

doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.22327

基于常规 Olsen 法的全自动化学分析仪 (SmartChem 200) 测定土壤有效磷的研究

张向向, 姜向弟, 贺江, 王永慧*

(江苏沿海地区农业科学研究所, 江苏 盐城 224000)

摘要: 土壤有效磷含量在评价土壤肥力、指导作物磷肥施用等方面有重要的意义。常规测定方法(碳酸氢钠浸提-人工钼锑抗比色法)步骤复杂、费时费力,提高常规方法测试效率和准确性是测土配方施肥研究中亟待解决的技术问题。选取4组不同有效磷含量的土壤为样品,探究基于碳酸氢钠浸提-全自动化学分析仪测定土壤有效磷含量的可行性。结果表明:此方法有效磷含量在0.00~2.00 mg/L范围内线性良好,相关系数 r 为1;用于测定土壤样品中有效磷含量,测定结果与常规方法接近,相对误差在0.00%~2.07%之间,有较高的相关性;用于测定土壤标准物质(NSA-2)中有效磷,测定结果的相对标准偏差(RSD, $n=6$)为0.37%,加标回收率为99.00%~101.00%。采用全自动化学分析仪测定土壤有效磷准确度高、精密度好,测定结果达到土壤有效磷的检测要求;同时该仪器操作简单、测试效率高,可用于大批量土壤有效磷含量的分析测试。

关键词: 土壤;有效磷;标准法;全自动化学分析仪

土壤全磷量的高低及土壤的磷供应容量受土壤母质、耕作施肥等因素的影响,往往不能真正地体现土壤磷素肥力的综合供应状况。土壤中有有效磷,是土壤中较容易被植物吸收利用的磷,包括全部水溶性磷、部分吸附态磷及部分有机磷,有的土壤中还包括某些沉淀态磷^[1]。土壤有效磷含量作为特指能被当季作物吸收的磷量,能真实地反映土壤供磷能力,可为生产中合理施用磷肥提供数据参考^[2]。土壤有效磷的测定方法种类很多,归纳起来主要有化学提取法、同位素法、阴离子交换树脂法和生物法。由于测定方法的应用成本和测试效率等问题,化学提取法成为目前国内外使用最常规的有效磷测试方法,其它方法一般作为标准方法来检验化学速测方法的可用性^[3-4]。

1954年Olsen等^[5]提出采用碳酸氢钠作为碱溶液浸提剂,这是由于在pH 8.5的环境下,碳酸氢钠溶液中钙、铝、铁等离子的活度很低,更有利于磷的提取。浸提后,浸提液中磷的测定则采用常规

的钼锑抗比色法,该方法体系可获得与作物吸收的磷密切相关的测定结果。经过学者们大量的实验探究,逐步优化,碳酸氢钠浸提(Olsen法)-钼锑抗比色法在相当一段时间被广泛应用于弱酸性和石灰性土壤有效磷的测定^[6-7]。然而,随着现代高效农业的快速发展,传统碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法检测土壤有效磷含量的缺点日益凸显:一是浸提剂温度和显色温度对有效磷测定结果影响较大;二是方法步骤较多,操作过程繁杂,分析效率低,已不能满足快速批量测定的需求。

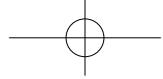
现代仪器设备的研制与使用能进一步提高实验室化学检测技术水平,如流动注射分析仪、离子色谱仪、电感耦合等离子体光谱仪等可以同时检测分析多个元素^[8-10]。刘珂珂等^[11]采用碳酸氢钠浸提-基体掩蔽结合电感耦合等离子体原子发射光谱法实现了对大批量土壤中有有效磷含量的高效分析。杨俐苹等^[12-13]使用稀释加液器和泵吸进样器等现代化仪器设备,显著提高了土壤有效磷含量的测试效率。全自动化学分析仪是一种将比色分析与机械化、智能化相结合的分析测试仪器,检测过程简单、高效。目前前人对全自动化学分析的应用研究多集中于水质监测,对土壤营养元素,特别是有效磷含量检测的相关研究相对较少^[14-16]。本文基于常规碳酸氢钠浸提法,利用全自动化学分析仪测

收稿日期: 2022-05-26; 录用日期: 2022-07-13

基金项目: 江苏沿海地区农业科学研究所科研基金项目(YHS 201908)。

作者简介: 张向向(1989-), 助理研究员, 硕士, 主要从事土壤和肥料理化性质检测工作。E-mail: zxx696@126.com。

通讯作者: 王永慧, E-mail: huiyw2008@163.com。



定浸提后土壤有效磷含量, 并比较此方法与常规标准比色法在检测结果的准确度及相关性、精密性、试剂用量等方面的差异性。以探究基于碳酸氢钠浸提-全自动化学分析仪测定土壤有效磷含量的可行性, 为准确、高效测定土壤有效磷提供方法参考和实践依据。

1 材料与方 法

1.1 样品采集与制备

供试材料为 4 组不同级别有效磷含量的土壤样品(有效磷分级标准采用由江苏省耕环站指定的江苏省耕地质量监测指标分级标准, ≤ 10.0 mg/kg 为低、10.0~15.0 mg/kg 为较低、15.0~25.0 mg/kg 为中、25.0~35.0 mg/kg 为较高、 >35.0 mg/kg 为高)^[17], 共计 12 个, 由盐城市农业科学院检验检测中心提供; 供试土壤有效态成分分析标准物质为中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所研制的河北潮土(NSA-2)。

所有供试样品于阴凉通风的条件下风干, 去除植物残留物、石子等杂物, 采用四分法取约 1 kg 样品经玛瑙研钵研磨, 经 2 mm 孔径过筛后, 装入带盖塑料瓶中备用。

1.2 仪器与试剂

1.2.1 仪器

SmartChem 200 全自动化学分析仪(法国 ALLIANCE 公司), 附自动稀释器, 自动进样器, 样品杯, 探针清洗液, 比色杯清洗液等; QYC-200 恒温振荡器(上海新苗医疗器械制造有限公司); T6 新世纪紫外分光光度计(北京普析通用仪器有限责任公司); 分析天平(赛多利斯科学仪器有限公司)。

1.2.2 主要试剂和溶液

磷标准使用液 1: $\rho(P) = 5$ mg/L; 磷标准使用液 2: $\rho(P) = 2$ mg/L; 浓硫酸: $\rho(H_2SO_4) = 1.84$ g/mL; 42.0 g/L 碳酸氢钠溶液; 100 g/L 氢氧化钠溶液; 3 g/L 酒石酸锑钾溶液; 磷酸二氢钾(优级纯); 四水钼酸铵; 抗坏血酸(左旋, 旋光度 $+21^\circ \sim 22^\circ$); 十二烷基硫酸钠(分析纯)。

钼锑贮备液(称取 10.0 g 四水钼酸铵溶于 300 mL 约 60 °C 的水中, 冷却。另量取 181 mL 浓硫酸, 缓缓倒入约 800 mL 水中, 搅拌, 冷却。然后将配制好的硫酸溶液缓缓倒入钼酸铵溶液中。再加入 100 mL 3 g/L 酒石酸锑钾溶液, 冷却后, 用水

定容至 2 L, 摇匀); 钼锑抗显色剂(称取 0.5 g 抗坏血酸溶于 100 mL 钼锑抗贮备液中, 此溶液现配现用)。

1.3 有效磷的浸提

称取 2.50 g(精确至 0.01 g) 通过 2 mm 孔径筛的风干试样于干燥的 250 mL 塑料瓶中, 加入 (25 ± 1) °C 碳酸氢钠浸提液 50.00 mL。置于 (25 ± 1) °C 的恒温振荡器中, 以 180 r/min 的速率振荡 30 min, 振荡结束后立即用无磷滤纸过滤到干燥的 150 mL 三角瓶中。滤液必须当天完成分析。

1.4 钼锑抗比色法测定试样浸提液中有效磷

1.4.1 标准曲线的绘制

分别吸取 5.00 mg/L 磷标准使用液 0、0.50、1.00、2.00、3.00、4.00、5.00 mL 于 25 mL 容量瓶中, 依次加入 10.0 mL 碳酸氢钠浸提液和 5.0 mL 钼锑抗显色剂, 慢慢摇动至气体排尽(避免剧烈摇晃使气泡溢出瓶口), 再加水定容。在高于 20 °C 的室温条件下静置 30 min, 用 1 cm 比色皿在波长 880 nm 处, 以标准溶液的零点调零后进行吸光度测定。以标准溶液的磷浓度为横坐标, 吸光度为纵坐标, 绘制标准曲线。

1.4.2 试样的测定

分别吸取 1.3 中所得滤液 10.0 mL 于 50 mL 容量瓶中, 加入 5.0 mL 钼锑抗显色剂, 慢慢摇动, 排出二氧化碳, 再加入 10.0 mL 水, 充分摇匀。按照与标准曲线相同的操作步骤进行显色和测定。同时进行不加土壤样品的空白溶液测定。

1.5 利用 SmartChem 200 全自动化学分析仪测定试样浸提液中有效磷

1.5.1 标准曲线的制备

取适量磷标准使用液 2 于干净的样品杯中, 放置在仪器标准样品位置, 稀释位放置纯水。启动测试计划后, 仪器自动对标准液进行逐级稀释为 0、0.10、0.20、0.50、1.00、1.50、2.00 mg/L 的系列标准工作溶液。

1.5.2 试验方法及仪器分析条件

分别吸取 1.3 中所得滤液 8.0 mL 于 50 mL 离心管, 加入 2.0 mL 硫酸溶液(10%, V/V), 充分摇匀排尽气泡, 同时做空白实验。以上试液移取适量至仪器样品杯中, 用于分析。

按照 SmartChem 200 操作规程完成电脑主机、仪器主机和软件的依次启动, 并对系统预热 30 min。补充或更换探针清洗液、去离子水和比

色杯清洗液后,运行清洗比色杯操作和 WBL 操作。建立本次实验所需的测试方法(波长选为 880 nm,取样量为 120 μL,试剂混合液体积为 300 μL,读数时间为 576 s,标准曲线:最高点为 2.00 mg/L)。确定样品、标准样品、试剂和稀释剂已放置到位,启动测试计划,仪器将自动进行标准样品稀释、取样、显色、测定、数据处理和结果输出。

1.6 统计分析

采用 Excel 2016 进行数据处理,采用 SPSS 19.0 对数据进行统计分析。测量值 X_i 的算术平均值 (\bar{X}) 为样品有效磷估计值,标准偏差 (S) 用贝塞尔公式计算^[18]:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}, n=6$$

相对标准偏差 (RSD, %) = $S/\bar{X} \times 100$;

检出限 (LOD) = 3 倍空白标准偏差。

2 结果与分析

2.1 人工钼锑抗比色法和全自动化学分析法测定土壤有效磷的标准曲线与检出限

按照实验方法,SmartChem 200 全自动化学分析仪测定有效磷浓度在 0.00~2.00 mg/L 范围内,校准曲线线性回归方程为: $y = 0.1915x + 0.0011$, 相关系数可达到 1 (图 1)。人工钼锑抗比色法测定有效磷浓度在 0.00~1.00 mg/L 范围内,校准曲线线性回归方程为: $y = 0.7507x + 0.0007$, 相关系数为 0.9997 (图 2)。

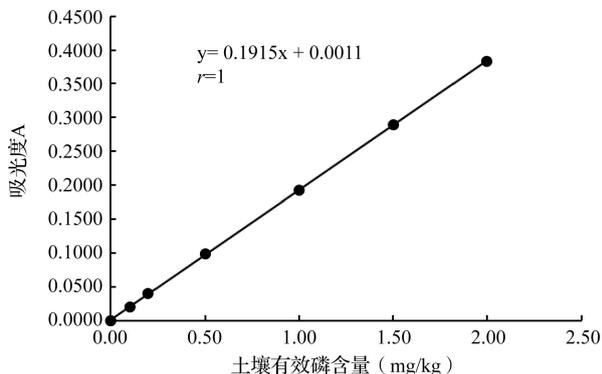


图 1 SmartChem 200 法测定有效磷含量标准曲线

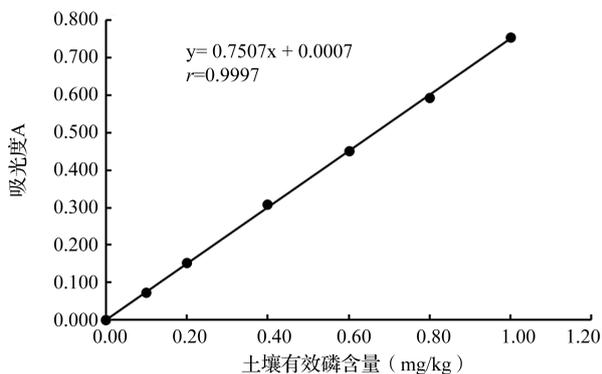


图 2 人工钼锑抗比色法测定有效磷含量标准曲线

根据样品分析的全部过程,重复测定了 11 次试剂空白实验,以计算试剂空白检测结果的标准偏差,以 3 倍于空白标准偏差为方法检出限。结果表明,SmartChem 200 方法检出限为 0.0048 mg/kg,而钼锑抗比色方法检出限则为 0.36 mg/kg (表 1)。由此可见,SmartChem 200 分析仪测定土壤有效磷检测浓度范围更广,同时检出限也更低。

表 1 钼锑抗比色法和 SmartChem 200 法检出限

测定方法	11 次空白测定值		(mg/kg)	
	标准偏差	检出限	标准偏差	检出限
钼锑抗比色法	0.47、0.34、0.60、0.30、0.30、0.40、0.40、0.60、0.60、0.60、0.40	0.12	0.12	0.36
SmartChem 200 法	0.015、0.014、0.012、0.012、0.015、0.011、0.014、0.011、0.012、0.011、0.011	0.0016	0.0016	0.0048

2.2 土壤有效磷测定结果分析

分别采用人工钼锑抗比色法和 SmartChem 200 全自动化学分析法对试样浸提液中有效磷含量进行检测,每个样品平行测定 3 次。比对结果表明,两种方法的测定值相对误差在 0.00%~2.07% 之间,均小于 2.50% (表 2),说明 SmartChem 200 全自动化学分析法与人工钼锑抗比色法测定土壤有效磷的

结果一致性好。

2.3 两种方法检测结果的相关性分析

在对人工钼锑抗比色法和全自动化学分析法测定土壤样品有效磷结果进行了相对误差比较之后,进一步对两组数据进行了一元回归方程的线性拟合。如图 3 所示,两种方法的测定结果间存在显著的线性相关, $r = 0.9998$ 。

表 2 钼锑抗比色法和 SmartChem 200 法测定土壤有效磷含量

土壤样品 编号	钼锑抗比色法 测定值 (mg/kg)	SmartChem 200 法 测定值 (mg/kg)	相对误差 (%)
1	3.71 ± 0.081	3.70 ± 0.035	0.27
2	4.90 ± 0.025	4.90 ± 0.006	0.00
3	10.8 ± 0.057	10.9 ± 0.035	0.93
4	16.0 ± 0.208	15.8 ± 0.015	1.25
5	18.5 ± 0.029	18.4 ± 0.015	0.54
6	19.4 ± 0.011	19.0 ± 0.068	2.06
7	26.0 ± 0.074	25.6 ± 0.011	1.54
8	26.3 ± 0.020	26.1 ± 0.011	0.76
9	30.1 ± 0.040	30.0 ± 0.006	0.33
10	53.1 ± 0.100	54.2 ± 0.089	2.07
11	67.1 ± 0.072	68.0 ± 0.058	1.34
12	73.6 ± 0.200	74.6 ± 0.050	1.36

注：土壤有效磷含量测定值为平均值 ± 标准偏差 (n=3)；相对误差指两种方法测定值差值与钼锑抗比色法测定值的百分比。

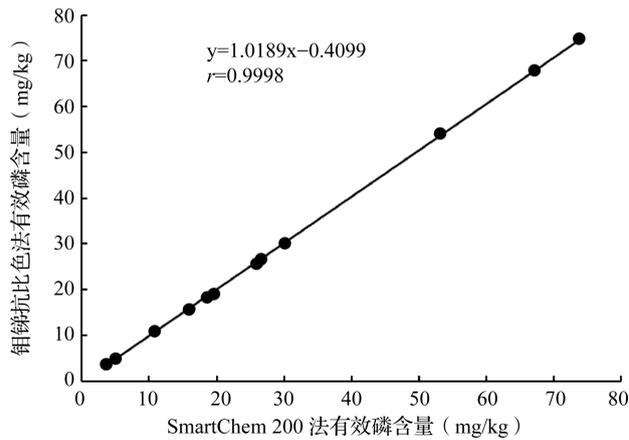


图 3 钼锑抗比色法和 SmartChem 200 分析法测定土壤有效磷含量的相关关系

2.4 两种方法测定回收率与精密度的比较

分别用钼锑抗比色法和 SmartChem 200 全自动化学分析仪测定了土壤标准物质 [NSA-2, 认定值 (36.0 ± 1.7) mg/kg] 的有效磷含量, 每个样品重复测定 6 次; 同时以土壤标准物质为本底, 以磷酸二氢钾为标准磷, 加标量为 10 mg/kg, 在相同的实验条件下进行加标回收实验。结果表明, 两种方法测定标准物质结果均在认定值范围内, SmartChem 200 平行测定标准物质 6 次, 测定结果的相对标准偏差 (RSD) 为 0.37%, 低于钼锑抗比色法结果 (2.18%); 测定有效磷的平均加标回收率为 99.83%, 高于钼锑抗比色法 (97.83%)。因此, SmartChem 200 全自动化学分析仪准确度较高、精密度更好。

表 3 SmartChem 200 法测试标准物质 (NSA-2) 数据

重复试验 (n=6)	测定值 (mg/kg)	平均值 (mg/kg)	相对标准偏差 (%)	加标测定值 (mg/kg)	回收率 (%)	平均回收率 (%)
1	36.6	36.6	0.37	46.5	99.00	99.83
2	36.5			46.6	101.00	
3	36.6			46.5	99.00	
4	36.5			46.4	99.00	
5	36.7			46.8	100.00	
6	36.5			46.5	101.00	

表4 钼锑抗比色法测试标准物质 (NSA-2) 数据

重复试验 (n=6)	测定值 (mg/kg)	平均值 (mg/kg)	相对标准偏差 (%)	加标测定值 (mg/kg)	回收率 (%)	平均回收率 (%)
1	35.2	36.0	2.18	45.0	98.00	97.83
2	36.4			46.1	97.00	
3	36.1			46.5	104.00	
4	37.2			46.0	88.00	
5	35.1			45.0	99.00	
6	36.2			46.3	101.00	

2.5 两种方法的检测成本比较

除了考虑检测方法的准确度和精密度之外,检测成本同样是一项重要的方法评价指标。因此,本文对比了本次实验两种方法的检测成本,包括主要耗材和试剂成本、人力和时间成本,以及排废情况等(表5)。每种方法的检测次数为66次,其中标准曲线制备为7次,土壤样品测定为36次,标准物质测定为12次,空白测定为11次。结果表明,SmartChem 200全自动化学分析仪可明显缩短测定时间,提高检测效率,同时减少有毒试剂使用量和排废量。

表5 钼锑抗比色法和 SmartChem 200 分析法的检测成本比较

对比项	钼锑抗比色法	SmartChem 200 分析法
时间成本	称样和浸提 3 h	称样和浸提 3 h
	显色和测定 4.0 h	显色和测定 0.45 h
试剂成本 (主要耗材)	钼锑抗显色剂 330 mL	钼锑抗显色剂 5.28 mL
	浓硫酸 90.5 mL	浓硫酸 6.4 mL
	蒸馏水 660 mL	比色杯清洗液 100 mL
	大量玻璃容器	探针清洗液 400 mL 蒸馏水 200 mL 样品杯、离心管
操作难点	熟练准确地移取试剂 显色温度、时间等条件的 把控	掌握仪器方法参数
	排废	三元杂多酸废液 1650 mL

3 讨论与结论

《土壤检测 第7部分:土壤有效磷的测定》(NY/T 1121.7—2014)标准中常规有效磷测定方法,受控于环境和人为操作因素,存在检测结果波动大、测试效率低等实际问题。本文通过对人工比

色法和 SmartChem 200 分析仪测定土壤有效态标准物质的有效磷含量进行比较,两种方法测定结果均接近于真值。比较两种方法的 RSD 值,SmartChem 200 的精密度更好,且回收率更高。对于本文中不同有效磷含量级别的测试样品,两种方法的测定结果相差值均在农业农村部标准法规定的允许差值范围以内,且相对误差均小于 2.50%;两种方法测定结果间存在显著的线性相关($r = 0.9998$),说明 SmartChem 200 分析仪测试结果具有较高的可靠性。有研究报道,ICP-AES 方法与农业农村部标准方法测得的土壤有效磷结果之间无显著性差异,仪器方法检出限可降低至 0.0046 mg/kg^[11]。本实验中全自动化学分析仪与标准方法测定结果间呈显著相关性,线性方程为 $y = 1.0189x - 0.4099$, 相关系数 $r = 0.9998$, 仪器方法检出限为 0.0048 mg/kg。可见,在土壤有效磷测定应用中,全自动化学分析仪与 ICP-AES 法同样可拥有显著低于标准方法的检出限值。

与传统的人工钼锑抗比色法相比,全自动化学分析仪包括自动进样和稀释系统、智能检测器、数据处理工作站和全自动清洗工作站,且具有对同一批试液中多个元素连续测定的功能,能够实现在全程控温条件下自动进样、分析检测^[19]。按照 1.4 方法,传统比色法单个样品显色体系为 25.0 mL,而 SmartChem 200 测试有效磷单个样品显色体系仅为 0.42 mL,试剂用量减少近 60 倍。常规方法中移取试剂、混匀试剂、显色和比色等需全程人为操作,熟练人员测试效率约为 66 个/4.0 h;按照 SmartChem 200 测试有效磷进样速率,完成 66 个样品测定时间仅需 0.45 h。由此可见,SmartChem 200 分析仪测定有效磷大大节省了试剂、时间和人力成本,测试效率更高。

以上结果表明,全自动化学分析仪能够克服传统方法测定土壤有效磷的缺点,且测定结果准确度

和精密度高。随着技术发展, SmartChem 600 系列最高测试速度已达到每小时 600 个样品, 具有连续装载样品仓, 真正实现了高通量测定。因此, 利用仪器分析技术检测还具有节省试剂、时间和人力成本, 提高实验人员工作效率等优点, 可应用于大批量土壤有效磷含量的测定分析。

参考文献:

- [1] 张国辉, 王莹, 武巍, 等. 土壤有效磷测定方法概述 [J]. 黑龙江农业科学, 2017 (1): 160-162.
- [2] 鲁如坤. 土壤农业化学分析 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999: 179-181.
- [3] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 70-89.
- [4] 张敏. 测土配方施肥中土壤有效磷测定方法研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2007: 1-51.
- [5] Olsen S R, Cole C V, Watanabe F S, et al. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate [C] //USDA Circular No. 939, USA Gov. Print Office, Washington, DC., USA, 1954: 1-19.
- [6] 沈志群, 张琪, 刘琳娟, 等. 碳酸氢钠浸提-钼锑抗分光光度法的土壤有效磷测定 [J]. 环境监控与预警, 2011, 3 (5): 12-15.
- [7] 张飞龙. Olsen 法测定土壤中有效磷的方法优化及检测研究 [J]. 西藏农业科技, 2016, 38 (4): 33-37.
- [8] 徐立松. 连续流动注射分析法测定土壤中的全氮、全磷 [J]. 中国资源综合利用, 2020, 38 (10): 34-36.
- [9] 左家信, 冯家力. 离子色谱法同时测定纯化水和饮用水中亚硝酸盐和硝酸盐 [J]. 分析仪器, 2022 (1): 42-46.
- [10] 陈茂源. 电感耦合等离子体发射光谱仪测定矿山及冶炼地下水中的重金属 [J]. 云南化工, 2021, 48 (5): 58-60.
- [11] 刘珂珂, 董学亮, 李果果, 等. 电感耦合等离子体原子发射光谱法测定石灰性土壤中有有效磷 [J]. 冶金分析, 2021, 41 (9): 77-82.
- [12] 杨俐苹, 自由路, 王磊, 等. 基于常规土壤有效磷 (Olsen 法) 分析的高效测试技术研究 [J]. 中国土壤与肥料, 2011 (3): 87-91.
- [13] 杨俐苹, 自由路. 改变传统化验操作模式, 提高测土配方施肥效率 [J]. 土壤通报, 2009 (9): 1151-1155.
- [14] 邓卓宝, 曹现福, 王义状, 等. 全自动间断化学分析法测定锅炉水中磷酸根离子 [J]. 化学分析计量, 2022, 31 (3): 19-22.
- [15] 王义状, 蔡延彬, 童婷, 等. 全自动间断化学法测定工业锅炉用水的酚酞碱度和总碱度 [J]. 化学工程与装备, 2020 (6): 236.
- [16] 涂文子, 林君铿, 刘胜玉, 等. SmartChem 200 全自动间断化学分析仪测定珠江八大口门水中的氨氮 [J]. 分析仪器, 2013 (3): 26-28.
- [17] 陈爱晶, 徐汉亿. 盐城市各县耕层土壤肥力指标评价 [J]. 土壤肥料, 2020 (1): 102-106.
- [18] GB/T 27411-2012. 检测实验室中常用不确定度评定方法 [S].
- [19] 陈剑磊, 谢文霞, 崔育倩, 等. SmartChem 140 全自动化学分析仪测定土壤全氮全磷的研究 [J]. 分析科学学报, 2016 (1): 84-88.

Study on the method of determining soil available phosphorus (Olsen-P) by SmartChem 200 automatic chemical analyzer

ZHANG Xiang-xiang, LOU Xiang-di, HE Jiang, WANG Yong-hui* (Jiangsu Coastal Area Institute of Agricultural Sciences, Yancheng Jiangsu 224000)

Abstract: The content of soil available phosphorus (AP) is one of the important factors to evaluate soil fertility and fertilization guidance. The normal operation (Olsen-P determined by artificial molybdenum-antimony colorimetric method combined with sodium bicarbonate extraction) is complicated, and takes more time. Improving the efficiency and accuracy of the conventional testing methods is an urgent technical problem to be solved in the soil testing and formula fertilization. This study was conducted to determine the AP contents in four groups of soil samples with different AP content using SmartChem 200 method. The results showed that the AP had good linear correlations in the range of 0.00~2.00 mg/L, and the correlation coefficient was 1. There were no significant difference between determination results of the SmartChem 200 method and those of the national standard method, and the relative errors were between 0.00%~2.07%. The AP content of national standard substance (NSA-2) results showed that the relative standard deviation was 0.37%, and the adding standard recoveries were between 99.00%~101.00%. The determination of soil AP by automatic chemical analyzer had high accuracy and precision, and the results could meet the requirements for soil AP testing. With the simple operation and high testing efficiency, the SmartChem 200 method can handle large numbers of soil samples.

Key words: soil; available phosphorus; standard method; automatic chemical analyzer