

不同土地利用方式下土壤无机磷形态与酶活性空间变异特征

王鑫

(陇东学院 生命科学系, 甘肃 庆阳 745000)

摘要: 对陇东黄土高原不同土地利用方式下黄绵土和黑垆土土壤磷形态、无机磷形态和土壤酶活性的空间分布特征及其相关性进行了研究。研究结果表明,土壤无机磷(P_i)含量随土层加深均呈下降趋势;有机磷(P_o)含量在果园黑垆土和菜园土中呈下降趋势;农田、苜蓿地全磷(TP)含量随土层加深呈上升趋势;各利用方式 0—20 cm, 20—40 cm 土层速效磷(P_{oi})与 TP, P_o 呈极显著的正相关。各无机磷形态平均含量依次为 $Ca_{10}-P > Ca_8-P > Al-P > Fe-P > Ca_2-P > O-P$ 。黄绵土利用中 Ca_8-P , $Al-P$ 和 Ca_2-P 随土层加深呈下降趋势。黑垆土农田、果园和菜园土则呈上升趋势。土壤酶活性与土壤无机磷形态相关性强弱依次为:果园 > 菜园 > 农田、撂荒地 > 沙棘林、苜蓿地、烤烟地;与酶活性的相关性强的无机磷形态依次为 $Al-P > Ca_{10}-P > Ca_2-P > Ca_8-P > Fe-P, O-P$ 。

关键词: 土地利用变化; 无机磷形态; 土壤酶活性; 空间变异; 相关性

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2008)05-0112-06

中图分类号: S152.7+.2

Spatial Variation of Soil Inorganic Phosphorus Forms and Soil Enzyme Activities Under Different Land Use Types

WANG Xin

(Department of Life Science, Longdong University, Qingyang, Gansu 745000, China)

Abstract: Spatial distribution and correlation of soil phosphorus, inorganic phosphorus forms, and enzyme activities in loessial soil and dark loessial soil under different land uses were studied on the Loess Plateau of Gansu Province. Results showed that as the depth of soil layer increased, inorganic phosphorus decreased, as well as organic phosphorus in dark loessial soil in orchard and vegetable garden. However, total phosphorus in farmland and alfalfa land increased with increased soil depth. There was a very significantly positive correlation between soil phosphorus and organic phosphorus in 0—20 and 20—40 cm soil layers for each land use type, as well as between soil phosphorus and total phosphorus. In terms of the average inorganic phosphorus content, $Ca_{10}-P$, Ca_8-P , $Al-P$, $Fe-P$, Ca_2-P , and $O-P$ were ranked in descending order. As the depth of soil layer increased, Ca_8-P , $Al-P$, and Ca_2-P in loessial soil decreased, but they increased in dark loessial soil in orchard, farmland, and vegetable garden. In terms of the correlation between soil inorganic phosphorus forms and enzyme activities, orchard, vegetable garden, farmland, wasteland, sea buckthorn forest, and alfalfa and tobacco lands were ranked in descending order. In terms of the correlation between soil inorganic phosphorus and soil enzyme activities, $Al-P$, $Ca_{10}-P$, Ca_2-P , Ca_8-P , $Fe-P$, and $O-P$ were ranked in descending order.

Keywords: land use change; inorganic phosphorus form; soil enzyme activity; spatial variation; correlation

磷是植物生长发育的必需营养物质之一,参与多种关键的植物代谢活动。植物体所利用的磷素,主要来源于土壤库,平均含量在 0.02%~0.2% (P_2O_5 0.05%~0.46%) 之间^[1-2]。近年来我国磷矿资源正

在快速枯竭^[3],其原因在于土壤长期过量的磷肥投入导致土壤磷素水平提高,土壤耕层处于富磷状态,土壤磷通过地表径流,土壤侵蚀,淋洗等途径,加速向水体迁移的速度,造成非点源性磷素污染加剧^[4]。磷在

土壤中的化学行为和存在形态及磷素在土壤—植物系统中的循环转化对于植物生长的意义值得探究,自然界中磷主要以 5^+ 价的形态存在,而植物从土壤中吸收的磷主要是初级磷酸($H_2PO_4^-$),其次是次级磷酸(HPO_4^{2-})的形态,虽然农户年年施用磷肥,但磷素在土壤中通过生物和化学固定而积累,故土壤中有效磷供应不足,成为植物生长的主要问题。这一现象在北方石灰性土壤上表现更加突出^[5]。

土壤酶是土壤生态系统代谢的一类重要动力,其活性是与土壤质量的很多理化性质相联系的,一直被作为评价土壤生产力和土壤质量的指标^[6-10]。有些学者也反复强调了土壤酶活性与土壤肥力的直接相关性^[11-12]。在获悉了足够的、必要的参数和相关关系后,应用数学分析方法^[13],研究酶活性的强弱有助于评价土壤的肥力^[6,14-16]。陇东黄土高原地处半湿润半干旱过渡的生态脆弱带^[17-18],由于不合理的土地利用,导致生态环境恶化并形成恶性循环,严重危及当地社会经济的可持续发展^[19]。本文主要研究不同土地利用方式对磷素形态空间变异与酶活性的影响特征,为生境脆弱带土地资源的可持续利用和生态环境建设以及建立农业现代化生产提供理论依据^[17-18]。

1 材料与方法

1.1 研究区状况

陇东地区地处黄土高原中部地区平凉、庆阳两市(106°20'—108°45' E, 35°15'—37°10' N),总面积38 259.8 km²,其中水土流失面积约33 220 km²,占陇东黄土高原流域总面积的79.9%,地形地貌复杂多样,分为高原沟壑区、丘陵沟壑区、黄土丘陵区、土石山区4个地貌类型区,其中以丘陵沟壑区、高原沟壑区所占的面积最大,分别为1 877.5 km²,18 053 km²,占总流域面积的41.3%,39.7%;水土流失也以这两类最为严重。该地区属于温带、暖温带半湿润半干旱性气候,年降水量为471~638 mm。土壤为弱度发育的粉质黏土,主要为黄绵土、黑垆土类^[14,17-18]。

1.2 供试土壤及其化学性质

分析土壤为陇东黄土高原半干旱地区黄绵土和黑垆土。在调查的基础上分别采集烤烟地、苜蓿地、果园、农田(对照)、菜园地、撂荒地、人工沙棘林(详见表1)。分0—20 cm(上层)、20—40 cm(中层)、40—60 cm(下层)土层采集,采集样品后除去植物根系、石块等,然后在常温下晾干,研磨,过筛,装袋密封备用。

表1 0—20 cm 土层土壤的基本情况

编号	利用方式	管理措施	年限/a	土壤类型	采样地点	有机质/ (g·kg ⁻¹)	碱解氮/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)
Y	烤烟栽培	连年使用烟草复合肥,不施有机肥,地膜覆盖	23	黑垆土	正宁县	12.55	66.29	193.88
M	苜蓿种植	粗放管理,不施任何肥料	10	黄绵土	西峰市郊	9.54	39.06	172.17
G	苹果栽培	精细管理,每1 hm ² 施有机肥75 t,配合化肥	20	黑垆土	西峰市郊	10.93	30.86	273.64
N	小麦、玉米等轮作种植	一般管理,仅施用化肥,不施有机肥	常年	黑垆土	西峰市郊	10.51	78.29	182.69
C	温室黄瓜	精细管理,每1 hm ² 施优质有机肥75 t,配合大量化肥,灌溉	10	黑垆土	西峰市郊	15.20	132.09	528.67
L	农田撂荒	无任何管理措施,自然生态恢复	5	黄绵土	西峰市郊	9.44	41.07	161.85
S	人工沙棘林	无任何管理措施,自然生态恢复	10	黄绵土	西峰市郊	8.50	32.90	136.74

1.3 分析项目及方法

土壤中全磷、速效磷、有机磷检测分别采用H₂SO₄—HClO₄消化—钼锑抗比色法,0.5 mol/L浓度NaHCO₃浸提—钼锑抗比色法和分离测定法,无机磷形态采用石灰性土壤无机磷分级测定法^[15]。过氧化氢酶、脲酶、多酚氧化酶、碱性磷酸酶、转化酶分别采用高锰酸钾滴定法、靛酚比色法、硫代硫酸钠滴定法、7230 G分光光度法、苯磷酸钠比色法^[16]。

2 结果与分析

2.1 不同土地利用方式下土壤各形态磷的空间分布特征

表2结果表明,各种土地利用方式土壤全磷、有机磷、无机磷及速效磷变幅依次在569.6~1 596.3 mg/kg,69.29~1 243.2 mg/kg,177.89~603.61 mg/kg和4.07~123.32 mg/kg之间。有机磷、无机

磷、速效磷含量依次占全磷的 10.29%~79.84%, 20.16%~89.7%, 0.56%~7.73% 之间, 平均占全磷含量的 60.87%, 39.13%, 2.82%。全磷和有机磷各土层含量以菜园土和果园土最高, 且表层至下层呈明显的下降趋势, 菜园土和果园土的全磷、有机磷含量远远高于其它利用方式, 说明精耕细作和肥料的大量投入使速效磷通过生物和化学固定致使全磷和有机磷得到大量积累。在黄绵土类利用中, 均属于自然生态的恢复型, 但由于苜蓿为豆科植物, 对磷的利用程度明显高于农田撂荒和人工沙棘林, 使全磷含量相对降低。黑垆土多年连作烟草, 对全磷影响不大, 农田由于轮作倒茬, 对表层磷的利用高于烟草地。普通农田和烟草地有机磷占全磷的相对含量约为 30%~50%, 与有关报道结果相近, 其它利用方式占全磷平均相对含量均高于 50%, 最高近 80%, 与有关报道结果(一般为 30%~50%) 相差甚大^[15,20], 其原因之一可能与经营方式变化有关, 如有机肥的数量和质量(菜园土和果园土), 另一原因是由于自然生态恢复条件下形成的。无机磷含量随土层深度呈减少趋势; 除果园土和菜园土有机磷与无机磷含量随土壤深度均呈下降趋势外, 其它各利用方式土壤由表层至下层有机磷与无机磷含量的变化相反。速效磷以烟草地、撂荒地 and 人工沙棘林由表层至下层呈降低趋势, 其它均呈升高趋势。在烟草地速效磷含量最低, 说明烟草长期连作对速效磷的消耗最大。

2.2 无机磷形态的空间变异特征

表 3 所示, Ca_2-P , Ca_8-P , $Ca_{10}-P$, $Al-P$, $Fe-P$, $O-P$ 含量占无机磷总量的平均值依次为 4.06%, 15.16%, 64.98%, 8.76%, 5.01%, 2.02%。变幅依次为 1.86%~7.20%, 7.34%~30.19%, 44.43%~80.66%, 4.86%~6.61%, 2.06%~9.04%, 0.83%~3.61%。各无机磷形态的平均含量依次为: $Ca_{10}-P > Ca_8-P > Al-P > Fe-P > Ca_2-P > O-P$ 。以 $Ca_{10}-P$ 含量最高, 与相关报道相吻合。各形态无机磷占无机磷总量的相对含量从表层至下层的分布特征为, 烟草土壤除 $Ca_{10}-P$ 呈降低趋势外, 其它各形态的无机磷均呈升高趋势; 果园和农田与烟草地变化趋势正相反, 即除 $Ca_{10}-P$ 上升外, 其它各形态的无机磷均呈降低趋势, 说明烟草长期连作无机磷形态与普通农田和果园有着显著的不同特征; 菜园土 $Fe-P$, $O-P$ 呈下降趋势, 其它为上升趋势, 菜园土由于灌溉和人工小气候的影响又不同于上述两者。苜蓿地 Ca_2-P , Ca_8-P 和 $Al-P$ 为下降趋势, 其它均为上升趋势; 撂荒地的 $Ca_{10}-P$, $Fe-P$ 呈升高趋势, 其它形态为下降趋势; 沙棘林 $Fe-P$, $Al-P$

P 为上升趋势, 其他为下降趋势。在自然生态恢复条件下, 由于不同的利用方式, 其特征各不相同。

表 2 土壤磷素空间分布的总体状况 mg/kg

样品	土层/cm	全磷	有机磷	无机磷	速效磷
Y	0—20	672.9	69.3	603.6	4.08
	20—40	672.5	418.6	254.0	7.55
	40—60	695.1	346.8	348.3	6.43
M	0—20	614.7	331.3	283.4	26.84
	20—40	645.0	414.5	230.5	20.66
	40—60	659.5	428.1	231.4	23.74
G	0—20	1466.7	1171.1	295.6	53.71
	20—40	1072.5	789.1	283.4	42.77
	40—60	978.0	695.0	283.0	24.26
N	0—20	587.4	215.4	372.0	18.07
	20—40	652.8	255.9	396.9	18.63
	40—60	723.2	414.5	308.7	4.07
C	0—20	1596.3	1243.2	353.1	123.32
	20—40	1109.1	802.4	306.8	65.79
	40—60	901.4	639.4	262.0	26.60
L	0—20	703.4	440.0	263.4	6.98
	20—40	569.6	391.7	177.9	9.44
	40—60	702.7	494.9	207.8	9.84
S	0—20	772.9	420.8	352.1	17.93
	20—40	791.0	542.1	248.9	23.98
	40—60	731.7	436.6	295.1	20.94
平均值		824.7	524.6	298.9	26.46

2.3 土壤酶活性的空间变异状况

表 4 表明, 过氧化氢酶活性为苜蓿地 > 农田 > 果园 > 撂荒地 > 沙棘林 > 菜园 > 烤烟地, 各层均以苜蓿地最高, 说明种植紫花苜蓿有利于提高 H_2O_2 酶活性。菜园由于人为大量使用农药和化肥, 使酶活性显著降低, 表征为 H_2O_2 等有毒物质增加。苜蓿地、农田、菜园、烤烟地中层活性均较上、下层高, 果园、沙棘林植物生长的土壤则表现为逐层递减的趋势; 菜园、烟草地可能由于人为大量使用农药使 H_2O_2 酶活性显著降低。多酚氧化酶活性依次为撂荒地 > 农田 > 果园 > 菜园 > 烤烟地 > 沙棘林 > 苜蓿地; 苜蓿地、沙棘林差异不明显, 均自表层到下层有增加趋势。撂荒地、农田的多酚氧化酶的活性随土层的增加而减少, 果园、菜园的多酚氧化酶的活性随土层的增加而增加。烤烟地、果园、菜园脲酶活性较高, 且从表层到下层脲酶活性降低; 除烟草地外, 其它利用方式由表层至下层均呈增加趋势。转化酶对增加土壤中易溶性营养物质起着主要的作用, 研究结果表明: 随土层深度的增加, 转化酶活性普遍呈增强趋势, 在各种利用方式之间其活性依次为: 沙棘林 > 农田 > 果园 > 菜园 > 苜蓿地 > 烤烟地 > 撂荒地。碱性磷酸酶活性依

次为:菜园>农田>果园>撂荒地>沙棘林>烟草地 深度增加而呈减少趋势,其它利用方式均表现为中层
>苜蓿地;烤烟、农田、撂荒地碱性磷酸酶活性随土层 偏低下层偏高的结果。

表3 无机磷形态的空间变异

mg/kg

样品	土层/cm	Ca ₂ -P	Ca ₈ -P	Ca ₁₀ -P	Al-P	Fe-P	O-P
Y	0—20	11.25	44.28	486.9	36.24	16.13	8.84
	20—40	11.13	50.79	130.7	39.64	14.87	6.79
	40—60	12.01	38.49	236.0	40.58	16.72	4.50
M	0—20	14.18	82.62	125.9	43.48	13.78	3.41
	20—40	11.13	69.60	104.2	29.74	9.80	6.07
	40—60	6.73	35.60	160.8	11.85	12.01	4.50
G	0—20	9.62	37.05	189.2	32.41	18.89	8.48
	20—40	9.80	38.66	181.0	35.88	7.82	7.27
	40—60	9.98	32.71	213.8	15.95	5.83	4.74
N	0—20	10.58	69.60	228.8	25.58	33.13	4.37
	20—40	22.50	55.13	255.2	21.74	35.88	6.43
	40—60	11.79	35.60	228.7	14.99	14.32	3.29
C	0—20	22.46	46.79	274.5	22.84	19.79	12.68
	20—40	20.35	39.79	249.2	18.86	16.46	7.79
	40—60	11.83	35.75	214.3	18.94	8.21	8.01
L	0—20	7.09	34.88	174.0	32.63	9.98	4.86
	20—40	12.80	32.84	94.0	17.64	14.18	6.43
	40—60	11.13	24.75	147.6	11.25	9.84	3.17
S	0—20	7.81	53.69	243.4	25.59	13.54	8.00
	20—40	12.01	40.67	159.3	17.94	13.78	5.22
	40—60	7.63	38.49	197.5	32.63	16.35	2.44
平均值		12.09	44.66	204.5	26.02	15.30	6.06

表4 土地不同利用酶活性的空间分布

样品	土层/cm	过氧化氢酶/ (mg·g ⁻¹)	多酚氧化酶/ (mg·kg ⁻¹)	脲酶/ (mg·kg ⁻¹)	磷酸酶/ (mg·kg ⁻¹)	转化酶/ (ml·g ⁻¹)
Y	0—20	22.74	118.3	61.6	406.0	7.03
	20—40	18.16	41.4	104.4	399.0	6.93
	40—60	25.31	64.2	190.1	395.0	7.34
M	0—20	26.65	43.7	177.4	378.0	6.85
	20—40	26.38	42.6	112.5	369.5	7.20
	40—60	26.43	50.5	76.8	385.5	7.41
G	0—20	22.44	92.7	219.6	431.5	6.87
	20—40	22.37	108.6	240.1	427.7	6.95
	40—60	26.43	109.8	197.6	462.1	7.03
N	0—20	26.65	108.6	254.4	490.7	6.83
	20—40	26.11	108.1	192.3	471.6	6.85
	40—60	25.82	106.9	180.5	436.6	6.89
C	0—20	22.53	92.7	247.5	438.5	7.14
	20—40	22.18	96.7	194.1	434.5	7.19
	40—60	22.37	168.4	125.5	553.7	7.31
L	0—20	22.85	120.0	126.8	477.3	6.53
	20—40	23.37	110.9	78.0	460.7	7.09
	40—60	22.85	110.3	70.3	452.6	7.33
S	0—20	22.38	50.0	122.1	386.9	7.30
	20—40	22.53	31.2	61.6	368.8	7.37
	40—60	22.25	52.8	87.4	390.7	7.54
平均值		23.75	87.1	148.6	429.4	7.10

2.4 无机磷形态、速效磷与酶活性在空间变异上的相关性

2.4.1 各种形态无机磷及速效磷与酶活性的关系
以各层土壤中的过氧化氢酶(X_1)、多酚氧化酶(X_2)、

脲酶(X_3)、转化酶(X_4)、磷酸酶(X_5)活性和各无机磷形态的含量 $Ca_2-P(Y_1)$, $Ca_8-P(Y_2)$, $Ca_{10}-P(Y_3)$, $Al-P(Y_4)$, $Fe-P(Y_5)$, $O-P(Y_6)$ 及速效磷含量(Y_7) 分别逐层进行相关性分析^[13], 结果见表 5。

表 5 无机磷的各个形态变异与酶活性变化空间分布的相关性

土样	酶种类	Ca_2-P	Ca_8-P	$Ca_{10}-P$	$Al-P$	$Fe-P$	$O-P$	速效磷 P_{ol}
Y	过氧化氢酶	0.848	-0.992**	0.437	0.046	1.000**	-0.384	-0.464
	多酚氧化酶	-0.105	-0.321	1.000**	-0.878	0.478	0.661	-1.000**
	脲酶	0.896	-0.629	-0.535	0.874	0.486	-0.987*	0.510
	转化酶	0.992**	-0.953*	0.019	0.462	0.888	-0.737	-0.049
	磷酸酶	-0.745	0.398	0.742	-0.972*	-0.235	0.994**	-0.722
M	过氧化氢酶	0.695	0.581	0.041	0.715	0.916	-0.899	-0.899
	多酚氧化酶	-0.852	-0.920	0.967*	-0.836	0.195	-0.234	0.130
	脲酶	0.964*	0.914	-0.472	0.971*	0.586	-0.553	0.638
	转化酶	-0.969*	-0.923	0.491	-0.976*	-0.568	0.534	-0.621
	磷酸酶	-0.558	-0.674	0.986*	-0.534	0.584	-0.616	0.529
G	过氧化氢酶	0.858*	-0.969*	0.974*	-0.989**	-0.606	-0.944	-0.944
	多酚氧化酶	0.894	-0.313	0.334	-0.407	-0.997**	-0.787	-0.819
	脲酶	-0.518	0.972*	-0.966*	0.943	0.162	0.678	0.638
	转化酶	1.000**	-0.690	0.705	-0.759	-0.936	-0.975*	-0.986*
	磷酸酶	0.811	-0.987*	0.990**	-0.998**	-0.535	-0.912	-0.888
N	过氧化氢酶	-0.262	0.967*	-0.168	0.946	0.687	0.172	0.172
	多酚氧化酶	0.098	0.995**	0.192	0.999**	0.900	0.510	0.933
	脲酶	-0.450	0.896	-0.363	0.862	0.527	-0.029	0.596
	转化酶	-0.079	-0.996**	-0.174	-1.000**	-0.892	-0.494	-0.926
	磷酸酶	0.076	0.997**	0.171	1.000**	0.890	0.491	0.925
C	过氧化氢酶	0.138	0.587	0.373	0.850	0.232	0.861	0.861
	多酚氧化酶	-0.990**	-0.808	-0.927	-0.525	-0.972*	-0.506	-0.833
	脲酶	0.966*	0.975*	1.000**	0.818	0.986*	0.805	0.984*
	转化酶	-0.992**	-0.936	-0.993**	-0.733	-0.999**	-0.717	-0.950*
	磷酸酶	-0.976*	-0.761	-0.896	-0.459	-0.952*	-0.439	-0.789
L	过氧化氢酶	0.726	0.326	-0.946	-0.226	1.000**	0.855	0.855
	多酚氧化酶	-0.943	0.694	0.718	0.971**	-0.428	0.074	-0.997**
	脲酶	-0.915	0.745	0.665	0.986**	-0.361	0.147	-1.000**
	转化酶	0.833	-0.848	-0.528	-1.000**	0.196	-0.313	0.986*
	磷酸酶	-0.816	0.864	0.502	0.999**	-0.167	0.342	-0.981*
S	过氧化氢酶	0.902	0.092	-0.490	-1.000**	-0.801	0.464	0.464
	多酚氧化酶	-0.996**	0.266	0.766	0.929	0.538	-0.121	-0.801
	脲酶	-0.799	0.841	1.000**	0.446	-0.161	0.572	-0.996**
	转化酶	-0.259	-0.816	-0.344	0.663	0.976*	-0.975*	0.291
	磷酸酶	-0.992**	0.226	0.739	0.944	0.573	-0.162	-0.775

注: $r_{0.05} = 0.950$, $r_{0.01} = 0.990$, $n = 3$; * 显著相关, ** 极显著相关。

2.4.2 速效磷与全磷、有机磷和无机磷的相关性
对土壤中速效磷在 0—20 cm (X_8), 20—40 cm (X_9), 40—60 cm 的含量 (X_{10}) 和全磷、有机磷、无机磷分别在 0—20 cm (Y_8), 20—40 cm (Y_9), 40—60 cm (Y_{10}) 的含量进行逐层回归分析。结果表明, 全磷、有机磷均与速效磷呈极显著的正相关。

2.4.3 速效磷与无机磷各形态的相关性
以土壤在各土层中的速效磷含量在 0—20 cm (X_{11}), 20—40 cm (X_{12}), 40—60 cm (X_{13}) 和各形态的无机磷含量分别为 0—20 cm (Y_{11}), 20—40 cm (Y_{12}), 40—60 cm (Y_{13}) 逐层进行回归分析。结果表明, 0—20 cm 土层速效磷与无机磷形态中的 Ca_8-P , $O-P$ 呈极显著和显著正相

关。尽管无机磷总量与速效磷之间无显著的相关性,但0—20 cm土层磷的有效化与 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 O-P 直接相关,这与作物根系主要在此层分布有关。

3 结论

各种土地利用方式的无机磷由表层至下层均呈下降趋势;黄绵土种植苜蓿全磷含量最低,说明长期种植苜蓿对磷素消耗很大,但随土层加深全磷含量呈上升趋势,沙棘、撂荒地呈下降趋势;有机磷均呈上升趋势。在精耕细作的黑垆土类区全磷、有机磷含量以菜园、果园为最高且由表层至下层呈下降趋势,其原因与有机肥投入量和质量有关。除农田、烟草地0—40 cm外,其它利用方式各层有机磷占全磷比例平均高达60%以上,明显高于有关文献和报道值(30%~50%)^[15,20],0—20 cm,20—40 cm土层速效磷与全磷和有机磷呈极显著的正相关。0—20 cm土层速效磷与无机磷形态中的 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 O-P 呈极显著和显著正相关。关于速效磷和 O-P 的相关性的机理有待进一步研究。

不同土类的不同利用方式无机磷形态变化特征不同。无机磷形态以 $\text{Ca}_{10}\text{-P}$ 含量最高,与相关报道相吻合。各无机磷形态的平均含量依次为: $\text{Ca}_{10}\text{-P}$ > $\text{Ca}_8\text{-P}$ > Al-P > Fe-P > $\text{Ca}_2\text{-P}$ > O-P 。黄绵土利用中, $\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 和 Al-P 随土层深度均为下降趋势, Fe-P 均呈升高趋势,沙棘的 $\text{Ca}_{10}\text{-P}$ 、撂荒地的 O-P 呈下降趋势,其余 $\text{Ca}_{10}\text{-P}$ 、 O-P 均为上升趋势。黑垆土利用方式中,农田、果园和菜园土的 $\text{Ca}_2\text{-P}$ 、 $\text{Ca}_8\text{-P}$ 和 Al-P 均为上升趋势,农田、果园的 $\text{Ca}_{10}\text{-P}$ 呈下降趋势;农田、果园的 Fe-P 、 O-P 呈上升趋势。烟草地各无机磷形态空间分布特征均与农田和果园呈显著的相反规律,其原因有待进一步探讨。

不同土地利用方式中各种酶活性并不是统一的,不同土地利用方式土壤酶活性与土壤无机磷形态相关性强弱依次为:果园 > 菜园 > 农田、撂荒地 > 沙棘林、苜蓿地、烤烟地;精细耕作的土壤均可提高酶的总体活性,但是以连作烟草23 a的土壤酶活性为最低,故烟草连作年限过长土壤肥力向衰退方向发展。与酶活性相关性强弱的无机磷形态依次为 Al-P > $\text{Ca}_{10}\text{-P}$ > $\text{Ca}_2\text{-P}$ > $\text{Ca}_8\text{-P}$ > Fe-P 、 O-P 。酶活性顺序为:转化酶 > 脲酶、磷酸酶 > 多酚氧化酶。从各种酶与无机磷形态的相关显著性密度分布看,菜园土脲酶与无机磷各形态联系最为密切,而过氧化氢酶和多酚氧化酶与无机磷各形态均无显著的相关性。脲酶与无机磷形态以正相关为主,转化酶、磷酸酶则以负相关为主。

[参 考 文 献]

- [1] 来璐,郝明德,彭令发. 土壤磷素研究进展[J]. 水土保持研究,2003,10(1):65—67.
- [2] 鲁如坤. 土壤磷素水平和水体环境保护[J]. 磷肥与复肥,2003,18(1):4—8.
- [3] 张卫峰,马文奇. 加强管理实现我国磷资源可持续发展[J]. 中国农资,2006,20(3):20—21.
- [4] 单艳红,杨林章,王建国. 土壤磷素流失的途径、环境影响及对策[J]. 土壤,2004,36(6):602—608.
- [5] 孔东星,张民,孙娅婷,孙强生. 控释磷酸二铵中磷素对大豆生长效应的影响[J]. 作物杂志,2006,22(6):16—19.
- [6] 中科院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海:科学技术出版社,1981.
- [7] Islam K R, Weil R R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh [J]. Agriculture, Ecosystem and Environment, 2000, 79:319—331.
- [8] Adejuwon J O, Ekanade O. A comparison of soil properties under different land use types in a part of the Nigerian cocoa belt [J]. Catena, 1988, 15:319—331.
- [9] 曹慧,孙辉,杨浩,等. 土壤酶活性及其对土壤质量的指示研究进展[J]. 应用与环境生物学报,2003,9(1):105—109.
- [10] 孟立君,吴凤芝. 土壤酶研究进展[J]. 东北农业大学学报,2004,35(5):622—626.
- [11] 张志丹,赵兰波. 土壤酶在土壤有机培肥研究中的意义[J]. 土壤通报,2006,37(2):362—365.
- [12] 张婷曦,王晓蓉,金相灿. 太湖沉积物中碱性磷酸酶活力(APA)和磷形态的垂向特性及相关性[J]. 农业环境科学学报,2007,26(1):36—40.
- [13] 王文中. Excel在统计分析中的应用[M]. 北京:中国铁道出版社,2002.
- [14] 邱莉萍,张兴昌. 子午岭不同土地利用方式对土壤性质的影响[J]. 自然资源学报,2006,11(6):965—972.
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社,2002.
- [16] 严昶升. 土壤肥力研究方法[M]. 北京:农业出版社,1988.
- [17] 张希彪. 陇东黄土高原土地资源与可持续利用对策[J]. 中国农业资源与区划,2004,5(1):23—26.
- [18] 赵跃龙. 脆弱生态环境评价方法的研究[J]. 地理科学进展,1988,7(2):63—67.
- [19] 张希彪,王鑫,刘彬,等. 陇东黄土高原土地覆被变化的驱动力及生态环境[J]. 土壤通报,2006,37(4):696—700.
- [20] 尹逊霄,华璐,张振贤,等. 土壤中磷素的有效性及其循环转化机制研究[J]. 首都师范大学学报,2005,26(3):95—101.