

红壤旱耕地速效磷测定方法与指标的研究*

陆允甫 周鸣铮

(浙江农业科学院土肥所)

摘 要

本文以二年多田间试验(玉米)与一年³²P同位素标记肥料盆栽试验(小麦),先后证明对红壤旱耕地的速效磷提取法,酸性提取优于碱性提取。为了进一步证实上述试验结果,继续采用4种方法来确定红壤旱耕地速效磷的主要形态:(1)各级形态磷与3个参比标准之间的统计分析;(2)各级形态磷与10种提取方法结果之间的统计分析;(3)小麦盆栽后的土壤与空白土壤各级形态磷的差减;(4)同位素³²P平衡法与土壤磷分级分析相结合。

四种方法的研究结果一致证明,红壤旱耕地的速效磷主要形态是Al-P而不是Fe-P;从而说明了酸性提取优于碱性提取的原因。因为Al-P是一种两性化合物,新沉淀的Al-P酸性较大,而Fe-P只能碱溶。

Mehlich III法是一种不分土壤类型与地区的通用提取剂,本试验的结果证明其同样适用于红壤旱耕地。本文最后推荐Bray I法与Mehlich III法为红壤旱耕地上的速效磷提取剂,并针对玉米作物确定相应的磷养分丰缺指标。

对于红壤旱耕地速效磷的测定方法,自50年代起已有不少研究。Saunders早在1956年针对南部非洲的红壤提出热NaOH提取速效磷法^[1],后来没有得到普遍应用;但Fox等于1967年对夏威夷的红壤旱耕地提出0.02N H₂SO₄提取速效磷法(改进Truog法),至今仍在应用^[3]。上述两法的原则完全相反。蒋柏藩等于1963年研究了我国南方红壤的磷形态问题,认为以Fe-P为主,但未对速效磷提取方法提出意见^[6]。于文涛于1964年在浙江金华做试验后提出用Bray I号法提取速效磷^[4]。史陶钧等于1979年在金华酸性红壤性水稻土上做试验后认为用Olsen法最好^[2],但近年来福建陈秋龄等在三明地区红壤性水稻土上两年的试验结果说明,几种酸性提取法均比碱性提取法为好³⁾。以上研究工作都未进行理论分析,故在各个结论之间尚莫衷一是。

本文在研究方法上,除进行完整的相关研究(包括A值测定)外,还应用下述几种方法来研究速效磷形态及其最为适宜的提取剂等问题:(1)磷分级分析与统计方法结合;(2)于作物栽种后的土壤和空白土壤各进行一次土壤磷分级分析,以便进行差减;(3)磷分级分析与³²P同位素平衡相结合。

* 吴益伟、李超英同志参加本研究部分工作。田间试验承金华地区各县农业局、原巨州市科委十三里红壤课题组协助;同位素试验承本院原子能所金子渔同志协助指导,一并致谢。

1) 全国重点课题“土壤养分丰缺指标研究”成果的一部分,尚未发表。

一、1982—1983 年田间试验结果

在浙江金华、巨州两市共 7 个县进行了较大规模的磷肥田间试验,两年共 40 个点。供试土壤均属酸性, pH (H₂O 1:1) 4.90—6.85 (二处 pH 大于 7 除外),有机质含量 0.68—2.72%,全氮为 0.04—0.156%,全磷为 0.014—0.045%,粘粒含量 (<0.002mm) 15.31—53.27%。土壤分类上属红壤亚类下面的几个代表性土属。试验设 NPK 处理与 NK 处理,各施用 ZnSO₄ 4 次重复。指示作物为玉米(丹玉六号)。试验中取用:(1)玉米籽粒相对产量;(2)总干物质相对产量;(3)全株总吸磷量;(4)籽粒含磷量等四项作参比标准。

试验点的土壤共用 10 种不同方法提取测定速效磷的含量。所用方法的要点见表 1。

表 1 土壤速效磷的测定方法要点

Table 1 Methods of extraction for available P of soil used in this study

| 方法名称 Methods | 提取剂 Extractant | 土:液 Soil/extractant ratio | 振摇时间(分) Time of shaking (min) | 文献编号 Reference No. |
|-----------------|---|---------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| Bray I 法 | 0.03N NH ₄ F—0.025N HCl | 2:20 | 30 | [9] |
| Bray I 法 | 同上 | 2:40 | 30 | |
| Bray II 法 | 0.03N NH ₄ F—0.1N HCl | 2:20 | 30 | [9] |
| Truog 法 | 0.002N H ₂ SO ₄ [0.3%(NH ₄) ₂ SO ₄] | 1:200 | 30 | [19] |
| Mehlich I 法 | 0.05N HCl—0.025N H ₂ SO ₄ | 5:20 | 5 | [15] |
| Mehlich III 法 | 0.2N HOAc—0.25N NH ₄ NO ₃ —0.015N NH ₄ F—0.013NHNH ₃ —0.001MEDTA | 2:20 | 5 | [16] |
| 0.1NHCl | 0.1N HCl | 5:25 | 5 | [3] |
| Al-Abbas 法 | 0.5N Na ₂ C ₂ O ₄ —0.3N NaOH | 1:3+17 | 5 | [8] |
| Olsen 法 | 0.5M NaHCO ₃ (pH8.5) | 5:100 | 30 | [17] |
| Olsen 改进法 | 2% NaHCO ₃ —0.7%(NH ₄) ₂ SO ₄ | 2:50 | 30 | [5] |

各种不同方法的提取量相差悬殊,兹将各法的平均值示于图 1,供互相比较。

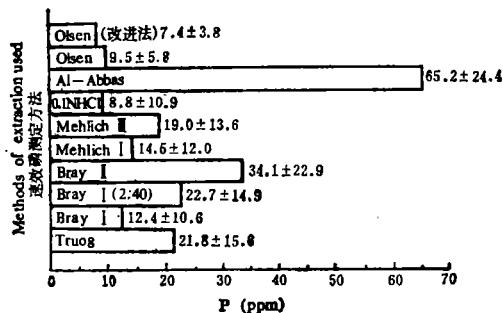


图 1 10 种方法速效磷测定值比较(40 个样品测定平均值)

Fig. 1 Average amounts of available P extracted by different methods

从图 1 可知 Al-Abbas 法的提取量最大, 这与红壤中 Fe-P 的绝对含量最多相一致。但提取出的这些 Fe-P 大部为无效, 下面将得到证明。

各法提取测定结果与 4 个参比标准之间的相关系数见表 2。各法提取测定结果相互之间的相关系数见表 3。

表 2 不同方法速效磷测定值 (logP) 与参比项的相关系数

Table 2 The correlation coefficients between the reference standards and the amounts of available P extracted by different methods in field experiments

| 方 法 Methods | 玉米籽粒相对产量 (n = 35) Relative yields of corn grain | 总干物质相对产量 (n = 35) Relative yields of dry matter | 玉米全株吸磷量 (n = 29) P absorbed by corn plants | 玉米籽粒含磷量 (n = 31) P contents in corn grain | 相关系数的平均值 Mean values of correlation coefficients |
|----------------|--|--|---|--|---|
| Bray I (2:20) | 0.743** | 0.657** | 0.618** | 0.709** | 0.682 |
| Bray I (2:40) | 0.506** | 0.401* | 0.463* | 0.552** | 0.481 |
| Bray II 法 | 0.410* | 0.383* | 0.463* | 0.614** | 0.468 |
| Truog 法 | 0.736** | 0.637** | 0.662** | 0.790** | 0.706 |
| Mehlich I 法* | 0.687** | 0.621** | 0.639** | 0.766** | 0.678 |
| Mehlich III 法 | 0.576** | 0.555** | 0.573** | 0.651** | 0.589 |
| 0.1N HCl | 0.450** | 0.434** | 0.563** | 0.677** | 0.530 |
| Al-Abbas 法 | 0.303 | 0.215 | 0.158 | 0.124 | 0.200 |
| Olsen 法 | 0.406* | 0.400* | 0.460* | 0.544** | 0.453 |
| Olsen 改进法 | 0.345* | 0.355* | 0.499* | 0.596** | 0.449 |

* 缺少三个土样分析数据。

表 3 不同方法速效磷测定值之间的相关系数

Table 3 The correlation coefficients among the results of available P extracted by different methods

| Methods | Bray I (2:40) | Olsen 改进法 | Al-Abbas | 0.1N HCl | Mehlich III | Mehlich I | Bray II | Olsen | Truog |
|---------------|------------------|--------------|----------|----------|-------------|-----------|---------|---------|---------|
| Bray I (2:20) | 0.871** | 0.676** | 0.391* | 0.792** | 0.890** | 0.921** | 0.841** | 0.739** | 0.870** |
| Truog | 0.802** | 0.751** | 0.437** | 0.866** | 0.832** | 0.953** | 0.836** | 0.752** | |
| Olsen | 0.768** | 0.825** | 0.704** | 0.604** | 0.787** | 0.672** | 0.742** | | |
| Bray II | 0.905** | 0.830** | 0.431** | 0.871** | 0.962** | 0.876** | | | |
| Mehlich I | 0.859** | 0.661** | 0.358* | 0.886** | 0.862** | | | | |
| Mehlich III | 0.946** | 0.843** | 0.478** | 0.850** | | | | | |
| 0.1N HCl | 0.734** | 0.730** | 0.157 | | | | | | |
| Al-Abbas | 0.551** | 0.540** | | | | | | | |
| Olsen 改进 | 0.728** | | | | | | | | |

从表 2 与表 3 的数据, 我们初步得到下列几点结论:

(1) 相关系数平均值的顺序为: Truog > Bray I (2:20) > Mehlich I > Mehlich III > 0.1N HCl > Bray I (2:40) > Bray II > Olsen > Olsen 改进法 > Al-Abbas; (2) 在这中间, Truog 法、Bray I 法、Mehlich I 法的相关系数比较接近, 而 Mehlich III 法可适用于各种土壤^[6]; (3) 所有的酸性提取法的结果均优于碱性提取法; (4) 各种酸性提取法相互之间相关性均很好, Mehlich III 法与各种酸性提取法之间的相关性也均很好; (5) Olsen 法(两种)与其它各法之间的相关性也相当好, 但不如 Mehlich III 法; Al-Abbas 法只与 Olsen 法(两种)及 Mehlich III 有一定相关性。

二、1984 年冬季小麦盆栽 ^{32}P 试验结果

两年田间试验结果,不论是逐年总结或合并总结,均得出速效磷的酸性提取优于碱性提取的结论。为了进一步证明这一结论的可靠性,在 1984 年冬季进行同位素 ^{32}P 标记肥料的小麦盆栽试验,对 13 种红壤旱耕地土壤样品进行 A 值与 a 值(土壤中吸取的磷量)测定,以作为进一步进行相关研究的参比标准。供试土壤的主要理化性质,均与田间试验样品相似,故从略。盆栽试验中每盆土壤为 3.5 公斤,播小麦种籽 20 粒,间至 15 苗。施肥量 N 为 0.6 克/盆, K_2O 0.6 克/盆, P_2O_5 0.42 克/盆,放射性磷的用量为 $350\mu\text{c}$ /盆。小麦于 1984 年 11 月 28 日播种,至 1985 年 3 月 7 日(幼穗分化期)收割。进行放射性强度测定与总吸磷量分析。根据 Fried 与 Dean 的公式进行计算^[4]。供试土壤样品用 7 种不同方法提取测定速效磷。表 4 所示为各法测定值与参比标准之间的相关系数。

表 4 不同方法测定值与小麦盆栽两种参比标准的相关系数

Table 4 The correlation coefficients between the reference standards and the amounts of available P extracted by different methods in pot experiment

| 参 比 Standards | Bray I (2:20) | Bray I (2:40) | Mehlich I | Mehlich III | Truog | Olsen | Al-Abbas |
|------------------|------------------|------------------|-----------|-------------|---------|---------|----------|
| A 值 | 0.796** | 0.872** | 0.699** | 0.833** | 0.705** | 0.857** | 0.547 |
| a 值 | 0.950** | 0.933** | 0.807** | 0.915** | 0.650** | 0.688** | 0.222 |

盆栽试验中测定结果对 A 值与 a 值的相关系数虽未能很一致,但其总的规律是与田间试验结果基本一致:(1)典型的碱性提取法 Al-Abbas 法(它以提取 Fe-P 为主)在酸性红壤旱耕地上是不适用的,但在这次试验的结果中,Olsen 法的适用性适当提高了;(2)酸性提取一般优于碱性提取;(3)Mehlich III 法又被证明其适用范围很广,对酸性红壤旱耕地也很适用。

三、土壤磷分级及其结果的统计分析

为了从土壤化学原理上说明与论证红壤旱耕地速效磷的酸性提取优于碱性提取,我们于 1984 年起对 35 个田间试验土壤样品进行磷形态的分级分析。所用方法为改进后的张守敬与杰克逊法^[5];其中闭蓄态 P 包括还原可溶 P,有机 P 是用差减法计算的。分析结果如表 5 所示。从表中可知,对于红壤旱耕地,在土壤磷的各种形态中,就绝对量来说,闭蓄 P 最多,平均占全磷的 43.7%,Fe-P 次之,占 23.0%,以下依次为:有机 P (21.1%),Ca-P 与 Al-P (均为 6.0%), $\text{NH}_4\text{Cl-P}$ 仅 0.24%。对温带土壤,有机磷不是对作物供磷主要给源,已多有报道;倘将有机磷剔除,则更显示出闭蓄 P > Fe-P > Al-P = Ca-P > $\text{NH}_4\text{Cl-P}$ 的总含量情况。这一结论与蒋柏藩等(1963)^[6]及蒋柏藩、鲁如坤等(1979)^[7]的报道是一致的。

然而自 60 年代前期起,已明确各级磷形态的总含量不足以说明其有效含量。闭蓄 P 固然有效度很低,Fe-P 的总含量与其有效磷含量是否一致也有待验证。为了达到这一目的,我们首先进行下列两项统计分析:(1)三个参比标准与各级磷含量之间相关性测定,

表 5 红壤旱耕各种形态磷的含量

Table 5 Amounts of different forms of P in cultivated upland red earths

| 土壤号码 Soil No. | 全磷 Total P ppm | 无机磷 Inorganic P | | | | | | | | | 有机磷 Organic P | | |
|------------------|----------------------|-----------------|-----------|-------|-----------|------|-----------|---------------------|-----------|-----------|------------------|-------|----------|
| | | Al-P | | Fe-P | | Ca-P | | 闭蓄态-P Occluded P | | 总量 ppm | 占全磷 % | ppm | 占全磷 % |
| | | ppm | 占无机磷 % | ppm | 占无机磷 % | ppm | 占无机磷 % | ppm | 占无机磷 % | | | | |
| 2-01 | 400 | 12.1 | 3.7 | 112.2 | 33.9 | 14.2 | 4.3 | 191.7 | 58.1 | 330.2 | 82.6 | 69.8 | 17.4 |
| 2-03 | 420 | 29.4 | 8.7 | 112.2 | 33.0 | 19.5 | 5.7 | 178.3 | 52.6 | 339.4 | 80.8 | 80.6 | 19.2 |
| 2-04 | 200 | 7.5 | 4.6 | 49.2 | 29.9 | 7.8 | 4.7 | 100.0 | 60.8 | 164.5 | 82.3 | 35.5 | 17.7 |
| 2-06 | 310 | 14.0 | 6.2 | 53.0 | 23.3 | 30.4 | 13.4 | 130.0 | 57.1 | 229.3 | 74.0 | 80.7 | 26.0 |
| 2-07 | 260 | 8.4 | 3.8 | 46.7 | 21.0 | 11.0 | 4.9 | 156.7 | 70.3 | 222.8 | 85.7 | 37.2 | 14.3 |
| 2-08 | 280 | 26.9 | 10.0 | 79.0 | 29.3 | 16.6 | 6.2 | 146.7 | 54.5 | 271.1 | 96.8 | 8.9 | 3.2 |
| 2-09 | 360 | 12.9 | 4.5 | 98.2 | 34.5 | 17.1 | 6.0 | 156.7 | 55.0 | 284.9 | 79.1 | 75.1 | 20.9 |
| 2-10 | 210 | 9.4 | 5.6 | 48.4 | 29.0 | 8.9 | 5.3 | 100.0 | 60.1 | 166.7 | 79.4 | 43.3 | 20.6 |
| 2-11 | 250 | 18.5 | 9.2 | 68.3 | 33.9 | 11.5 | 5.7 | 103.3 | 51.2 | 201.6 | 80.6 | 48.4 | 19.4 |
| 2-14 | 230 | 9.1 | 4.4 | 54.1 | 25.9 | 10.5 | 5.0 | 135.0 | 64.7 | 208.7 | 90.7 | 21.3 | 9.3 |
| 2-15 | 450 | 30.6 | 7.7 | 126.2 | 31.9 | 35.6 | 9.0 | 203.3 | 51.4 | 396.0 | 88.0 | 54.0 | 12.0 |
| 2-17 | 380 | 21.9 | 7.6 | 88.0 | 30.4 | 29.4 | 10.2 | 150.0 | 51.8 | 291.5 | 76.7 | 88.5 | 23.3 |
| 2-19 | 350 | 33.5 | 10.1 | 103.3 | 31.1 | 28.4 | 8.6 | 166.7 | 50.2 | 331.9 | 94.8 | 18.1 | 5.2 |
| 3-01 | 282 | 8.5 | 4.6 | 51.0 | 27.6 | 12.2 | 6.6 | 113.3 | 61.2 | 185.0 | 65.6 | 97.0 | 34.4 |
| 3-02 | 351 | 17.5 | 7.3 | 51.0 | 21.2 | 37.5 | 15.6 | 135.0 | 55.9 | 241.2 | 68.7 | 109.8 | 31.3 |
| 3-03 | 341 | 15.9 | 7.9 | 69.1 | 34.5 | 15.4 | 7.7 | 100.0 | 49.9 | 201.9 | 59.2 | 139.1 | 40.8 |
| 3-04 | 326 | 26.5 | 11.4 | 88.4 | 38.1 | 14.0 | 6.0 | 103.3 | 44.5 | 232.2 | 71.2 | 93.8 | 28.8 |
| 3-05 | 275 | 36.2 | 15.2 | 61.7 | 25.8 | 10.9 | 4.6 | 130.0 | 54.4 | 239.1 | 86.9 | 35.9 | 13.1 |
| 3-06 | 278 | 15.9 | 8.3 | 51.0 | 26.5 | 12.5 | 6.5 | 113.3 | 58.7 | 194.9 | 70.1 | 83.1 | 29.9 |
| 3-07 | 397 | 41.1 | 15.5 | 65.0 | 24.6 | 38.6 | 14.0 | 120.0 | 45.3 | 275.5 | 69.4 | 121.5 | 30.6 |
| 3-08 | 218 | 5.9 | 3.4 | 46.9 | 26.8 | 19.0 | 10.8 | 103.3 | 59.0 | 175.1 | 80.3 | 42.9 | 19.7 |
| 3-09 | 404 | 24.6 | 8.3 | 99.4 | 33.4 | 23.6 | 7.9 | 150.0 | 50.4 | 297.6 | 73.7 | 106.4 | 26.3 |
| 3-10 | 364 | 18.0 | 7.0 | 86.9 | 33.8 | 18.4 | 7.2 | 133.5 | 52.0 | 256.8 | 70.5 | 107.2 | 29.5 |
| 3-11 | 325 | 11.9 | 4.8 | 60.4 | 24.3 | 13.2 | 5.3 | 163.3 | 65.6 | 248.8 | 76.6 | 76.2 | 23.4 |
| 3-13 | 280 | 16.9 | 7.8 | 42.0 | 19.3 | 18.6 | 8.6 | 140.0 | 64.3 | 220.4 | 78.7 | 59.6 | 21.3 |
| 3-14 | 295 | 10.6 | 4.4 | 63.7 | 26.6 | 28.6 | 11.9 | 136.7 | 57.1 | 241.0 | 81.7 | 54.0 | 18.3 |
| 3-15 | 301 | 11.5 | 5.2 | 76.0 | 34.3 | 20.5 | 9.3 | 113.3 | 51.2 | 221.5 | 73.6 | 79.5 | 26.4 |
| 3-16 | 139 | 16.2 | 12.3 | 39.2 | 29.6 | 8.5 | 6.4 | 68.3 | 51.7 | 132.2 | 95.1 | 6.8 | 4.9 |
| 3-17 | 328 | 48.1 | 17.3 | 72.7 | 26.1 | 22.8 | 8.2 | 135.0 | 48.4 | 278.6 | 84.9 | 49.4 | 15.1 |
| 3-18 | 351 | 15.6 | 5.8 | 75.7 | 28.2 | 15.4 | 5.7 | 161.7 | 60.3 | 268.4 | 76.5 | 82.6 | 23.5 |
| 3-19 | 271 | 6.6 | 3.8 | 42.3 | 24.4 | 24.4 | 14.1 | 100.0 | 57.7 | 173.3 | 63.9 | 97.7 | 36.1 |
| 3-20 | 269 | 7.8 | 3.9 | 41.6 | 21.0 | 14.1 | 7.1 | 135.0 | 68.0 | 198.5 | 73.8 | 70.5 | 26.2 |
| 3-21 | 302 | 16.6 | 6.8 | 73.2 | 30.1 | 18.4 | 7.6 | 135.0 | 55.5 | 243.2 | 80.5 | 58.8 | 19.5 |
| 3-22 | 325 | 8.1 | 2.9 | 90.5 | 32.9 | 11.8 | 4.3 | 165.0 | 59.9 | 275.4 | 84.7 | 49.6 | 15.3 |
| 3-23 | 330 | 31.9 | 9.8 | 106.1 | 32.5 | 14.9 | 4.6 | 173.3 | 53.1 | 326.2 | 98.8 | 3.8 | 1.2 |
| 平均 | 310.1 | 18.5 | 7.6 | 71.2 | 29.1 | 18.7 | 7.6 | 135.6 | 55.4 | 244.7 | 78.9 | 65.3 | 21.0 |

结果见表 6; (2) 10 种方法提取测定值与各种形态磷含量之间的相关性测定, 结果见表 7。

从两表的结果可以明显地看出, 按各级形态磷有效度顺序排列: Al-P > Ca-P > Fe-P。全含量最多的 Fe-P, 其有效度仅在第三位, 这完全是可能的。再则可以看出来, 凡是

表 6 不同形态磷与参比标准的相关系数

Table 6 The correlation coefficients between the reference standards and the amounts of different forms of P in soils

| 磷形态 Forms of soil P | 参 比 项 Standards | | |
|------------------------|---|---|---|
| | 玉米籽粒相对产量 (n = 35) Relative yield of corn grain | 总干物质相对产量 (n = 35) Relative yield of dry matter | 籽粒含磷量 (n = 31) P content in corn grain |
| Al-P | 0.516** | 0.448** | 0.473** |
| Fe-P | 0.232 | 0.180 | 0.275 |
| Ca-P | 0.363* | 0.355* | 0.682** |
| O-P | 0.306 | 0.270 | 0.362 |
| Org. -P | -0.061 | -0.083 | 0.243 |

表 7 不同方法速效磷测定值与不同形态磷的相关系数

Table 7 The correlation coefficients between the amounts of different forms of P and the amounts of P extracted by different methods

| 方 法 Methods | Al-P n = 35 | Fe-P n = 35 | Ca-P n = 35 | O-P n = 35 |
|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|
| Bray I (2:20) | 0.845** | 0.133 | 0.479** | 0.152 |
| Bray I (2:40) | 0.903** | 0.232 | 0.387** | 0.072 |
| Bray II 法 | 0.755** | 0.195 | 0.591** | -0.005 |
| Truog 法 | 0.765** | 0.305 | 0.699** | 0.297 |
| Mehlich I 法 | 0.778** | 0.169 | 0.673** | 0.194 |
| Mehlich III 法 | 0.815** | 0.196 | 0.451** | 0.006 |
| 0.1N NCl | 0.563** | 0.100 | 0.649** | -0.017 |
| Al-Abbas 法 | 0.766** | 0.863** | 0.234 | 0.478** |
| Olsen 法 | 0.811** | 0.488** | 0.427* | 0.283 |
| Olsen 改进法 | 0.604** | 0.416** | 0.531** | 0.185 |

在相关研究中结果较好的几种提取方法(酸性提取与 Mehlich III 法)的结果均与 Al-P 呈极显著相关,次之则为 Ca-P,说明了这些方法所提取的土壤磷中也是 Al-P > Ca-P > Fe-P。这一结果与土壤中各级磷有效度顺序是完全一致的。

四、1984—1985 年小麦盆栽吸收各级土壤磷与空白土壤的差减法试验

为了更进一步证实土壤磷各种形态之间的相对有效程度顺序,于 1984 年冬季对三种红壤旱耕地土样进行小麦盆栽试验。于小麦收获以后及空白盆栽各对土壤磷进行一次分级分析;然后用差减法求取各级磷被小麦吸收的绝对量与相对比值。这种方法由张守敬于 1976 年首先应用于水稻^[11]。试验结果见表 8。

表 8 结果再次证明了 Al-P 是小麦吸磷的主要给源;但有效度的顺序为 Al-P > Fe-P > Ca-P。2 号土壤样品的 Fe-P 吸收量和 Al-P 一样多,这可能是由于该土壤恰好前作为水稻^①,曾有淹水过程,增加了 Fe-P 的有效性,以至出现这样一个也许是偶然的现

表 8 小麦盆栽土壤与空白土壤磷形态测定值比较 (单位: ppm)

Table 8 Calcium aluminium and iron phosphates in the soil before and after growing wheat

| 重 复 Replication | 1 号 土 | | | | | | 2 号 土 | | | | | | 3 号 土 | | | | | |
|--------------------|--------|------|--------|------|--------|-----|--------|------|--------|-------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|-----|
| | Al-P | | Fe-P | | Ca-P | | Al-P | | Fe-P | | Ca-P | | Al-P | | Fe-P | | Ca-P | |
| | 空 白 | 种** | 空 白 | 种** | 空 白 | 种** | 空 白 | 种** | 空 白 | 种** | 空 白 | 种** | 空 白 | 种** | 空 白 | 种** | 空 白 | 种** |
| I | 19.4 | 18.2 | 85.4 | 85.4 | 8.5 | 8.3 | 19.5 | 14.0 | 142.4 | 133.6 | 16.0 | 17.5 | 33.2 | 27.2 | 95.9 | 93.1 | 10.3 | 8.4 |
| II | 19.5 | 17.9 | 85.7 | 86.7 | 9.0 | 7.3 | 19.5 | 15.1 | 141.2 | 133.5 | 14.8 | 16.9 | 33.4 | 26.5 | 96.1 | 90.3 | 12.1 | 8.6 |
| III | 19.6 | 18.2 | 84.2 | 85.4 | 8.5 | 9.5 | 18.6 | 15.2 | 139.2 | 138.8 | 17.5 | 15.3 | 33.8 | 26.2 | 94.4 | 92.3 | 11.5 | 9.6 |
| IV | 19.6 | 18.1 | 84.2 | 83.1 | 8.2 | 8.0 | 19.4 | 13.1 | 139.3 | 134.5 | 19.1 | 16.1 | 33.6 | 26.2 | 95.9 | 92.6 | 11.3 | 7.8 |
| V | 19.4 | 17.9 | 87.2 | 85.7 | 8.9 | 7.0 | 18.8 | 13.8 | 139.5 | 135.2 | 16.5 | 15.3 | 33.4 | 27.2 | 94.9 | 92.1 | 11.5 | 9.9 |
| 平均 | 19.5 | 18.1 | 85.3 | 85.3 | 8.6 | 8.0 | 19.2 | 14.2 | 140.3 | 135.1 | 16.8 | 16.2 | 33.5 | 26.7 | 95.4 | 92.1 | 11.5 | 8.9 |
| 差数 | 1.4 | | 0 | | 0.6 | | 5.0 | | 5.2 | | 0.6 | | 6.8 | | 3.3 | | 2.4 | |
| | 2.0 | | | | | | 10.8 | | | | | | 12.5 | | | | | |

* Blank; ** Planted.

五、³²P 同位素平衡与分级相结合研究红壤速效磷的形态

这种方法是 Dumber 与 Baker 两人于 1965 年首先提出与应用的^[12]。直至今日,此法仍为研究与确定土壤速效磷形态的最可靠的方法。我们的研究试验是在 1985 年进行与完成的。试验中选用 7 个红壤样品,6 个为黄筋泥土属,1 个为红砂土土属, pH(H₂O:1) 在 4.79—5.73 之间; Bray I-P 在 2.2—16.9ppm 之间,均为典型的丘陵红壤。

每个土样取 3 份,每份 100 克。磷的加入量分为三级: P-1 (0ppm); P-2 (500ppm); P-3 (1000 ppm)。加入磷的形式为 KH₂PO₄ 水溶液。同时加入去离子水至成饱和泥浆,充分拌匀后在 40℃ 鼓风烘箱烘干;然后再加去离子水至饱和,再拌匀后低温烘干。如此反复 6 次以促使所加入磷的固定 (P-1 土壤也经同样处理)。然后磨细,通过 40 目筛。

从每个处理中称取 1 克样品放入 100 毫升离心管中,各加入 5 毫升含 8 μc³²P (无载体)溶液;振荡 60 小时使其达到同位素交换平衡。然后用常法进行磷分级分析;只分离 NH₄Cl-P、Al-P、Fe-P 与 Ca-P。并将各部分提取液吸取 1 毫升烘干进行放射性计数测定,重复 3 次,取其平均值。分级分析与放射性计数结果均从略。

Dumber 与 Baker 认为:经 ³²P 同位素交换平衡后再进行分级分析,则每级提取液中所提取出的“活性固相磷”量对总提取量的百分比乃是这部分磷有效度的最良好的指标。对 NH₄Cl-P 来说它所含的全部是“活性固相磷”,故比数为 100%。其它各级提取液中“活性固相磷”的含量%计求如下:以 1 号土 P-1 处理的 NH₄F 提取液 (Al-P) 为例。此时: NH₄Cl-P 为 0.4ppm(P) (它是 100% 的“活性固相磷”),经同位素平衡、分离后的放射性强度为 152 脉冲/分钟; NH₄F-P 相应的量为 31 ppm(P),强度为 11294 脉冲/分钟。故: 152/0.4 = 380, 11294/31 = 364.3 [均为比强:脉冲/分钟/ppm(P)]。则: 380:100 = 364.3:x, x = 364.3/380 × 100 = 95.9%,亦即 Al-P 中有 95.9% 属于“活性固相磷”。

1) 该土壤所处地势较高,种水稻不方便,仅少数几次种过水稻。

表 9 各级提取液中“活性固相磷”所占的%

Table 9 Percentage of "active solid P" extracted by different extractants

| 处理与提取剂 Treatments and extractant | 土 壤 号 码 Soil No. | | | | | | | 平 均 Average |
|-------------------------------------|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|----------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | |
| P-1 (0ppm) | 占提取磷量的% % of active soils P extracted | | | | | | | |
| 1-NH ₄ Cl | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 2-NH ₄ F | 95.5 | 100 | 100 | 89.3 | 71.0 | 62.3 | 100 | 88.3 |
| 3-NaOH | 37.3 | 43.1 | 50.2 | 54.1 | 27.1 | 32.6 | 52.2 | 42.4 |
| 4-H ₂ SO ₄ | 17.0 | 10.2 | 14.4 | 18.1 | 5.2 | 13.6 | 18.4 | 13.8 |
| 平均 | 62.5 | 63.3 | 66.2 | 65.4 | 50.8 | 52.1 | 67.6 | |
| P-2 (500ppm) | P-1 总平均=61.1 | | | | | | | |
| 1-NH ₄ Cl | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 2-NH ₄ F | 21.6 | 63.2 | 34.4 | 85.2 | 53.6 | 76.4 | 19.2 | 50.5 |
| 3-NaOH | 12.0 | 35.2 | 18.6 | 55.4 | 32.7 | 44.8 | 9.9 | 29.8 |
| 4-H ₂ SO ₄ | 4.4 | 9.4 | 6.7 | 21.2 | 9.3 | 21.4 | 4.2 | 10.9 |
| 平均 | 34.5 | 52.0 | 39.9 | 65.4 | 48.9 | 60.6 | 33.3 | |
| P-3(1000ppm) | P-2 总平均=47.8 | | | | | | | |
| 1-NH ₄ Cl | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 2-NH ₄ F | 52.0 | 47.5 | 55.9 | 57.2 | 42.4 | 48.6 | 56.1 | 51.4 |
| 3-NaOH | 30.4 | 29.4 | 31.7 | 33.6 | 26.0 | 28.3 | 37.1 | 30.9 |
| 4-H ₂ SO ₄ | 13.4 | 8.9 | 14.8 | 15.7 | 9.7 | 15.2 | 20.6 | 14.0 |
| 平均 | 49.0 | 46.4 | 50.6 | 51.6 | 44.5 | 48.0 | 53.4 | |
| | P-3 总平均=49.1 | | | | | | | |
| 总平均 | 48.7 | 53.9 | 52.2 | 60.8 | 48.1 | 53.6 | 51.4 | |

全部计算结果(7种土壤3种处理的各级提取液中“活性固相磷”所占的%)均汇总于表9。根据表中数字,我们得到下列几点结论:

1. 肥料磷的加入使各级磷的提取量均有增加,增加的顺序是 Al-P > Fe-P > Ca-P。这说明红壤的环境与性质使外部所加入的磷首先形成 Al-P,它保持较高的有效度,然后慢慢转化成 Fe-P,并逐渐老化而减退其有效度。

2. 7种土壤、3种处理中,各级磷有效度的顺序全部一致为 Al-P > Fe-P > Ca-P。因为每级提取液中所提取出的“活性固相磷”量对总提取量的百分比愈大,表明这种形态磷的溶解度愈高或比表面愈大,因此与 ³²P 的平衡也愈快。

3. 对红壤旱耕地来说,它已多年施用磷肥,这一点与天然红壤不同;它并无淹水过程,这一点又与红壤性水稻土不同。故其速效磷主要形态不可能是 Fe-P,本研究工作中经多方面证实其为 Al-P,这与国际上的研究结论是一致的^[13]

4. 凡是以提取 Al-P 为主的速效磷提取测定法均适用于红壤旱耕地。

六、红壤旱耕地速效磷提取测定方法及其指标或临界值

由于土壤表面新形成的 Al-P 是非结晶态的,且具有一定程度的酸可溶性(Al-P 是

两性化合物),这就使得好几种酸性提取剂在本试验研究中均取得较好效果。这一结果是符合理论分析与实际情况的。在几种相关性较好的酸性提取剂之中, Bray I 法(2:20)酸性不太强(不致溶解过多的 Ca-P); 含有 NH_4F 可加强 Al-P 的提取, 手续方便, 温度系数较小, 故最切合实用。除此之外, Mehlich III 号试剂是一种不分土壤类型且可同时提取 9 种养分元素的通用提取剂; 在本研究工作的各部分试验中, 充分证明 Mehlich III 号试剂也适用于酸性的红壤旱耕地。

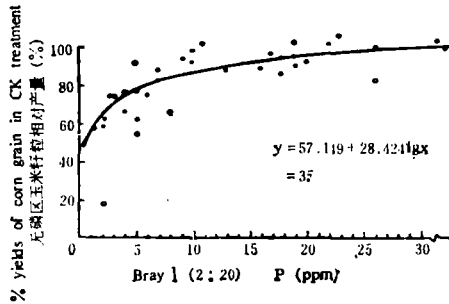


图2 速效磷测定值与无磷区籽粒相对产量的关系

Fig. 2 Relationship between Bray I-P and the relative yields of corn grain

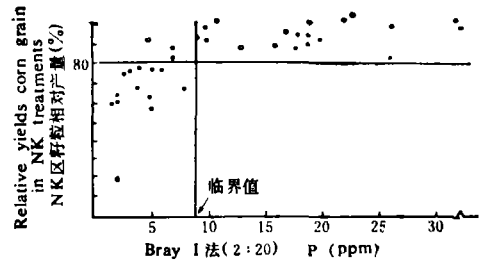


图3 速效磷测定值与作物对磷反应的关系

Fig. 3 The relationship between amounts of extracted and the yields response to P

表10 土壤速效磷(P)测定值的指标

Table 10 The calibration index of available extracted by some methods

| 分级指标 Index level | 高 | 中 | 低 | 极低 | |
|--------------------------------|--------|-------------|-----------|-------|-------|
| 相对产量 Relative yield | >95% | 90—75% | 75—55% | <55% | |
| Bray I (2:20) | 25ppm | 25—8ppm | 8—4ppm | <4ppm | |
| Mehlich III | 30ppm | 35—10ppm | 10—6ppm | <6ppm | |
| 提取测定法 Methods of extraction | Bray I | Mehlich III | Mehlich I | Truog | Olsen |
| 临界点 ppm P Critical point | 9 | 12 | 10 | 15 | 7 |

兹将 Bray I 法(2:20)测定值与玉米籽粒相对产量的相关曲线,以及根据 Cate-Nelson^[20]提出的确定临界值的简单方法用图2、图3表示。我们推荐的两种方法的分级指标以及可能适用的数种方法的临界值列于表10。土壤类型以红壤旱耕地为限,作物种类以玉米为代表。

Bray II 法及 0.1N HCl 法酸性过强,可能使部分不很有效的 Ca-P 溶解,故本文中不作推荐; Bray I 法提高液/土比时(2:40)并未取得较好效果,故认为没有必要。

参 考 文 献

- [1] 中国土壤学会农业化学专业委员会, 1983: 土壤农业化学常规分析方法, 104 页, 科学出版社。
[2] 史陶钧等, 1979: 酸性水稻土有效磷测定方法的研究。土壤学报, 第 16 卷 4 期, 409。

- [3] 美国土壤学会(周鸣铮译), 1982: 土壤测定与植物分析。第 85 页, 农业出版社。
- [4] 浙江农业科学院, 1965: 酸性土壤速效磷的测定。土壤通报, 第 2 期, 24 页。
- [5] 章士炎等, 1981: 保加利亚土壤普查及成果应用。第 8 页, 科学技术文献出版社。
- [6] 蒋柏藩、鲁如坤等, 1963: 南方水稻土中的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: 《中国土壤磷素养分潜力概图》及其说明。土壤学报, 第 16 卷 1 期, 17—21 页。
- [8] Al-Abbas, A. H., Barber, F. A., 1964: A Soil Test for P Based Upon Fractionation of Soil P: II, Development of the Soil Test. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 28: 221.
- [9] Bray, R. H., Kurtz, L. T., 1945: Determination of Total, Organic and Available Forms of P in Soils. Soil Sci., 59: 39.
- [10] Cate, R. B., Jr and Nelson, L. A., 1971: A Rapid Method for Correlation of Soil Test Analyses with Plant Response Data. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 35: 658.
- [11] Chang, S. C. 1976: The Fertility of Paddy Soil. P. 93—116.
- [12] Dumbiar, A. D., Baker, D. E., 1965: Use of Isotopic Dilution in a Study of Inorganic Phosphorus Fractions from Different Soils. Soil. Sci. Soc. Am. Proc., 29: 259.
- [13] Fox, R. L. et al., 1967: Soil and Plant Silicon and Silicate Response by Cane. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 31: 775.
- [14] Fried, M., Dean L. A., 1952: A Concept Concerning the Measurement of Available Soil Nutrients. Soil Sci., 73: 263.
- [15] Mehlich A., 1953: Determination of P, Ca, Mg, K, Na and NH_4 . North Carolina Soil. Test Division Mimeo.
- [16] Mehlich, A., 1983: Comprehensive Method in Soil Testing.
- [17] Olsen, S. R. et al., 1954: Available P Status of Nebraska Soils in Relation to Series Classification, Time of Sampling and Method of Measurement. 16: 175. Agron. J. 16: 175.
- [18] Saunder, D. H., 1956: Determination of Available Phosphorous in Tropical Soils by Extraction with Sodium Hydroxide. Soil Sci., 82: 457.
- [19] Truog, E., 1930: The Determination of the Readily Available P in Soils. J. Am. Soc. Agron., 22: 874.

STUDIES ON THE METHODS OF EXTRACTION OF AVAILABLE PHOSPHOROUS IN THE CULTIVATED UPLAND RED EARTHS

Lu Yunfu and Zhou Mingzheng

(Institute of Soil and Fertilizer, Zhejiang Academy of Agricultural Science)

Summary

The results of two years field experiments with corn on cultivated upland red earths in Zhejiang had showed that the extraction of available P with acidic extractants was better than that with alkaline extractants. In order to further prove this conclusion, four different experiments were conducted: (1) fractionation of soil P associated with statistical calculation, (2) determination of correlation coefficients between different forms of P and the results of different extraction methods, (3) calculation of the difference of Al-P, Fe-P and Ca-P of three soils before and after growing a season of wheat, (4) isotopic dilution method of Dumbiar and Baker.

Results of the experiments showed that the principal form of available P in cultivated upland red earths is Al-P. Due to the acid soluble property of active solid Al-P, acid extractants are more satisfactory and reasonable. In this paper, the authors recommend Bray I and Mehlich III as the most convenient extractants for available P in cultivated upland red earths in Zhejiang. Calibration scale of these two methods and critical values of P in soil for corn by five methods are given in this paper.