

# 豫北蔬菜保护地土壤磷素形态及其空间分布特性研究

王新民<sup>1</sup> 王卫华<sup>2</sup> 侯彦林<sup>1</sup>

(1 中国科学院生态环境研究中心 中澳土壤环境研究室 北京 100085; 2 安阳大学 河南安阳 455000)

**摘要** 采用蒋柏藩、顾益初无机 P 分级方法研究了豫北褐土多年棚龄蔬菜保护地土壤 P 素形态及其空间分布特性。结果表明,蔬菜保护地 0~20cm 土层全 P、无机 P、有机 P、Olsen-P 的含量分别为:1385.6~2896.5、1097.1~2365.7、270.0~606.9、109.8~302.4 mg/kg, Ca<sub>2</sub>-P、Ca<sub>8</sub>-P、Al-P、Fe-P、O-P、Ca<sub>10</sub>-P 分别占无机 P 的百分比平均为:12.5%、37.2%、10.8%、5.8%、13.3%、20.5%, Olsen-P 占全 P 的百分比高达 4%~15%, 平均为 10.6%; 土壤各形态 P 素主要积累在 0~20 cm 土层, 随着深度的增加土壤全 P、有机 P、Olsen-P、各形态无机 P 均减少。

**关键词** 磷素形态; 蔬菜保护地; 空间分布

**中图分类号** S153

随着蔬菜种植面积的增加, 菜农对 P 肥的施用量在增加, 然而, P 肥的增产效益却越来越小。可溶性 P 肥施入土壤后, 很快转化为各种形态无机 P, 当季利用率很低, 大田作物一般不超过 20%<sup>[1~3]</sup>, 对于保护地来说, 由于施肥量远大于大田, 其利用率会更低。我国 P 肥资源短缺, 每年需进口大量 P 肥才能满足我国农业生产的需求, 所以如何合理施用 P 肥, 特别是象在保护地这样富 P 的土壤上合理施用是摆在土肥工作者面前的一项艰巨的任务。本文以安阳郊区保护地为例, 采用蒋柏藩无机 P 分级方法对豫北多年棚龄蔬菜保护地土壤 P 素形态及其空间分布特性进行了研究, 旨在为蔬菜的持续高产、高效利用 P 肥、减少地下水污染提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试土壤样品

供试土壤采自安阳东郊 (E)、西郊 (W) 和北郊 (N), 分别在 3 处挑选棚龄为 8、12 年的蔬菜保护地 2 块, 6 个地块分别为: E1 (东郊 12 年)、E2 (东郊 8 年)、W1 (西郊 8 年)、W2 (西郊 12 年)、N1 (北郊 8 年)、N2 (北郊 12 年)。母质类型为豫北冲积潮褐土, 现为完全熟化的菜园土。在 2002 年 6 月夏白菜收获后, 每个保护地 3 点取样, 每个点分别在 0~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm 各土层分别取样, 混匀, 风干, 过筛备用。以安阳市东 5 km 白陞镇七里庄常年冬小麦—夏玉米轮

作的耕作土壤为对照 (CK), 冬小麦收获 1 周后取样。

### 1.2 分析方法

土壤全 P 采用 HClO<sub>4</sub>-浓 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 消煮后用钼蓝比色法测定, 有机 P 用烧灼法, 无机 P 素组分采用蒋柏藩、顾益初分析法, Olsen-P 用碳酸氢钠法<sup>[4,5]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 安阳市郊区保护地土壤 0~100 cm 土层全 P、有机 P、Olsen-P、无机 P 分布情况

安阳市郊区土壤有褐土化发育, 而且兼有潮化过程, 土层深厚, 壤质为主, 通透性好, 易于耕作, 大田有机质含量中等 (12.5 g/kg), P 素含量偏低 (全 P 为 980.6 mg/kg, Olsen-P 为 11.8 mg/kg), K 素丰富 (速效 K 为 150 mg/kg), 大田耕作土壤由于施 P 量较少而变化不大, 而菜园土壤由于集中施 P 而含 P 量有很大变化。由图 1 知, 大田土壤 (CK) 和保护地土壤的 P 素组成均以无机 P 为主, 大田土壤的全 P、有机 P、Olsen-P 在 0~100 cm 土层远小于保护地相应土层土壤的含 P 量, 保护地 0~20 cm 土层全 P、无机 P、有机 P、Olsen-P 的平均含量分别为: 2192.3、1787.7、404.6、233.2 mg/kg; 其 Ca<sub>2</sub>-P、Ca<sub>8</sub>-P、Al-P、Fe-P、O-P、Ca<sub>10</sub>-P 分别占无机 P 的百分比平均为: 12.5%、37.2%、10.8%、5.8%、13.3%、20.5% 而 Olsen-P 占全 P 的百分比高达 4%~15%, 平均为 10.6%, 大田土壤则仅为 1.2%; 土壤各形态

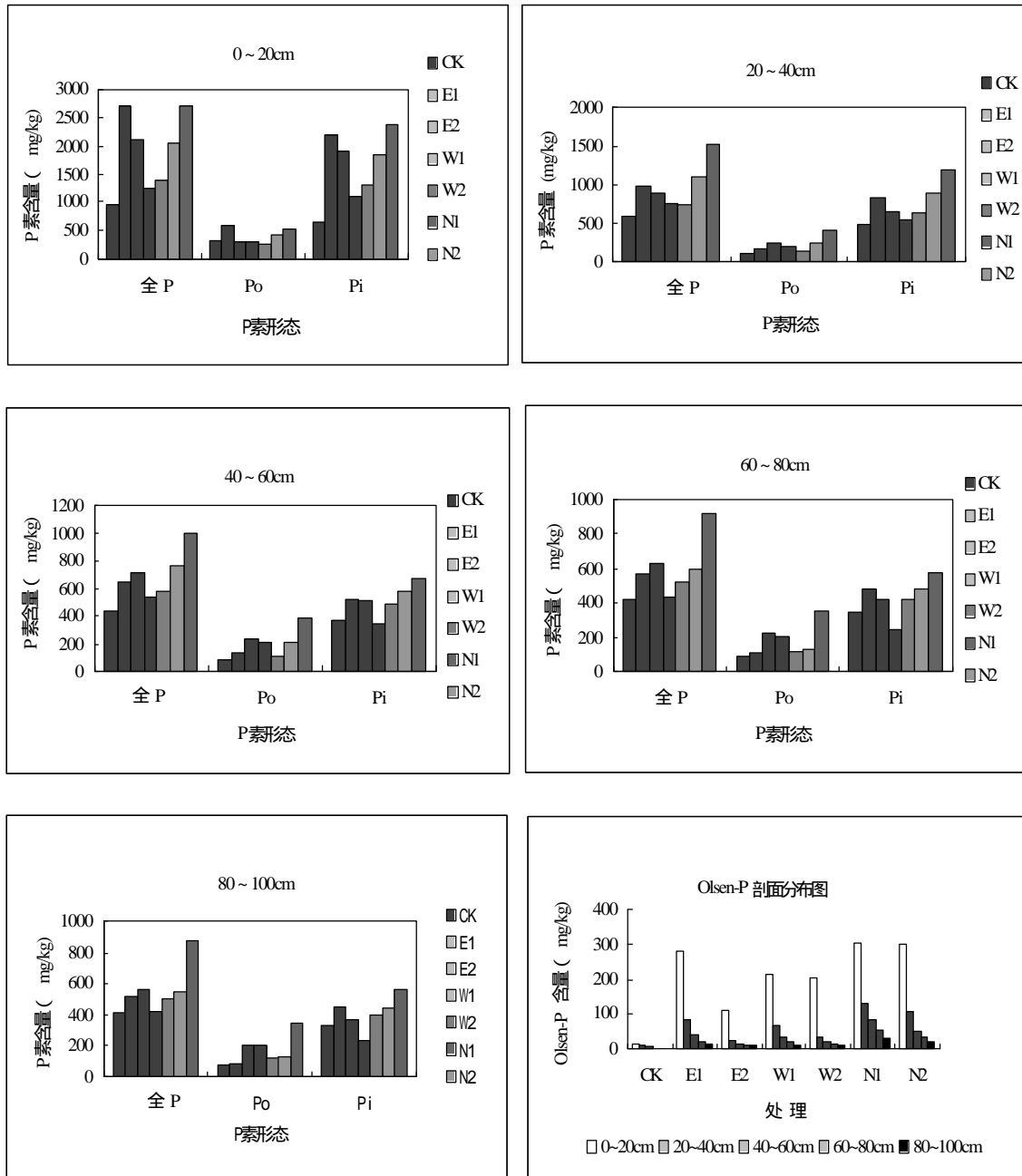
P 素主要积累在 0~20 cm 土层, 随着深度的增加土壤全 P、有机 P、Olsen-P、无机 P 均减少。

由图 1 还可知, 棚龄长的保护地土壤(E1、W2、N2), 其 P 素各形态含量均较大, 值得注意的是保护地土壤 Olsen-P 含量在 80~100 cm 土层仍然含量很高, 分别高达 12.8 (E1) 9.7 (W2) 18.7 (N2) mg/kg, 这和保护地每年大肥大水的种植方式有关, 加上大量的有机肥的施入, 分解的有机酸使得易溶

性磷酸根向土壤深层移动, 对安阳地下水造成严重的污染。对于大田土壤, 在 40~60 cm 土层中 Olsen-P 含量已很少 (3.5 mg/kg), 到 80~100 cm 土层时仅为 0.2 mg/kg。

### 2.2 安阳市郊区保护地土壤 0~100 cm 土层各形态无机 P 垂直分布情况

由表 1 知, 大田土壤和保护地土壤中 P 素含量大多集中在 0~20 cm 土层, 20~40 cm 土层我们可



Po 代表有机 P 总量, Pi 代表无机 P 总量。

图 1 安阳市郊区保护地土壤 0~100cm 土层全 P、有机 P、Olsen-P、无机 P 分布情况

Fig. 1 Distribution of the total P, organic P, Olsen P and inorganic P in vegetable soil in the suburbs of Anyang city

表 1 安阳市郊区保护地土壤 0~100cm 土层各形态无机 P 垂直分布情况

Table 1 Phosphorus fractions and their vertical distributions in vegetable soil in the suburbs of Anyang city

位点	土层 (cm)	Pi (mg/kg)	Ca <sub>2</sub> -P (mg/kg)	Ca <sub>8</sub> -P (mg/kg)	Al-P (mg/kg)	Fe-P (mg/kg)	O-P (mg/kg)
大田	0~20	456.4	12.6	180.4	35.6	40.8	85
	20~40	476.5	9.5	101.2	30.6	38.5	72.5
	40~60	365.8	2.6	45.7	22.3	32.6	68.3
	60~80	342.6	1.6	40.9	15.8	30.4	53.5
	80~100	338.3	0.3	38.8	12.9	29.8	59.6
东郊 1	0~20	2210.6	268.8	982.5	248.6	110.3	232.5
	20~40	836.5	95.8	231.2	90.6	88.5	110.5
	40~60	520.7	32.6	71.7	52.3	92.6	98.3
	60~80	478.5	21.6	66.9	45.8	80.4	91.5
	80~100	446.8	13	58.8	37.9	79.8	89.6
东郊 2	0~20	1906.5	98.8	860.8	130.4	63.2	238.7
	20~40	654.5	17.5	115.5	31.1	50.9	120.5
	40~60	506.9	16.8	53.6	14.8	46.8	100.7
	60~80	425.7	9.8	31.3	12.6	43.7	85.4
	80~100	366.7	6.9	22.2	10	36.8	50.6
西郊 1	0~20	1097.1	190.5	334.6	128.8	87.8	120.6
	20~40	548.6	58.3	90.7	60.9	72.5	78.8
	40~60	335.8	24.5	20.8	21.2	52.1	60.2
	60~80	245.1	8.3	11.4	12.9	33.6	45.3
	80~100	232.4	6.6	8.5	7.8	31.8	44.7
西郊 2	0~0	1315.9	218.8	354.8	110.6	88.1	175.4
	20~40	628.4	42.6	52.6	28.9	50.3	160.7
	40~60	482.6	18.8	31.3	12.7	36.4	138.3
	60~80	418.9	12.6	23.9	10.6	33.8	102.5
	80~100	396.3	8.5	14.7	8	30.9	100.6
北郊 1	0~20	1830.6	220.6	648.3	235.8	111.4	306.6
	20~40	900.3	122.3	259.9	92.1	80.6	110.2
	40~60	580.4	75.9	88.4	40.2	62.5	108.7
	60~80	475.9	49.6	39.6	35.4	53.4	98.5
	80~100	438.8	33.8	34.3	29.5	48.9	95.4
北郊 2	0~20	2365.7	281.6	956.8	328.9	127.6	366.4
	20~40	1189.6	135.4	443.6	153.3	91.3	189.6
	40~60	668.4	58.7	210.4	72.8	63.2	178.1
	60~80	576.9	46.5	145.8	55.9	58.7	96.5
	80~100	562.1	25.4	138.2	48.8	54.1	90.4

注：每个数据均为 3 个样品的平均值。

以称之为过渡区，40~60、60~80、80~100 cm 土层中变化不太明显，但是仍在减小。与大田土壤比较，保护地土壤 0~100 cm 土层中不但无机 P 含量远大于大田，其分级 P 素含量具有同样趋势。可溶性 P 肥施入土壤中，大部分被土壤在短时间内吸附、固定，其后逐渐变为难溶性的 P 素形态，大田土壤由于施 P 较少，绝大部分停留在 0~20 cm 土层中，

可移动性 P 含量很低。表 1 中，大田土壤 0~100 cm 土层 Ca<sub>2</sub>-P 含量仅为 0.3~12.6 mg/kg，而保护地土壤最高可达 281.6 mg/kg (N<sub>2</sub>, 0~20 cm)，这和保护地多年的大量施 P 后 P 素的积累有关。虽然土壤中以 Ca-P 为主，但 Al-P、Fe-P 仍占有一定的比例，特别是在下层土壤，大田和保护地具有同样情况。大田土壤在 0~40 cm 土层中各无机 P 分级的含量大

致顺序为:  $Ca_{10}\text{-P} > Ca_8\text{-P} > O\text{-P} > Fe\text{-P} > Al\text{-P} > Ca_2\text{-P}$ ,而在 40~100 cm 土层时顺序为  $Ca_{10}\text{-P} > O\text{-P} > Fe\text{-P} > Ca_8\text{-P} > Al\text{-P} > Ca_2\text{-P}$ ; 保护地土壤 0~40 cm 土层中各地块土壤分级 P 素含量无明显规律,但  $Ca_8\text{-P}$  含量却相当高 ( $W_1: 982.5 \text{ mg/kg}$ ,  $N_2: 956.8 \text{ mg/kg}$ ),而且出现  $Ca_2\text{-P}$  含量大于 O-P、Fe-P、Al-P 的情况,在 40~100 cm 土层时情况与大田相似,但是含量明显增加,这说明尽管 P 素在土壤中不易移动,但在施肥量过大,超过土壤最大吸附量很多时(具体数据根据不同性质土壤和环境条件来定),就会发生象  $NO_3^-N$  一样的淋溶现象,既浪费资源又污染环境。

### 3 小 结

(1) 通过安阳郊区 6 块保护地 0~100 cm 土层的土壤中 P 素形态的分析,表明蔬菜保护地上长期大量施用 P 肥,使得 0~40 cm 土层中各形态 P 素大量积累,在 40~100 cm 土层各形态 P 素也有不同程度的增加,且随着棚龄的增加而增加。

(2) 尽管 P 素在土壤中移动性很小,但长期大量的施 P 会造成表层土壤活性 P 增加,加上无节制地灌溉和大量有机肥料的投入,这些均会加速 P 素

在土壤中的迁移。本测定中  $Ca_2\text{-P}$ 、 $Ca_8\text{-P}$  含量在 0~40 cm 土层明显增加及在 40~100 cm 土层时的高含量均说明了这一点。

(3) 土壤下层可溶性 P 的高含量,可以想到安阳地下水的污染程度,这完全可以使我们联想到为何本地区癌症发病率高这一问题。建议菜农在追求经济利益的同时,也要考虑到环境和社会公德,有关部门也应该做好这方面的宣传和管理工作的。

### 参考文献

- 1 李庆逵,朱兆良,于天仁. 中国农业持续发展中的肥料问题. 南昌:江西科学技术出版社,1998,112~119
- 2 沈善敏. 中国土壤肥力. 北京:中国农业出版社,1998,465~474
- 3 马茂桐,陈际型,谢建昌. 我国菜园土壤的养分状况与施肥. 见:谢建昌,陈际型等编著. 菜园土壤肥力与蔬菜合理施肥(第八次国际钾素讨论会文集). 南京:河海大学出版社,1997,25~33
- 4 蒋柏藩,顾益初. 石灰性土壤无机磷的分级方法. 土壤肥料,1990,22(2):101~102
- 5 鲁如坤. 土壤农业化学分析法. 北京:中国农业出版社,1999

## PHOSPHORUS FRACTIONS AND THEIR VERTICAL DISTRIBUTION IN VEGETABLE SOIL IN SUBURBS OF ANYANG CITY

WANG Xin-min<sup>1</sup> WANG Wei-hua<sup>2</sup> HOU Yan-lin<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> Department of Soil Environmental Science, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085; <sup>2</sup> Anyang University, Henan Anyang 455000)

**Abstract** Forms and the vertical distribution of phosphorus in vegetable soil in the northern part of Henan Province were studied by the method of phosphorus fractionation recommended by Jiang and Gu. The results showed that in the soil layer of 0~20cm, the content of total P, inorganic P, organic P and Olsen P was 1385.6~2896.5, 1097.1~2365.7, 270.0~606.9 and 109.8~302.4mg/kg, respectively, and the content of  $Ca_2\text{-P}$ ,  $Ca_8\text{-P}$ , Al-P, Fe-P, O-P and  $Ca_{10}\text{-P}$  accounted for 12.5%, 37.2%, 10.8%, 5.8%, 13.3% and 20.5%, respectively, of the total inorganic P. The percentage of Olsen-P to total P was very high, ranging 4%~15%, and 10.6% on average. Most of the soil P, in whatever form, was concentrated in the soil layer of 0~20cm and with the depth increasing in the soil profile, the contents of total P, organic P, inorganic P and Olsen P were all decreased.

**Key words** Phosphorus fractions, Vegetable field soil, Vertical distribution of P