

长期不施肥条件下几种典型土壤全磷和 Olsen-P 的变化

曲均峰^{1,2}, 李菊梅^{2*}, 徐明岗², 戴建军¹

(1 东北农业大学资源与环境学院, 哈尔滨 150030; 2 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081)

摘要: 研究了 11 个不同气候条件、不同耕作制度、典型土壤类型长期定位试验不施肥处理土壤全磷和 Olsen-P 变化及其影响因素。结果表明, 在长期不施肥条件下耕作, 土壤 Olsen-P 含量下降比全磷明显; 在试验进行 5 年左右, 土壤全磷含量都有所降低, 以后各点表现不尽相同, 新疆灰漠土、长沙水稻土和郑州潮土全磷含量随时间延长呈显著直线下降, 其它试验点全磷的变化不明显; 作物携出磷与土壤全磷下降之间, 无论绝对含量或相对含量都不成比例。土壤 Olsen 磷下降率比全磷高几倍。Olsen-P 下降趋势与起始土壤 Olsen 磷含量有关: 起始土壤 Olsen-P 磷大于 20 mg/kg 时, 25 年内一直呈现明显下降趋势, 降低 40.5 mg/kg, 特别是前 5 年下降更快, 降低 30 mg/kg; 起始土壤 Olsen-P 为 10~20 mg/kg 时, 下降趋势比前者缓慢, 15 年内一直呈明显下降趋势, 下降 19 mg/kg, 前 5 年下降 15 mg/kg, 15 年后几乎不变; 起始土壤 Olsen-P 小于 10 mg/kg 时, 25 年内无明显变化。Olsen-P 下降量与起始 Olsen-P 占全磷的比例成显著直线关系。

关键词: 长期定位试验; 不施肥土壤; 全磷; Olsen-P

中图分类号: S153.6⁺1

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2008)01-0090-09

Total-P and Olsen-P dynamics of long-term experiment without fertilization

QU Jun-feng^{1,2}, LI Ju-mei^{2*}, XU Ming-gang², DAI Jian-jun¹

(1 College of Resources and Environment, Northeast University, Haerbin 150030, China;

2 Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, CAAS, Beijing 100081, China)

Abstract: Dynamics of total phosphorus and Olsen-P of soils without fertilization were studied with long-term experiment on eleven typical soils. The results indicated that changes of Olsen-P were more significant than that of total P over time in all soils. Soil total P decreased linearly with time for gray desert soil, paddy soil and fluvo-aquic soil, but did not change significantly for other soils. Decreases in soil total P was not significantly correlated with crop P uptake. Tendency of soil Olsen-P decrease differed with initial Olsen-P content in the soils. When initial Olsen-P was greater than 20 mg/kg, it decreased quickly and reduced 30 mg/kg in 5 years and reduced 40.5 mg/kg in 25 years. When initial Olsen-P was between 10 mg/kg and 20 mg/kg, they decreased slowly and reduced 15 mg/kg in 5 years and 19 mg/kg in 15 years. When initial Olsen-P was less than 10 mg/kg, there was no obvious change over time. The ratios of Olsen-P to total-P and avail-N to Olsen-P were two important factors influencing Olsen-P change. Olsen-P decreased linearly with ratio of Olsen-P to total-P.

Key words: long-term experiment; no-fertilization; total P; Olsen-P

土壤磷是植物磷素的唯一来源, 全磷和 Olsen-P 含量是土壤肥力的重要指标, 全磷表明土壤磷库大小, Olsen-P 代表可供作物吸收利用的磷素水平^[1]。

施肥虽然是作物高产的最有效措施, 但是土壤本身的供磷能力仍是作物吸收磷素主要来源^[2-4], 即使在施用磷肥的土壤上, 作物吸收的磷大部分来

收稿日期: 2006-12-25

接受日期: 2007-05-22

基金项目: "973"项目(2005CB121102); 国家科技支撑计划项目(2006BAD02A14, 2006BAD05B09)资助。

作者简介: 曲均峰(1980—), 男, 硕士研究生, 主要从事长期定位试验中土壤磷演化规律研究。E-mail: qjf-1980@163.com

* 通讯作者 Tel: 010-68918649, E-mail: jnli@caas.ac.cn

自于土壤。土壤的供磷水平是制订施肥决策和推荐施肥的重要因素之一,不同土壤供磷水平的肥料效益不同。在供磷水平低的土壤上,施用磷肥一般有良好的效益;供磷水平高的土壤上,施用磷肥效果不明显,甚至无效。党廷辉等^[5]研究表明,黑垆土平均自然供磷能力为 7.31 kg/hm²,小麦吸收的磷素平均 28.7% 来自肥料,71.3% 来自土壤。明确土壤自身磷演变过程和供磷能力,才能更进一步了解土壤质量演变情况和培肥措施的效果,对科学施肥特别是目前测土配方施肥有重要实际指导意义。

土壤全磷和 Olsen-P 受自然因素和人为因素影响颇复杂,变化过程漫长。我国南方、西北、东北气候条件迥异,土壤类型多样,成土母质来源不同,土壤性状也随之有很大差异。南、北方种植的作物种类、复种指数、耕作方式和产量差异也很大,所以任何短期试验和单点试验都不能说明我国土壤供磷状况。只有把各区域典型土壤磷素变化状况联系比较,才能客观地反映我国土壤自然供磷状况。本试验比较了我国 11 个不同类型土壤长期不施肥处理土壤磷素变化,探讨不同类型土壤自然供磷水平差异,为了解我国典型区域土壤磷供应状况,为合理施用磷肥,特别是平衡推荐施肥和农业可持续发展提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验所选的 11 种类型土壤的长期定位试验分

布于我国 10 个省份,自然条件差别较大。武汉水稻土位于南湖试验站,发育于第四纪粘黄棕壤,年降雨量 1300 mm,年平均气温 15.5℃;杭州水稻土位于浙江农科院试验场,发育于湖海相过渡浅海沉积物,年降雨量 1550 mm,年平均气温 15~17℃;长沙水稻土位于湖南农科院试验场,发育于红壤性第四纪红色粘土,年降雨量 1300~1400 mm,年平均气温 17~17.5℃;南昌水稻土位于江西农科院试验场,发育于第四纪亚红粘土(即莲塘层)母质中潜黄泥田,年降雨量 1600 mm,年平均气温 17.5℃;黑土位于哈尔滨黑龙江农科院院内,发育于粘质洪积黄土状母质,年降雨量 533 mm,年平均气温 3.5℃;黄潮土位于徐州农科所院内,发育于砂壤黄泛冲积母质,年降雨量 650~750 mm,年平均气温 10~15℃;潮土位于郑州河南农科院试验场,发育于黄土性母质,年降雨量 645 mm,年平均气温 14.4℃;黄土位于杨凌高新农业技术示范区,发育于黄土性母质,年降雨量 550~600 mm,年平均气温 15.5℃;紫色土位于重庆西南农大试验场,发育于侏罗系沙溪庙组紫色泥岩风化残积、坡积物,年降雨量 1300 mm,年平均气温 13℃;灌漠土位于张掖农科所试验场,发育于中壤冲积母质,年降雨量 127 mm,年平均气温 7.0℃;灰漠土位于新疆农科院院内,发育于黄土状洪积—冲积母质,年降雨量 310 mm,年平均气温 7.7℃。试验开始时的土壤基本性质列于表 1,各点长期定位试验起始时间和种植方式列于表 2。

表 1 各点长期试验起始时土壤基本性质

Table 1 Properties of original soils used for the long-term experiments

土类 Soil type	有机质 OM	全氮 Total N (g/kg)	全磷 Total P	碱解氮 Avail N	Olsen-P (mg/kg)	速效钾 Avail K	pH
黑土 BS	27.0	1.48	1.07	149.2	51.0	210.0	7.4
武汉水稻土 WPS	27.4	—	1.00	150.7	5.00	98.5	6.3
长沙水稻土 CPS	35.5	2.05	0.66	151.0	10.2	62.3	6.6
南昌水稻土 NPS	25.6	1.36	0.49	81.6	20.8	35.0	6.5
杭州水稻 HPS	28.7	1.67	1.10	94.1	77.2	67.5	6.6
紫色土 PuS	25.5	1.58	0.54	95.0	5.4	112.1	7.2
黄土 LS	10.9	0.83	0.61	61.3	9.57	191.0	8.6
黄潮土 YF	10.8	0.66	0.74	—	12.0	63.0	8.0
潮土 FA	10.2	1.01	0.64	76.6	9.6	65.0	8.3
灌漠土 ID	12.1	0.76	0.82	28.1	21.7	99.1	8.5
灰漠土 GD	15.2	0.87	0.67	55.2	3.4	288.0	8.1

注(Note): BS—Black soil; WPS—Wuhan paddy soil; CPS—Changsha paddy soil; NPS—Nanchang paddy soil; HPS—Hangzhou paddy soil; PuS—Purple soil; LS—Loess soil; YF—Yellow fluvo-aquic soil; FA—Fluvo-aquic soil; ID—Irrigated desert soil; GD—Grey desert soil. The same below.

表 2 各试验点基本情况

Table 2 Basic information of long-term experiments

土类 Soil type	起始时间 Start time	种植制度 Cropping system
黑土 BS	1980	小麦—大豆—玉米, 一年一熟 Wheat-Soybean-Corn, Single cropping system
灰漠土 GD	1990	玉米—小麦, 一年一熟 Corn-Wheat, Single cropping system
灌漠土 ID	1982	小麦—小麦—玉米, 一年一熟 Wheat-Wheat-Corn, Single cropping system
潮土 FA	1990	小麦—玉米, 一年两熟 Wheat-Corn, Double cropping system
黄土 LS	1990	小麦—玉米, 一年两熟 Wheat-Corn, Double cropping system
黄潮土 YF	1980	小麦—玉米, 一年两熟 Wheat-Corn, Double cropping system
武汉水稻土 WPS	1981	水稻—小麦, 一年两熟 Rice-Wheat, Double cropping system
杭州水稻土 HPS	1990	大麦—早稻—晚稻, 一年三熟 Barley-Rice-Rice, Triple cropping system
紫色土 PuS	1990	水稻—小麦, 一年两熟 Rice-Wheat, Double cropping system
南昌水稻土 NPS	1984	水稻—水稻, 一年两熟 Rice-Rice, Double cropping system
长沙水稻土 CPS	1981	水稻—水稻, 一年两熟 Rice-Rice, Double cropping system

1.2 试验设计

黑土、灰漠土、潮土、黄土、杭州水稻土、紫色土试验处理相同, 均为: CK、N、NP、NK、PK、NPK、NPKM, 每季作物肥料施用量: N (尿素) 150 kg/km², P₂O₅ (过磷酸钙) 75 kg/km², K₂O (氯化钾) 75 kg/km², NPKM 处理中有机肥 N:化肥 N 为 7:3, 所有施氮处理等氮量。灌漠土、黄潮土、武汉水稻土、南昌水稻土和长沙水稻土处理相同, 均为: CK、N、NP、NK、PK、NPK, 每季作物肥料施用量都为: N (尿素) 150 kg/km², P₂O₅ (过磷酸钙) 75 kg/km², K₂O (氯化钾) 112.5 kg/km²。

1.3 采样和分析项目与方法

每季作物收获后, 在每个不施肥小区用土钻取 0—20 cm 混合土样带回实验室, 土样风干后根据分析项目需要磨碎过筛处理。

土壤全磷用 H₂SO₄—HClO₄ 消煮, 钼锑抗比色法; 土壤 Olsen-P 用 0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提, 钼锑抗比色法; 全氮用开氏法测定, 有机质用重铬酸钾容量法测定, pH 用酸度计测定^[6]。

数据质量是以每次测定插入已知含量的标准土样控制的, 2006 年又重新对原始土样和部分历史土样数据抽查测定。文中土壤全磷和 Olsen-P 均以 P 表示。

2 结果分析

2.1 长期不施肥土壤全磷变化

2.1.1 试验进行 10 年土壤全磷的变化 土壤全磷主要来自成土母质和施入的肥料。长期不施肥减少了土壤磷素补充, 而生长的作物又不断地由其中吸

取磷, 结果导致土壤全磷不断消耗。本研究表明, 随试验时间延长, 土壤全磷呈下降趋势, 下降程度随土壤类型和原来磷含量而变化, 为了便于比较, 以第 10 年土壤全磷含量减去起始土壤全磷含量的值来看土壤全磷变化, 结果全磷下降最多的是新疆灰漠土 (下降 0.223 g/kg); 其次为南昌水稻土和哈尔滨黑土 (下降 0.13 g/kg)。长沙水稻土和重庆紫色土下降 0.10 g/kg, 其它土壤低于 0.05 g/kg, 杭州水稻土没有下降 (图 1)。从下降比例来看, 新疆灰漠土全磷下降 33%, 幅度最大; 其次为南昌水稻土, 下降 27%。长沙水稻土和重庆紫色土下降 15%; 徐州黄潮土和哈尔滨黑土分别下降 11% 和 12%; 其他低于 6.3%。

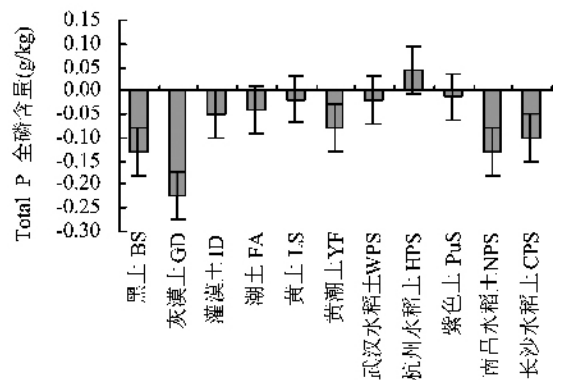


图 1 不施肥 10 年后不同土壤类型全磷含量变化

Fig. 1 Changes of total P in different soil types without fertilization for 10 years

2.1.2 试验全过程土壤全磷变化动态 从土壤全磷变化 (图 2) 可以看出, 试验期间土壤全磷变化分为两种情况, 一是除武汉水稻土和杭州水稻土外, 其

它不施肥土壤全磷含量随试验时间延长呈下降趋势,其中灰漠土、长沙水稻土和郑州潮土全磷下降与试验时间显著直线相关,直线方程的回归系数表明,新疆灰漠土和黄土下降最快,郑州潮土和南昌水稻土次之,长沙水稻土、灌漠土和黑土下降缓慢。二是

武汉水稻土和杭州水稻土在试验过程中全磷含量基本没有变化,这两种土壤起始土壤肥力状况较好,全磷虽呈增加趋势,但没有显著的线性关系,可以认为这两个土壤全磷没有明显变化。

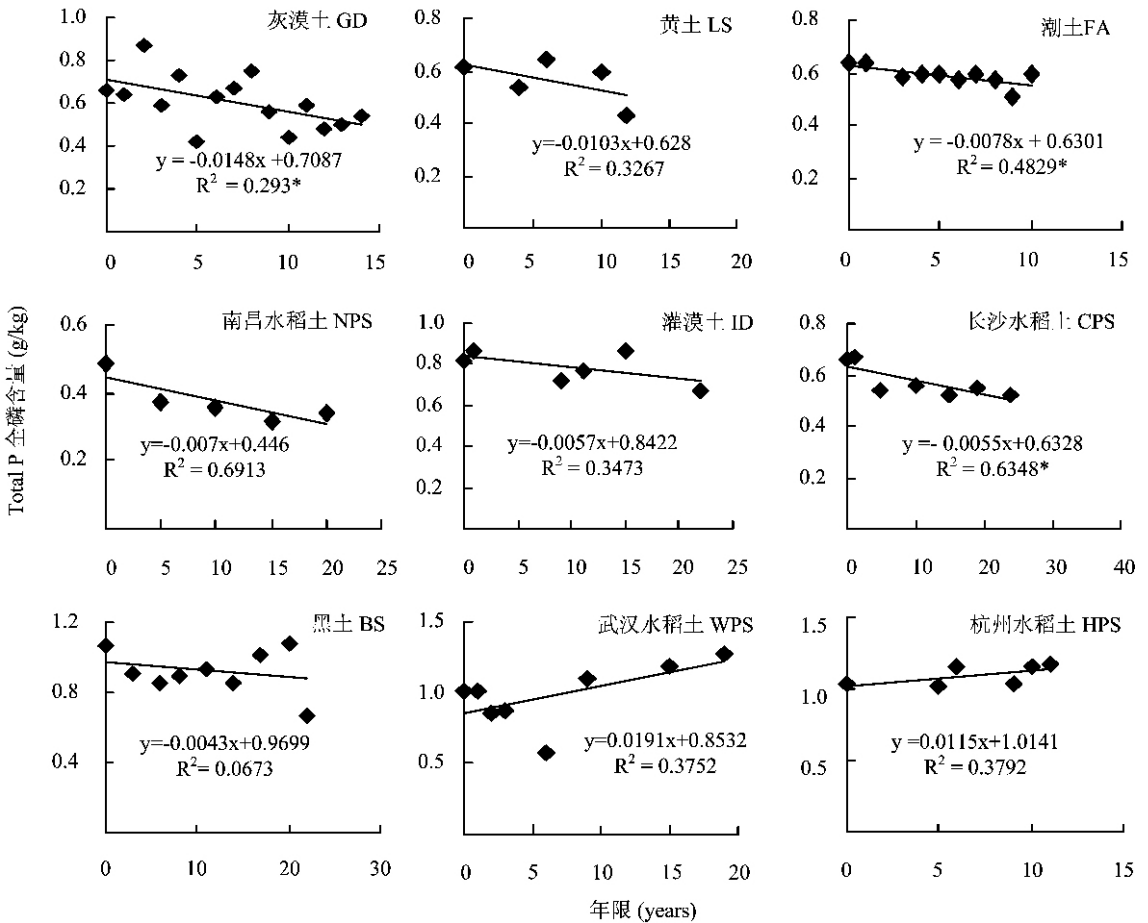


图2 不同土壤全磷变化动态

Fig.2 Dynamics of total P in no-fertilizer soils

2.1.3 作物吸收从土壤移走的磷与全磷下降的关系 磷在土壤中移动缓慢,溶解性又很小,淋失和随水流失的量很小,因而作物吸收携出是土壤磷素主要的支出项。表3看出,南方土壤携出的磷素高于北方土壤,杭州水稻土、长沙水稻土、武汉水稻土、郑州潮土和南昌水稻土,携出量高于 $160 \text{ kg}/\text{hm}^2$;重庆紫色土、张掖灌漠土、新疆灰漠土上作物携出磷素小于 $80 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 。假设作物吸收的磷都来自耕层土壤,按耕层土壤 $2\ 250\ 000 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 计,那么,作物带走的磷占耕层土壤全磷量的百分比为:哈尔滨黑土 4.6%,长沙水稻土 14.9%,南昌水稻土 15.1%,杭州水稻土 19.3%,武汉水稻土 8.0%,重庆紫色土

4.4%,徐州黄潮土 8.2%,杨陵黄土 7.6%,郑州潮土 15.0%,张掖灌漠土 4.1%,新疆灰漠土 3.5%。虽然所有土壤全磷都有不同程度降低,但作物携出量与土壤全磷下降量,无论绝对含量或相对含量,都不成比例。就初始土壤含磷高的武汉水稻土和杭州水稻土来看,作物产出量大,携出磷多,土壤全磷下降却很少。含磷中等且含量大致相当的重庆紫色土、长沙水稻土、徐州黄潮土、杨陵黄土、郑州潮土和新疆灰漠土,土壤全磷含量为 $0.61 \sim 0.74 \text{ g}/\text{kg}$,作物携出量和全磷下降量不成比例;长沙水稻土和郑州潮土携磷量相差不大,但长沙水稻土全磷下降 15.2%,而郑州潮土仅下降 6.3%,二者下降量相差

2.5 倍。重庆紫色土和长沙水稻土全磷下降 15.2% ,但是长沙水稻土携出磷量却是重庆紫色土的 3 倍多 ;重庆紫色土和新疆灰漠土携出磷量相差 13.1 kg/hm² ,但是新疆灰漠土全磷下降却是重庆紫色土的 2.2 倍。总体来看 ,起始含磷高的土壤 ,全磷

下降的绝对量和相对量都小 ;起始含磷很低的土壤随收获物带走磷量的增加而快速下降。哈尔滨黑土起始含磷高 种植作物引起土壤全磷下降幅度仅次于南方土壤。

表 3 各种土壤类型 10 年移出量

Table 3 Output over 10 years in different soils

土类 Soil type	年份 Year	作物移走 P Uptake P (kg/hm ²)	起始全磷 Total P (g/kg)	起始 Olsen-P Olsen-P (g/kg)	10 年全磷减少		10 年 Olsen-P 减少	
					Total P Reduced (g/kg)	(%)	Olsen P Reduced (mg/kg)	(%)
黑土 BS	1980 ~ 1989	111.2	1.07	51.0	0.13	12.1	20.8	40.8
长沙水稻土 CPS	1981 ~ 1990	221.0	0.66	10.2	0.10	15.2	6.9	67.6
南昌水稻土 NPS	1984 ~ 1993	166.9	0.49	20.8	0.13	26.5	11.8	56.7
杭州水稻土 HPS	1991 ~ 2000	477.7	1.10	77.2	-0.04	-4.0	6.3	8.2
武汉水稻土 WPS	1982 ~ 1991	180.7	1.00	5.0	0.02	1.9	-0.2	-4.0
紫色土 PuS	1991 ~ 2000	66.3	0.67	5.4	0.102	15.2	2.3	42.6
黄潮土 YF	1981 ~ 1990	136.3	0.74	12.0	0.08	10.8	7.4	61.7
黄土 LS	1991 ~ 2000	103.9	0.61	9.6	0.018	3.0	5.6	58.5
潮土 FA	1991 ~ 2000	215.4	0.64	9.4	0.04	6.3	17.8	84.4
灌漠土 ID	1982 ~ 1991	75.9	0.82	21.7	0.05	6.1	17.7	81.6
灰漠土 GD	1990 ~ 1999	53.2	0.67	3.4	0.22	33.4	0.5	14.7

2.2 不同类型土壤 Olsen-P 的变化

2.2.1 土壤 Olsen-P 与土壤全磷的关系 试验土壤中 ,杭州水稻土 Olsen-P 含量最高 ,武汉水稻土最低 ,二者相差 15 倍。按照第二次土壤普查对土壤速效磷的分级标准 ,哈尔滨黑土、杭州水稻土起始 Olsen-P 含量属一级 (> 40 mg/kg) ,南昌水稻土和张掖灌漠土属二级 (20 ~ 40 mg/kg) ,其他土壤属三、四级 (5 ~ 20 mg/kg) (表 3)。虽然土壤类型、各土壤所处地理位置、气候条件不同 ,土壤全磷与 Olsen-P 含量显著相关 (图 3)。从 Olsen-P 占全磷的比例来看 ,哈尔滨黑土最高 ,占全磷 4.77% ;南昌水稻土、杭州水稻土和郑州潮土分别为 4.24%、3.37% 和 3.30% ;张掖灌漠土 2.65% ;徐州黄潮土、杨陵黄土和长沙水稻土分别为 1.62%、1.57% 和 1.54% ;其它土类小于 1%。显然 ,哈尔滨黑土、南昌水稻土、杭州水稻土和郑州潮土的供磷水平较高 ,新疆灰漠土低。

2.2.2 10 年不施肥土壤 Olsen-P 变化 试验进行 10 年后 ,各土壤 Olsen-P 含量都有不同程度下降。哈尔滨黑土下降最多 ,为 20.8 mg/kg ;次为张掖灌漠土和郑州潮土 ,分别下降 17.7 和 17.8 mg/kg ;南昌水稻土下降 11.8 mg/kg ;杨陵黄土、杭州水稻土、

徐州黄潮土、长沙水稻土下降 5.6 ~ 7.4 mg/kg ;重庆紫色土比较稳定 ,下降很少。从下降比例来看 ,张掖灌漠土下降 80% 以上 ;长沙水稻土、南昌水稻土、徐州黄潮土、郑州潮土、杨陵黄土下降 57% ~ 68% ;哈尔滨黑土和重庆紫色土下降 41% ~ 43% (图 4)。

2.2.3 长期不施肥土壤 Olsen-P 在不施肥的土壤上 ,Olsen-P 变化分为 3 种情况 :一种是哈尔滨黑土、徐州黄潮土、长沙水稻土、杨陵黄土、郑州潮土 ,Olsen-P 随试验时间延长直线下降 ,相关系数达显著或极显著水平 (图 5)。从直线方程斜率分析其下降速率 ,哈尔滨黑土 > 徐州黄潮土 > 长沙水稻土 ≈ 杨陵黄土 ≈ 郑州潮土。第二种情况是杭州水稻土、南昌水稻土和张掖灌漠土 ,Olsen-P 下降趋势与试验时间呈指数关系 (图 6) ,下降幅度也较大。第三种情况是武汉水稻土、新疆灰漠土和重庆紫色土 ,Olsen-P 含量虽随试验时间延长变化无规律 (图 7) ,虽然 Olsen-P 含量有上升或下降趋势 ,但是线性不显著。其含量大多低于 5 mg/kg ,变幅也很小 :武汉水稻土变幅为 5.7 ± 1.3 mg/kg ,新疆灰漠土为 3.7 ± 2.5 mg/kg ,重庆紫色土为 3.7 ± 1.6 mg/kg。

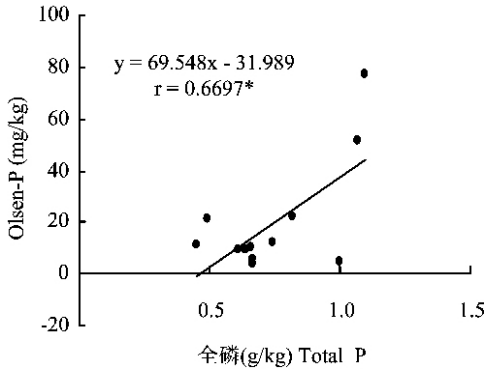


图 3 起始土壤 Olsen-P 与全磷的关系
Fig.3 Relationship between Olsen-P and total P in original soil

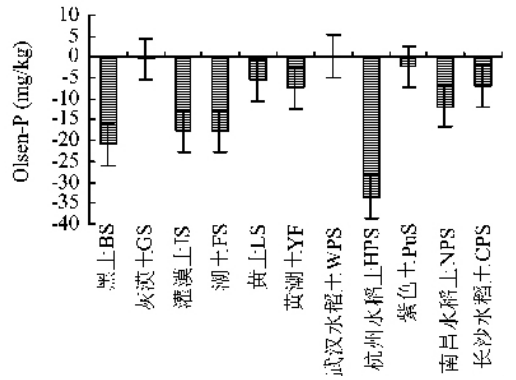


图 4 不施肥 10 年后不同土壤类型 Olsen-P
Fig.4 Changes of Olsen-P in different soil types without fertilization for 10 years

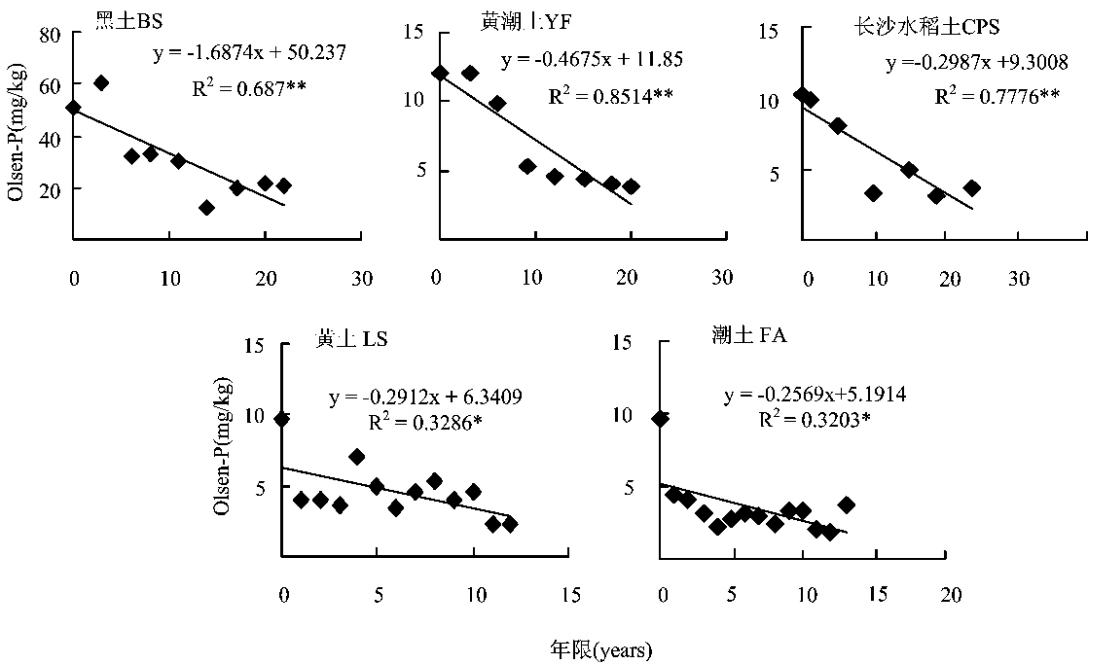


图 5 土壤 Olsen-P 下降与试验时间呈直线相关
Fig.5 Linear correlation between soil Olsen-P and time

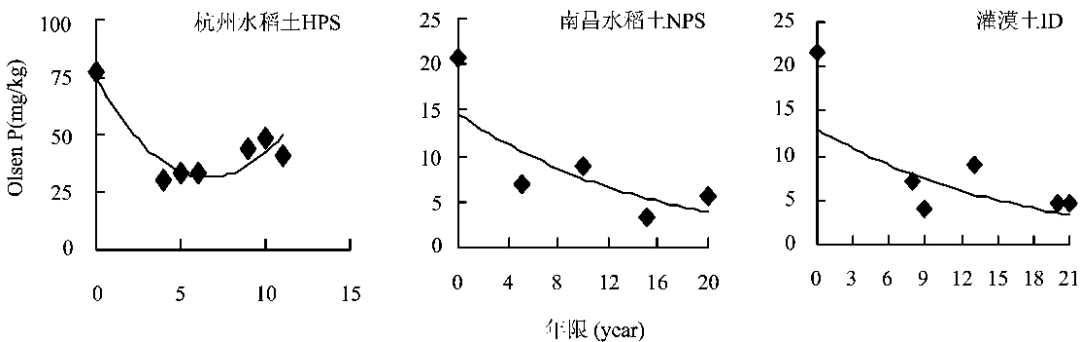


图 6 土壤 Olsen-P 下降与试验时间呈指数关系
Fig.6 Exponential relationship between soil Olsen-P and time

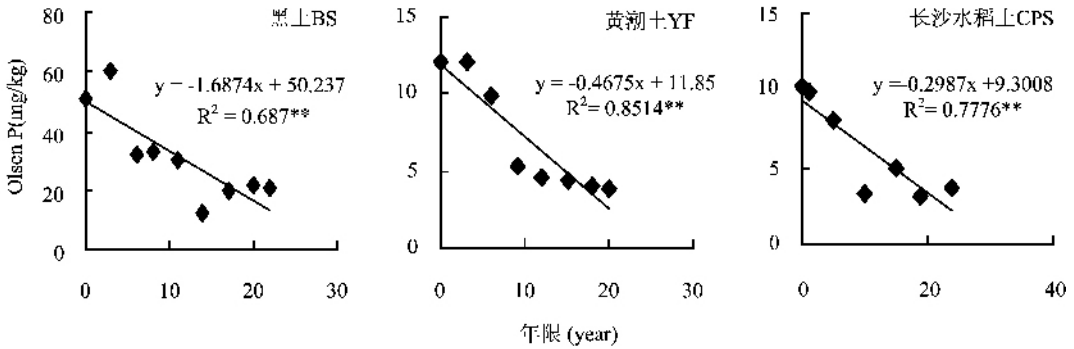


图7 土壤 Olsen-P 随试验时间延长的变化

Fig.7 Changes of soil Olsen-P with time

3 讨论

土壤是个开放体系,土壤全磷含量受磷素收支平衡影响。不施肥土壤上,土壤磷的主要来源是干湿沉降和灌水带入,磷的支出项有淋失、土壤侵蚀,主要支出是作物携出。在干旱的雨养农业区土壤磷素收支项比较明了,淋失很少^[7-9],也无降雨和灌溉引起磷补充;但是在灌溉量大、降雨量大的区域,长期受淋洗作用淋出根际的几率很高^[10-12]。磷在土壤粘粒中比例较高,因为土壤侵蚀作用损失粘粒,从而引起了磷损失^[13],所以不难理解长期不施肥土壤全磷和 Olsen-P 下降。国内外许多长期试验结果表明,在不施肥的土壤上,长期耕种引起土壤全磷和 Olsen-P 下降^[7-22];且大部分试验结果显示,土壤有机磷损失比无机磷严重^[14-15],与有机质矿化有关^[15]。本研究经过通径分析发现,土壤有机质对土壤全磷有显著贡献。林葆等^[16]总结我国化肥网长期试验结果,10 年不施肥区土壤全磷平均下降 0.006%;赵秉强和张夫道^[17]根据我国肥力网长期试验结果证明,不施肥条件下土壤全磷有下降趋势。黑龙江省农科院内 15 年不施肥的土壤长期定位试验表明,土壤全磷下降 19.6%,平均每年下降 1.3%^[18];23 年不施肥黑土,全磷下降了 37.4%,速效磷下降了 60%^[19-21]。Dala^[13]的长期定位研究表明,连续 10 年和 45 年种植谷类作物,土壤全磷分别下降 19% 和 61%,无机磷分别下降 17% 和 57%,有机磷分别下降 23% 和 69%;Haas 等^[14]长期试验结果表明,耕作 28 年,土壤全磷和有机磷分别下降 8% 和 35%。本试验土壤全磷含量变化趋势与这些研究结果一致。

作物携出磷是土壤磷主要支出项。许多试验结果表明,土壤全磷和 Olsen-P 下降与作物吸磷量和产

量关系密切。如江西余江县不施用磷肥红壤,作物从土壤中吸收磷 9 kg/hm²,土壤全磷减少 270 kg/hm²,有效磷减少 1.5 kg/hm²,土壤全磷和有效磷含量分别降低了 0.28 和 1.6 g/kg^[22];江西进贤红壤性水稻土 19 年不施磷,耕层土壤全磷量稳定下降,下降幅度与生物产量高低一致^[22]。本试验所选的 11 个试验点,无论作物产量和作物累计从土壤中吸收的磷都与土壤全磷和 Olsen-P 下降没有明确的关系。原因可能是各试验点的自然条件和耕作方式、作物种类、生长状况不同,根系在土体分布密度、深度不同,携出磷所占土壤体积不同;也与起始土壤 Olsen-P 含量、全磷动态趋势不一等有关。在同一试验点可能分析出它们之间的关系,但在差别大的条件下,很难确定出这些点之间的统一关系。另外,土壤本身是个巨大的磷库,10 年作物从其中吸收的磷素很少。假定植物吸收的磷素全部来自表层,携出磷占土壤全磷的 3.5%~19.3%;如假定来自 0—60 cm 土层,则携出磷仅占土壤全磷的 1.2%~6.4%;越深比例越小。由于这一原因,植物吸收引起土壤磷下降的比例在土壤磷的分析误差之内,很难分析出它们之间确定的关系。

Olsen-P 是植物易吸收态磷,数量小,易变化,影响因素复杂,虽然下降数量难与全磷相比,而下降率比全磷高几倍。国内外众多试验表明,不施磷肥,土壤 Olsen-P 在栽培作物过程中不断降低^[11-26],植物吸收是主要影响因素^[14],随试验时间延长,Olsen-P 占全磷的比例逐年下降。国家化肥网长期监测结果表明,不施肥土壤,Olsen-P 每年平均下降 1~1.5 mg/kg^[17-18]。Olsen-P 与作物携出磷显著正相关($R^2 = 0.5143^{**}$)。在本试验中,尽管各试验点土壤 Olsen-P 动态不同,有的随试验年限延长呈直线下降,有的呈曲线下降,但是可以看出,起始土壤

Olsen-P 含量越高,其下降幅度越大,而达到一定程度时则几乎不再下降。这表明土壤中 Olsen-P 下降有一定阈值,到达这个阈值,Olsen-P 维持相对稳定状态,不再明显下降。这一阈值大约在 5 mg/kg 左右。产生阈值的一个重要原因是到达这一范围时,土壤缺磷已成为植物生长的限制因素,植物生长不良,小的生物量携取的磷极小,因而对 Olsen-P 的影响也就不大。由于各个土壤有效磷供应能力与恢复能力不同,到达阈值的时间不同。祁阳红壤、杨陵黄土和郑州潮土的 Olsen-P 在很短的时间内到达这一阈值,徐州黄潮土、长沙水稻土、南昌水稻土的 Olsen-P 在 5~8 年降到这一水平。据此估计,不施肥时,哈尔滨黑土 30 年后就会出现 P 极缺的状况。

参考文献:

- [1] 全国土壤普查办公室. 中国土壤[M]. 北京:中国农业出版社,1998.
The National Soil Survey Office. Soil of China[M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 1998.
- [2] 彭琳,杨平,刘耀宏,等. 渭北高原旱地小麦化肥施用效果[J]. 干旱地区农业研究,1986,(1):32-39.
Peng L, Yang P, Liu Y H *et al.* Effects of application of chemical fertilizers upon winter wheat in rainfed lands on Weibei highland[J]. Agric. Res. Arid Areas, 1986, 4(1):32-39.
- [3] 李生秀. 不同前作对磷肥后效的影响[J]. 西北农业大学学报,1992(增刊):74-78.
Li S X. The residual effect of phosphate fertilizer of different crops in calcareous soil[J]. J. Northwest Sci-Tech Univ. Agric. For., 1992 (Suppl.):74-78.
- [4] 李生秀,赵伯善. 中国旱地合理施肥之刍议[J]. 土壤通报,1991,22(4):145-148.
Li S X, Zhao B S. Discussion on fertilizing reasonably in dryland soil in China[J]. Chin. J. Soil Sci., 1991, 22(4):145-148.
- [5] 党廷辉,郭胜利,郝明德. 旱地冬小麦氮磷自然供给能力及其吸收氮磷来源的长期定位试验[J]. 植物营养与肥料学报,2001,7(2):166-171.
Dang T H, Guo S L, Hao M D. Study on N, P natural supplying capacity and their source absorbed by winter wheat in arid highland under long-term fertilization conditions[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2001, 7(2):166-171.
- [6] 中国土壤学会. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,2000.
Chinese Soil Academic Association. The analysis methods of soils and their agro chemistries[M]. Beijing:China Agricultural Science and Technology Press, 2000.
- [7] 樊军,郝明德,党廷辉. 长期定位施肥对黑垆土剖面养分分布特征的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2001,7(3):249-254.
Fan J, Hao M D, Dang T H. Effect of long-term fertilization on nutrient distribution in profiles of black loessial soil[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2001, 7(3):249-254.
- [8] 杨学云,李生秀,Brook P C. 灌溉与旱作条件下长期施肥 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.
Yang X Y, Li S X, Brookes P C. Phosphorus distribution and leaching in loessial soil profile with long-term fertilization under irrigation and rainfed condition[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2004, 10(3):250-254.
- [9] 鲁如坤,时正元,赖庆旺. 红壤长期施肥养分的下移特征[J]. 土壤,2000,32(1):27-29.
Lu R K, Shi Z Y, Lai Q W. Nutrient descend in red soil with long-term fertilization[J]. Soils, 2000, 32(1):27-29.
- [10] Sims T, Simard R, Joern B. Phosphorus loss in agricultural drainage: Historical perspective and current research[J]. J. Environ. Qual., 1998, 27:277-293.
- [11] Eghball B, Binford G, Baltensperger D. Phosphorus movement and adsorption in a soil receiving long-term manure and fertilizer application[J]. J. Environ. Qual., 1996, 25:1339-1343.
- [12] Katarina B, Elisabetta B, Erasmus O. Impact of long-term inorganic phosphorus fertilization on accumulation, sorption and release of phosphorus in five Swedish soil profiles[J]. Nutr. Cycl. Agroecosyst., 2004, 69:11-21.
- [13] Dalal R C. Long-term phosphorus trends in vertisols under continuous cereal cropping[J]. Aust. J. Soil Res., 1997, 35:327-339.
- [14] Haas H J, Grunes D L, Reichman G A. Phosphorus changes in Great Plains soils as influenced by cropping and manure applications[J]. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 1961, 25:214-218.
- [15] Agbenin J O, Goladi J T. Carbon, nitrogen and phosphorus dynamics under continuous cultivation as influenced by farmyard manure and inorganic fertilizers in the savanna of northern Nigeria[J]. Agric. Ecosyst. Environ., 1997, 63:17-24.
- [16] 林葆,林继雄,李家康. 长期施肥的作物产量和土壤肥力变化[M]. 北京:中国农业科技出版社,1996.
Lin B, Lin J X, Li J K. The changes of crop yield and soil fertility with long-term fertilizer application[M]. Beijing: Chinese Agricultural Science and Technology Press, 1996.
- [17] 赵秉强,张夫道. 我国的长期肥料定位试验研究[J]. 植物营养与肥料学报,2002,8(增刊):3-8.
Zhao B Q, Zhang F D. Long-term fertilizer experiments in China[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2002, 8(Suppl.):3-8.
- [18] 郑铁军. 黑土长期施肥对土壤磷的影响[J]. 土壤肥料,1998,(1):39-41.
Zheng T J. The effect of long-term fertilization on black soil phosphorus[J]. Soils Fert., 1998(1):39-41.
- [19] 周宝库,张喜林. 长期施肥对黑土磷素积累、形态转化及其有效性影响的研究[J]. 植物营养与肥料学报,2005,11(2):143-147.
Zhou B K, Zhang X L. Effect of long-term phosphorus fertilization on the phosphorus accumulation and distribution in black soil and its availability[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2005, 11(2):143-147.
- [20] 周宝库,张喜林,李世龙,等. 长期施肥对黑土磷素积累及有效性影响的研究[J]. 黑龙江农业科学,2004,(4):5-8.

- Zhou B K , Zhang X L , Li S L *et al.* . Study on soil phosphorus accumulation and its availability through long-term fertilization to black soil [J]. Heilongjiang Agric. Sci. , 2004 , (4) : 5-8.
- [21] 孔宏敏 , 何圆球 , 吴大付 , 等 . 长期施肥对红壤旱地作物产量和土壤肥力的影响 [J]. 应用生态学报 , 2004 , 15 (5) : 782-786.
- Kong H M , He Y Q , Wu D F *et al.* . Effect of long-term fertilization on crop yield and soil fertility of upland red soil [J]. Chin. J. Appl. Ecol. , 2004 , 15 (5) : 782-786.
- [22] 黄庆海 , 李茶苟 , 赖涛 , 等 . 长期施肥对红壤性水稻土磷素积累与形态分异的影响 [J]. 土壤与环境 , 2000 , 9 (4) : 290-293.
- Huang Q H , Li C G , Lai T *et al.* . Effects of long-term fertilization on the accumulation and forms of phosphorus in paddy soil derived from red earth [J]. Soil Environ. Sci. , 2000 , 9 (4) : 290-293.
- [23] 王平 , 李凤民 , 刘淑英 , 等 . 长期施肥对黑垆土无机磷形态的影响研究 [J]. 土壤 2005 37 (5) : 534-540.
- Wang P , Li F M , Liu S Y *et al.* . Effects of long-term fertilization on forms of inorganic phosphorus in calcic kastanozem [J]. Soils , 2005 , 37 (5) : 534-540.
- [24] 李莉 , 李絮花 , 李秀英 , 等 . 长期施肥对褐潮土磷素积累、形态转化及其有效性的影响 [J]. 土壤肥料 2005 , (3) : 32-35.
- Li L , Li X H , Li X Y *et al.* . Effect of long-term fertilization on accumulation , transformation and availability of phosphorus in fluvo-aquic soil [J]. Soils Fert. , 2005 , (3) : 32-35.
- [25] Standley J , Hunter H M , Thomas G A *et al.* . Tillage and crop residue management affect vertisol properties and grain sorghum growth over seven years in the semi-arid subtropics [J]. Soil Till. Res. , 1990 , 18 : 367-388.
- [26] Best E K , Strong W M , Cooper J E *et al.* . Predicting soil phosphorus test values [C]. Toowoomba : Dept of Primary Industries , Queensland Wheat Res. Inst. , Biennial Report , 1986-1988 , 1991.