aE
60~80	0.855aD	0.985aC	0.799aE
80~100	0.695aD	0.870aC	0.670aE
总量 Total	14.566	14.522	11.744

注: 不同小写字母表示同一土层不同灌溉方式间达 1% 显著性差异水平, 不同大写字母表示同一处理方式不同土层间达 1% 显著性差异水平。全磷总量用加权求和法计算。下同。

Note: Different lower case letters represent the same level in different irrigation of 1% significance level. Different capital letters represent the same irrigation in different level of 1% significance level. The content of total-P is culculated by weighted summation. The same as below.

2.2 土壤速效磷的剖面分布

沟灌、滴灌和渗灌 3 种灌溉处理土壤速效磷含量剖面分布如表 2 所示。从表中可以看出, 土壤速效磷含量剖面分布的总体趋势是随着土层加深而逐渐降低, 即 0~10 cm 和 10~20 cm 层次含量高, 30~40 cm 层次快速减少, 为一过渡层次, 40 cm 以下土层速效磷含量相对较低且变化不大。

表 2 不同灌溉处理土壤速效磷含量

Table 2 The content of Olsen-P under different irrigation methods

土层深度 Soil layer (cm)	沟灌 Furrow irrigation (mg/kg)	滴灌 Drip irrigation (mg/kg)	渗灌 Subsurface irrigation (mg/kg)
0~10	319.3aA	272.2abA	251.0bA
10~20	290.0aA	269.1aA	194.7bB
20~30	199.7aB	249.9bA	159.7cC
30~40	143.8aC	185.5bB	104.8aD
40~60	83.7aD	85.5aC	72.0aE
60~80	82.5aD	60.0aC	73.2aE
80~100	65.3aD	66.6aC	42.0bE

3 种灌水方法相比较, 除 60~80 cm 土层滴灌处理速效磷含量低于沟灌和渗灌处理外, 其它各土层深度速效磷含量均表现为沟灌和滴灌处理大于渗灌处理, 且在 20~30 cm 土层达到了 1% 显著水平。在 0~10 cm 和 10~20 cm 土层速效磷含量以沟灌处理为最高, 但与滴灌处理之间差异未达到 1% 显著水

平;在20~30 cm和30~40 cm土层滴灌处理土壤速效磷含量高于沟灌,且差异达到1%显著水平。

对同一灌溉处理不同土层间速效磷含量做方差分析,结果表明在同一灌水处理0~40 cm土层至少有两层其速效磷含量差异达到1%显著水平,而在40~100 cm各层差异均未达1%显著水平。这一结果与全磷含量的分布基本一致。

2.3 速效磷占全磷比例的剖面分布

图1是3种灌溉方法土壤中速效磷占全磷比例的剖面分布。从图1可以看出,滴灌表层速效磷占全磷的比例明显高于沟灌和渗灌,但随着土层深度的增加,该比例迅速下降;而沟灌表层速效磷占全磷比例与渗灌接近,但随着土层深度增加变化很小。渗灌土壤速效磷占全磷比例的剖面变化与滴灌相似,即随土层深度增加而快速下降。这也说明不同灌水方法可能明显地影响到磷素在土壤中的存在状态,即影响到土壤磷素的有效性。

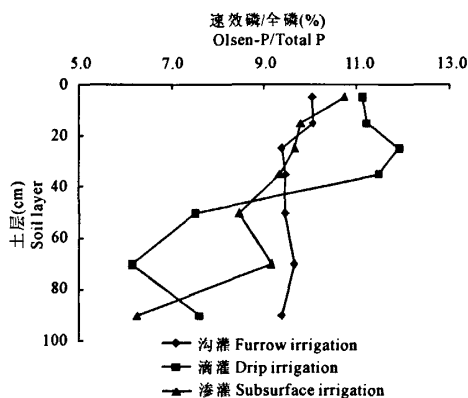


图1 速效磷占全磷比例剖面分布

Fig.1 The profile distribution of the percent of Olsen-P fractions to Total-P

2.4 土壤全磷与速效磷含量的关系

相关分析结果表明(图2),在各灌水处理中,土壤全磷与速效磷含量间均呈显著的直线正相关关系($P < 0.01$),即土壤全磷含量越高速效磷含量也越高。但比较土壤全磷与速效磷含量相关方程,可以看出它们的斜率存在着显著差异,即全磷含量每增加一个单位与其相对应速效磷增加量却因灌溉方式不同而不同,其大小依次为滴灌(143.24 mg/g) > 渗灌(116.21 mg/g) > 沟灌(101.81 mg/g),这说明灌溉方式不仅影响土壤中磷素的含量,还会影响到磷素的形态及磷素的有效性。不同灌溉方法对土壤中磷素形态的影响,有待今后深入研究。

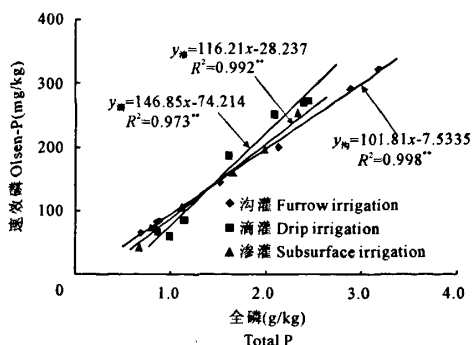


图2 土壤全磷和速效磷的相关性

Fig.2 The relationship between soil Total-P and Olsen-P

3 讨论

3.1 灌溉方式对土壤全磷与速效磷含量的影响

目前,生产上磷肥施入土壤后一般仅有10%~25%被当季作物利用^[4,5],长期施用磷肥,磷素在土壤中累积明显,且在耕层以下显著增加^[6,7]。有人对建在褐土上的棚龄为10 a左右的保护地0~100 cm土层土壤磷素含量分布情况进行了研究,结果表明土壤全磷和速效磷主要累积在0~20 cm土层,其含量随着深度的增加而减少^[8];另外,已有的长期施肥垆土剖面磷素分布研究表明,灌溉对土壤磷素分布的影响深度可达300 cm,而施肥对磷的剖面分布的影响亦可达180 cm^[9]。本文各灌溉处理0~20 cm和20~40 cm土层全磷含量为1.121~3.180 g/kg,速效磷的含量在104.8~319.3 mg/kg之间,显著高于其下层全磷和速效磷含量;3种灌溉处理0~100 cm各土层全磷及速效磷含量均表现出差异,但以0~40 cm土层差异最为显著。

3种灌溉处理对耕层磷素累积的影响具有明显差异。耕层(0~20 cm)土壤全磷和速效磷含量以沟灌处理最高,这可能是由于沟灌一次灌水量大,使表层土壤板结,不利于磷素的向下迁移,进而造成土壤表层磷素大量累积而下层土壤磷素含量急剧减少。滴灌灌水量少、灌溉水自地表进入土壤,而且是局部湿润,土壤水分下渗、蒸发往复,使得全磷和速效磷含量在0~30 cm土层内随深度变化不明显。渗灌灌水点在地下30 cm深处,由于是地下灌水,水分长年以向上运动为主,致使磷素向下移动量较小,主要累积于表层。3种灌水处理全磷含量在0~100 cm剖面上均随土层的下降而减少,但整个剖面上全磷总量不相同,其中沟灌最大,为14.566 g/kg,滴灌次之,为14.522 g/kg,渗灌最小,为11.744 g/kg。3种

灌水处理每年施入土壤磷素的量相同,从施入土壤中磷素的转化途径来看,大部分磷素在土壤中易被固定形成各种难溶形态的磷,其移动性较小,少部分磷素被作物吸收利用,由于土壤中磷素在转化过程中几乎无磷素损失或损失甚少,因此,从全磷的结果来看,渗灌处理土壤中全磷量较沟灌和滴灌处理少,这可能是渗灌条件下土壤磷素易被作物(番茄)吸收利用致使土壤全磷量减少之故。由此从土壤磷素养分平衡角度可进一步说明,3种灌溉处理番茄吸收利用的磷素可能存在着明显差异,由于本试验并未测定各处理番茄植株内磷素的含量,这一结论还有待于进一步进行验证。

3.2 土壤有机质对全磷与速效磷含量的影响

3种灌溉处理土壤全磷和速效磷含量与有机质含量之间的关系如图3所示。

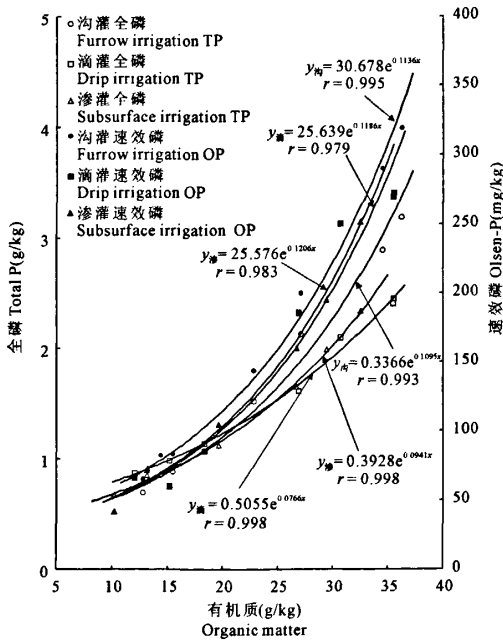


图3 土壤全磷、速效磷和有机质的相关性

Fig.3 The relationship between soil Total-P, Olsen-P and organic matter

从图3可以看出无论是全磷、还是速效磷,它们与有机质间的数量关系可以用指数函数表达,且达到了1%显著相关水平($r_{0.01} = 0.874, n = 7$)。但在不同灌溉方式间,这种数量关系又表现出差异。这是由于以不同灌溉方法灌水后土壤物理化学性质有异,影响了磷素在土壤中的存在状态,导致作物吸收和带走的磷素不同所致,也有可能与土壤中水分运

移方向、数量不同引起的物质移动各异有关。速效磷与全磷表现出了相同的规律。事实上,影响土壤全磷以及速效磷含量的因素有很多,磷进入土壤的主要途径是施肥,那么磷素含量与土层深度间必然表现出比较密切关系,但有机质作为最为基本的土壤性状之一,对土壤磷素含量、形态的影响是十分值得重视的。

4 结 论

连续12a以相同方案进行定位小区保护地番茄栽培灌溉试验,其主要灌水技术参数为计划湿润层厚度取30cm,渗灌管理深为30cm,灌水控制上限和下限分别为土壤水吸力6kPa和40kPa,计划湿润层湿润比沟灌为1.0、滴灌和渗灌取值0.5;自该试验地分层采集土壤样品,测定土壤全磷和速效磷含量,研究保护地蔬菜栽培和灌水方法对土壤磷素剖面分布的影响,所得结论如下:

1) 12a用于栽培蔬菜的保护地,其上层土壤全磷和速效磷含量积累明显;随土层深度增加磷素含量下降,至60cm以下全磷和速效磷含量均下降至相对较低水平且土层间变化较小。

2) 土壤全磷和速效磷含量土壤剖面分布因灌溉方法不同而差异明显。总体上沟灌和滴灌处理的土壤全磷、速效磷含量高于相应的渗灌处理土壤层次,而沟灌与滴灌之间差异较小。0~40cm土层速效磷占全磷比例以滴灌处理最高。

3) 土壤全磷、速效磷和有机质含量之间关系密切。沟灌、滴灌和渗灌处理土壤全磷、速效磷含量间呈极显著直线正相关关系,而它们又与有机质含量之间呈极显著指数正相关关系;全磷、速效磷与有机质含量间数量关系因灌溉方法而不同,与同一有机质含量相对应的全磷、速效磷含量以及全磷、速效磷含量随有机质含量变化的速率的大小顺序是沟灌>渗灌>滴灌。

参 考 文 献:

- [1] 陆景陵.植物营养学(上册)[M].北京:中国农业大学出版社,1994:26—28.
- [2] 刘建玲,张福锁,杨奇勋.北方耕地和蔬菜保护地土壤磷素状况研究[J].植物营养与肥料学报,2000,6(2):179—186.
- [3] 张光星,王靖华,薛亚明,等.浅析我国设施蔬菜生产中存在的问题与对策[J].沈阳农业大学学报,2000,31(1):140—143.
- [4] 沈善敏.中国土壤肥力[M].北京:中国农业出版社,1997:247—249.

(下转第222页)

Effect of different kinds of intercropping with fruit/grass (crop) on soil microorganisms and enzymes in the south Horqin sandy land

CAI Qian^{1,2}, DU Guo-dong^{1,3}, LU De-guo^{1,3}, HE Yue², JIANG Tao², SUN Ji-jun², YU Tao²

(1. College of Horticulture, Shenyang, Liaoning 110161, China; 2. Liaoning Provincial Institute of Sandy Land Amelioration and Utilization, Fuxin, Liaoning 123000, China; 3. Research Laboratory for Breeding and Physiology Ecology of Northern Fruits, Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110161, China)

Abstract: The effect of different kinds of intercropping with fruit and grass (crop) on soil microorganisms and enzyme activities were studied in Zhanggutai Town, Zhangwu County of Liaoning Province from 2007 to 2008. The results showed that the soil microbe numbers and enzyme activities of three kinds of intercropping followed peanut > millet > ephedra in the whole growth stages, all higher than monoculture. Furthermore, differences between the three treatments and the monoculture were greatly significant. Correlations between microorganisms and enzyme activities in most treatments were significant or greatly significant. The numbers of bacteria, fungi and actinomycete were increased and the activities of urease, phosphatase and catalase were all enhanced significantly after intercropping. Consequently, intercropping could improve soil micro-environment and soil quality.

Keywords: intercropping; soil microorganism; soil enzyme activity

(上接第 216 页)

- [5] 林继熊. 磷肥后效与利用率的定位试验[J]. 土壤肥料, 1995, (6): 1—5.
- [6] Schwab A P, Kulyingong S. Change in phosphate activities and availability indexes with depth after 40 years of fertilization[J]. Soil Science, 1989, 147(3): 179—186.
- [7] Strauss G W. Effects of crystallinity of goethite: II. Rates of sorption and desorption of phosphate[J]. European Journal of Soil Science, 1997, 48: 101—114.
- [8] 王新民, 王卫华, 侯彦林. 豫北蔬菜保护地土壤磷素形态及空间分布特征性研究[J]. 土壤, 2004, 3(6): 173—176.
- [9] 杨学云, 李生秀, Brookes P C. 灌溉与旱作条件下长期施肥瘠土剖面磷的分布和移动[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(3): 250—254.

Effect of different irrigation on phosphorus distribution in soil profiles of protected land

JIN Shuo, ZHANG Yu-long, HAN Lin, WANG Jiao, LIU Yang, WEI Yan-yan

(College of Land and Environment, Key Laboratory of Northeastern Soil and Environment of Ministry of Agriculture, Shenyang, Liaoning 110161, China)

Abstract: Different irrigation treatments were conducted to study the effects of the profile distribution (0 ~ 100 cm) and contents of total-P and Olsen-P in a 12-year tomato - grown protected land in the bases for scientific research of shenyang agricultural university. Results showed that at the depth of 0 ~ 60 cm the contents of total-P and Olsen-P were significantly higher than the depth of 60 ~ 100 cm. Among these irrigation treatments the profile distribution and contents of total P and Olsen-P displayed significant difference at the depth of 0 ~ 60 cm. Generally the contents of furrow irrigation and drip irrigation were both higher than infiltration irrigation but there were no differences between furrow irrigation and drip irrigation. At the depth of 0 ~ 40 cm the highest percent of Olsen-P fractions to total-P was drip irrigation treatment. Compared with drip irrigation and infiltration irrigation treatment, the ratio of Olsen-P to total-P showed un conspicuous change along with the depth of soil profile in the furrow irrigation treatment. The result of correlation analysis showed very significant positive correlation in the different irrigation treatment between total-P and Olsen-P and there were significant positive exponent correlation between Olsen-P and total-P with organic matter.

Keywords: protected land; water-saving irrigation; soil phosphorus distribution