

我国南方地区典型红壤有效磷测定方法研究^①

宋春丽^{1,2}, 樊剑波¹, 何园球^{1*}, 赵汝东^{1,2}, 屠人凤^{1,2}, 谭炳昌^{1,2}, 吴俊^{1,2}

(1 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008; 2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 通过油菜和水稻的盆栽试验, 研究不同耕作方式下红壤有效磷的测定方法。结果表明: 不同方法测得的土壤有效磷值差异较大, 其中以 Olsen 法测定的有效磷值最小, 各方法测得的土壤有效磷值之间均达到极显著的相关水平; 各方法测得的有效磷值与作物吸磷量和生物量的相关性在旱地土壤上均达到极显著水平, 在水田土壤上达到显著水平; 其中以 Bray I 法测定的值与作物吸磷量及生长相关性最好, 建议将 Bray I 法作为南方酸性土壤的有效磷测定方法。

关键词: 红壤; 有效磷; 测定方法

中图分类号: S158.2

土壤有效磷并不是指土壤中某一特定形态的磷, 也不具有真正数量的概念, 它只是指某一特定方法所测出的土壤中的磷量, 应用不同的测定方法在同一土壤上可以得到不同的有效磷数量, 因此有效磷水平只是一个相对指标, 但它可以相对地说明土壤的供磷水平, 在实际生产中作为土壤施用磷肥与否的标准^[1-3]。所以测定土壤有效磷的含量是十分必要的, 目前用于土壤有效磷测定的方法较多, 且各方法均有其优点和局限性^[4-5]。常用的土壤有效磷测定方法有 Bray I 法^[6], Olsen 法^[7], Mehlich III 法^[8]和阴离子交换性树脂法^[9]等。Bray I 法适用于中度到高度风化的酸性土壤中有有效磷的测定, 并具有广泛的应用; Olsen 法对有效态的 Fe-P、Al-P 和 Ca-P 均可适当地提取, 所以不仅适用于碱性、中性土壤, 目前也被许多人用于测定南方酸性土壤上的有效磷; Mehlich III 法使用的是一种联合浸提剂, 可以同时测定多种元素, 测定值与相应的常规分析法有极好的相关性, 因此应用也比较广泛^[10-11]; 而阴离子交换性树脂法提取磷的原理更接近于植物根系对土壤养分的吸收, 从而能更加确切地反映土壤磷的数量与植物吸磷量的关系^[12]。由于不同方法提取有效磷的机理不同, 即使在同一土壤上不同方法测得的有效磷值也不相同^[13], 甚至数值相差很大。前人在土壤有效磷的测定方法与作物生长的相关性方面做过许多研究^[14-23], 且通常认为化学提取方法所测得的结果只有与作物吸磷量显著相关, 才能用来诊断土壤的供

磷状况^[24]。但是关于有效磷测定方法的研究多数都是在上世纪 90 年代以前进行的, 近年来研究较少, 而这 20 年中气候、环境、耕作施肥等均产生一定的变化, 因此研究南方地区典型红壤的有效磷测定方法十分必要。

为研究我国中亚热带地区典型红壤的有效磷测定方法, 本研究选择上述 4 种有效磷测定方法, 并以江西地区的水田和旱地红壤为研究对象, 运用生物鉴定法即根据作物(油菜和水稻)的反应特点进行相关研究。以作物的反应为标准, 求取 4 种有效磷测定方法的测定值与作物生物量、吸磷量的相关系数, 以期获得在特定类型的土壤上, 最适合的有效磷测定方法。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

供试土样分别采自江西省南昌市湾里区, 江西省余江县刘家站垦殖场一分厂和三分厂。每个地区均采集水田和旱地样品, 分别选择 5 个不同肥力水平的采样点, 共计 30 个土样。土样风干和去掉植物残体及其他侵入体后分别过 10 目和 100 目筛, 用于盆栽试验及土壤基本性质的测定。

1.2 土壤基本理化性质测定

所有土壤样品基本理化性质的测定方法均选用常规方法, 土壤 pH 值的测定采用蒸馏水提取(水土质量比为 2.5:1)电位法; 土壤有机质含量采用重铬酸钾容

①基金项目: 国家自然科学基金项目(30971869), 国家自然科学基金重点项目(U1033004)和国家科技支撑计划课题(2009BAD6B04)资助。

* 通讯作者(yqhe@issas.ac.cn)

作者简介: 宋春丽(1985—), 女, 山东郓城人, 硕士研究生, 主要研究方向为土壤生态。E-mail: soongchunli@gmail.com

量-外加热法测定;全氮的测定采用开氏法;全磷全钾采用氢氟酸-高氯酸消煮法,有效磷的测定采用 Bray I 法^[6]提取,钼锑抗显色,各项目测定方法及具体操作过程参照《农业化学分析方法》^[25]。

表 1 为供试土样的基本理化性质,供试土壤样品的酸度普遍较大,近 2/3 土样 pH 值小于 5,仅 2 个土样 pH 值大于 6;有机质的含量为 3.39 ~ 39.67 g/kg;

全氮含量为 0.27 ~ 2.18 g/kg;从有机质和全氮含量可以得出供试土壤样品能够代表肥力水平由低至高的绝大多数红壤。全钾含量 2.27 ~ 24.89 g/kg;全磷含量的波动范围很大 0.16 ~ 1.66 g/kg;有效磷的含量也具有明显的等级性,0.19 ~ 379.28 mg/kg,相当于不同的施磷处理,具有很好的代表性;<0.002 mm 的黏粒含量为 86.8 ~ 422.2 g/kg。

表 1 供试土样的基本理化性质
Table 1 Basic physicochemical properties of studied soils

耕作类型	采样地点	肥力	pH 值	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	全磷 (g/kg)	全钾 (g/kg)	速效磷 (mg/kg)	<0.002 mm 黏粒 (g/kg)
旱地	南昌	1	5.14	35.54	1.84	0.84	23.14	156.98	150.7
		2	5.68	37.27	1.69	1.11	24.32	244.73	128.8
		3	4.57	26.23	1.39	0.34	23.68	12.44	147.8
		4	6.74	16.85	0.82	0.76	24.70	83.52	105.8
		5	5.46	9.47	0.43	0.32	24.89	10.20	163.6
	一厂	1	6.48	20.54	0.89	1.13	6.69	258.38	218.9
		2	5.70	14.69	0.92	1.66	9.48	379.28	415.3
		3	4.84	13.29	0.67	0.47	8.56	19.32	386.2
		4	4.66	9.66	0.62	0.43	9.60	12.34	419.3
		5	4.36	5.95	0.43	0.25	8.85	0.19	422.2
	三厂	1	4.81	11.34	0.70	0.39	2.95	14.67	194.3
		2	5.18	9.30	0.58	0.51	4.16	113.14	109.4
		3	4.61	6.10	0.38	0.22	2.30	22.15	133.3
		4	4.96	5.68	0.36	0.32	2.76	90.81	86.8
		5	5.02	3.39	0.27	0.17	2.34	29.55	145.4
水田	南昌	1	4.78	39.67	2.18	0.71	24.41	118.95	148.2
		2	4.74	35.83	2.12	0.55	20.66	50.70	159.5
		3	4.66	35.35	2.03	0.50	22.00	43.42	125.6
		4	4.73	26.09	1.45	0.36	21.49	17.00	149.0
		5	4.82	22.04	1.30	0.41	22.66	5.40	239.1
	一厂	1	4.79	38.68	2.11	0.67	6.04	72.35	244.8
		2	4.72	32.84	1.77	0.58	6.16	21.81	329.2
		3	4.88	27.31	1.43	0.77	6.28	39.60	285.6
		4	4.65	21.83	1.18	0.55	9.85	2.93	425.0
		5	4.66	13.36	0.76	0.47	14.91	0.77	352.7
	三厂	1	4.87	32.88	2.07	0.49	4.85	67.60	149.9
		2	5.00	20.81	2.18	0.21	4.06	21.66	131.3
		3	5.07	18.29	1.09	0.44	6.49	4.31	270.3
		4	4.77	13.63	1.15	0.37	4.43	26.88	153.1
		5	5.19	6.80	0.42	0.16	2.27	6.94	128.4

注:各供试土样肥力水平从 1 至 5 呈递减,下同。

1.3 盆栽试验

以采集的 30 个土壤样品为研究对象,采用江西当

地的水稻和油菜品种进行盆栽试验。15 份旱地土样以油菜(高产和常规两个品种)为指示作物,15 份水田

土样以水稻(高产和常规两个品种)为指示作物,每个处理设 3 个重复,每钵 0.25 kg 土,共 180 钵,随机排列。水稻和油菜均为直播,油菜于 10 月上旬播种,水稻于 5 月中旬播种,定苗 6 株。所有处理均施等量的尿素(N 100 mg/kg 土)和氯化钾(K 100 mg/kg 土),不施磷肥。出苗 40 天后结束盆栽试验,采集土壤及植物样品,分别测定植株生物量及全磷含量。

1.4 土壤有效磷的测定方法

种植盆栽前后的土壤样品中有效磷含量的测定分别用 Bray I 法^[6](0.025 mol/L HCl + 0.03 mol/L NH₄F), Olsen 法^[7](0.5 mol/L NaHCO₃), Mehlich III 法^[8](0.2 mol/L CH₃COOH + 0.25 mol/L NH₄NO₃ + 0.015 mol/L NH₄F + 0.013 mol/L HNO₃ + 0.001 mol/L EDTA, pH 2.5±0.1) 和阴离子交换性树脂法^[9]测定。

在本研究中为了尽量减少环境因素在盆栽试验前后土壤的有效磷测定中所造成的差异影响,试验中作物栽种前后的土壤中有有效磷含量的测定在同批进行。

1.5 数据分析

采用 Excel2003 和 SPSS16.0 进行相关数据的统计分析。

2 结果分析

2.1 不同方法测定的土壤有效磷含量分析

从表 2 可以看出,不同样点、耕作方式下土壤有效磷含量差异较大。4 种方法测得的旱地土样有效磷值:Bray I 法测得值为 0.19~379.28 mg/kg(均值 96.51 mg/kg);Olsen 法测得值为 0.89~145.00 mg/kg(均值 37.47 mg/kg);Mehlich III 法测得值为 0.52~272.80 mg/kg(均值 92.32 mg/kg);阴离子交换性树脂法测得值为 1.03~367.91 mg/kg(均值 81.20 mg/kg)。各方法测得的水田土样有效磷值:Bray I 法测得值为 0.77~118.95 mg/kg(均值 33.32 mg/kg);Olsen 法测得值为 0.80~50.60 mg/kg(均值 19.95 mg/kg);Mehlich III 法测得值为 0.68~105.89 mg/kg(均值 38.53 mg/kg);阴离子交换性树脂法测得值为 1.18~60.75 mg/kg(均值 24.28 mg/kg)。测定结果表明,采用不同测定方法测得的相同土样有效磷值均存在较大的差异,不同种方法所测得的有效磷数值的多少只是一个相对指标,它并不能代表土壤中有效性磷的真正数量,也不能据此直接计算作物的施肥量。

表 2 不同方法测得的土壤有效磷值(mg/kg)

Table 2 The values of available P extracted by different methods

测定方法	采样地点	不同肥力水平旱地					不同肥力水平水田				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Bray I 法	南昌	156.98	244.73	12.44	83.52	10.20	118.95	50.70	43.42	17.00	5.40
	一厂	258.38	379.28	19.32	12.34	0.19	72.35	21.81	39.60	2.93	0.77
	三厂	14.67	113.14	22.15	90.81	29.55	67.06	21.66	4.31	26.88	6.94
Olsen 法	南昌	34.54	96.33	6.89	33.38	8.82	44.06	18.95	16.95	15.79	12.58
	一厂	88.25	145.00	11.51	16.90	0.89	34.73	21.42	50.60	10.23	0.80
	三厂	19.33	43.38	10.48	33.76	12.54	23.80	9.43	12.52	21.61	5.74
Mehlich III 法	南昌	173.59	197.29	22.82	117.95	10.89	105.89	46.07	38.86	18.95	13.54
	一厂	151.71	272.80	24.75	21.86	0.52	74.51	34.80	75.80	9.02	0.68
	三厂	32.92	142.41	22.92	161.64	30.71	66.52	22.82	9.67	48.92	11.86
交换性树脂法	南昌	75.85	159.54	10.99	63.77	15.80	46.73	23.33	21.18	12.11	15.16
	一厂	254.69	367.91	38.81	26.83	1.03	50.27	34.82	60.75	21.32	1.18
	三厂	30.78	84.87	13.05	45.92	28.21	25.04	10.45	13.80	23.13	4.89

无论旱地还是水田土壤,对于同一土样 Olsen 法所测得的有效磷值最小,这是因为 Olsen 法所用的提取剂是碱性的 NaHCO₃,在酸性土壤中能使 pH 值提高使 Fe-P、Al-P 水解而部分被提取,但是磷酸根负离子的交换是利用其 OH⁻ 进行的,在酸性土壤上,OH⁻ 需

中和土壤酸性和 Na⁺ 代换下来的 H⁺,因而降低了代换吸附在 Fe、Al 胶体上的磷酸根负离子的能力,而不利于磷的提取^[26]。Bray I 法与 Mehlich III 法测得的有效磷值相近,因为 Bray I 法的浸提剂是 0.03 mol/L NH₄F-0.025 mol/L HCl,而 Mehlich III 法中能更有效浸提

出磷的成分是 0.015 mol/L NH_4F -0.013 mol/L HNO_3 ^[10], 二者的作用机理相同, 一方面通过 NH_4F 中的 F 和 Fe-P、Al-P 中的 Fe、Al 在酸性条件下形成络合物从而释放有效磷, 另一方面通过稀酸来溶解部分磷^[25]。阴离子交换性树脂法提取有效磷在机理上属于物理化学方法, 模拟植物根系对土壤养分的吸收, 通过树脂上的阴离子与土壤溶液中的阴离子发生交换作用代换下土壤中的活性磷酸根, 不同于其他 3 种化学方法浸提的有效磷。

2.2 不同方法测得有效磷值间的相关关系

无论旱地还是水田土样, 4 种方法测得的土壤有效磷值之间的相关性均达到极显著的水平 (表 3), 这说明 4 种方法在测定南方酸性红壤上的有效磷时, 有着良好的相互替代性。关于酸性土壤上不同有效磷

的测定方法之间的相关性, 张守敬^[27]在 1982 年做过相同的报道, 即在酸性土壤上测定有效磷时几乎任何测试方法之间的相关系数都非常高, 这是因为酸性土壤中磷酸钙没有或者很少, 所以无论酸性浸提剂提取也好, 碱性浸提剂提取也好, 都不会影响测定结果。表 3 中, 旱地土壤上各有效磷测定方法之间的相关系数与在水田土壤上并不相同, 这可能与红壤旱地上主要的有效磷源是 Al-P^[17,28], 而在红壤性水稻土上主要的有效磷源是 Fe-P^[29]有关。有人曾做过关于不同有效磷测定方法之间的相关性与土壤无机形态磷之间相关性的研究^[30], 得出有效磷测定方法与土壤无机形态磷的相关性会影响不同测定方法之间的相关性, 至于是何种形态的无机磷则与土壤本身的性质有关。

表 3 各方法测得的土壤有效磷值间的相关性 (R^2)

Table 3 The correlation coefficients among available P contents extracted by different methods

	旱地 ($n=30$)			水田 ($n=30$)		
	Olsen 法	Mehlich III 法	树脂法	Olsen 法	Mehlich III 法	树脂法
Bray I 法	0.980**	0.926**	0.962**	0.750**	0.935**	0.670**
Olsen 法	1	0.888**	0.970**	1	0.914**	0.956**
Mehlich III 法		1	0.822**		1	0.846**
树脂法			1			1

注: * 表示在 $P<0.05$ 水平显著相关, ** 表示在 $P<0.01$ 水平显著相关, 下同。

2.3 不同方法测得有效磷值与作物吸磷量、生物量间的相关关系

由于不同方法测定的土壤有效磷值相差较大, 并且不同土壤的有效磷含量波动范围较大, 而作物的吸磷量和生物量值都比较小, 因此本研究取各方法测得的有效磷值的对数与作物的吸磷量和生物量做相关性检验^[17]。

由表 4 可知, 在旱地土壤上 4 种测定方法测定的

有效磷值与作物吸磷量相关系数: Bray I 法 > Olsen 法 > Mehlich III 法 > 阴离子交换性树脂法; 与作物生物量的相关系数: Bray I 法 > Mehlich III 法 > Olsen 法 > 阴离子交换性树脂法。各相关关系都达到极显著水平, 并且数值相差不大, 这与前文中 4 种方法测得的有效磷值之间呈极显著相关的结论一致, 并说明这 4 种方法均能在一定程度上反映土壤对作物的供磷能力, 可以用于测定酸性红壤旱地的有效磷。

表 4 旱地土壤不同方法有效磷测定值 ($\log P$) 与参比项的相关系数 ($n=30$)

Table 4 The correlation coefficients between the reference standards and available P contents extracted by different methods in pot experiments in upland soil

	Bray I 法	Olsen 法	Mehlich III 法	阴离子树脂法
吸磷量	0.675**	0.663**	0.658**	0.640**
生物量	0.652**	0.580**	0.651**	0.563**

在水田土壤上 (表 5), 4 种方法的测定值与作物吸磷量的相关系数: Bray I 法 > 阴离子交换性树脂法 > Mehlich III 法 > Olsen 法, 相关性均达到极显著水平; 在与作物生物量的相关性方面只有 Bray I 法达到极显

著水平, 而 Mehlich III 法、Olsen 法、阴离子交换性树脂法达到显著性水平, 说明虽然 4 种方法均可用于红壤性水稻土有效磷的测定, 但 Bray I 法较另外 3 种测定方法略好。

表 5 水田土壤不同方法有效磷测定值 (logP) 与参比项的相关系数 ($n = 30$)

Table 5 The correlation coefficients between the reference standards and available P contents extracted by different methods in pot experiments in paddy soil

	Bray I 法	Olsen 法	Mehlich III 法	阴离子树脂法
吸磷量	0.683**	0.605**	0.645**	0.650**
生物量	0.472**	0.387*	0.424*	0.446*

2.4 盆栽试验前后土壤有效磷含量的变化与作物吸磷量的相关关系

收获盆栽后的土壤样品用 Bray I 法、Mehlich III 法、Olsen 法和阴离子交换性树脂法测定有效磷的含量,并将测定值与盆栽试验前的土壤有效磷值相比较,得出种植盆栽试验前后土壤有效磷含量的变化。但因为影响土壤中有效磷含量变化的原因复杂并且在有效磷的测定中环境因素的作用系数较大,导致不同时间

测得的有效磷值变异大,重现性不好,使得该参比项目在前人研究有效磷的测定方法中较少使用。

将盆栽试验前后土壤有效磷含量的变化与作物的吸磷量做相关性分析,得到图 1。由图 1 可知,4 种方法测得的土壤有效磷含量变化与作物吸磷量的相关程度:Bray I 法 > Olsen 法 > 阴离子交换性树脂法 > Mehlich III 法,均达到极显著水平,此结果与前文一致,即 4 种方法均能反映土壤对作物的供磷能力。

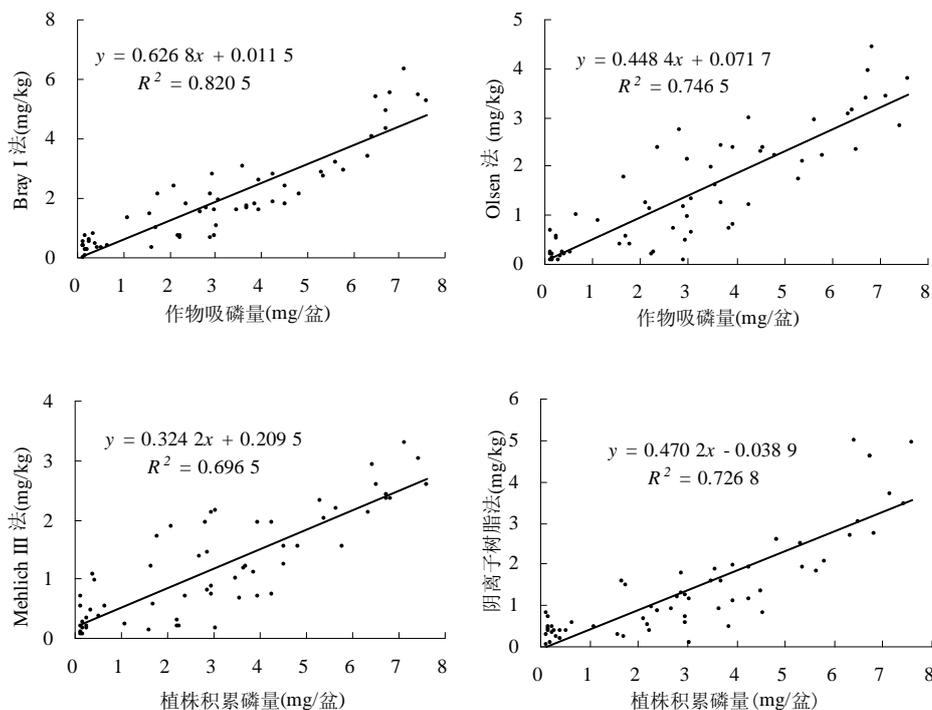
图 1 4 种方法测得有效磷含量的变化与作物吸磷量的相关关系 ($n = 60$)

Fig. 1 The correlations between P uptake by crop and available P content extracted by different methods in pot experiments

3 讨论

(1) Bray I 法, Olsen 法, Mehlich III 法和阴离子交换性树脂法均可用于南方酸性土壤上有效磷的测定,并具有良好的相互替代性,这与前人的研究结果相一致。

(2) 由于 Olsen 法采用碱性浸提剂,在酸性土壤上,OH⁻需中和土壤酸性和 Na⁺ 代换下来的 H⁺,因而

降低了代换吸附在 Fe、Al 胶体上的磷酸根负离子的能力,而不利于磷的提取,使其测定值与其他 3 种方法测得的土壤有效磷数值相差很大,因此不建议在南方酸性红壤地区使用该方法。

(3) 从 4 种土壤有效磷测定方法本身的优缺点来看:Bray I 法简便易行,温度影响较小,且灵敏度高,比较适合南方酸性土壤有效磷的测定。而温度系数对

Olsen 法的影响较大,需要恒温设备,在有机质含量高的土壤上 Olsen 法的浸提液往往带有颜色,应慎重选择。Mehlich III 法为联合浸提剂,浸提剂成分复杂,土壤浸出液常常带有颜色,比色液中 NH_4^+ 和 EDTA 终浓度高时对磷比色均有干扰,在需要同时测定多种元素时使用较好。阴离子交换性树脂法操作比较繁琐,测定周期长,使得其测定速度较其他 3 种方法慢,在测定大批样品时不宜使用。因此,在测定土壤有效磷时,应根据土壤本身性质和实验条件选择最适宜的测定方法。

4 结论

本研究所选用的 4 种方法均可用于南方酸性红壤有效磷的测定,但以 Bray I 法最佳,因此建议在南方酸性红壤地区选用 Bray I 法作为有效磷的测定方法。

参考文献:

- [1] 沈善敏. 中国土壤肥力. 北京: 中国农业出版社, 1998
- [2] 文亦蒂, 艾有群. 南方红壤磷素化学研究进展和展望. 云南农业大学学报, 2005, 20(4): 534-547
- [3] Hinsinger P. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: A review. *Plant and Soil*, 2001, 237(2): 173-195
- [4] Gascho GJ, Gaines TP, Plank CO. Comparison of extractants for testing Coastal Plain soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 1990, 21: 1 051-1 077
- [5] Sen Tran T, Giroux M, Guilbeault J, Audesse P. Evaluation of Mehlich III extractant to estimate the available P in Quebec soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 1990, 21:1-28
- [6] Bray R, Kurtz L. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science*, 1945, 59(1): 39-45
- [7] Olsen SR, Cole CV, Watanabe FS. Estimation of Available Phosphorus in Soils by Extraction with Sodium Bicarbonate. Washington: USDA, 1954: 18
- [8] Mehlich A. Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 1984, 15(12): 1 409-1 416
- [9] Page AL, Miller RH, Keeney DR. Methods of Soil Analysis- Part 2- Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America. Madison, USA, 1982: 416-426
- [10] 刘肃, 李酉开. Mehlich3 通用浸提剂的研究. *土壤学报*, 1995, 32(2): 132-141
- [11] 沈仁芳, 蒋柏藩. Mehlich 3 浸提磷与石灰性土壤有效磷的关系. *土壤通报*, 1994, 25(3): 140-141
- [12] 同延安, 邓锦兰, 韩稳社, 郭振平. 用阴离子交换树脂测定土壤中的有效磷. *陕西农业科学*, 1992(6): 40-41
- [13] Schnier HF, Recke H, Muchena FN, Muriuki AW. Towards a practical approach to fertilizer recommendations for food crop production in smallholder farms in Kenya. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 1996, 47(3): 213-226
- [14] 于文涛. 酸性土壤速效磷的测定. *土壤通报*, 1965(2): 24-25
- [15] 史陶钧, 朱荫涓, 鲁如坤. 酸性水稻土有效磷测定方法的研究. *土壤学报*, 1979, 16(4): 409-413
- [16] 刘起箴, 夏希贤. 吉林省酸性水稻土速效磷测定方法的研究. *吉林农业大学学报*, 1986, 8(1): 44-48
- [17] 陆允甫, 周鸣铮. 红壤旱耕地速效磷测定方法与指标的研究. *土壤学报*, 1987, 24(4): 325-334
- [18] 甄清香, 邵煜庭, 李增风, 张仁陟. 四种测定有效磷方法在灌漠土上相关性的研究. *土壤*, 1988, 5(5): 247-250
- [19] 吴德意, 青长乐. 紫色土磷的形态、有效性及有效磷测定方法的研究. *土壤通报*, 1989, 5(6): 215-219
- [20] 张少若, 樊辛, 程玉林, 吴小玲. 海南岛砖红壤有效磷测定方法的比较和应用. *热带农业科学*, 1989(1): 10-17
- [21] 肖洪东, 黄中东. 花岗岩发育的赤红壤旱耕地有效磷测定方法的比较. *佛山科学技术学院学报(自然科学版)*, 1994(2): 62-64
- [22] 凌大炯, 李燕. 砖红壤速效磷 3 种测定方法的比较. *湛江海洋大学学报*, 1999, 19(3): 63-65
- [23] 于群英, 段立珍. 用 Mehlich3 通用浸提剂法测定土壤有效磷和有效钾. *安徽农业科学*, 2002, 30(6): 861-864
- [24] Sengupta MB 等著 (史瑞和译). 石灰性土壤中的磷. *土壤学译丛*, 1965(6): 9-13
- [25] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 1999
- [26] 吴海英. 土壤有效磷测定方法的比较研究——幼苗法. *土壤肥料*, 2003 (1): 38-40
- [27] 张守敬. 水稻土中磷的有效性及其测定. *土壤*, 1982(4): 152-154
- [28] Kamprath EJ, Watson ME. Conventional soil and tissue tests for assessing the phosphorus status of soils // Khasawneh FE, Sample EC, Kamprath EJ. *The Role of Phosphorus in Agriculture*. Madison, WI: ASA, CCSA, SSSA, 1980: 433-469
- [29] 蒋柏藩, 鲁如坤. 南方水稻土中的磷酸铁对水稻磷素营养的意义. *土壤学报*, 1963, 11(4): 361-369
- [30] 卜玉山, Magdoff FR. 十种土壤有效磷测定方法的比较. *土壤学报*, 2003, 40(1): 140-146

Study on Methods of Determining Available Phosphorus in Red Soil of Southern China

SONG Chun-li^{1,2}, FAN Jian-bo¹, HE Yuan-qiu¹, ZHAO Ru-dong^{1,2}, TU Ren-feng^{1,2}, TIAN Bing-chang^{1,2}, WU Jun^{1,2}

(1 *Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China;*

2 *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

Abstract: Pot experiment was carried out to study the methods of determining available P content in the red soils under different tillage methods. The results showed that the contents of available P were different significantly extracted by different methods, and the content of available P determined by Olsen-method was the lowest. The correlation coefficients among the results of available P contents extracted by different methods reached extremely significant level. The correlation coefficients between the reference standards and available P contents extracted by different methods in pot experiments reached extremely significant level in upland soil and significant level in paddy soil. P uptakes by crop and available P contents extracted by Bray-method showed the best correlation, so Bray method is recommended for determining available P content in acid soils of southern China.

Key words: Red soil, Available P, Determining methods