

不同类型菜田和农田土壤磷素状况研究

张学军¹ 孙 权² 陈晓群¹ 程淑华³ 张 艳³ 王黎明³

(1 宁夏农林科学院农业资源与环境研究所 银川 750002; 2 宁夏大学农学院 银川 750021;

3 宁夏农林科学院分析测试中心 银川 750002)

摘 要 以西北地区有代表性的灌淤土为供试土壤, 研究不同类型菜田(露地菜田和蔬菜保护地)及农田土壤的 P 素状况, 以及蔬菜保护地土壤 P 素的空间分布特性。结果表明, 露地菜田、蔬菜保护地土壤全 P、无机 P、有机 P、Olsen-P 的平均含量是一般农田土壤的 1.43~8.30 倍, 土壤 Olsen-P 占全 P 的比率显著高于一般农田。蔬菜保护地土壤各形态 P 素主要积累在 0~30 cm 土层, 并随土层深度的增加各形态 P 素的含量逐渐降低, 各土层 Olsen-P、Ca₂-P、Ca₈-P、Al-P 含量降低幅度明显高于 Fe-P、O-P、Ca₁₀-P。

关键词 菜田; 农田; 土壤磷素; 空间分布特性

中图分类号 S153

磷是作物高产必须投入的大量营养元素之一, 而 P 肥的当季利用率一直只有 10%~25%。其原因是施入土壤的 P 肥很快转化为 Ca₁₀-P、Ca₈-P、O-P、Al-P、Fe-P 等形态无机 P^[1]。不同形态磷酸盐的有效性差异很大^[2], 因此关于如何提高 P 肥的利用效率一直是人们所关心的问题。近年来的研究表明, 在石灰性土壤中长期施用 P 肥, 土壤中各形态无机 P 均有不同程度的积累与消耗, 但主要为 Ca-P 的变化^[3-5]。长期大量施用 P 肥不仅使 0~20 cm 耕层土壤 P 素大量积累, 20~40 cm 土层 P 素也均有不同程度的增加^[6]。土壤中 P 素的积累与消耗量受土壤性质、种植方式、P 肥用量及组分等多种因素的影响^[7]。对于不同施 P 条件下耕地、蔬菜保护地的土壤 P 素组分变化、空间分布特性已有报道^[8]。随着目前蔬菜种植面积的不断扩大, 蔬菜高产所投入的 P 肥逐渐增加, 而 P 肥效益却不断降低^[9]。因此, 明确土壤 P 素状况是持续农业中 P 肥合理施用的理论基础。为此, 我们选择地处西北干旱条件下的银川市大新乡具有代表性的不同类型菜田以及邻近农田, 研究不同种植方式、不同 P 肥用量下土壤 P 素行为特点以及空间分布特性, 为持续农业中合理施用 P 肥, 优化生态环境提供理论依据。

1 材料与方法

供试土壤为银川市兴庆区新建 1~15 年的蔬菜保护地土壤, 以及保护地附近常年的露地菜田和农田土壤。露地菜田为单种果菜一年一熟, 农田土壤

的种植结构为稻旱轮作一年一熟或春小麦后复种大白菜的一年两熟。土壤类型以宁夏引黄灌区有代表性的灌淤土为主。每个土样均为同一地点的 5 点混合土样, 保护地土壤采样深度为 0~30、30~60、60~100 cm; 露地菜田和农田土壤采样深度为 0~30 cm。供试土壤的基本情况见表 1。

土壤无机 P 的测定: 采用蒋柏藩-顾益初的石灰性土壤无机 P 的分级方法^[10], 土壤全 P 测定采用酸溶比色法, 土壤有机 P 测定采用浸提法, 土壤有效 P 测定采用碳酸氢钠法^[11]。

2 结果分析

2.1 不同类型菜田和农田土壤 P 素的组成状况

一般农田、露地菜田、蔬菜保护地土壤的 P 素状况如表 2 所示。研究结果表明, 银川兴庆区农田土壤全 P 含量为 568.4~789.2 mg/kg, 平均为 694.5 mg/kg; 露地菜田土壤全 P 含量为 792.3~856.9 mg/kg, 平均为 824.6 mg/kg; 种植 1~15 年以上的蔬菜保护地土壤全 P 含量为 1186.1~2198.6 mg/kg, 平均为 1649.9 mg/kg。土壤 P 素组成以无机 P 为主, 其含量占土壤全 P 的 77.0%~89.8%, 平均为 84.2%, 土壤无机 P 占土壤全 P 的比率各类型菜地及农田土壤无显著差异。土壤有机 P 占全 P 的 10.2%~23.0%, 平均为 15.8%。一般农田土壤 Olsen-P 的含量为 14.2~28.9 mg/kg, 平均为 19.7 mg/kg, 占土壤全 P 的 1.9%~5.1%, 平均为 2.8%; 而露地菜田土壤 Olsen-P 的含量为 24.6~31.5 mg/kg, 平均为

表 1 供试土壤的基本情况 (0~30 cm)

Table 1 Basic properties of selected soils

编号	地点	种植方式	施 P 水平	编号	地点	种植方式	施 P 水平
1	大新 5 队	稻旱轮作	较低	9	茂盛 6 队	新建温棚	较高
2	大新 5 队	旱田	低	10	茂盛 7 队	新建温棚	较高
3	扬家寨 3 队	旱田	较低	11	茂盛 6 队	3 年以上二代温棚	较高
4	扬家寨 8 队	旱田	较低	12	茂盛 7 队	3 年以上二代温棚	高
5	茂盛 6 队	稻改旱	低	13	扬家寨 3 队	8 年以上一代温棚	高
6	茂盛 8 队	稻改旱	较低	14	扬家寨 8 队	8 年以上一代温棚	很高
7	茂盛 5 队	露地菜田	较高	15	大新 5 队	15 年以上半面温棚	很高
8	大新 5 队	露地菜田	较高	16	大新 5 队	15 年以上半面温棚	很高

表 2 不同类型菜田与农田土壤 P 素组成 (0~30 cm)

Table 2 P fractions of cultivated and vegetable soils in 0~30 cm layer

种植方式	编号	全 P (mg/kg)	无机 P (mg/kg)	无机 P/全 P (%)	有机 P (mg/kg)	有机 P/全 P (%)	Olsen-P (mg/kg)	Olsen-P/全 P (%)
农田	1	718.1	606.6	84.5	111.5	15.5	14.2	1.9
	2	656.2	583.4	88.9	72.8	11.1	15.2	2.3
	3	746.3	642.3	86.1	104	13.9	25	3.3
	4	568.4	482.3	84.3	86.1	15.7	28.9	5.1
	5	688.4	597.8	86.8	90.6	13.2	15.8	2.3
	6	789.2	702.8	89.1	86.4	10.9	19.2	2.4
	平均	694.5	602.6	86.8	91.9	13.2	19.7	2.8
露地菜田	7	856.9	732.5	85.5	122.2	14.5	31.5	3.7
	8	792.3	672.3	84.9	120.0	15.1	24.6	3.1
	平均	824.6	702.4	85.2	121.1	14.8	28.1	3.4
保护地	9	1273.3	1096.7	86.1	176.6	13.9	296.1	23.2
	10	1186.1	912.7	77.0	273.4	23.0	189.0	15.9
	11	1609.5	1286.2	80.0	323.3	20.0	202.4	12.6
	12	1349.8	1123.5	83.2	226.3	16.8	99.1	7.3
	13	1924.5	1587.4	82.5	337.1	17.5	143.7	7.5
	14	1789.3	1386.4	77.5	402.9	22.5	146.3	8.2
	15	2198.6	1788.7	81.4	109.9	18.6	163.0	7.4
	16	1868.4	1678.5	89.8	189.9	10.2	68.6	3.7
	平均	1649.9	1357.5	82.2	254.9	17.8	163.5	9.9

28.1 mg/kg, 占土壤全 P 的 3.1%~3.7%, 平均为 3.4%; 种植 1~15 年以上的蔬菜保护地, 土壤 Olsen-P 的含量为 99.1~296.1 mg/kg, 平均为 163.1 mg/kg, 占土壤全 P 的 3.7%~23.2%, 平均为 9.9%。以上结果说明, 蔬菜保护地由于大量施用有机肥, 土壤全 P、无机 P、有机 P 和 Olsen-P 的平均含量分别是农田的 2.37、2.25、2.77、8.30 倍, 露地菜田与农田差别不大。大量施用 P 肥使土壤 Olsen-P 占土壤全 P 的比率显著增加, 而土壤中无机 P、有机 P 占全 P 的比率无显著变化。说明在土壤 P 素组成中,

土壤无机 P、有机 P 间存在一动态平衡, 长期大量施入的 P 肥按一定相对稳定的比例同时增加土壤无机 P、有机 P, 从而保持土壤中两种形态 P 间的动态平衡。

2.2 不同类型菜田和农田土壤无机 P 的组分

农田、露地菜田、蔬菜保护地的土壤无机 P 组分 (表 3) 表明, 蔬菜保护地土壤 Ca₂-P、Ca₈-P、O-P、Al-P、Fe-P 的含量明显高于一般农田。两种类型土壤无机 P 组分均以 Ca-P 为主, 占土壤无机 P 总量的 2.4%~80.7%, 平均为 76.5%。土壤 Ca-P

表 3 0~30 cm 不同类型菜田和农田的土壤无机 P 组成

Table 3 Inorganic P fractions of cultivated and vegetable soils in 0~30 cm layer

类型	编号	Ca ₂ -P		Ca ₈ -P		Al-P		Fe-P		O-P		Ca ₁₀ -P	
		(mg/kg)	(%)	(mg/kg)	(%)	(mg/kg)	(%)	(mg/kg)	(%)	(mg/kg)	(%)	(mg/kg)	(%)
农田	1	12	2.0	82.9	13.7	24.5	4.0	22.6	3.7	74.9	12.3	389.7	64.2
	2	5	0.8	53.9	9.1	18.6	3.2	27.4	4.7	73.1	12.5	405.4	69.5
	3	15	2.3	41.2	6.4	16.3	2.5	15.2	2.4	61.8	9.6	492.8	76.7
	4	8	1.7	31.6	6.6	23.5	4.9	10.4	2.2	55.4	11.5	353.4	73.3
	5	9	1.5	65.4	10.9	21.4	3.6	24.3	4.1	85.2	14.2	392.5	66.2
	6	18	2.5	68.4	9.7	24.4	3.5	25.3	3.6	91.4	13.0	475.3	67.6
	平均	11.2	1.8	57.2	9.5	21.5	3.6	20.9	3.5	73.6	10.5	418.2	69.4
露地菜田	7	24.5	3.3	128.9	17.6	64.9	8.9	56.6	7.7	67.9	9.3	389.7	49.8
	8	18.6	2.8	135.7	20.2	68.3	10.2	48.7	7.2	50.5	7.5	350.5	52.1
	平均	21.6	3.1	132.3	18.9	66.6	9.6	52.7	7.4	59.2	8.4	370.1	50.9
保护地	9	129.4	11.8	208.8	19.0	123.4	11.3	72.6	6.6	157.9	14.4	454.6	41.4
	10	56.8	6.2	134.5	14.7	92.3	10.1	62.4	6.8	124.8	13.7	471.9	51.7
	11	95.9	7.4	474.6	36.9	69	5.4	89	6.9	187.8	14.6	389.7	30.3
	12	73.5	6.5	344.5	30.7	156.4	13.9	86	7.6	116.8	10.4	376.3	33.5
	13	148.9	9.4	564.5	35.6	80.3	5.1	96.3	6.1	253.8	16.0	459.6	29.0
	14	136.8	9.9	475.4	34.3	112.5	8.1	98.2	7.1	196.8	14.2	396.7	28.6
	15	132.4	7.4	740.1	41.4	109	6.1	101.8	5.7	325.7	18.2	419.7	23.5
	16	142.5	8.5	597.8	35.6	111.4	6.6	97.5	5.8	263.9	15.6	485.4	28.8
	平均	114.5	8.4	442.5	31.0	106.8	8.3	87.9	6.5	203.4	14.6	431.7	33.3

*各形态无机 P 占无机 P 总量 (%) = 各形态无机 P/无机 P 总量 × 100

的组分为：农田 Ca₂-P、Ca₈-P、Ca₁₀-P 分别占土壤 Ca-P 的 1.1%~3.2%、7.5%~17.1%、80.4%~89.9%，平均为 2.2%、11.7%、85.4%；蔬菜保护地分别为 8.6%~16.3%、20.3%~57.3%、32.5%~71.1%，平均为 11.5%、42.6%、45.9%。农田土壤 Al-P、Fe-P、O-P 分别占土壤无机 P 的 2.5%~4.9%、2.2%~4.7%、9.6%~14.2%，平均为 3.6%、3.5%、10.5%；蔬菜保护地分别为 5.1%~13.9%、5.7%~7.6%、10.4%~18.2%，平均为 8.3%、6.5%、14.6%。保护地与露地菜田也有差异，露地菜田与农田差异不大。说明蔬菜保护地由于长期大量施入 P 肥，土壤 P 主要以作物有效 P 源 Ca₂-P 及缓效 P 源 Ca₈-P、Al-P 积累在土壤中，3 种形态无机 P 占土壤无机 P 量的 31%~54.9%，平均为 47.7%；而农田土壤为 11.2%~19.7%，平均为 14.9%。Ca₁₀-P 占土壤无机 P 的比率，农田为 69.4%，保护地平均只有 33.3%。可见，O-P、Ca₁₀-P 是土壤中相对稳定的无机 P 的组分，施入土壤的 P 肥在较短时间内不易以 O-P、Ca₁₀-P 等磷酸盐积累；而 Ca₂-P、Ca₈-P、Al-P 等形态的无机 P 则是土壤不稳定的组分，其强度大小取

决于土壤 P 素的积累与消耗，菜地土壤由于大量施入 P 肥使 0~30 cm 土层出现了 Ca₂-P、Ca₈-P、Al-P 等形态的无机 P 的相对积累，而且以 Ca₈-P 的积累占 3 种形态 P 素总量的 47.4%~75.4%，平均 65.2%；Ca₂-P、Al-P 的积累分别占 17.6%和 17.4%。

2.3 蔬菜保护地土壤各形态 P 素的空间分布特性

表 4 表明，长期施入土壤的 P 肥主要积累在 0~30 cm 土层中。该层土壤全 P、总无机 P 平均含量分别为 1751.5、1439.7 mg/kg；30~60 cm 土层中全 P、总无机 P 含量相当于 0~30 cm 土层中的 60.7%、59.9%；60~100 cm 土层中全 P、总无机 P 含量相当于 0~30 cm 土层中的 49.5%、45.5%。0~30 cm 土层中 Olsen-P 的平均含量为 201.3 mg/kg，30~60 cm 土层中 Olsen-P 相当于 0~30 cm 土层中 Olsen-P 含量的 17.9%；60~100 cm 土层中 Olsen-P 相当于 0~30 cm 土层中 Olsen-P 含量的 14.3%。0~30 cm 土层中 Ca₂-P、Ca₈-P、Al-P 的平均含量分别为 126.6、497、95.4 mg/kg，30~60 cm 土层中 Ca₂-P、Ca₈-P、Al-P 相当于 0~30 cm 土层中的 48.6%、39.2%、81.6%，60~100 cm 土层中 Ca₂-P、Ca₈-P、

表 4 蔬菜保护地土壤各形态 P 素的空间分布特性 (mg/kg)

Table 4 Spatial distribution of phosphorus in protected vegetable soils

编号	层次 (cm)	Ca ₂ -P	Ca ₈ -P	Al-P	Fe-P	O-P	Ca ₁₀ -P	总无机 P	Olsen-P	全 P
9	0 ~ 30	129.4	208.8	123.4	22.6	157.9	454.6	1096.7	296.1	1273.3
	30 ~ 60	27.5	73.9	41.5	19.9	77.9	394.7	635.4	26.2	715.0
	60 ~ 100	16.0	69.9	30	9.3	58.0	334.7	517.9	19.7	702.7
11	0 ~ 30	95.9	474.6	69.0	69.0	187.8	389.7	1286.2	202.4	1609.5
	30 ~ 60	91.9	198.8	63.9	49.4	129.9	379.7	913.6	45.6	1057.4
	60 ~ 100	33.5	129.9	23.8	10.3	101.9	286.5	585.9	35.8	860.0
13	0 ~ 30	148.9	564.5	80.3	80.3	253.8	459.6	1587.5	143.7	1924.5
	30 ~ 60	44.5	161.9	111.9	44.3	127.9	424.7	915.2	44.6	900.0
	60 ~ 100	39.0	147.9	42.0	20.0	71.9	364.7	685.5	38.4	853.8
15	0 ~ 30	132.4	740.1	109.0	61.8	325.7	419.7	1788.7	163.0	2198.6
	30 ~ 60	82.4	344.4	93.8	52.5	225.8	409.5	1208.4	27.7	1578.7
	60 ~ 100	46.5	208.8	61.5	42.2	127.9	342.3	829.7	22.0	1054.3
平均	0 ~ 30	126.6	497.0	95.4	58.4	231.3	430.9	1439.7	201.3	1751.5
	30 ~ 60	61.6	194.7	77.8	41.5	140.4	402.1	860.7	36.0	1062.8
	60 ~ 100	33.7	139.1	39.3	20.4	89.9	246.5	654.7	28.9	867.7

Al-P 相当于 0 ~ 30 cm 土层中的 26.6 %、27.9 %、41.2 %。0 ~ 30 cm 土层中 Fe-P、O-P、Ca₁₀-P 的平均含量分别为 58.4、231.3、430.9 mg/kg, 30 ~ 60 cm 土层中 Fe-P、O-P、Ca₁₀-P 相当于 0 ~ 30 cm 土层中的 71.1 %、60.7 %、93.3 %, 60 ~ 100 cm 土层中 Fe-P、O-P、Ca₁₀-P 相当于 0 ~ 30 cm 土层中的 34.9 %、38.7 %、57.2 %。以上结果说明, 蔬菜保护地长期施入大量的 P 肥主要以 Ca₂-P、Ca₈-P、Al-P 等形态的无机 P 积累在 0 ~ 30 cm 土层, 随土层深度的增加, 3 种形态无机 P 的含量逐渐降低; 而 Fe-P、O-P、Ca₁₀-P 在 0 ~ 30 cm 土层含量较高, 30 cm 以下土层变化较小。这是由于施入土壤的 P 肥很快转化为 Ca₂-P、Ca₈-P、Al-P 等形态的无机 P^[2], 土壤中 P 素移动性小, 因此 0 ~ 30 cm 土层出现了 Ca₂-P、

Ca₈-P、Al-P 的大量积累。石灰性土壤 Fe-P 的含量较低; 施入土壤的 P 肥转化为 Fe-P 的量相对较少, 因此 0 ~ 100 cm 各土层 Fe-P 含量变幅明显低于 Ca₂-P、Ca₈-P、Al-P 的变化。土壤中 O-P、Ca₁₀-P 是相对稳定的土壤无机 P 组分, 施入土壤的 P 肥在较短时间内不易转化为 O-P、Ca₁₀-P, 因此, 土壤各层次 O-P、Ca₁₀-P 含量变化幅度较小。

表 4 结果还说明, 保护地棚龄长短, 影响菜地 0 ~ 100 cm 各形态 P 的含量, 种菜 3 年以上的保护地, 长期大量施入的 P 肥使 0 ~ 60 cm 各形态 P 素均显著增加, 并随土壤层次的增加其含量显著减少。

2.4 Olsen-P 与土壤各形态 P 素间的相关性

表 5 结果表明, 0 ~ 30 cm 土层土壤 Olsen-P 与全 P、无机 P、有机 P 含量呈显著正相关, 说明土

表 5 Olsen-P 与土壤不同形态 P 素间的相关性 (0 ~ 30 cm, n = 19)

Table 5 Correlation coefficients between Olsen-P and various P fractions

形态	相关系数	形态	相关系数
全 P	0.6806	Ca ₂ -P	0.7758
无机 P	0.6495	Ca ₈ -P	0.5638
有机 P	0.6540	Al-P	0.7027
r _{0.05 (0.01)}	0.433 (0.549)	Fe-P	0.6963
		O-P	0.6326
		Ca ₁₀ -P	0.2802
		r _{0.05 (0.01)}	0.433 (0.549)

壤全 P、无机 P、有机 P 对 Olsen-P 均有一定贡献。土壤 Olsen-P 与全 P、无机 P 的相关系数值相近, 说明土壤总 P 以土壤无机 P 为主。土壤 Olsen-P 与 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 的相关系数达到 0.7758, 相关方程为 $Y = 17.4737 + 1.1672 X$ (Y 表示 Olsen-P, X 表示 $\text{Ca}_2\text{-P}$), 说明土壤 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 是 Olsen-P 的主要贡献者; Olsen-P 与 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、Al-P、Fe-P、O-P 的相关性也均达到显著水平, 可见, 土壤 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、Al-P、Fe-P、O-P 对土壤 Olsen-P 也有一定贡献。

3 小结与讨论

本试验所选农田在西北地区不同 P 素水平的灌淤土上, 农田的 P 肥用量平均为 P_2O_5 182.5 kg/hm^2 , 不同地区 P 肥用量差异很大。蔬菜保护地由于蔬菜复种指数高, 各地肥料用量很大。据统计, 菜地土壤化学 P 肥用量是农田土壤 P 肥用量的 2.5 ~ 10.2 倍, 有机肥用量平均 35 t/hm^2 。因此, 在蔬菜保护地上 P 素的投入远远大于支出, 土壤 P 素处于积累状态, 从而使得蔬菜保护地上各形态 P 素含量比一般农田高 1.03 ~ 10.2 倍。由于石灰性土壤中的 P 肥主要为 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$, 其次为 Al-P、Fe-P, 因此蔬菜保护地 0 ~ 30 cm 土层土壤出现了 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、Al-P 的大量积累。蔬菜地如此高量的累积态 P, 一方面是 P 资源的浪费, 另一方面对环境也造成巨大的潜在威胁, 因为 P 与水体污染的关系密切, 同时高量累积态 P 也会导致蔬菜其他微量元素缺乏。英国洛桑试验站的长期田间试验表明, 当表层 Olsen-P 超过 60 mg/kg 时, P 的淋失量会急剧增加^[11], 当遇到较大的地表径流 (如洪水) 时, 则会严重污染地表水。

蔬菜保护地、农田土壤无机 P 占土壤全 P 的比率很接近, 说明在北方石灰性土壤上, 大量施用的 P 肥按一定比例同时增加全 P、无机 P。在土壤无机 P 的积累中, 蔬菜保护地土壤 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、Al-P 占无机 P 的比率显著高于一般农田, 而土壤中 Fe-P、O-P、 $\text{Ca}_{10}\text{-P}$ 占土壤无机 P 的比率显著高于农田。充分说明了施入土壤的 P 肥主要以 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、Al-P 等形态无机 P 积累在土壤中, 且在短时期内土壤中的 P 肥转化为 O-P、 $\text{Ca}_{10}\text{-P}$ 较少, 使菜地土壤 O-P、 $\text{Ca}_{10}\text{-P}$ 占土壤无机 P 的比重较低; 菜地土壤中 Fe-P

占土壤无机 P 的比重较低可能是石灰性土壤的 P 素组成中 Fe-P 占无机 P 的比率低, 施入石灰性土壤的 P 肥转化为 Fe-P 的量相对较少的原因。由于土壤 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、Al-P 的高量积累, 使得土壤中 Fe-P 占无机 P 的比重相对较低。

参考文献

- 1 Wang XM, Hou YL. Effect of continuous vegetable cultivation on phosphorus levels of Fluvo-Aquic soils. *Pedosphere*, 2004, 14 (2): 171 ~ 176
- 2 鲁如坤, 时正元, 钱承梁. 磷在土壤中有有效性的衰减. *土壤学报*, 2000, 37 (3): 323 ~ 329
- 3 陈欣, 字方太, 沈善敏. 磷肥低量施用制度下土壤磷库的发展变化 II. 土壤有效磷及无机磷组成. *土壤学报*, 1997, 34 (1): 81 ~ 87
- 4 顾益初, 钦绳武. 长期施用磷肥条件下潮土中磷素的积累和有效性. *土壤*, 1997, 29 (1): 13 ~ 17
- 5 李寿田, 周健民, 王火焰, 陈小琴, 杜昌文. 不同土壤磷的固定特征及磷释放量和释放率的研究. *土壤学报*, 2003, 40 (6): 908 ~ 914
- 6 Schwab AP, Kulyingong S. Change in phosphate activities and availability index with depth after 40 years of fertilization. *Soil Science*, 1989, 147 (3): 179 ~ 186
- 7 Dhillon NS, Dev G. Transformation of soil inorganic P fraction under various crop rotation. *J. Indian Soc. Soil Sci.*, 1988, 36: 709 ~ 713
- 8 王新民, 王卫华, 侯彦林. 豫北蔬菜保护地土壤磷素形态及其空间分布特性研究. *土壤*, 2004, 36 (2): 173 ~ 176
- 9 梁成华, 唐泳, 须湘成, 惠成章. 沈阳市郊区蔬菜保护地土壤盐分动态研究. 见: 谢建昌, 陈际型编. 菜园土壤肥力与蔬菜合理施肥. 南京: 河海大学出版社, 1997, 283 ~ 288
- 10 顾益处, 蒋柏藩. 石灰性土壤无机磷的分级方法. *土壤肥料*, 1990, 22 (2): 102 ~ 102
- 11 鲁如坤主编. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 1999, 158 ~ 172
- 12 Heckrath G, Brookes PC, Poullton PR, Goulding KWT. Phosphorus leaching from soils containing different phosphorus concentrations in the broadalk experiment. *J. Environ. Qual.*, 1995, 24: 904 ~ 910

FRACTIONS OF PHOSPHORUS IN VEGETABLE SOILS AND FARMLAND SOILS

ZHANG Xue-jun¹ SUN Quan² CHEN Xiao-qun¹ CHENG Shu-hua³ ZHANG Yan³ WANG Li-ming³(1 *Agricultural Resources and Environment Institute of Ningxia Academy of Agriculture and Forestry, Yinchuan 750002;**2 Agricultural Department of Ningxia University, Yinchuan 750021;**3 Analysis and Test Center of Ningxia Academy of Agriculture and Forestry, Yinchuan 750002)*

Abstract Fractions of phosphorus in vegetable soils and farmland soils in Northwest China were explored. The results showed that the contents of total P and organic P in vegetable soils was 1.83 ~ 8.3 times as much as in farmland soils. The percentage of Olsen-P to total P and the percentage of Ca₂-P, Ca₈-P, Al-P and Fe-P to inorganic P were higher in vegetable soils than in farmland soil. In protected vegetable soils, P of various fractions accumulated mainly in the 0 ~ 30 cm soil layer and decreased with depth in soil profile. The decrease was more significant with the content of Olsen-P, Ca₂-P, Ca₈-P and Al-P than with Fe-P, O-P and Ca₁₀-P.

Key words Vegetable soil, Farmland, Fraction of phosphorus, Spatial distribution of P

更正启事

本刊 2005 年第 37 卷第 5 期第 534 页作者单位标注有误, 正确标注应为:

王 平^{1,2} 李凤民^{2*} 刘淑英¹ 吴银明¹ 王 娟¹

(1 甘肃农业大学资源与环境学院 兰州 730070; 2 兰州大学干旱农业生态教育部重点实验室 兰州 730000)

脚注标明李凤民为通讯作者。同时英文摘要作相应改正。特此更正, 谨向作者及读者致歉。