植物营养与肥料学报 2000,6(2):179～186
Plant Nutrition and Fertilizer Science

北方耕地和蔬菜保护地土壤磷素状况研究

刘建玲[1], 张福锁[2], 杨奋翮[3]
(1. 河北农业大学农学院,河北保定 071001; 2. 中国农业大学植物营养系,北京 100094;
3.西北农业大学,陕西杨陵 712100)

摘要: 以北方一般耕地和蔬菜保护地为供试土壤,研究了不同种植条件下土壤磷素状况,蔬菜保护地土壤磷素的空间分布特性。结果表明,蔬菜保护地土壤全磷、无机磷、有机磷、Olsen-P 的平均含量是一般耕地土壤的 2.7～14.0 倍,土壤 Olsen-P 占全磷的比率, Ca_2-P, Ca_8-P, Al-P 占土壤无机磷的比率显著高于一般耕地土壤。蔬菜保护地土壤各形态磷素主要积累在 0～20cm 土层,并随土层深度的增加各形态磷素的含量逐渐降低,各土层 Olsen-P, Ca_2-P, Ca_8-P, Al-P 含量降低幅度明显高于 Fe-P, O-P, Ca_{10}-P 含量的降低值。

关键词: 耕地;蔬菜保护地;土壤磷素;空间分布特性
中图分类号:S158　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1008-505X(2000)02-0179-08

磷是作物高产必须投入的大量营养元素之一,而磷肥的当季利用率一般只有 10%～25%。其原因是施入土壤的磷肥很快转化为 Ca_2-P、Ca_8-P、Al-P、Fe-P 等形态无机磷[1]。不同形态磷酸盐的有效性差异很大[2],因此关于如何提高磷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磷肥,土壤各形态无机磷均有不同程度的积累与消耗,但主要为 Ca-P 的变化[3~5]。长期大量施用磷肥不仅使 0～20cm 耕层土壤磷素大量积累,20～40cm 土层磷素均有不同程度的增加[6]。土壤中磷素的积累与消耗量受土壤性质、种植方式、磷肥用量等多种因素的影响[7]。综观已有的研究资料,对于不同施磷量下耕地、蔬菜保护地的土壤磷素组分变化、空间分布特性等尚缺乏系统研究资料。随着目前蔬菜种植面积的不断增大,蔬菜高产所投入的磷肥量逐渐增加,而磷肥的增产效益却不断降低[8,9]。因此,明确土壤的磷素状况是持续农业中磷肥合理施用的理论基础。为此,以一般耕地、不同棚龄的蔬菜保护地为供试土壤,研究不同种植方式、不同磷肥用量下土壤磷素状况及空间分布特性,旨在为持续农业中合理施用磷肥,优化生态环境提供理论依据。

1　材料与方法

一般耕地土壤取自土壤含磷量不同的褐土、潮土、潮褐土、栗钙土(河北省),北京昌平长期施用不同水平磷肥的潮土等北方主要类型土壤。土壤种植结构为冬小麦—夏玉米轮作一年两熟;莜麦、春小麦单作;冬小麦—夏玉米→春玉米两年三作。蔬菜保护地土壤取自北京郊区各县棚龄 3～13 年的菜地土壤。供试土壤的基本状况见表 1。

土壤无机磷的测定:采用蒋柏藩—顾益初的石灰性土壤无机磷的分级方法[10],其它项目分析均采用

收稿日期:1999-04-09
基金项目:国家自然科学基金重大项目资助(39790100);河北省自然科学基金资助(397141)。
作者简介:刘建玲(1962—),女,河北省滦南县人,河北农业大学教授,主要从事植物营养与合理施肥研究。
本文承河北农业大学李仁岗教授斧正,河北农业大学研究生廖文华参加部分分析工作,在此一并表示感谢。

常规分析方法。

表 1 供试土壤的基本状况

Table 1 The basic properties of selected soils

编号 No.	地点 Place	土类 Types	种植方式 Cultivated models	编号 No.	取样地点 Place	土类 Types	种植方式 Cultivated models
1	满城	褐土	耕地	12	丰台	菜园土	种菜 7 年
2	保定	潮褐土	施肥量较高的耕地	13	朝阳	菜园土	种菜 5 年
3	清苑	潮土	施肥量很低的耕地	14	杨 镇	菜园土	种菜 4 年
4	昌平	潮土	一般耕地	15	榆垡	菜园土	种菜 3 年
5	昌平1)	潮土	12 年磷肥有机肥配施耕地	16	李贤	菜园土	种菜 3 年
6	昌平1)	潮土	12 年施较高磷肥	17	大孙各庄	菜园土	种菜 7 年
7	昌平2)	潮土	一般施肥耕地	18	李遂	菜园土	种菜 3 年
8	张家口	栗钙土	耕地(19 个样品平均值)	19	沿河	菜园土	种菜 3 年
9	马连洼	菜园土	种菜 13 年	20	富壕	菜园土	种菜 8 年
10	四季青	菜园土	种菜 13 年	21	宋庄	菜园土	种菜 9 年
11	白庙	菜园土	种菜 10 年				

1) 6 个样品的平均值, Average of 6 samples; 2) 24 个样品的平均值 Average of 24 samples

2 结果与分析

2.1 耕地与蔬菜保护地的土壤磷素状况

一般耕地、蔬菜保护地土壤的磷素状况如表 2 所示。研究结果表明,北方耕地土壤全磷含量为 412.2～968.0mg/kg,平均为 619.5mg/kg;北京郊区种植 3～13 年的蔬菜保护地上土壤全磷含量为 816.2～2921.4mg/kg,平均为 1711.4mg/kg。土壤磷素组成以无机磷(Pi)为主,其含量占土壤全磷的 76.6%～91.7%,平均为 83.5%, 土壤有机磷(Po)占 16.5%,一般耕地与蔬菜保护地两种类型的土壤比较,土壤无机磷占土壤全磷的比率无显著差异。一般耕地土壤 Olsen-P(Pol)的含量为 6.0～34.1mg/kg, 平均为 12.2mg/kg, 占土壤全磷的 1.1%～4.4%, 平均为 2.1%;而蔬菜保护地土壤 Pol 的含量为 23.0～372.1mg/kg,平均为 170.9mg/kg,占土壤全磷的 2.8%～17.1%,平均为 9.1%。以上结果说明,蔬菜保护地由于长期大量施用磷肥,土壤全磷、无机、有机磷总量和 Pol 的平均含量分别是一般耕地的 2.8、2.7、3.0、14.0 倍,而且大量施入磷肥使土壤 Pol 占土壤全磷的比率显著增加,而土壤中无机、有机磷库占土壤全磷的比率无明显变化。说明在土壤磷素组成中,土壤无机磷、有机磷间存在一动态平衡,长期大量施入的磷肥按一定相对稳定的比例同时增加土壤无机磷、有机磷库,从而保持土壤中两种形态磷库间的动态平衡。

2.2 耕地、菜地的土壤无机磷素的组分

耕地、蔬菜保护地的土壤无机磷组分(表 3)表明,两种种植条件下的土壤各形态无机磷的含量,蔬菜保护地土壤 Ca_2-P、Ca_8-P、Al-P、Fe-P、O-P 的含量显著高于一般耕地。两种类型土壤无机磷组分均以 Ca-P 为主,分别占土壤无机磷总量的 48.1%～90.8%,平均为 69.9%。土壤 Ca-P 的组分为:耕地 Ca_2-P、Ca_8-P、Ca_{10}-P 分别占土壤 Ca-P 的 1.0%～6.0%、

表 2　耕地与蔬菜保护地土壤的磷素组成(0～20cm)

Table 2　The P fractions of cultivated and vegetable soil(0～20cm)

种植方式 Type	地　点 Site	全　磷 Total P (mg/kg)	无机磷 Inorganic P (mg/kg)	Pi/TP (%)	有机磷 Organic P (mg/kg)	Po/TP (%)	Olsen-P (mg/kg)	Pol/TP (%)
耕地	满城	556.0	522.0	93.9	34.0	6.1	12.2	2.2
	保定	968.0	708.2	73.2	259.8	26.8	27.1	2.8
	清苑	510.0	472.4	92.6	37.6	7.4	6.2	1.2
	昌平	550.0	490.0	89.1	60.0	10.9	6.0	1.1
	昌平	589.6	523.9	88.9	65.4	11.1	12.7	2.2
	昌平	773.2	658.2	85.2	114.4	14.8	34.1	4.4
	昌平	596.9	528.2	88.5	68.6	11.5	16.4	2.8
	张家口	412.2	310.2	75.3	101.8	24.7	7.4	1.8
	平均	619.5	527.5	85.8	92.9	14.5	12.2	2.1
菜地	马连洼	2921.4	2238.9	76.6	682.5	23.4	291.7	10.0
	四季青	2921.4	2434.6	83.3	486.8	16.7	295.2	10.1
	丰台	2254.8	1824.0	80.90	430.8	19.1	316.4	14.0
	朝阳	1445.2	1265.1	87.5	180.1	12.5	198.2	13.7
	杨镇	1369.0	1080.9	79.0	288.1	21.0	234.1	17.1
	白庙	2203.0	1899.5	86.2	303.5	13.8	110.9	5.0
	榆垡	848.9	718.2	84.6	130.7	15.4	26.8	3.2
	礼贤	933.6	832.8	89.2	100.8	10.8	50.7	5.4
	大孙各庄	1867.1	1553.4	83.2	313.7	16.8	144.7	7.7
	李遂	1174.3	939.4	80.0	234.9	20.0	97.2	8.3
	沿河	816.2	653.0	80.0	163.2	20.0	23.0	2.8
	富壕	1053.9	872.6	82.8	181.30	17.2	61.0	5.08
	宋庄	2439.9	2237.4	91.7	202.5	8.3	372.1	15.3
	平均	1711.4	1426.9	83.5	284.5	16.5	170.9	9.1

1.7%～44.8%、51.8%～97.3%，平均为 3.6%、17.8%、78.8%;蔬菜保护地分别为 5.0%～17.9%、27.3%～45.1%、13.3%～28.0%，平均为 12.7%、37.0%、20.2%。耕地土壤 Al-P、Fe-P、O-P 分别占土壤无机磷的 0.8%～10.7%、2.9%～12.2%、5.5%～16.7%，平均为 6.9%、8.1%、10.5%；蔬菜保护地分别为 6.8%～13.6%、3.2%～7.8%、10.9%～16.3%,平均为 11.0%、5.8%、13.3%。说明蔬菜保护地上由于长期大量施入的磷肥,土壤磷主要以作物的有效磷源 Ca_2-P 及缓效磷源 Ca_8-P、Al-P 积累在土壤中,3 种形态无机磷占土壤无机磷量的 53.8%～68.8%,平均为 60.7%;而耕地土壤为 3.2%～43.7%,平均为 21.7%。Ca_{10}-P 占土壤无机磷的比率,耕地为 63.2%,菜地平均只有 20.2%。可见,O-P、Ca_{10}-P 是土壤中相对稳定的无机磷组分,施入土壤的磷肥在较短时间内不易以 O-P、Ca_{10}-P 等磷酸盐积累;而 Ca_2-P、Ca_8-P、Al-P 等形态的无机磷则是土壤中不稳定的组分,其强度大小取决于土壤磷素的积累与消耗。菜地土壤由于大量施入磷肥使 0～20cm 土层出现了 Ca_2-P、Ca_8-P、Al-P 等形态无机磷的相对积累,而且以 Ca_8-P 积累为主。Ca_8-P 的积累量占 3 种形态磷素积累总量的 50.4%～79.3%,平均为 61.0%;Ca_2-P, Al-P 的积累分别占 20.9%

和 18.1%。

表 3 0～20cm 耕地、蔬菜保护地土壤无机磷组成

Table 3 Inorganic P fractions of cultivated and vegetable soil in 0～20cm layer

类型 Type	土号 No.	Ca_2-P		Ca_8-P		Al-P		Fe-P		O-P		Ca_{10}-P	
		mg/kg	%[1)]	mg/kg	%	mg/kg	%	mg/kg	%	mg/kg	%	mg/kg	%
耕地	1	11.0	2.1	40.7	7.8	16.8	3.2	33.6	6.4	50.9	9.8	369.0	70.7
	2	27.0	3.8	250.8	35.1	34.4	4.8	38.5	5.4	74.8	10.5	289.7	40.5
	3	4.0	0.9	7.2	1.5	3.6	0.8	13.9	2.9	26.1	5.5	417.6	88.4
	4	9.8	2.0	44.0	9.0	36.2	7.4	43.0	8.8	56.2	11.5	300.8	61.4
	5	12.5	2.4	61.5	11.7	39.7	7.6	44.8	8.6	57.1	10.9	308.3	58.8
	6	30.9	4.7	118.1	17.9	61.5	9.3	61.7	9.4	65.1	9.9	320.9	48.8
	7	15.7	3.0	58.9	11.2	39.7	7.5	50.3	9.5	58.2	11.0	306.5	58.0
	8	8.5	2.7	19.2	6.2	33.1	10.7	37.8	12.2	51.8	16.7	159.8	51.5
	平均	18.3	3.0	90.5	14.2	38.7	6.9	44.7	8.1	56.9	10.5	312.6	57.4
菜地	9	271.8	12.1	991.2	44.3	278.0	12.4	129.6	5.8	270.1	12.1	298.2	13.3
	10	279.0	11.5	968.4	39.8	330.7	13.6	133.1	5.5	375.1	15.4	348.3	14.2
	11	226.3	17.9	345.9	27.3	109.3	8.6	83.0	6.6	159.4	12.6	341.2	27.0
	12	94.5	5.0	856.8	45.1	128.7	6.8	61.3	3.2	226.2	11.9	532.1	28.0
	13	219.1	12.0	644.2	35.3	236.2	12.9	107.6	5.9	304.4	16.7	312.5	17.2
	14	192.2	17.8	324.2	30.0	126.3	11.7	84.7	7.8	117.4	10.9	236.0	21.8
	平均	213.8	12.4	688.5	37.6	201.5	11.3	99.9	5.8	242.1	13.6	344.7	19.9

1)% 各形态无机磷占无机磷总量% = 各形态无机磷/无机磷总量×100

% Pi fraction of total Pi(%) = Pi fraction/Total Pi×100

2.3 蔬菜保护地土壤各形态磷素的空间分布特性

表 4 表明,长期施入土壤的磷肥主要积累在 0～20cm 土层中。该层土壤全磷、总无机磷平均含量分别为 2185.8、1790.5mg/kg;20～40cm 土壤全磷、总无机磷含量分别相当于 0～20cm 土壤全磷、总无机磷含量的 43.1%～44.9%;40～60、60～80、80～100cm 土层含量分别相当于 0～20cm 全磷、总无机磷含量的 29.5%～31.2%、22.3%～27.2%、19.8%～25.1%。0～20cm 土层 Olsen-P 平均含量为 241.1mg/kg, 20～40cm 土壤 Olsen-P 的含量相当于 0～20cm 土层该形态磷含量的 30.1%;40～60、60～80、80～100cm 土层含量分别相当于 0～20cm 土壤 Olsen-P 含量的 15.2%、9.6%、6.6%。0～20cm 土壤 Ca_2-P、Ca_8-P、Al-P 的含量分别为 94.5～271.8mg/kg、324.2～991.2mg/kg、109.3～330.7mg/kg, 平均为 213.8、688.5、201.5mg/kg;20～40cm 土层 Ca_2-P、Ca_8-P、Al-P 的含量分别相当于 0～20cm 该形态磷含量的 35.9%、29.5%、38.8%;40～60cm 分别为 19.2%、11.7%、15.2%;60～80cm 为 11.9%、6.4%、10.2%;80～100cm 为 8.9%、5.2%、7.7%。0～20cm 土壤 Fe-P、O-P、Ca_{10}-P 的平均含量分别为 99.9、242.1、344.7mg/kg;20～40cm 土层 Fe-P、O-P、Ca_{10}-P 含量分别相当于 0～20cm 该形态磷含量的 68.6%、52.2%、73.5%;40～60cm 分别为 55.1%、46.4%、60.3%;60～80cm 为 48.4%、33.4%、52.1%;80～100cm 为 43.8%、30.2%、

表 4　蔬菜保护地土壤各形态磷素的空间分布特性(mg/kg)

Table 4　The content of phosphorus fractions in vegetable soils at different in 0～100cm layer

地点 Site	层次 Profile (cm)	Ca_2-P	Ca_8-P	Al-P	Fe-P	O-P	Ca_{10}-P	Tot.-Pi	Olsen-P	Tot.-P
马连洼 (13)[1]	0～20	271.8	991.2	278.0	129.6	270.1	298.2	2238.9	291.7	2921.4
	20～40	91.2	244.2	108.6	86.6	111.7	207.6	849.9	77.9	1026.2
	40～60	52.9	104.3	53.7	78.5	96.4	112.1	497.9	47.0	635.8
	60～80	21.9	19.0	17.9	69.3	96.4	59.6	284.1	16.2	369.2
	80～100	7.1	16.6	8.3	57.0	96.4	40.5	225.9	8.4	350.0
四季青 (13)	0～20	279.0	968.4	330.7	133.1	375.1	348.3	2434.6	295.2	2921.4
	20～40	130.3	456.8	158.2	80.6	195.6	267.2	1288.7	101.5	1588.2
	40～60	57.3	201.5	64.1	58.2	191.8	207.6	780.5	43.1	997.6
	60～80	47.7	152.2	56.9	56.3	86.8	159.8	559.7	37.0	921.8
	80～100	43.9	144.8	55.7	56.1	83.0	164.6	548.1	27.0	912.0
白庙 (10)	0～20	94.5	856.8	128.7	61.3	226.2	532.1	1899.6	110.9	2203.0
	20～40	15.2	114.0	31.0	47.5	115.5	331.6	663.2	24.9	840.3
	40～60	15.2	50.5	13.9	47.5	98.3	260.0	493.8	13.0	700.9
	60～80	5.8	28.5	13.9	41.3	86.8	236.2	415.7	10.1	660.8
	80～100	2.6	21.2	9.0	39.8	48.7	217.1	339.9	6.3	569.0
丰台 (7)	0～20	219.1	644.2	236.2	107.6	304.4	312.5	1824.0	316.4	2254.8
	20～40	121.4	255.8	87.2	77.5	104.0	241.0	886.9	137.9	1140.6
	40～60	70.1	89.6	33.4	57.5	102.1	207.6	560.3	78.6	721.4
	60～80	57.8	35.8	18.7	50.3	96.4	202.8	461.8	52.2	588.2
	80～100	48.1	18.7	16.3	42.7	92.6	193.2	411.6	34.2	531.0
杨镇 (5)	0～20	192.2	324.2	126.3	84.7	117.4	236.0	1080.8	234.1	1369.0
	20～40	53.0	87.2	57.8	69.9	75.4	192.3	536.5	63.7	740.6
	40～60	23.6	6.5	11.4	49.4	56.3	188.5	335.7	27.3	464.4
	60～80	1.6	1.6	11.4	38.4	41.0	155.1	249.1	12.1	464.4
	80～100	0.6	0.4	4.1	33.6	41.0	121.7	202.4	9.1	435.8
朝阳 (3)	0～20	226.3	345.9	109.3	83.0	159.4	341.2	1265.1	198.2	1445.2
	20～40	40.7	50.5	26.1	48.9	155.6	279.1	600.9	29.5	702.4
	40～60	18.7	28.5	6.5	38.9	132.7	272.3	497.6	11.2	569.2
	60～80	15.2	25.8	4.1	35.0	77.3	264.8	422.3	11.2	569.2
	80～100	9.0	13.9	0.4	33.6	77.3	264.8	399.0	9.5	493.0
平均	0～20	213.8	688.5	201.5	99.9	242.1	344.7	1790.5	241.1	2185.8
	20～40	76.7	201.4	78.2	68.5	126.3	253.3	804.4	72.6	941.3
	40～60	41.0	80.2	30.5	55.0	112.9	208.0	527.6	36.7	681.6
	60～80	25.5	43.8	20.5	48.4	80.8	179.7	398.8	23.1	595.6
	80～100	19.0	35.9	15.6	43.8	73.2	167.0	354.5	15.8	548.5

1) 括号内为种菜年限. Means planting years in brackets.

48.5%。以上结果说明,蔬菜保护地上长期大量施入的磷肥主要以 Ca_2-P、Ca_8-P、Al-P 等形态的无机磷积累在 0～20cm 土层,其次为 20～40cm 土层,随土层深度的增加,3 种形态无机磷的含量逐渐降低。而 Fe-P、O-P、Ca_{10}-P 在 0～20cm 土层含量较高,20cm 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 Ca_2-P、Ca_8-P、Al-P 等形态的无机磷[2],土壤中磷素的移动性小,因此 0～20cm 土层出现了 Ca_2-P、Ca_8-P、Al-P 的大量积累。石灰性土壤 Fe-P 的含量较低,施入土壤的磷肥转化为 Fe-P 的量相对较少,因此 0～100cm 各土层 Fe-P 含量的变化幅度明显低于 Ca_2-P、Ca_8-P、Al-P 的变化。土壤中 O-P、Ca_{10}-P 是相对稳定的土壤无机磷组分,施入土壤的磷肥在短时期内不易转化为 O-P、Ca_{10}-P,因此,土壤各层次 O-P,Ca_{10}-P 含量的变化幅度较小。

表 4 结果还说明,菜地的棚龄长短,影响菜地 0～100cm 土体各形态磷的含量,种菜 5 年以上的菜地,长期大量施入的磷肥使 0～60cm 土壤各形态磷素均显著增加,并随土壤层次的增加其含量逐渐减少。而种菜 5 年以下的菜地,施入磷肥主要增加 0～40cm 土层各形态磷的含量,60～100cm 土层的各形态磷含量变化较小。

2.4 耕地、菜地土壤各形态磷素间的相关性

表 5 结果表明,0～20cm 土层土壤 Olsen-P 与全磷、无机磷、有机磷含量呈显著正相关,说明土壤全磷、无机磷、有机磷对 Olsen-P 均有一定的贡献。土壤 Olsen-P 与全磷、无机磷的相关系数值相近,说明土壤总磷库以土壤无机磷库为主。土壤 Olsen-P 与 Ca_2-P 的相关系数达到 0.9779,其相关方程为:$Y_{Pol} = 1.4963 + 1.1092Ca_2\text{-}P$,说明土壤 Ca_2-P 是 Olsen-P 主要贡献者;Olsen-P 与 Ca_8-P、Al-P、Fe-P、O-P 的相关性也均达到显著水平。可见,土壤 Ca_8-P、Al-P、Fe-P、O-P 对土壤 Olsen-P 也有一定的贡献。

表 5 耕地、蔬菜保护地上 Olsen-P 与土壤不同形态磷素间的相关性(0～20cm)

Table 5 The correlation coefficients between Olsen-P and the fractions of inorganic P

形 态 Fractions	相关系数 Correlation coefficients	形 态 Fractions	相关系数 Correlation
全磷	0.8976	Ca_2-P	0.9779
无机磷	0.8993	Ca_8-P	0.7705
有机磷	0.7327	Al-P	0.925
$r_{0.05(0.01)}$	0.526(0.413)	Fe-P	0.940
		O-P	0.894
		Ca_{10}-P	—
		$r_{0.05\ (0.01)}$	0.514(0.641)

3 讨论

土壤积累态磷是指施入土壤未被作物吸收累积在土壤中的磷。已有的资料表明,石灰性土壤中,施入土壤的磷肥主要以 Ca_2-P、Ca_8-P 积累[3,4]。由于土壤中磷素的移动性较小,磷肥主要以无机磷形式积累在 0～20cm 土层[11]。长期大量施用磷肥对土壤底层磷含量有一定的影响,如高量施用磷肥 40 年,表层 Bray-P 含量高达 350mg/kg,而不施肥的处理 Bray-P 含量只有 13 mg/kg,施磷处理 45～60cm 的土层土壤 Bray-P 显著高于不施磷肥的处

理[12]。

本试验所选耕地为华北地区不同磷素水平的石灰性土壤,包括潮土、褐土、潮褐土、栗钙土等,耕地的磷肥用量为 P_2O_5 0～270kg/hm^2,不同地区磷肥用量差异很大。蔬菜保护地土壤取自北京郊区 3～13 年棚龄的 0～100cm 的菜地土壤。由于菜地的复种指数高,各种肥料用量很大。据统计,菜地土壤化学磷肥用量是耕地土壤磷肥用量的 5～10 倍,有机肥用量平均 4.5t/hm^2。因此,在蔬菜保护地上磷素的投入远远大于支出,土壤磷素处于大量积累状态,从而使得蔬菜保护地上土壤各形态磷素含量比一般耕地高 5～13 倍。由于石灰性土壤中的磷肥主要转化为 Ca_2-P、Ca_8-P,其次为 Al-P、Fe-P,因此蔬菜保护地上 0～20cm 土层土壤出现了 Ca_2-P、Ca_8-P、Al-P 大量积累。随土壤深度的增加,3 种形态磷素的含量显著降低。其中 0～20cm 土层 Ca_2-P、Ca_8-P、Al-P 的含量是 20～40cm 各形态无机磷含量 2.9 倍;是 40～60cm 土层的 6.5 倍,60～100cm 土层的 12 倍。而土壤中 Fe-P、O-P、Ca_{10}-P 各土层含量的差异明显低于 Ca_2-P、Ca_8-P、Al-P。其中 0～20cm 土层 Fe-P、O-P、Ca_{10}-P 的含量是 20～40cm 各形态磷含量 1.5 倍;是 40～60cm 土层的 1.9 倍,60～100cm 土层的 2.3 倍。这些结果说明了大量施用磷肥主要转化为土壤 Ca_2-P、Ca_8-P、Al-P,并主要积累 0～40cm 土层,其次为 Fe-P、O-P、Ca_{10}-P。蔬菜保护地上长期大量施用的磷肥不仅使 0～40cm 土壤各形态磷素大量积累,而且 40～100cm 土层各形态磷素均有不同程度的增加。说明尽管土壤中磷素的移动性很小,但在长期大量施用磷肥时,表层土壤磷素不同程度向下运移。长期大量施用磷肥造成的土壤磷素淋失在沙质土壤,高磷含量土壤上表现更为突出[13]。由此可见,长期大量施用磷肥时,土壤磷素向下淋失及土壤侵蚀对水体富营养化的影响是值得思考的问题[14]。

蔬菜保护地、耕地土壤无机磷占土壤全磷的比率很接近,说明在北方石灰性土壤上,大量施用的磷肥按一定的比例同时增加了土壤全磷、无机磷。在土壤无机磷的积累中,蔬菜保护地土壤 Ca_2-P、Ca_8-P、Al-P 占无机磷的比率显著高于一般耕地,而土壤中 Fe-P、O-P、Ca_{10}-P 占土壤无机磷的比率显著低于耕地。充分说明了施入土壤的磷肥主要以 Ca_2-P、Ca_8-P、Al-P 等形态的无机磷积累在土壤中,且在短时期内土壤中磷肥转化为 O-P、Ca_{10}-P 较少,使菜地土壤 O-P、Ca_{10}-P 占土壤无机磷的比重较低。菜地土壤 Fe-P 占土壤无机磷的比重较低可能是因为石灰性土壤的磷素组成中 Fe-P 占土壤无机磷的比率较低,施入石灰性土壤的磷肥转化为 Fe-P 的量相对较少。由于土壤 Ca_2-P、Ca_8-P、Al-P 的高量积累,使得土壤中 Fe-P 占土壤无机磷的比重相对较低。

参 考 文 献

[1] 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.

[2] 蒋柏藩.石灰性土壤无机磷有效性的研究[J]. 土壤,1992,24:61～64.

[3] 陈欣,宇方太,沈善敏.磷肥低量施用制度下土壤磷库的发展变化Ⅱ,土壤有效磷及土壤无机磷组成[J]. 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、形态转化和有效性[J]. 土壤,1997,(1):13～17.

[5] Rubeak G H and Sibbesen E. Soil phosphorus dynamics in a long-term field experiment at Askov[J]. Biol. Fertil. Soils. 1995,20:86～92.

[6] Schwab A P and Kulyingong S. Changes in phosphate activities and availability indexes with depth after 40 years of fertilization[J]. Soil Science, 1989,147(3):179～186.

[7] Dhillon N S and Dev.G. Transformation of soil inorganic P fraction under various crop rotation[J]. J. Indian Soc. Soil Sci., 1988, 36:709~713.

[8] 马茂桐,陈际型,谢建昌.我国菜园土壤的养分状况与施肥[A].菜园土壤肥力与蔬菜合理施肥论文集[C].1997.25~31.

[9] 梁成华,等.沈阳市郊区蔬菜保护地上土壤盐分动态研究[A].菜园土壤肥力与蔬菜合理施肥论文集[C].1997.283~288.

[10] 顾益初,蒋柏藩.石灰性土壤无机磷的分级方法[J].土壤肥料,1990,22(2):101~102.

[11] Haynes R J and Williams P H. Long-term effect of superphoshate on accumulation of soil phosphorus and exchangeable cations on a grazed, irrigated pasture site[J]. Plant and Soil, 1992, 142:123~133.

[12] Schwab A P and Kulyingong. Changes in phosphate activities and availability indexes with depth after 40 years of fertilization[J]. Soil Science, 1989, 147(3):179~186.

[13] Sims J T, Simard R R and Joern B C. Phosphorus loss in agriculture drainage: historical perspective and current research [J]. J. Environ. Qual., 1998, 27: 277~293.

[14] Sharpley A N. Assessing phosphorus bioavailability in agricultural soils and runoff[J]. Fertilizer Research, 1993, 6:259~272.

Fractions of phosphorus in cultivated and vegetable soils in northern China

LIU Jian-ling[1], ZHANG Fu-suo[2], YANG Fen-he[3]

(1. *Agric. Univ. of Hebei, Baoding* 071001; 2. *China Agric. Univ., Beijing* 100094;
3. *Northwestern Agric. Uvin., Yangling Shanxi* 712100)

Abstract: Fractions of phosphorus in cultivated and vegetable soil in northern China was studied. The main results showed that the content of total P, inorganic P, organic P in vegetable soil was 2.7~14.0 times as much as in cultivated soil. The percent of Olsen-P to total P and Ca_2-P Ca_8-P, Al-P, Fe-P to inorganic P was higher in vegetable soil than in cultivated soil. The contend of Olsen-P, Ca_2-P, Ca_8-P, Al-P in the profile of 20~40cm, 40~60cm, 60~100cm soil were accounting for 34.6%, 15.3%, 10.7% of the depth of 0~20cm soil, respectively. The contents of total phosphorus and inorganic phosphorus in the profile of 20~40cm, 40~60cm, 60~100cm soil were accounting for 44.0%, 30.4%, 23.6%. The positive correlation coefficient was indicated that Olsen-P was correlated significantly to total P, inorganic-P, organic-P, Ca_2-P, Ca_8-P, Al-P, Fe-P.

Key works: cultivated land; vegetable soil; fractions of phosphorus; space distribution of P