

黑土和淡黑钙土的有效磷测定方法的研究*

张泉清 赵兰珍 阎孝贡 任怡 王培富

(吉林省农业科学院土壤肥料研究所)

摘 要

黑土和淡黑钙土在碳酸钙含量、pH等方面有显著差异,在土壤磷的化学组成上也是明显不同的。淡黑钙土 Ca-P 的百分组成明显的高于黑土, Fe-P 含量则相反,无机磷占全磷的百分组成黑土低于淡黑钙土。

通过小麦盆栽试验和土壤有效磷测定方法对比试验,对小麦吸磷量、土壤磷的组成、不同方法测得值和相对产量等几个方面所进行的综合分析和统计,一致表明在中性黑土上 Bray 1 (1:10) 法和 Olsen 法最好。在石灰性淡黑钙土上以 Bray 1 (1:50) 和 Olsen 法较好,但 Olsen 法测定结果受温度影响大,因此在黑土上宜采用 Bray 1 (1:10) 法,在淡黑钙土上则以采用 Bray 1 (1:50) 法为佳。

根据农田土壤养分丰缺程度,制定出经济有效的施肥方案^[7],以达到合理的肥料投资,获得最佳的经济效益。土壤中磷素营养丰缺的测定是指导合理使用磷肥的重要依据。

吉林省土壤类型比较复杂^{[3][1]},本试验用吉林省中性黑土、石灰性淡黑钙土进行了土壤无机磷系统分级测定的同时,做了盆栽试验及几种有效磷测定方法的比较试验,目的在于以生物吸磷与土壤化学组成形态为基础,研究选定适合本省主要土类的最佳有效磷测定方法。

一、试验材料与方法

(一) 供试土壤

1. 黑土: 采自怀德县与德惠县,共采 12 个样品。土壤 pH 为 6.3—7.6。高肥力土壤腐殖质含量为 3.29%,全氮为 0.187%;低肥力土壤腐殖质含量为 1.65%,全氮 0.08%。土壤全磷(P)含量为 0.04—0.08%,全钾含量是 2.3—2.5%。

2. 淡黑钙土: 采自长岭县,共采 12 个样品;土壤 pH 7.5—8.5,碳酸钙含量为 2.90—6.14%。高肥力土壤腐殖质含量为 2.3%,全氮为 0.16%;低肥力土壤则分别为 1.42% 和 0.068%。全磷含量为 0.03—0.05%,全钾含量 2.5% 左右,剖面有石灰性反应。

(二) 盆栽试验

盆栽试验采用 20×20 厘米盆子,每盆装土 5 公斤,设二个处理,四次重复,共 216 盆。小麦品种为吉春 479。试验处理设(1)对照:每公斤土加氮 0.1 克(硫酸铵);处理(2):每公斤土加氮 0.1 克,磷

* 本文承中国农业科学院张乃凤先生、吉林省农科院杨国荣先生、高金芳先生审阅,特此致谢。

1) 吉林省土壤普查办公室,1959: 吉林省土壤志。

素 0.1 克(过磷酸钙)。每盆留苗 15 株, 收获后小麦籽粒及植株分别风干, 四分法取样, 粉碎后备用。

(三) 测定方法

1. 土壤有效磷的测定^[1,2,3] 黑土采用^[5,6,8,11,14]: (1) Olsen 法, 0.5 N NaHCO₃ 浸提; (2) Bray 1 法, 0.025N HCl + 0.03N NH₄F(1:10) 浸提; (3) Кирсанов 法, 0.2N HCl 浸提; (4) Truog 法, 0.002N H₂SO₄ 浸提; Чириков 法, 0.5N HOAc 浸提。

淡黑钙土采用^[13,14]: (1) Olsen 法, 0.5N NaHCO₃ 浸提; (2) Bray 2 法, 0.1 N HCl + 0.03N NH₄F (1:10) 浸提; (3) Bray 1 法, 0.025N HCl + 0.03N NH₄F(1:10) 浸提; (4) Morgan 法, 0.5N HOAc + NaOAc (pH 4.8) 浸提。

表 1 黑土和淡黑钙土无机磷测定结果(于 1981 和 1982 年两次测定)

Table 1 Inorganic phosphorus in black soil and light chernozem

土 类 Soil type	编号 No.	H ₂ O-P		Al-P		Fe-P		Ca-P		闭蓄态 Fe-P Occluded		闭蓄态 Al-P Occluded		无机磷 Inorg- anic P	
		ppm	占全 P (%)	ppm	占全 P (%)	ppm	占全 P (%)	ppm	占全 P (%)	ppm	占全 P (%)	ppm	占全 P (%)	占全 P (%)	
黑 土 Black soil	81-11	6.2	0.8	81.4	10.3	38.4	4.9	203.0	25.7	69.8	8.8	5.8	0.7	51.2	
	12	1.2	0.3	15.5	3.5	17.4	3.9	43.6	9.8	69.8	15.8	2.9	0.7	34.0	
	13	1.2	0.3	5.7	1.5	17.4	4.5	34.9	9.0	100.0	25.8	2.9	0.7	41.8	
	平均	2.9	0.5	34.2	5.1	24.4	4.4	94.0	14.8	79.9	16.8	3.9	0.7	42.3	
	82-10	2.8	0.3	76.5	8.8	56.5	6.5	172.0	19.8	202.0	23.2	7.0	0.8	59.4	
	11	0.6	0.1	8.6	1.9	20.8	4.7	27.4	6.2	101.0	22.8	3.7	0.8	36.6	
	12	1.4	0.4	9.5	2.4	20.8	5.2	17.3	4.3	113.0	28.1	2.7	0.7	41.0	
	13	2.0	0.4	18.7	3.7	35.7	7.2	89.3	17.9	113.0	22.7	4.0	0.8	52.7	
	14	2.0	0.5	9.2	2.2	23.2	5.5	50.0	11.8	119.0	28.2	3.4	0.8	49.0	
	15	2.5	0.6	7.4	1.7	16.1	3.6	50.6	11.3	116.0	25.9	2.1	0.5	43.5	
	16	4.0	0.6	51.8	7.2	37.5	5.2	189.0	26.3	136.0	19.0	3.0	0.4	58.7	
	17	1.7	0.3	42.6	6.6	32.1	5.0	144.0	22.3	119.0	18.4	3.0	0.5	53.0	
	18	0.0	0.0	6.5	1.6	9.2	2.2	58.3	14.0	119.0	28.7	3.4	0.8	47.3	
	平均	1.9	0.3	25.6	4.0	28.0	5.0	88.8	14.9	126.0	24.1	3.6	0.7	49.0	
	淡黑钙土 Light chernozem	81-4	5.8	1.9	20.3	6.6	6.0	1.9	148.0	48.3	58.3	18.9	1.7	0.6	78.2
		5	2.9	1.0	8.4	2.8	2.8	0.9	151.0	50.4	101.0	33.6	2.9	1.0	89.6
		6	3.4	1.1	9.9	3.3	4.0	1.3	142.0	47.8	95.0	31.9	1.2	0.4	85.6
		平均	4.0	1.3	12.9	4.2	4.3	1.4	147.0	48.3	84.9	28.1	1.9	0.7	84.5
82-1		9.4	1.7	71.4	12.1	20.5	3.7	161.0	29.0	142.0	26.1	2.7	0.5	74.1	
2		2.8	0.6	35.7	7.7	9.5	2.1	128.0	27.7	123.0	26.8	2.1	0.5	65.4	
3		1.3	0.3	30.4	6.0	11.0	2.2	135.0	26.8	123.0	24.6	1.8	0.4	60.2	
4		5.0	1.4	26.8	7.3	8.6	2.3	102.0	28.0	121.0	33.2	1.5	0.4	72.6	
5		3.1	1.0	20.8	6.5	8.3	2.6	90.5	28.1	126.0	39.2	1.5	0.5	77.8	
6		6.3	1.6	33.3	8.6	7.4	1.9	88.1	22.9	140.0	36.5	1.8	0.5	72.0	
7		3.8	1.0	20.8	5.7	8.0	2.2	81.0	22.1	119.0	32.5	2.3	0.6	64.1	
8		6.3	2.0	20.8	6.5	8.6	2.7	59.5	18.7	130.0	41.0	1.8	0.6	71.5	
9	3.8	1.1	23.8	6.9	7.5	2.2	83.3	24.0	138.0	39.8	1.6	0.5	74.5		
平均	4.6	1.2	31.5	7.6	9.9	2.4	103.0	25.3	129.0	33.3	1.9	0.5	70.6		

2. 土壤无机磷系统分级测定 按张守敬和 Jackson 方法进行^[10]。浸提出的有效磷和无机磷均用钼锑抗法比色。

3. 植株全磷的测定 植株全磷的测定采用硝酸-高氯酸-硫酸三酸湿灰化法消化, 磷用钒钼黄法比色。

二、结果与讨论

(一) 土壤中无机磷形态及组成

从表 1 结果可以看出:

1. 黑土无机磷含量约为全磷量的 40—50%, 其中 Al-P 占全磷的 4—5%, Fe-P 占全磷 4.4—5%, Ca-P 占全磷 15.0% 左右, 闭蓄态的 Al-P 和 Fe-P 占全磷的 17.5—24.8%。

2. 淡黑钙土无机磷含量约占全磷的 70—85%, 其中 Al-P 占全磷的 4.2—7.6%, Fe-P 占全磷的 1.4—2.4%, Ca-P 占全磷的 25—48%, 闭蓄态 Al-P 和 Fe-P 占全磷的 28—33%。

3. 在非闭蓄态的无机磷中, 两类土壤的无机磷分配和含量都是按 Ca-P > Al-P > Fe-P 的顺序组成。淡黑钙土中 Ca-P 可高达 25—48% 左右, 而黑土中 Ca-P 只有 15% 左右, 1981 及 1982 两年测得结果相近。两种不同土壤中 Ca-P 及无机磷含量的明显差异, 说明吉林省西部和中部地区因气候等条件的不同, 土壤形成过程也不同, 因而农化特性也明显的不同。

(二) 小麦吸磷量与无机磷形态的关系

根据 1982 年黑土和淡黑钙土盆栽试验结果, 小麦吸磷量(籽粒及植株吸磷之和)与无机磷形态相关统计列于表 2。从表 2 可见:

表 2 小麦吸磷量与无机磷形态的关系

Table 2 Relationship between amount of P absorbed by wheat and the forms of inorganic P in soil

	土类 Soil type	H ₂ O-P	Al-P	Fe-P	Ca-P
小麦吸磷量 Wheat absorbed	黑土	$y = 0.03x + 0.04$ $r = 0.583$	$y = 0.02x + 0.04$ $r = 0.932^{**}$	$y = 0.004x - 0.02$ $r = 0.891^{**}$	$y = 0.001x + 0.02$ $r = 0.860^{**}$
P	淡黑钙土	$y = 0.01x + 0.01$ $r = 0.744^*$	$y = 0.02x - 0.003$ $r = 0.911^*$	$y = 0.008x - 0.004$ $r = 0.760^*$	$y = 0.001x - 0.01$ $r = 0.640$

注 $n = 9$, $r_{0.05} = 0.666$, $r_{0.01} = 0.798$ 。

(1) 小麦吸收的土壤磷与黑土中 Al-P、Fe-P 和 Ca-P 都呈极显著相关, 说明三者都可能是磷源。依有效程度而论, Al-P > Fe-P > Ca-P。

(2) 淡黑钙土中小麦吸磷量与 Al-P 呈极显著相关, 与 H₂O-P, Fe-P 呈显著相关, 与 Ca-P 相关不显著。根据表 1 所示: Al-P, Fe-P, Ca-P 中以 Ca-P 含量最高, 但其相关性低, 吸收量最少, 有效度最低。Al-P 含量较低, 但相关性最好, 吸收量最多, 其有效

表 3 不同方法有效磷测定值与无机磷形态关系

Table 3 Relationship between values of available P determined by different methods and the forms of inorganic P

土类 Soil type	测定方法 Determination method	H ₂ O-P	Al-P	Fe-P	Ca-P
黑土	Olsen	$y = 5.46x - 0.22$ $r = 0.706^*$	$y = 0.35x + 1.22$ $r = 0.980^{**}$	$y = 0.60x - 6.4$ $r = 0.926^{**}$	$y = 0.13x - 1.6$ $r = 0.941^{**}$
	Bray 1 (1:10)	$y = 9.97x - 5.4$ $r = 0.679^*$	$y = 0.68x - 3.9$ $r = 0.985^{**}$	$y = 1.07x - 16.5$ $r = 0.872^{**}$	$y = 0.25x - 8.9$ $r = 0.922^{**}$
	Кирсанов	$y = 33.9x - 12.9$ $r = 0.687^*$	$y = 1.88x + 2.73$ $r = 0.817^{**}$	$y = 2.68x - 23.9$ $r = 0.649$	$y = 0.86x - 25.4$ $r = 0.946^{**}$
	Truog	$y = 28.9x - 11.1$ $r = 0.682^*$	$y = 1.86x - 4.3$ $r = 0.940^{**}$	$y = 2.76x - 4.3$ $r = 0.780^*$	$y = 0.76x - 23.8$ $r = 0.970^{**}$
	Чириков	$y = 24.4x - 14.8$ $r = 0.728^*$	$y = 1.38x - 4.2$ $r = 0.884^{**}$	$y = 2.0x - 24.6$ $r = 0.715^*$	$y = 0.59x - 21.4$ $r = 0.961^{**}$
淡黑钙土	Olsen	$y = 1.99x - 2.5$ $r = 0.750^*$	$y = 0.38x - 5.4$ $r = 0.958^{**}$	$y = 1.49x - 8.0$ $r = 0.957^{**}$	$y = 0.14x - 7.6$ $r = 0.697^*$
	Bray 2 (1:10)	$y = 5.82x + 15.9$ $r = 0.629$	$y = 1.32x + 1.18$ $r = 0.946^{**}$	$y = 5.38x - 10.5$ $r = 0.991^{**}$	$y = 0.55x - 13.7$ $r = 0.786^*$
	Bray 1 (1:50)	$y = 5.22x + 5.7$ $r = 0.796^*$	$y = 0.95x - 0.13$ $r = 0.961^{**}$	$y = 3.64x - 6.23$ $r = 0.945^{**}$	$y = 0.34x - 4.7$ $r = 0.678^*$
	Morgan	$y = 2.36x + 2.4$ $r = 0.885^{**}$	$y = 0.36x + 2.0$ $r = 0.895^{**}$	$y = 1.37x - 0.27$ $r = 0.878^{**}$	$y = 0.11x + 1.99$ $r = 0.548$

注: $n = 9$, $r_{0.05} = 0.666$, $r_{0.01} = 0.798$ 。

度就最好。这个结果与张守敬的研究结果是一致的^[4]。

(三) 不同方法测得有效磷与土壤无机磷形态的关系

从表 3 可看出,在黑土上五种方法的有效磷测定值与无机磷形态的关系是 Olsen 法、Bray 1 (1:10) 法与 Al-P、Fe-P、Ca-P 呈极显著相关,说明 0.5 N NaHCO₃ 和 0.025 N HCl + 0.03 N NH₄F 溶液浸提出的 Al-P、Fe-P 和 Ca-P 的数量可以反映出它的有效性。上述结果均和小麦吸磷量与无机磷形态关系相一致。其余三种方法,如 0.2 N HCl 法与 Al-P、Ca-P 相关极显著,而与 Fe-P 相关不显著;0.002N H₂SO₄ 法、0.5N HOAc 法与 Al-P、Ca-P 相关极显著,与 Fe-P 相关显著,这些均可用同理说明。因此在黑土上从不同测定方法与无机磷形态的相关程度、吸磷量与无机磷形态的关系结合起来看,应该认为 Bray 1(1:10) 法与 Olsen 法是较好的方法。

在淡黑钙土上用 Olsen 法、Bray 2 (1:10) 法和 Bray 1(1:50) 法三种浸提液均与 Al-P、Fe-P 呈极显著相关,与 Ca-P 呈显著相关。Morgan 法与 Al-P、Fe-P、H₂O-P 均呈极显著相关,与 Ca-P 相关不显著。因此从小麦吸磷量与无机磷形态的关系,结合上述不同测定方法与无机磷形态的关系来看,可以认为上述四种方法都具备可选条件。

表 4 小麦吸磷量与不同方法有效磷测得值的关系
Table 4 Relationship between P absorbed by wheat and the values of available P determined by different methods

土类 Soil type		测定方法 Determination method					
		Olsen 法	Bray 1 法(1:10)	Кирсанов 法	Труог 法	Чириков 法	
黑土	CK	$y = 0.07 \ln x - 0.03$ $r = 0.985^{**}$	$y = 0.05 \ln x + 0.01$ $r = 0.980^{**}$	$y = 0.04 \ln x - 0.04$ $r = 0.788^*$	$y = 0.05 \ln x - 0.07$ $r = 0.907^{**}$	$y = 0.03 \ln x + 0.01$ $r = 0.792^*$	
	P	$y = 0.14 \ln x - 0.23$ $r = 0.860^{**}$	$y = 0.09 \ln x - 0.11$ $r = 0.870^{**}$	$y = 0.08 \ln x - 0.09$ $r = 0.877^{**}$	$y = 0.08 \ln x - 0.05$ $r = 0.876^{**}$	$y = 0.07 \ln x - 0.3$ $r = 0.789^*$	
土类 Soil type		测定方法 Determination method					
		Olsen 法	Bray 1 法 (1:50)	Bray 2 法(1:10)	Morgan 法		
淡黑钙土	CK	$y = 0.06 \ln x - 0.04$ $r = 0.868^{**}$	$y = 0.09 \ln x - 0.22$ $r = 0.934^{**}$	$y = 0.08 \ln x - 0.22$ $r = 0.734^*$	$y = 0.1 \ln x - 0.19$ $r = 0.883^{**}$		
	P	$y = 0.14 \ln x - 0.28$ $r = 0.770^*$	$y = 0.1 \ln x - 0.22$ $r = 0.772^*$	$y = 0.09 \ln x - 0.21$ $r = 0.732^*$	$y = 0.07 \ln x - 0.05$ $r = 0.712^*$		

注: $n = 9, r_{0.05} = 0.666, r_{0.01} = 0.798$ 。

表 5 小麦相对产量与不同方法有效磷测得值的关系
Table 5 Relationship between relative yields of wheat and the values of available P determined by different methods

土类 Soil type		测定方法 Determination method					
		Olsen 法	Bray 1 法(1:10)	Кирсанов 法	Труог 法	Чириков 法	
黑土	CK/P	$y = 17.4 \ln x - 1.06$ $r = 0.958^{**}$	$y = 11.8 \ln x + 5.72$ $r = 0.908^{**}$	$y = 8.42 \ln x + 5.72$ $r = 0.624$	$y = 11.3 \ln x - 2.8$ $r = 0.769^*$	$y = 7.2 \ln x - 14.8$ $r = 0.630$	
土类 Soil type		测定方法 Determination method					
		Olsen 法	Bray 1 法(1:50)	Bray 2 法(1:10)	Morgan 法		
淡黑钙土	CK/P	$y = 11.8 \ln x + 18.9$ $r = 0.680^*$	$y = 18.4 \ln x - 19.3$ $r = 0.785^*$	$y = 16.2 \ln x - 20.2$ $r = 0.621$	$y = 17.4 \ln x - 4.9$ $r = 0.622$		

注: $n = 9, r_{0.05} = 0.666, r_{0.01} = 0.798$ 。

(四) 小麦吸磷量与不同方法有效磷测得值的关系

从表 4 可见, 黑土盆栽试验对照处理小麦吸磷量与五种方法有效磷测得值的关系均与 Bray 1(1:10) 法、Olsen 法、Truog 法呈极显著相关, 与 Чириков 法、Кирсанов 法显著相关。加磷处理小麦吸磷量与不同方法测得值除 Чириков 法呈显著相关外, 其它四种方法都呈极显著相关。淡黑钙土盆栽试验对照处理小麦吸磷量与四种方法有效磷测得值关系, 除 Bray 2(1:10) 法呈显著相关外, 其余三种方法均呈极显著相关, 尤以 Bray 1(1:50) 法最好。加磷处理的小麦吸磷量与四种方法都呈显著相关, 可以看出淡黑钙土上 Bray 1(1:50) 法是应予优先考虑的方法。

(五) 小麦相对产量与不同方法有效磷测得值的关系

从表 5 可见: 黑土上小麦相对产量与 Bray 1 (1:10) 法、Olsen 法有效磷测得值均达极显著相关, 与 Truog 法呈显著相关, 与 Кирсанов、Чириков 法相关不显著。淡黑钙土上小麦相对产量与 Bray 1 (1:50) 法和 Olsen 法测得有效磷均呈极显著相关, 而且这个结果与第四节所述是相符合的。

综上所述, 生物试验的结果表明, Bray 1 和 Olsen 二法对黑土和淡黑钙土都显示了很好的相关性, 可做为优先考虑的方法, 但是大量的测试工作的结果显示, Olsen 法的测定值受气温影响变化很大。为此进行了 Bray 1 (1:10) 和 Olsen 法用同一土壤在不同气温和相同气温进行测定试验, 结果表明, 在无恒温室控制的实验室内进行工作, Bray 1 (1:10) 法的测得值明显的比 Olsen 法测得值稳定可取。因此在黑土和淡黑钙土上均可采用 Bray 1 法系统。

参 考 文 献

- [1] 周鸣铮, 1980: 土壤速效磷化学提取测定法探讨(一)、(二)。土壤通报, 第 5 期, 47—48 页, 第 6 期, 42—45 页。
- [2] 顾益初等, 1980: 农业化学中磷素分析方法概述。土壤, 第 3 期, 95—101 页。
- [3] 中国科学院南京土壤研究所主编, 1978: 中国土壤。科学出版社。
- [4] 张守敬, 1982: 水稻土中磷的有效性及其测定。土壤, 第 4 期, 152—154 页。
- [5] 中国科学院南京土壤研究所, 1978: 土壤理化分析法。上海科学技术出版社。
- [6] 杰克逊 M. L. 著(蒋柏藩等译), 1964: 土壤化学分析。科学出版社。
- [7] 沃尔什 L. M. 等著(周鸣铮译), 1979: 土壤测试与植物分析。23—46 页, 农业出版社。
- [8] 彼坚布尔斯基 A.B. (陈家坊等译), 1954: 农业化学分析。科学出版社。
- [9] Hesse, P. R., 1971: A Textbook of Soil Chemical Analysis, p. 27, John Murray.
- [10] Chang, S. C., Jackson, M. L., 1957: Fractionation of soil phosphorus. Soil Sci., 84: 133—143.
- [11] Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S., 1954: Estimation of available phosphorus in soil by extraction with NaHCO_3 . Circ. 930, U. S. Dept. Agr., Washington D. C.
- [12] Al-Abbas, A. H. and Barber, S. A., 1964: A soil test for phosphorus based upon fractionation of soil phosphorus: II. Development of the soil test, Soil Sci. Soc. Am. Proc., 28: 221—224.
- [13] Blanchar, R. W. and Caldwell, A. C., 1964: Phosphorus uptake by plants and readily extractable phosphorus in soil. Agron. J., 56: 218.
- [14] Roger, H. Bray, and Kurtz, L. T., 1945: Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soil. Soil Sci., 59: 39.

ON METHOD OF DETERMINATION OF SOIL AVAILABLE PHOSPHORUS IN LIGHT CHERNOZEM AND BLACK SOIL

Zhang Quanqing, Zhao Lanzhen, Yan Xiaogong,

Ren Yi and Wang Peifu

(Soil and Fertilizer Institute, JILIN Academy of Agriculture Science)

Summary

1. The results of experiments showed that, in calcareous chernozem and light chernozem, the inorganic-P accounted for 70—85%, Ca-p 25—48%, Al-P 4.2—7.6%, and Fe-P 1.4—2.4% of total P; in neutral black soil, inorganic-P was 40—50%, Ca-P 14—15%, Al-P 4—5% and Fe-P 4—5% of total P. The data indicate that the contents of various forms of inorganic P in the two soil are in a descending order of Ca-P > Al-P > Fe-P.

2. Plant analysis showed that the recovery rete of phosphorus by wheat was in a descending order of Al-P > Fe-P > Ca-P, less Ca-P was absorbed although it was more in soil.

3. The best extractant for determination of available phosphorus in black soil were the 1:10 solution of 0.025 N HCl+0.03 N NH_4F and 0.5 N NaHCO_3 , while that for calcareous soils was 1:50 solution of 0.025 N HCl+0.03 N NH_4F and 0.5 N NaHCO_3 .

4. Results obtained from the Bray's method was more stable than those obtained by Olsen's method under ordinary temperature for the soils used. It is suggested that Bary's method should be the best for determination of available phosphorus in these soils.