

风化对土壤粒级中磷素形态转化及其有效性的影响

顾益初 蒋柏藩 鲁如坤

(中国科学院南京土壤研究所)

土壤风化程度经常与地带性土壤的磷素存在形态相关,这已为国内外的一些研究工作所证实^[3,7,10,15,19,20],但对土壤不同粒级中磷形态的影响,迄今仍研究较少。在五十年代,Williams, E. G. 和 Saunders, W. M. H.^[21]曾测定了土壤不同粒级中的全磷、无机磷和有机磷含量,并指出在所有供试土壤中,无论是无机磷或有机磷,粘粒部分的相对含量都高于砂粒部分。但由于当时受土壤无机磷形态分级技术的限制,所以未能与土壤的风化发育程度相联系。近二十多年来,应用张守敬和 Jackson 的无机磷分级方法^[8,13],对土壤剖面中粒级之间磷素形态的转化做了一些工作^[9,11,16,23]。本文对我国几种主要地带性土壤的不同粒级中磷素形态的转化和有效性,以及它们与土壤风化的关系进行了初步探讨。

一、供试土壤和测定方法

供试标本采自我国不同气候带的代表性土壤,包括强烈风化的砖红壤、风化程度较高的红壤、过渡性的黄棕壤、风化较弱的黄淮冲积物发育的潮土和西北黄土母质发育的黑垆土。其中潮土还包括在同一冲积地段的粘土、两合土和砂土三种质地的土壤(表层和底层)。供试土壤的基本性质见表1。

粒级标本的制备:按常规法分离土壤粒级,标本必须用化学分散剂(如 NaOH 和 NaPO₃ 等)处理,但这样会导致磷素形态和数量的变异,因此,本文改用超声波法分散土壤。操作步骤简要如下:将通过20目的土壤标本,用水(1:5)浸泡一昼夜,然后振荡2小时,再加水稀释至1:10,用超声波处理20分钟,充分分散土壤颗粒,最后将悬浊液稀释至1:30,用吸管法^[12]分离各粒级。其中砖红壤(487号)由于分散后易凝聚,因此,将土壤先用饱和氯化钠溶液浸泡一昼夜,使土壤胶体以 Na⁺ 饱和,振荡后用超声波分散,再用水洗去氯化钠,同法分离各粒级。粒级分为粘粒(<0.005毫米);粉粒(0.005—0.02毫米);砂粒(0.02—1毫米)。分离后的悬浊液过滤,土壤用红外灯(55℃左右)烘干,再磨细通过100目筛。

测定方法:全磷用 H₂SO₄-HClO₄ 法^[22];有效磷用 0.5M NaHCO₃ 法^[22];有机磷用灼烧法^[22];无机磷形态分级用修改的张守敬—Jackson 法^[13];有机质用重铬酸钾法^[22];硅、铁、铝用 Na₂CO₃ 熔融^[22],等离子发射光谱法测定;pH用1:5水浸提,玻璃电极测定。

二、结果和讨论

从表2的结果来看,供试土壤粘粒部分的硅铝率和硅铁铝率,基本上可以作为土壤地带或土壤粒级风化程度的指标。在风化程度较高的砖红壤、红壤以及过渡性的黄棕壤中,土壤全磷都显著地集中在粘粒部分,而在风化较弱的潮土(表3)和黑垆土中,各粒级之间

表 1 供试土壤基本性质

Table 1 Basic properties of soils

标本号 Sample No.	土壤 Soil	母 质 Parent material	采样地点 Locality	采样深度 (cm) Depth	pH	有机质 O. M. (%)	全磷 (P, ppm) Total P	有效磷 (P, ppm) Available P	无 机 磷 Inorganic P							
									含量 (P, ppm) Content				占无机磷总量(%) % in total inorganic P			
									Al-P	Fe-P	Ca-P	O-P ⁽¹⁾	Al-P	Fe-P	Ca-P	O-P ⁽¹⁾
487	砖红壤 Latosol	玄武岩	广东,徐闻	0—20	5.55	1.88	349	0.90	4.45	51.6	18.1	156	1.93	22.4	7.87	67.7
492	红壤 ⁽¹⁾ Red earth	第四纪红色粘土	江西,进贤	0—20	6.17	1.30	332	3.69	16.9	63.7	23.1	106	8.01	30.3	11.0	50.6
491	黄棕壤 Yellowbrown earth	下蜀黄土	江苏,南京	0—20	6.65	1.50	450	11.8	22.4	103	40.1	117	7.94	36.5	14.2	41.4
470	潮 土 Cultivated fluviogenic soil	黄淮冲积物	江苏,泗阳	0—20	8.76	1.36	607	3.12	10.0	微量	341	114	2.16	—	73.3	24.5
471	潮 土 Cultivated fluviogenic soil	黄淮冲积物	江苏,泗阳	20—40	8.86	1.08	607	2.85	8.64	微量	335	143	1.78	—	68.9	29.3
472	潮 土 Cultivated fluviogenic soil	黄淮冲积物	江苏,泗阳	0—20	8.76	1.45	746	7.81	19.9	微量	427	163	3.27	—	70.1	26.7
473	潮 土 Cultivated fluviogenic soil	黄淮冲积物	江苏,泗阳	20—40	9.12	0.759	676	1.19	13.8	微量	450	125	2.34	—	76.5	21.1
474	潮 土 Cultivated fluviogenic soil	黄淮冲积物	江苏,泗阳	0—20	9.21	0.612	607	1.20	4.01	微量	477	65.0	0.73	—	87.4	11.9
475	潮 土 Cultivated fluviogenic soil	黄淮冲积物	江苏,泗阳	20—40	9.13	0.395	637	0.72	1.88	微量	528	53.8	0.32	—	90.5	9.22
490	黑垆土 Dark loessial soil	黄 土	甘肃,庆阳	35—110	8.83	1.34	707	3.34	18.6	8.81	401	145	3.24	1.54	69.9	25.3

1) 标本采自丘陵地区, 侵蚀严重。

2) O-P 表示闭蓄态磷酸盐, 下同。

表 3 潮土不同粒级中无机磷的形态组成

Table 3 The constituent of inorganic phosphate of different fractions of particle size in cultivated fluviogenic soil

标本号 Sample No.	土 壤 Soil	粒 级 (%) Particle size	无机磷 Inorganic P									全 磷 (P, ppm) Total P	有效磷 (P, ppm) Available P
			含量 (P, ppm) Content					占无机磷总量(%) % in total inorganic P					
			Al-P	Fe-P	Ca-P	O-P	总量	Al-P	Fe-P	Ca-P	O-P		
470	淤 土 Clay (0—20cm)	粘粒 62.5	13.6	微量	308	148	469	2.90	—	65.6	31.5	598	6.55
		粉粒 17.4	3.67	微量	447	58.5	509	0.72	—	87.8	11.5	580	2.68
		砂粒 20.1	4.28	0.92	458	27.4	490	0.87	0.19	93.4	5.60	589	1.23
471	淤 土 Clay (20—40cm)	粘粒 65.2	32.4	微量	431	237	700	4.62	—	61.6	33.8	816	17.5
		粉粒 18.7	4.54	微量	438	61.3	504	0.90	—	86.9	12.2	585	2.62
		砂粒 16.1	5.50	微量	428	42.5	476	1.15	—	89.9	8.90	572	1.79
472	两 合 土 Loam (0—20cm)	粘粒 44.0	12.9	微量	307	148	467	2.75	—	65.7	31.6	589	6.46
		粉粒 21.5	9.47	微量	502	73.9	586	1.62	—	85.8	12.6	655	4.58
		砂粒 34.5	13.1	微量	467	64.3	545	2.40	—	85.8	11.8	650	3.71
473	两 合 土 Loam (20—40cm)	粘粒 39.5	19.1	微量	408	216	643	2.97	—	63.4	33.6	790	4.84
		粉粒 33.0	3.10	微量	508	37.5	549	0.56	—	92.6	6.80	615	0.96
		砂粒 27.5	4.06	微量	460	32.3	497	0.82	—	92.7	6.50	563	0.61
474	砂 土 Sandy soil (0—20cm)	粘粒 10.9	20.1	微量	342	266	628	3.20	—	54.4	42.3	816	10.5
		粉粒 26.2	2.75	微量	557	39.5	599	0.46	—	92.9	6.60	646	1.05
		砂粒 62.9	2.31	微量	460	26.7	489	0.47	—	94.1	5.50	537	0.70
475	砂 土 Sandy soil (20—40cm)	粘粒 8.0	14.6	微量	303	196	513	2.85	—	59.1	38.1	655	4.22
		粉粒 22.7	2.18	微量	596	36.1	634	0.34	—	94.0	5.70	716	0.70
		砂粒 69.3	1.08	微量	507	26.3	534	0.20	—	94.9	4.90	607	0.35

全磷含量的差异则相对比较平稳。如果以砖红壤、黄棕壤和黑垆土分别代表三种不同风化程度的土壤,并将其粉粒和粘粒中的全磷量与砂粒中的全磷量相比,分别求得各土壤中

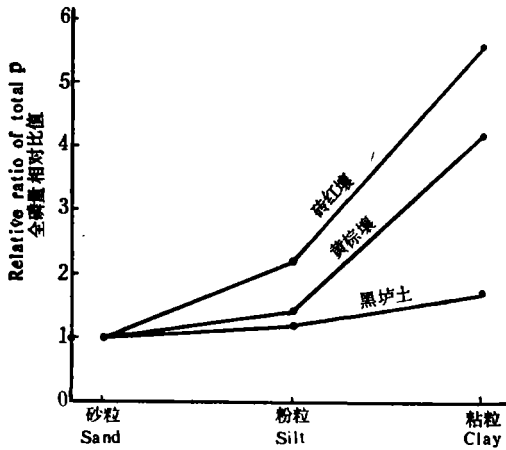


图1 土壤不同粒级中全磷量的相对比值

Fig. 1 The relative ratio of total P in different fractions of particle size of soil

这三种粒级全磷量的相对比值(图1),则可以看出,风化程度愈强烈,全磷量在粘粒部分相对集中的比例愈大。如砖红壤粘粒部分的全磷量比砂粒部分增加四倍以上,而黑垆土粘粒部分的全磷量相对比值,增加不到一倍。这表明在土壤风化过程中,磷素总的趋势是不断在粘粒部分集中。但土壤全磷只是土壤中各种磷素化合物的总和,全磷在粘粒部分集中的过程,实质上不仅是量的差异,而可能是土壤中原生磷矿物向次生磷矿物、吸附态磷和有机磷的转化过程。

无机磷形态的分布情况(表2,3)表明,在石灰性土壤中,包括黄淮冲积物发育的潮土和黄土母质发育的黑垆土,磷

酸钙盐主要集中在砂粒部分,约占无机磷总量的85—90%,其绝对量都显著高于粘粒部分;而磷酸铝盐占无机磷总量的百分数虽不高,却显著地在粘粒部分富集,即粘粒部分的绝对量一般都显著高于砂粒部分。按照通常的风化程序,在碳酸盐矿物和磷灰石矿物同时存在的情况下,前者将先被风化淋失。因此,在石灰性土壤中,尤其是砂粒部分,以钙形态结合的土壤无机磷,可能主要是磷灰石矿物。Shipp^[34]对此曾作过直接检定。在这一土壤化学环境中,铁的氧化物可能较难活动,而铝是一个两性元素,所以土壤风化初期,磷酸钙盐先向磷酸铝盐的方向转化是可能的。因此,黑垆土和潮土从砂粒到粘粒部分,磷酸钙盐的降低和磷酸铝盐的相应增加,似乎可以反映出磷酸铝盐是由磷酸钙盐风化而来的特征。

在强酸性土壤中,磷酸钙盐在粘粒部分占无机磷总量的百分数虽低于砂粒部分,但绝对量恰好相反,粘粒中的磷酸钙盐比砂粒中高出三倍以上,几乎与全磷量在粘粒部分集中的趋势相当。但无论在酸性土壤或石灰性土壤,磷酸铁盐和闭蓄态磷酸盐都显著在粘粒部分积累。

在酸性、中性和石灰性土壤的各粒级中,磷酸铝盐似乎还表现出有一个消长过程。图2是在三种不同风化程度的土壤粒级中,磷酸铝盐相对比值(同一土壤粉粒和粘粒中,磷酸铝盐占无机磷总量的百分数与砂粒中磷酸铝盐占无机磷总量的百分数的比值)的变化曲线。从图2可以看出,风化程度弱的黑垆土,由于土壤尚处于风化初期,粘粒部分的磷酸铝盐比砂粒部分高三倍以上;风化程度强烈的砖红壤,粘粒部分的磷酸铝盐仅为砂粒部分的13%;而风化程度中等的黄棕壤,三个粒级中的磷酸铝盐量基本接近。这似乎意味着在风化过程中,以铝形态结合的磷酸盐在土壤中不易稳定存在。从宏观来看,除了火山灰发育的土壤中有大量磷酸铝盐存在以外^[32],只有在中性土壤中磷酸铝盐的相对量稍高,在

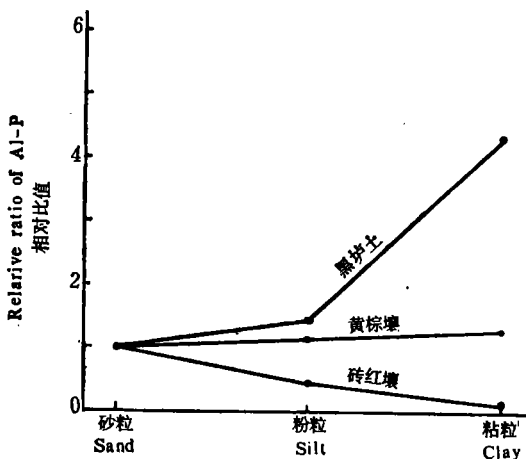


图2 土壤不同粒级中磷酸铝盐的相对比值

Fig. 2 The relative ratio of Al-P in different fractions of particle size of soil

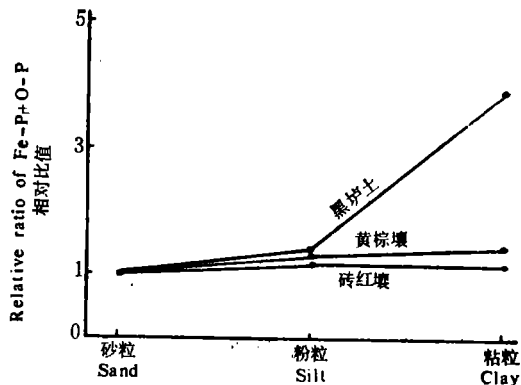


图3 土壤不同粒级中磷酸铁盐和闭蓄态磷酸盐总量的相对比值(计算方法与磷酸铝盐的相对比值相同)

Fig. 3 The relative ratio of Fe-P and occluded P in different fractions of particle size of soil

酸性和石灰性土壤中一般都很低^[7]。再从上述粒级中磷酸铝盐消长的情况看,酸性土壤和石灰性土壤的粘粒部分,增加更多的是磷酸铁或闭蓄态磷酸盐,这些都可以表明,土壤中的磷酸铝盐,可能是磷素形态转化过程中过渡性的中间产物。从图3可看出,在黑垆土中,由于土壤处于风化初期,因此代表土壤磷酸盐高度风化产物的磷酸铁和闭蓄态磷酸盐,主要分布在风化度较高的粘粒部分,它们在粘粒中,占无机磷总量的百分数比砂粒部分高出近三倍。而在强烈风化的砖红壤中,在各粒级间这种磷酸盐占无机磷总量的百分数相当接近。过渡性的黄棕壤则介于两者之间。这表明,随着土壤风化的同时,土壤磷素形态的转化也相当剧烈,它可以使各粒级中原生的磷灰石矿物不断地向磷酸铁和闭蓄态磷酸盐方向转化。在理论上,风化程度愈深,这两种磷酸盐的总量在各粒级中占无机磷总量的百分数就愈趋向接近。

供试土壤中有机磷含量约占全磷的10—40%。从图4来看,一般说来,粘粒部分的有机磷量为砂粒部分的3—6倍。说明在土壤风化过程中,有机磷主要累积在粘粒部分。

根据有机质含量的测定结果表明,在所有供试土壤中,有机质不仅主要分布在粘粒部分,而且与有机磷含量有显著的相关性。现将十个供试土壤中砂粒、粉粒和粘粒的有机质及有机磷含量作相关统计(图5)。

在所有供试土壤中,粘粒部分的有效磷量比砂粒部分高几倍到十几倍(图6)。如果将各粒级中的有效磷(P, ppm)和粒级(%)相乘,分别求得各粒级部分的有效磷容量,则在粘粒部分的有效磷容量要占整个土体中有效磷总容量的50—90%,即使是在粘粒含量极少的砂土(474号)中也是如此。这说明,土壤中的有效磷源基本上是由粘粒部分提供的。

表4结果说明,磷素在粘粒部分富集过程中,不仅是磷的形态在转化,而且存在的状态也在变化(形态是指磷与阳离子结合的化学组成,状态是指同一组成存在的结晶程度)。

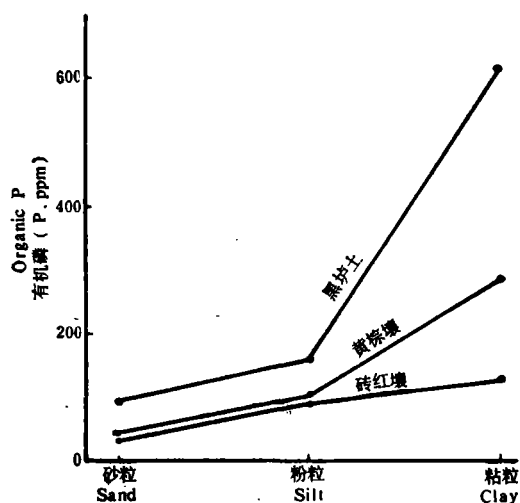


图 4 土壤不同粒级中有机磷量的变化

Fig. 4 The variation of organic P in different fractions of particle size of soil

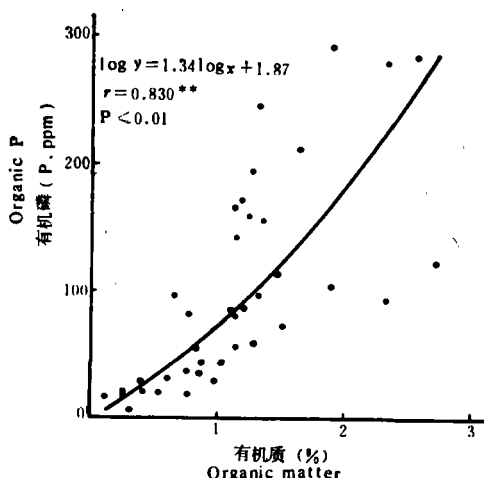


图 5 土壤不同粒级中有机磷与有机质含量的相关

Fig. 5 The correlation between the organic P and organic matter in different fractions of particle size of soil

石灰性土壤中的磷酸钙盐与有效磷量呈显著负相关，而中性和酸性土壤中的磷酸钙盐与有效磷量呈显著正相关。这说明尽管都是以钙结合形态存在的磷酸盐，但由于化学组成和结晶状态不同，其有效性就完全不一样。前者主要是溶解度很低的磷灰石矿物；后者可能是次生的或者吸附态的磷酸钙盐，其结晶程度较差，因此它在中性和酸性的土壤化学环境中处于不断地溶解与消失的过程。

在一般情况下，磷酸铝盐似乎都是次生的，所以化学活性较大。从相关系数看，无论在石灰性、中性或酸性土壤中，不同粒级中的磷酸铝盐与有效磷都呈显著正相关。曾有试验^[18]证明，在石灰性土壤中，无论是无定形磷酸铝和难溶性的磷铝石 ($\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)，都是作物的很好磷源，且不亚于水溶性的过磷酸钙。在酸性土壤中非晶质的磷酸铝也是作物的有效磷源^[17]。

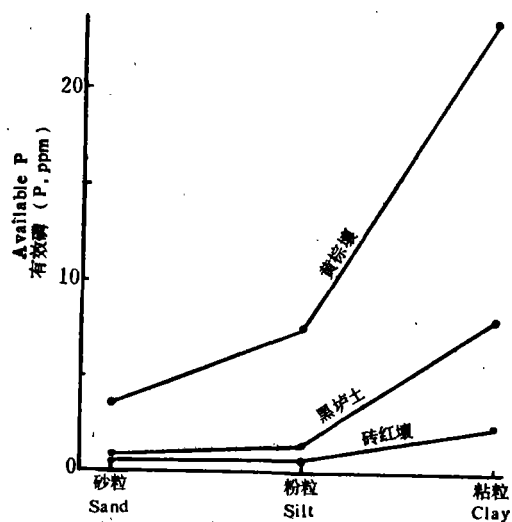


图 6 土壤不同粒级中有效磷含量的变化

Fig. 6 The variation of available P in different fractions of particle size of soil

是作物的有效磷源^[17]。

在中性和酸性土壤的各粒级中，磷酸铁盐可以作为潜在磷源看待。这不仅从表 4 的相关系数看，而且从过去的工作^[6]也证明了这一点。尤其在渍水条件下，所有磷酸铁盐，

表 4 有效磷量与各级磷素形态含量的相关(r 值)

Table 4 Correlation coefficient for the available phosphorus and the content of phosphate fractionation in soil

磷素形态 Forms of phosphorus	中性及酸性土壤 Neutral and acid soil ($n = 12$)	石灰性土壤 Calcareous soil ($n = 28$)
非闭蓄态磷酸盐	0.921**	-0.423*
Al-P	0.972**	0.769**
Fe-P	0.877**	—
Ca-P	0.780**	-0.487**
闭蓄态磷酸盐	0.049	0.800**
有机磷	0.803**	0.598**

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$.

包括难溶性的粉红磷铁矿($\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), 都可以作为水稻的磷素给源。在旱作条件下, 非晶质的磷酸铁盐的肥效, 大致相当于过磷酸钙的 70% 左右^[12]。另外, 在酸性土壤上, 还可以通过人们熟悉的施用石灰的措施, 促使磷酸铁盐发生有效转化。

闭蓄态磷酸盐由于 Fe_2O_3 胶膜的强抗蚀性, 所以很难作为有效磷源。但是在表 4 中, 石灰性土壤不同粒级中的闭蓄态磷酸盐却与有效磷量呈显著正相关, 这在理论上还很难论证。这可能是由于风化对石灰性土壤有效磷增加的同时, 闭蓄态磷酸盐也相应增加的间接相关所致。

由于有机磷与有机质含量显著相关, 而有机质含量是土壤肥力的重要指标, 因此, 有机磷量与有效磷量的显著相关, 在理论上是可以解释的。但有机磷要通过矿化才能提供作物磷源, 所以有机磷也可以作为潜在磷源看待。

三、小 结

根据对不同气候带的几种主要土类的不同粒级中磷素形态的测定结果表明, 随着风化对土壤粒级影响的同时, 土壤各粒级中磷素形态也产生相应变化。这种变化不仅在宏观上反映了土壤磷素的地带性分布。并且在微观上, 也表现出土壤各粒级间磷素分布的规律性。

风化程度愈深, 粘粒部分的全磷、有机磷和有效磷的相对比例就愈大, 如在砖红壤粘粒中的全磷量, 比砂粒部分高出近四倍, 但在黑垆土中则高出不到一倍。而且各粒级中无机磷形态的组成, 也同样受到风化的深刻影响。在黑垆土粘粒中的闭蓄态磷酸盐可达 47%, 远远高于原来土体中的含量。而磷酸钙盐则更集中于砂粒部分; 但在砖红壤和红壤中, 由于土壤高度风化, 闭蓄态磷酸盐占无机磷总量的百分数在各粒级间的变幅就很小。磷酸铝盐无论从地带性和粒级中的变异来看, 似乎是土壤中磷灰石矿物向磷酸铁盐和闭蓄态磷酸盐转化过程中的过渡产物。

有效磷与不同粒级中无机磷形态的相关性表明, 无论在石灰性、中性或酸性土壤中, 磷酸铝盐都可能是有效磷源; 在酸性土壤中, 非闭蓄态的磷酸钙和磷酸铁盐也可能是有效

磷源。

参 考 文 献

- [1] 于天仁等, 1976: 土壤的电化学性质及其研究法。513—523 页, 科学出版社。
- [2] 中国土壤学会农业化学专业委员会编, 1983: 土壤农业化学常规分析方法。科学出版社。
- [3] 中国科学院南京土壤研究所主编, 1978: 中国土壤。376—391 页, 科学出版社。
- [4] 中国科学院南京土壤研究所, 1978: 土壤理化分析法。238—245 页, 上海科学技术出版社。
- [5] 顾益初、蒋柏藩, 1980: 磷素农业化学分析概述。土壤, 第 3 期, 95—101 页。
- [6] 蒋柏藩等, 1963: 南方水稻土中磷酸铁对水稻磷素营养的意义。土壤学报, 第 11 卷 4 期, 361—369 页。
- [7] 蒋柏藩、鲁如坤、李庆远, 1979: 《中国土壤磷素潜力概图》及其说明。土壤学报, 第 16 卷 1 期, 17—19 页。
- [8] Chang, S. C. and Jackson, M. L., 1957: Fractionation of soil phosphorus. *Soil Sci.*, 84: 133—144.
- [9] Garbouchev, I. et al., 1968: Phosphorus status in the soil of Bulgaria. *Trans. 9th Congr. Int. Soil Sci. Soc.*, II 321—338.
- [10] Hawkins, R. H. and Kunze, G. W., 1965: Phosphorus fractions in some Texas Grumusols and their relation to soil weathering and available phosphorus. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 29: 650—656.
- [11] Juo, A. S. B. and Ellis, B. G., 1968: Particle size distribution of Al Fe and Ca phosphate in soil profiles. *Soil Sci.*, 106: 374—380.
- [12] Lindsay, W. L. and Dement, J. D., 1961: Effectiveness of some iron phosphate as sources of phosphorus for plants. *Plant and Soil*, 14: 118—126.
- [13] Petersen, G. W. and Corey, R. B., 1966: A modified Chang and Jackson procedure for routine fractionation of inorganic soil phosphates. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 30: 563—565.
- [14] Shipp, R. F. and Matelski, R. P., 1960: A microscopic determination of apatite and a study of phosphorus in some Nebraska soil profiles. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 24: 450—452.
- [15] Smeek, N. E., 1973: Phosphorus: An indicator of pedogenic weathering processes. *Soil Sci.*, 115: 199—206.
- [16] Syers, J. K., Shah, R. and Walker, T. W., 1969: Fractionation of phosphorus in two alluvial soils and particle-size separates. *Soil Sci.*, 108: 238—289.
- [17] Taylor, A. W., Gurney, E. L. and Lindsay, W. L., 1960: An evaluation of some iron and aluminum phosphates as sources of phosphate for plants. *Soil Sci.*, 90: 25—31.
- [18] Taylor, A. W. et al., 1963: Potassium and ammonium taranakites, amorphous aluminum phosphate, and variscite as sources of phosphate for plants. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 27: 148—151.
- [19] Walker, T. W. and Syers, J. K., 1976: The fate of phosphorus during pedogenesis. *Geoderma*, 15: 1—19.
- [20] Westin, F. C. and Brito, J. G., 1969: Phosphorus fractions of some Venezuelan soil as related to their stage of weathering. *Soil Sci.*, 107: 194—202.
- [21] Williams, E. G. and Saunders, W. M. H., 1956: Distribution of phosphorus in profiles and particle-size fraction of some Scottish soils. *J. Soil Sci.*, 7: 90—108.
- [22] Yoshiaki Ishizuka and Black, C. A., 1977: Soils derived from volcanic ash in Japan. CIMMYT, Mexico.
- [23] Татевосян, Г. С., Вальдес, Р. М., 1974: Доступность почвенных фосфора и калия в зависимости от химико-минералогического состава механических фракций почв и пород. *Trans. 10th Congr. Int. Soil Sci. Soc.*, IV 321—326.

EFFECT OF WEATHERING ON THE TRANSFORMATION AND AVAILABILITY OF PHOSPHORUS IN DIFFERENT FRACTIONS OF PARTICLE SIZE OF MAIN SOILS OF CHINA

Gu Yichu, Jiang Baifan and Lu Rukun

(*Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing*)

Summary

The present paper deals with the effect of the intensity of weathering process during soil formation on the composition, distribution and transformation of phosphorus of various soil types and fractions of soil particle sizes in main soil types of China.

Studies indicated that the higher the weathering degree of the soil, the greater the relative contents of total phosphorus, available phosphorus and organic phosphorus in clay. For example, the total phosphorus in clay fraction was five times as much as that in sand fraction of latosol, while this ratio fell below two in dark loessial soil which was more weakly weathered compared with the former. It was also showed that the forms and distribution of inorganic phosphate were also affected by the weathering process. In dark loessial soil the occluded phosphate might be up 47% of total inorganic phosphate in clay fraction, far higher than that in the original soil. On the contrary, the content of occluded phosphate in latosol was very high, but no significant differences in the content of occluded phosphate were observed among different fraction of particle sizes. Calcium phosphate was found to be rich in sand, especially in calcareous soils. Aluminium phosphate was characterized by a transitional product of weathering process was accumulated only in transitional soil. Obviously, the distribution of various inorganic phosphate forms in different fractions of particle sizes in these soils is closely related to the weathering degree during soil formation. It is considered that the transformation of inorganic phosphate during soil formation may be as follows: firstly the primary mineral apatite is weathered into aluminium phosphate, and finally it is converted into iron phosphate and occluded phosphate.

Correlation between content of available phosphorus and content of various forms of soil inorganic phosphorus in different fractions of particle sizes demonstrates that aluminium phosphate in soils is likely to be the source of available phosphorus to crops. And in neutral or acidic soils, the source of available phosphorus also includes a part of unoccluded iron phosphate and calcium phosphate.