

设施农业土壤磷素富集的动态变化

魏玉奎¹, 李新平², 刘瑞丰², 张亚林², 黄玉霞², 毛文娟²

(西北农林科技大学林学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 为了找出设施农业土壤磷素富集的动态变化规律, 对陕北地区不同种植年限的设施农业土壤 0~40 cm 土层及剖面磷素含量的动态变化进行了研究。结果表明: 土壤全磷、有效磷、无机磷、有机磷含量在不同的种植年限及土层上形成了显著差异, 在设施农业环境条件下, 长期大量施用磷肥不仅使 0~20 cm 耕层土壤磷素大量富集, 20~40 cm 土层磷素也均有不同幅度增加; 随着设施农业种植年限的延长, 全磷、有效磷和有机磷都以不同的增加幅度和增加量逐年增加, 随土层的加深逐渐递减; 在各形态无机磷中, $\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 AL-P 、 Fe-P 、 O-P 、 $\text{Ca}_{10}\text{-P}$ 分别占无机磷总量 9.74%、22.18%、6.54%、5.86%、18.02%、37.66%; 随着种植年限的延长, $\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 AL-P 、 Fe-P 、 O-P 、 $\text{Ca}_{10}\text{-P}$ 含量都有不同程度的富集, 主要以磷酸钙盐(包括 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_{10}\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 型)的形态积累在不同土层中。

关键词: 设施农业土壤; 磷素富集; 动态变化

中图分类号: S153.6+1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)01-0126-07

磷是植物生长发育所必需的大量营养元素之一。它既是植物体内许多重要有机化合物的组分, 同时又以多种方式参与植物体内各种代谢过程。而植物所利用的磷素, 主要来源于土壤。据全国土壤普查资料估算, 我国有 2/3 的土壤缺磷^[1]。缺磷的主要原因是由于土壤有效磷含量不足, 施入土壤的大量磷素在土壤中以无效态储存起来。而磷肥的当季利用率一般只有 10%~25%^[2], 不能满足一般作物的生理需求。因此, 严重影响了作物的产量、品质和效益。

近年来, 随着城镇化水平的提高及农业产业结构的调整, 设施农业迅猛发展, 目前我国设施农业蔬菜的种植面积占到菜地面积的 10%~30%, 这对促进农业增效, 农民增收, 繁荣农村经济发挥了重要作用。而设施农业土壤是蔬菜生产的基础, 设施农业土壤肥力水平的高低, 与蔬菜的产量、品质和经济效益密切相关。然而, 在蔬菜生产中, 由于菜农对设施环境特性缺乏系统了解, 盲目大量施用磷肥的现象十分严重, 造成了磷肥施用量远远高于需求量。据统计, 磷肥的施用量是蔬菜需肥量的 5~20 倍, 导致菜地土壤磷素大量积累^[3], 出现了养分比例失调, 肥效不高, 资源浪费严重等问题, 致使蔬菜品质下降, 大棚温室土壤养分富集, 盐分累积现象日趋严重, 部分种植年限较长的温室已不能进行蔬菜生产。因

此, 本试验通过对陕北地区不同种植年限及不同土层设施农业土壤磷素含量的动态变化进行研究, 从可持续、生态的角度探讨设施农业土壤磷素的演变规律, 为设施农业土壤积累态磷素的有效利用及合理施用磷肥提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试土壤采自延安子长县, 子长县位于陕北黄土高原中部, 延安市北部。地势由西向东南倾斜, 海拔 930~1 562 m。土壤类型为黄绵土, 属典型的黄土高原丘陵沟壑区, 暖温带半干旱大陆性季风气候。年平均气温 9.1℃, 平均降水量 514.7 mm, 无霜期 175 d。郭家坪村位于城西子靖公路 7 km 处, 该村自 1992 年开始发展大棚蔬菜种植产业, 棚体结构由最早的琴弦式逐步发展为有立柱钢架结构式大棚, 全村现有大棚 145 座, 其中有 14 座花卉大棚, 10 年以上的大棚有近 50 座。

本试验研究对象主要是大棚温室, 浇灌方式多为滴灌, 每个大棚的面积为 450 m², 栽培蔬菜为地膜番茄、黄瓜等, 主要施用的肥料有: 有机肥、蔬菜专用肥、复合肥、尿素、过磷酸钙、硫酸钾等。施用农家肥 70~160 t/hm², 化肥 1.2~1.9 t/hm²。采样大棚棚龄分别为: 1、3、6、8、11、13 a。在充分调查的基础上, 在

收稿日期: 2010-02-25

基金项目: 日本 Cosmo 石油株式会社资助

作者简介: 魏玉奎(1983—), 男, 陕西安康人, 硕士研究生, 主要从事农业生态研究。E-mail: wykak@163.com。

通讯作者: 李新平(1961—), 男, 陕西武功人, 副教授, 硕士生导师, 主要从事土壤系统分类与生态教学与研究。E-mail: kzxpli@yahoo.com.cn。

同一区域内,每一年限的土样都依据肥力条件、施肥种类、施肥时间、施用量以及栽培作物都基本一致的两个大棚分别采样,每个大棚均以“S”形布点,采用随机多点的(8~12个)取样方法,按(0~10 cm,10~20 cm,20~40 cm)3个层次采集,再将每一种植年限相同的两个大棚土样,按同一层次混合,每层次取3份混合土样,即土样重复3次。以露地蔬菜土壤为对照。供试土壤的基本性质见表1。

表 1 供试土壤的基本性质
Table 1 Basic properties of the tested soil samples

土样 Soil sample	pH	有机质 Organic matter (g/kg)	全氮 Total N (g/kg)	碱解氮 Available N (mg/kg)	全磷 Total P				速效磷 Available P (mg/kg)
					无机磷 Inorganic P (mg/kg)	%	有机磷 Organic P (mg/kg)	%	
露天土壤 Field soil	7.89	11.69	0.289	49.962	389.327	74.73	131.673	25.27	206.596
大棚土壤 Greenhouse soil	7.76	13.14	0.316	59.724	1030.638	75.39	336.362	24.61	347.371

1.2 测定方法

土壤全磷测定采用 HClO₄ - H₂SO₄ 法;土壤有效磷采用 Olsen 法进行测定;土壤磷的分级采用石灰性土壤无机磷的分级测定方法;土壤有机磷测定采用灼烧后用酸浸提法。

1.3 数据统计分析

数据采用 Excel 和 SPSS(13.0)程序软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 设施农业土壤全磷动态含量的演变规律

随着设施农业需求量的提高,设施农业土壤由于长期连作、施肥和灌溉等田间管理,使设施农业土壤的全磷含量状况发生了极大变化。从设施农业土壤全磷含量情况看出(图1),设施农业土壤全磷含量为0.48~1.53 g/kg,平均含量为0.85 g/kg,对照露天土壤全磷含量为0.43~0.53 g/kg,平均为0.49 g/kg,设施农业土壤全磷比对照露天土壤增加了236.11%。其中,对照露天土壤无机磷含量占全磷的74.73%,有机磷占25.27%,大棚土壤无机磷占全磷75.39%,有机磷占24.61%。这说明,设施农业土壤无论种植年限的长短,设施0~40 cm土壤全磷含量都处于一个动态增加的趋势,明显高于对照露天土壤。从设施种植年限看,设施农业土壤全磷含量随种植年限的延长逐渐增加,但每年间增加幅度不同,这可能与管理水平、施肥量和客土改良有关,由于设施栽培每年均大量施用磷肥,除了作物的吸收利用,土壤磷素在土壤中大量积累,但总体表现出设施农业土壤全磷含量随着种植年限的延长全磷含量都呈增加趋势,并保持较高的含量水平。

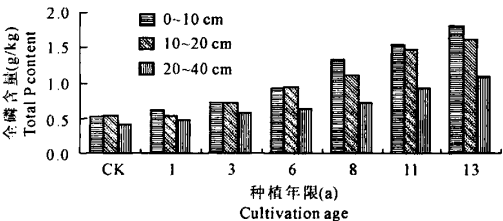


图 1 设施农业土壤全磷的动态变化
Fig.1 The dynamics variation of soil's total phosphorus in agricultural greenhouse

从土壤层次分布特征来看,0~20 cm 土层全磷含量高于 20~40 cm 土层全磷含量,设施农业土壤全磷含量显著高于对照露天土壤。设施农业土壤0~20 cm 土层全磷含量平均为0.94g/kg,20~40 cm 土层全磷含量仅为0.66 g/kg,对照露天土壤0~20 cm 土层全磷含量平均为0.52 g/kg,20~40 cm 土层全磷含量仅为0.43 g/kg。这表明在设施栽培条件下,由于大量施用磷肥,特别是根茬中磷素归还量的增加,尽管磷素在土壤中的移动性很小,但土壤磷素还是会不同程度地向下运移,从而丰富了下层土壤中的磷素^[13]。从0~20 cm和20~40 cm设施土壤看,0~20 cm设施土壤全磷含量和增加量均明显高于20~40 cm,表明设施土壤磷素主要在0~20 cm土层中积累。并随着种植年限延长,耕层的增加幅度要大于20~40 cm土层的增加幅度。从0~40 cm土壤剖面中全磷的累积量来看,设施农业土壤的全磷累积量明显高于对照露天土壤,随着种植年限的延长,耕层的富集幅度要大于20~40 cm土层的富集幅度。从整个土壤深度的累积量来看,设施农业土壤的全磷随深度的加深全磷含量逐渐降低。

2.2 设施农业土壤有效磷动态含量的演变规律

了解设施农业土壤中有效磷供应变化状况,对

于施肥有着直接的指导意义。从设施农业土壤有效磷含量情况(图 2)看出,设施农业土壤有效磷的含量为 102.59 ~ 515.36 mg/kg, 平均含量为 255.09 mg/kg, 对照露天土壤有效磷的含量为 27.95 ~ 88.06 mg/kg, 平均为 63.78 mg/kg, 设施农业土壤有效磷含量比对照露天土壤显著增加了 299.95%。设施农业土壤有效磷含量较高, 这是由于在种植黄瓜、番茄时大量施用磷肥的缘故, 而对照露天土壤磷肥施用量较小。

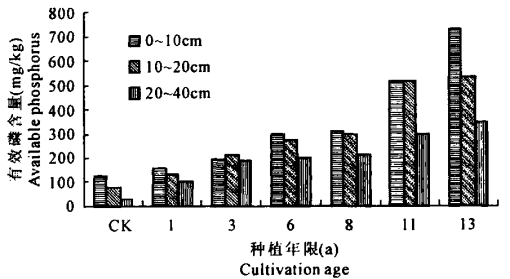


图 2 设施农业土壤有效磷含量动态变化

Fig.2 The dynamics variation of soil's available phosphorus in agricultural greenhouse

从种植年限看出,设施土壤有效磷含量表现出随种植年限的延长逐年增加的趋势,在 1 ~ 13 a 大棚土壤中有有效磷含量几乎呈直线上升的趋势,虽然第 8 年有效磷含量有下降趋势,但土壤中有有效磷含量仍较高。这可能与设施农业的管理水平、土壤类型和客土改良有关^[14]。

从土壤不同层次分布特征来看,0 ~ 20 cm 土层有效磷含量高于 20 ~ 40 cm 土层有效磷含量,设施农业土壤有效磷含量显著高于对照露天土壤。设施农业土壤 0 ~ 20 cm 土层有效磷含量平均为 285.04 mg/kg, 20 ~ 40 cm 土层有效磷含量仅为 195.21 mg/kg, 对照露天土壤 0 ~ 20 cm 土层有效磷含量平均为 81.69 mg/kg, 20 ~ 40 cm 土层有效磷含量仅为 27.95 mg/kg; 随着种植年限的延长,0 ~ 20 cm 土壤有效磷的增加幅度远高于 20 ~ 40 cm, 这说明设施土壤大量施用磷肥和有机肥丰富了土壤有效磷库, 随着作物的不同, 根茬量的归还导致了磷素的向下移动趋势。不同地点的土壤类型、质地、种植作物、施肥种类与施肥量都会导致有效磷含量及向下移动量的变化, 但大量的有效磷主要集中在 0 ~ 20 cm 表土

层中。设施农业土壤有效磷含量均比对照露天土壤高, 且随着剖面深度的增加而逐渐降低。

鲁如坤研究表明^[5], 蔬菜的需磷量一般在 60 ~ 90 mg/kg, 而本试验 0 ~ 20 cm 设施土壤有效磷的平均含量高达 236.6 mg/kg, 甚至 20 ~ 40 cm 设施土壤有效磷平均含量还高达 121.8 mg/kg, 远远超出蔬菜的需求量。设施土壤如此高的有效磷含量, 一方面是对磷资源的浪费, 另一方面对环境也造成巨大的潜在危害。有关资料表明, 当淋洗液中磷浓度大于 0.3 mg/kg 时, 就足以使水体发生富营养化^[6]。Heckrath 等研究表明^[15], 当表层土壤有效磷含量超过 60 mg/kg 时, 磷的淋失量会急剧增加, 从而污染地下水。本试验已经表明, 20 ~ 40 cm 设施土壤有效磷和全磷的含量增加幅度较高, 磷素下移明显。可见, 设施农业土壤存在磷素淋失和污染地下水的潜在可能性。因此, 在设施农业生产中, 应考虑施用磷肥的经济效益及其对生态环境造成的潜在危害, 根据实际情况, 科学、合理、适量地使用磷肥。

2.3 设施农业土壤各形态无机磷含量的演变规律

设施农业土壤无机磷各形态组分的变化如表 2 所示。分析表明, 各种形态的无机磷含量在不同的种植年限及土层形成了显著差异, 与露天菜地土壤不同土层中各形态无机磷的积累有显著差异。 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 Al-P 、 Fe-P 、 O-P 、 $\text{Ca}_{10}\text{-P}$ 分别占无机磷总量 9.74%、22.18%、6.54%、5.86%、18.02%、37.66%。随着种植年限的延长, $\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 Al-P 、 Fe-P 、 O-P 、 $\text{Ca}_{10}\text{-P}$ 含量逐渐增加。沈仁芳、蒋柏藩研究表明^[11], $\text{Ca}_2\text{-P}$ 型的磷酸盐是最有效的, 也是作物磷素营养的主要来源, $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 Al-P 和 Fe-P 可以作为缓效磷源, $\text{Ca}_{10}\text{-P}$ 和 O-P 只是一种潜在磷源。设施农业土壤由于大量施入磷肥使 0 ~ 10 cm 和 10 ~ 20 cm 的土层出现了 $\text{Ca}_{10}\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 O-P 等形态无机磷的相对积累, 以 $\text{Ca}_{10}\text{-P}$ 积累为主。而郭智芬采用同位素标记法研究了石灰性土壤不同形态无机磷对作物磷营养的贡献, 发现不同形态无机磷有效性顺序为 Al-P 、 Fe-P 、 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$, 对植物磷营养贡献的顺序为 Al-P 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_2\text{-P}$ ^[4]。而磷肥的当季利用率很低, 其原因是施入土壤的磷肥很快转化为 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 Al-P 、 Fe-P 等形态无机磷^[7]。

表 2 大棚土壤无机磷组分的动态变化

Table 2 The dynamics variation of the inorganic phosphorus component in agricultural greenhouse

种植年限(a) Cultivation age	土壤层次 Soil layer (cm)	土壤无机磷组分(mg/kg) Soil inorganic phosphorus component					
		Ca ₂ - P	Ca ₈ - P	Al - P	Fe - P	O - P	Ca ₁₀ - P
CK	0 ~ 10	47.27 ± 0.66de	89.62 ± 1.86f	42.73 ± 3.60d	56.59 ± 4.26b	69.83 ± 0.68d	395.29 ± 2.48b
	10 ~ 20	34.69 ± 2.84e	125.76 ± 1.17ef	40.00 ± 3.59d	55.58 ± 1.30b	97.99 ± 6.08cd	402.81 ± 2.83ab
	20 ~ 40	24.20 ± 0.92e	102.62 ± 2.57ef	31.78 ± 1.11d	24.02 ± 0.89c	92.94 ± 6.51cd	379.16 ± 3.72bc
1	0 ~ 10	79.44 ± 1.70d	98.59 ± 16.05ef	45.09 ± 3.13d	46.60 ± 3.95b	145.10 ± 28.11c	392.95 ± 8.66bc
	10 ~ 20	62.08 ± 3.51de	116.35 ± 11.66ef	38.59 ± 3.53d	72.55 ± 11.36ab	193.95 ± 39.79bc	366.79 ± 16.04bc
	20 ~ 40	52.81 ± 5.10de	98.12 ± 4.33f	30.05 ± 0.76d	43.42 ± 1.07bc	138.96 ± 12.98c	401.79 ± 24.68ab
3	0 ~ 10	75.91 ± 2.34de	167.43 ± 13.36e	54.97 ± 3.98cd	66.39 ± 10.55ab	158.50 ± 14.60c	371.23 ± 9.24bc
	10 ~ 20	71.93 ± 6.05de	166.58 ± 30.93ef	58.23 ± 6.79cd	69.99 ± 1.91ab	144.32 ± 14.70c	386.36 ± 12.30bc
	20 ~ 40	44.44 ± 4.05e	131.29 ± 5.74ef	33.82 ± 6.09d	59.98 ± 3.79b	128.20 ± 4.68cd	368.03 ± 17.26bc
6	0 ~ 10	106.48 ± 16.20cd	322.77 ± 13.98c	96.96 ± 32.41bc	73.67 ± 7.60ab	213.74 ± 14.27bc	368.27 ± 1.95bc
	10 ~ 20	87.45 ± 7.40cd	310.86 ± 13.14cd	77.52 ± 1.94c	84.85 ± 3.08a	259.50 ± 18.73ab	373.95 ± 9.07bc
	20 ~ 40	73.58 ± 8.52de	154.73 ± 5.64ef	47.78 ± 2.28d	69.23 ± 2.30ab	200.44 ± 12.77bc	384.37 ± 13.99bc
8	0 ~ 10	65.81 ± 8.59de	189.21 ± 32.24de	55.66 ± 2.29cd	49.84 ± 13.72b	201.00 ± 18.85bc	373.13 ± 17.98bc
	10 ~ 20	74.38 ± 6.31de	246.68 ± 14.20d	63.75 ± 4.84cd	66.65 ± 5.53ab	275.97 ± 38.45ab	411.40 ± 10.52ab
	20 ~ 40	71.92 ± 3.38de	200.87 ± 32.85de	69.55 ± 6.34cd	54.65 ± 3.93b	239.36 ± 20.09ab	398.40 ± 15.05b
11	0 ~ 10	190.82 ± 14.26ab	412.44 ± 33.34b	103.41 ± 6.40bc	58.30 ± 8.29b	248.39 ± 21.31ab	442.01 ± 16.68a
	10 ~ 20	182.67 ± 17.29b	469.92 ± 54.63a	123.53 ± 11.98ab	54.08 ± 7.90b	302.59 ± 40.35a	394.16 ± 18.07bc
	20 ~ 40	113.90 ± 3.23c	226.20 ± 29.64de	73.02 ± 8.15cd	46.02 ± 8.63b	229.44 ± 41.39b	411.28 ± 19.73ab
13	0 ~ 10	216.95 ± 32.05a	495.82 ± 54.35a	110.15 ± 10.24b	73.80 ± 6.84ab	264.72 ± 16.08ab	352.93 ± 33.26c
	10 ~ 20	167.85 ± 21.69b	474.61 ± 18.21a	138.51 ± 12.51a	58.45 ± 6.33b	289.32 ± 11.93ab	387.68 ± 7.89bc
	20 ~ 40	88.70 ± 9.82cd	227.58 ± 6.20de	66.01 ± 3.81cd	47.78 ± 13.39b	200.91 ± 45.29bc	391.34 ± 4.44bc

注:表中数据为平均值 ± 标准误,同列不同字母表示不同种植年限及土层间差异显著(P < 0.05)

Note: Each datum on the table is the average value ± standard error, and different letters in the same line indicate significance level of different cultivation age and soil layer(P < 0.05).

从不同的土壤层次来看,设施农业土壤各形态的无机磷含量都要高于露天土壤,并且 0 ~ 20 cm 的含量均高于 20 ~ 40 cm 土层的含量。随着土层的加深其含量逐渐减少。这与设施农业长期大量施用磷肥,使土壤耕层及以下各形态磷素显著增加,施用有机肥增加了土壤磷素的向下渗漏^[8-10],造成土壤磷素的下移,使各形态无机磷呈现在表层强烈富集,向下剧减的垂直分布特征。设施农业土壤和露天土壤都主要以磷酸钙盐(包括 Ca₈ - P、Ca₁₀ - P、Ca₂ - P 型)的形态积累在不同土层中,其中设施农业土壤 Ca - P 含量占无机磷含量的 69.92% ~ 73.90%,平均 71.91%。其中 Ca₁₀ - P > Ca₈ - P > Ca₂ - P, Ca₈ - P、Ca₁₀ - P、Ca₂ - P 含量分别占 Ca - P 含量的 32.37%、54.67%、12.96%。Al - P 和 Fe - P 含量相对较少,分别占无机磷含量的 6.47% 和 5.69%。这可能与设施农业中主要采用过磷酸钙有关。研究结果表明设施农业土壤在 0 ~ 40 cm 土层中各形态无

机磷含量大致顺序为:Ca₁₀ - P > Ca₈ - P > O - P > Ca₂ - P > Al - P > Fe - P。而 Fe - P、O - P、Ca₁₀ - P 在 0 ~ 20 cm 土层含量较高。20 cm 以下土层,其含量变化较小。这是由于施入土壤的磷肥很快转化为土壤 Ca₂ - P、Ca₈ - P、Al - P 等形态的无机磷^[11],土壤中磷素的移动性小,因此 0 ~ 20 cm 土层出现了 Ca₂ - P、Ca₈ - P、Al - P 的大量积累。随着种植年限的延长,各形态无机磷均有增加的趋势,其中 Ca₈ - P、Ca₁₀ - P、Ca₂ - P、O - P 的增加量较大,Al - P 增加量相对较小,Fe - P 在 6 a 前表现增加的趋势,8 ~ 13 a 略有下降。与露天土壤相比较,设施农业土壤各形态无机磷均高于露天土壤。

从在土壤剖面中的分布特征来看,设施农业土壤各形态无机磷含量显著高于对照土壤,露天对照土壤 Ca₁₀ - P、Ca₈ - P、O - P、Ca₂ - P、Al - P、Fe - P 平均含量分别为:35.39、103.25、38.17、45.40、80.17、289.09 mg/kg,而设施农业土壤 Ca₁₀ - P、Ca₈ - P、O -

P、Ca₂-P、Al-P、Fe-P 平均含量分别为:102.28、270.43、70.64、60.35、212.75、386.73 mg/kg,其增加幅度分别为 34.60%、38.18%、54.03%、75.23%、37.68%、74.75%。总体上看,在 0~40 cm 剖面中,设施农业土壤各形态无机磷含量与露天对照土壤基本是随着土层的加深呈逐渐减少的趋势。并随着种植年限延长,耕层的增加幅度要大于 20~40 cm 土层的增加幅度。其中 Ca₈-P、Ca₂-P、Al-P 随着种植年限的延长增加幅度较大,Ca₁₀-P、O-P、Fe-P 增加幅度相对较小。

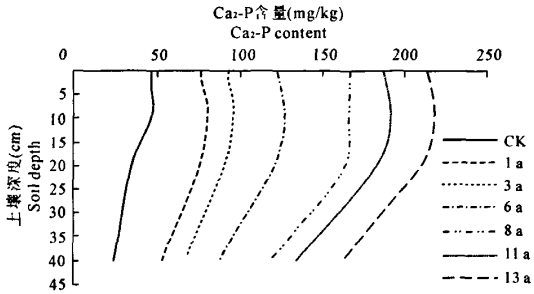


图 3 设施农业土壤剖面中 Ca₂-P 富集变化

Fig.3 The variation of soil's Ca₂-P enrichment on section plane in agricultural greenhouse

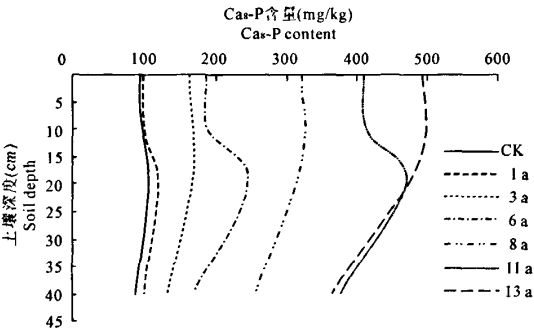


图 4 设施农业土壤剖面中 Ca₈-P 富集变化

Fig.4 The variation of soil's Ca₈-P enrichment on section plane in agricultural greenhouse

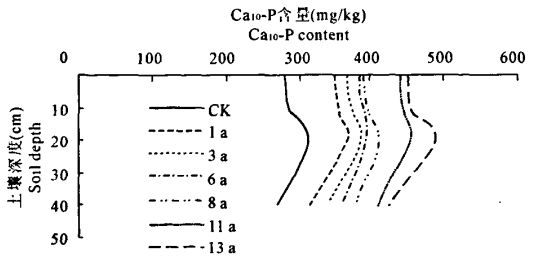


图 5 设施农业土壤剖面中 Ca₁₀-P 富集变化

Fig.5 The variation of soil's Ca₁₀-P enrichment on section plane in agricultural greenhouse

2.4 设施农业土壤有机磷含量的演变规律

土壤有机磷经过矿化分解而转化为有效态磷,然后供给植物吸收利用。在无机磷含量较低的土壤上,有机磷的矿化便成为植物吸收磷素的重要来源^[12]。从设施农业土壤有机磷含量情况(图 6)看出,设施农业土壤有机磷含量为 42.56~106.12 mg/kg,平均含量为 69.33 mg/kg,对照土壤有机磷含量为 38.98~44.85 mg/kg,平均为 39.63 mg/kg,设施农业土壤有机磷含量比对照土壤增加了 174.94%。0~10、10~20 cm 和 20~40 cm 有机磷含量平均分别为:83.06、88.16 mg/kg 和 58.76 mg/kg,比露天作物土壤分别增加了 48.00、43.31mg/kg 和 17.77 mg/kg,平均增幅分别为 144%、139.71% 和 116.29%。从不同的种植年限看出,随着种植年限的延长,有机磷含量也在逐年增加,主要表现为“快-慢-快”的增加趋势。大部分的有机磷也主要集中在 0~20 cm 的土层中,随着种植年限的延长,增加幅度也较大;20~40 cm 的土层含量相对较低,逐年增加量也趋于平缓。

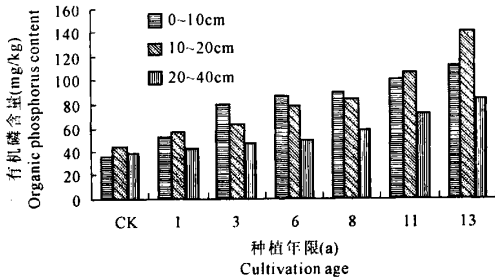


图 6 设施农业土壤有机磷含量动态变化

Fig.6 The dynamics variation of the organic phosphorus content in agricultural greenhouse

从在土壤剖面中的分布特征来看,0~20 cm 土层有机磷含量高于 20~40 cm 土层有机磷含量,设施农业土壤有机磷含量显著高于对照土壤。设施农业土壤 0~20 cm 土层有机磷含量平均为 77.71 mg/kg,20~40 cm 土层有机磷含量仅为 52.56 mg/kg,对照粮田土壤 0~20 cm 土层有机磷含量平均为 39.96 mg/kg,20~40 cm 土层有机磷含量仅为 35.06 mg/kg;耕层以下层次设施农业土壤有机磷含量与对照土壤基本是随着土层的加深呈逐渐减少的趋势。随着种植年限延长,耕层的增加幅度要大于 20~40 cm 土层的增加幅度。其中,设施农业土壤的有机磷累积量为 369.22 kg/hm²,比对照土壤高 0.8 倍。总体上看,在 0~40 cm 剖面中,随着剖面深度的增加而逐渐降低。

3 结论与讨论

由于设施农业土壤长期种植蔬菜,大量施用人畜粪尿、有机垃圾和土杂肥等,精耕细作,频繁灌溉而形成的高度熟化的人为表层以及受耕种影响而形成的一种淀积层。在设施农业特殊的环境条件下,磷素在富集量和空间分布上变化幅度较大。本研究通过对设施农业土壤全磷、有效磷、无机磷与有机磷含量的动态变化进行研究,并借鉴已有的变化规律得出以下结论:

1) 设施农业土壤耕层 0~20 cm 全磷、有效磷、无机磷与有机磷含量均显著高于露天作物土壤,都主要集中于 0~20 cm。通过本试验可以看出,在 0~13 a 内随着种植年限的延长磷素含量呈增加的趋势,这由于设施农业大多属于浅根性作物,逐年施肥也大多集中在 0~20 cm,为此,造成了耕层磷素大量的富集。随着种植年限的延长,全磷、有效磷、无机磷与有机磷含量逐渐升高,随土层的加深逐渐递减。

2) 设施土壤无机磷和有机磷的含量显著增加,但磷素组成没有发生明显的变化,与露天作物土壤比较,其有机磷和无机磷所占的比例没有显著差异,但以无机磷为主,有机磷含量仅占土壤全磷含量的 6.01%。

3) 无机磷组分中,以 Ca-P 为主,其次是 O-P 和 Al-P , Fe-P 较少, Ca-P 中以 $\text{Ca}_{10}-\text{P}$ 含量最高,高达 388.25 mg/kg,其次是 Ca_8-P , Ca_2-P 。与露天菜地土壤比较,设施土壤无机磷各组分含量明显提高,并且无机磷的组成也发生了明显变化, Ca_2-P 、 Ca_8-P 和 Al-P 所占无机磷的比例提高, Fe-P 和 $\text{Ca}_{10}-\text{P}$ 比例降低,并且随种植年限的延长,设施土壤无机磷各组分含量逐渐加强,各形态的无机磷主要富集于 0~20 cm 土层,并随着土层深度的加深各形态的无机磷逐渐降低。其中, Ca_8-P 、 Ca_2-P 、 Al-P 随着种植年限的延长增加幅度较大, $\text{Ca}_{10}-\text{P}$ 、 O-P 、 Fe-P 增加幅度相对较小。

4) 有机磷的含量变化基本和其他形态的磷素含量变化一致。在不同的土层深度含量中 0~20 cm 的含量要高于 20~40 cm 的含量,随着土层深度的加深含量逐渐减少,随着种植年限的延长,含量也逐渐增加。

由此可见,在设施农业生产中,应重视氮、磷、钾肥的配合施用,杜绝大量施用氮肥、磷肥的现象。同

时,注意微量元素肥料的施用,推广施用氮、磷、钾复合肥和有机、无机复合肥。设施农业土壤长期处在高温、高湿、高复种指数、高施肥量、无降水淋洗等特殊环境条件下,养分高度富集,它的结构和理化性质更易发生变化。为了提高设施农业的品质,增加产量,提高经济效益,保护农业生态环境,使农业生态土壤达到可持续生产,就应了解设施农业土壤的养分水平,找出真正制约设施农业生产的因素以及土壤磷素的演变规律,避免盲目大量施肥。从而有效合理利用设施农业土壤积累态养分(磷素),合理施用肥料(磷肥)。

参考文献:

- [1] 程宪国,王维敏.麦秸翻压对土壤磷组分的影响[J].土壤通报,1991,22(6):254—256.
- [2] 寇长林,王秋杰,任丽轩,等.小麦和花生利用磷形态差异的研究[J].土壤通报,1999,30(4):181—184.
- [3] 马茂桐,陈际型,谢建昌.我国菜园土壤的养分状况与施肥[C]//谢建昌,陈际型.菜园土壤肥力与蔬菜合理施肥论文集.南京:河海大学出版社,1997:25—31.
- [4] 郭知芬,涂书新,李晓华,等.石灰性土壤不同形态无机磷对作物磷营养的贡献[J].中国农业科学,1997,30(1):26—32.
- [5] 鲁如坤.土壤与植物营养[M].北京:化学工业出版社,1995.
- [6] Wong J W C, Chan C W Y, Cheung K C. Nitrogen and phosphorus leaching from fertilizer applied on golf course: Lysimeter study[J]. Water Air and Soil Pollution, 1998,107:335—345.
- [7] 刘建玲,李仁岗.栗钙土中磷肥转化及效应研究[J].植物营养与肥料学报,1996,2(3):206—211.
- [8] Schwab A P, Kul Yingon S. Change in phosphate activities and availability indexes with depth after 40 years of fertilization[J]. Soil Science, 1989,147(3):179—186.
- [9] Simsi T, Simard R, Joern B C. Phosphorus loss in agriculture drainage: historical perspective and current research[J]. J Environ Qual, 1998,27:277—293.
- [10] Eghball B, Binford G D, BAL Tensperger D D. Phosphorus movement and adsorption in a soil receiving long-term manure and fertilizer application[J]. J Environ Qual, 1996,25:1339—1343.
- [11] 蒋柏藩.石灰性土壤无机磷有效性的研究[J].土壤,1992,(2):61—64.
- [12] 赵少华,宇万太,张璐,等.土壤有机磷研究进展[J].应用生态学报,2004,15(11):2189—2194.
- [13] 刘建玲,张福锁,杨奋翻.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.
- [14] 张强,陈明昌,杨青玲,等.磷肥在石灰性土壤中的固定及其肥效演变[J].山西农业科学,1994,22(2):48—50.
- [15] Heckrath G, Bechmann M, Ekholm P, et al. Review of indexing tools for identifying high risk areas of phosphorus loss in Nordic catchments[J]. Journal of Hydrology, 2008,349:68—87.

Study on dynamics variation of phosphorus enrichment in greenhouse agricultural soil

WEI Yu-kui¹, LI Xin-ping², LIU Rui-feng², ZHANG Ya-lin², HUANG Yu-xia², MAO Wen-juan²

(1. College of Forestry, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In order to find out the dynamics law of agricultural greenhouse soil's phosphorus enrichment, study was made on dynamics variation of phosphorus content in agricultural greenhouse soil at different cultivation ages from 0 ~ 40 cm in Northern Shaanxi. The results showed that there was a significant difference in the content of total phosphorus, available phosphorus, inorganic phosphorus and organic phosphorus in agricultural greenhouse soil between different cultivation ages and different soil layers under the greenhouse agricultural circumstances. In greenhouse agriculture, a large amount of long-term application of phosphate fertilizer not only made the phosphorus in the topsoil from 0 ~ 20 cm enrich significantly, but also made the soil phosphorus increase at different degrees in the soil layer from 20 ~ 40 cm. With the prolongation of cultivation ages in greenhouse agriculture, total phosphorus, available phosphorus and organic phosphorus increased in different amount and extent year by year, but decreased with the increment of the soil depth. Among all types of phosphorus, $\text{Ca}_2\text{-P}$, $\text{Ca}_8\text{-P}$, AL-P , Fe-P , O-P and $\text{Ca}_{10}\text{-P}$ occupied 9.74%, 22.18%, 6.54%, 5.86%, 18.02% and 37.66% of the total amount of inorganic phosphorus, respectively. Moreover, with the prolongation of cultivation ages, the content of $\text{Ca}_2\text{-P}$, $\text{Ca}_8\text{-P}$, AL-P , Fe-P , O-P and $\text{Ca}_{10}\text{-P}$ enriched at different degrees, and accumulated in the form of calcium phosphate (including $\text{Ca}_8\text{-P}$, $\text{Ca}_{10}\text{-P}$ and $\text{Ca}_2\text{-P}$) at different layers of soil. In conclusion, we find the dynamics law of agricultural greenhouse soil's phosphorus enrichment and its relationship with the planting ages, which provides an important basis for the effective utilization of the accumulative phosphorus in agricultural greenhouse soil and reasonable application of phosphate fertilizer.

Keywords: greenhouse agricultural soil; phosphorus enrichment; dynamics variation

(上接第 125 页)

Analysis of different fertilizer modes on biological characters, yield and quality of soybean and their economic efficiency

SUN Zhuang, ZHANG Xing-mei, HE Shu-ping, ZHU Hong-de, JIAO Feng

(College of Agronomy, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China).

Abstract: Field experiment was conducted to analyze effects of eight fertilizer combinations on yield characters and quality, as well as yield of soybean. The results show that different fertilizer combinations had different effects on yield and quality. Compared with CK, treatment 4 (90% UF + L - BOM + 2 - SF) was the best in yield characters, and the highest yield came to 3 574.95 kg/hm². Analysis of comprehensive economic benefit showed that treatment 4 was the best which net profit was 1 578.15 yuan/hm². The protein content and the total content of oil and protein of soybean in this treatment were 40.20% and 62.43%, higher than in other treatments, while the oil content was at middle level among all the treatments, reaching significant difference compared with CK. The treatment 4 was a scientific fertilizing mode in the region, which might provide a basis for rational fertilization in the local soybean production.

Keywords: different fertilizer combinations; soybean; yield; quality