

黄壤性水稻土的磷素特征及 供磷能力的相关研究*

朱钟麟 贾仲伦 米君富 罗晓川

(四川省农业科学院土肥所)

摘 要

第四纪红色粘土母质发育起来的黄壤性水稻土,二十多年来大量施用磷肥,磷在耕层富集。耕层全磷含量平均0.048%,有效磷含量平均11.6 ppm,分别比底土层高1.7倍和7.5倍,比荒地表层高2.1倍和28.4倍。黄壤性水稻土无机磷形态为混合分布型,Al-P、Fe-P、Ca-P、O-P分别占无机磷总量的5.9%,30.6%,28.7%和34.8%。小麦、水稻分蘖期测定的A值与产量和植株吸磷量相关,能表示土壤磷素有效性的高低。A值与土壤Fe-P和Ca-P相关,表明这两种磷酸盐是稻麦的主要磷源。Olsen法可作为测定黄壤性水稻土有效磷含量的标准方法。

黄壤性水稻土是我省具有较大增产潜力的土地资源,其成土母质严重缺磷。二十多年来长期施用磷肥,对作物产量和土壤肥力的提高起了积极的作用。本文拟探讨土壤的磷素特征、供磷能力,并进行不同有效磷测定方法的相关分析,为土壤肥力评价和科学施肥提供依据。

一、研究方法

试验设计 结合四川黄壤性水稻土主要土壤类型的基本属性的调查,研究土体中磷素的分布特性;通过盆栽及田间试验,研究磷肥在土壤中的转化及磷素形态与作物营养的关系;采用³²P标记法测定主要土壤类型的供磷能力,并通过不同有效磷测定方法的相关分析,选择能表示土壤供磷能力的化学测定方法。供试土壤的性质见表1。

研究方法 A值的测定^[1]:用通过3毫米筛孔的土壤,进行盆栽试验。每钵装烘干土8公斤,每公斤土施N 0.1克、³²P₂O₅ 0.06克、K₂O 0.05克。小麦在分蘖期(6周苗龄)、拔节期和抽穗孕穗期测定土壤A值,P的标记强度分别为50,100,200微居里。水稻直播,在分蘖期和抽穗孕穗期测定土壤A值,标记强度分别为100,200微居里。重复三次,并加本底对照。放射性样品用FJ-2100液闪进行契伦科夫计数。

田间试验:在夹江县小土黄泥上进行,土壤pH 6.0,有机质1.12%,全磷(P,下同)0.026%,有效磷(P,下同)5.6 ppm(Olsen法),阳离子交换量8.06毫克当量/100克土。供试作物为小麦。处理为在施N、K肥的基础上,每亩施钙镁磷肥(含枸溶性磷14.3%)0,30,50,100,150,200及300斤。小麦分蘖期多点取土分析全磷及无机磷形态变化。成熟后收产量,测定植株总吸磷量。

* 王楚云副研究员,吴仕佳、罗极天、陈光明、龚梅、王家银、杨竹茂等同志参加部分工作,谨此致谢。

表 1 供试土壤的性质

Table 1 Chemical properties of the soils used in experiment

| 取土时间 Time of sampling | 土壤类型 Soil type | 编号 No. | pH (H ₂ O) | 有机质 O.M. | 全磷 (P,%) Total P | 有效磷 (P, ppm) Available P | | | | 阳离子交 换量 (meq/ 100g) CEC | <0.001 粘粒 (%) Clay |
|-----------------------------|-------------------|-----------|--------------------------|-------------|------------------------|-----------------------------|--------|---------|----------|-------------------------------------|-----------------------------|
| | | | | | | Olsen | Bray I | Bray II | Al-Abbas | | |
| 稻茬 Rice | 小土黄泥 | 1 | 5.98 | 3.46 | 0.0541 | 1.67 | 9.30 | 54.1 | 122.8 | 9.87 | 26.5 |
| | | 2 | 6.40 | 1.64 | 0.0490 | 7.68 | 2.14 | 14.6 | 61.9 | 13.63 | 20.0 |
| | | 3 | 6.10 | 3.64 | 0.0380 | 8.91 | 5.68 | 46.8 | 60.2 | 10.63 | 24.2 |
| | 姜石黄泥 | 4 | 6.20 | 2.75 | 0.0437 | 3.58 | 0.13 | 24.1 | 37.6 | 16.62 | 27.7 |
| | | 5 | 6.50 | 3.80 | 0.0384 | 4.02 | 0.17 | 21.6 | 36.2 | 13.30 | 17.3 |
| | 大土黄泥 | 6 | 7.10 | 3.72 | 0.0587 | 17.3 | 3.71 | 38.0 | 75.9 | 20.52 | 25.6 |
| | | 7 | 7.20 | 3.46 | 0.0371 | 2.71 | 0.04 | 13.6 | 26.7 | 20.71 | 25.8 |
| | | 8 | 7.60 | 3.43 | 0.0502 | 17.0 | 1.79 | 7.64 | 61.6 | 15.16 | 23.6 |
| | | 9 | 7.20 | 3.80 | 0.0450 | 9.69 | 1.53 | 24.2 | 66.6 | 15.38 | 19.6 |
| 麦茬 Wheat | 小土黄泥 | 10 | 7.90 | 3.61 | 0.0585 | 14.0 | 6.55 | 42.0 | 21.6 | 10.50 | 26.8 |
| | | 11 | 6.40 | 1.89 | 0.0428 | 7.51 | 1.27 | 7.73 | 41.5 | 9.90 | 15.7 |
| | | 12 | 6.40 | 3.42 | 0.0419 | 9.17 | 3.71 | 42.5 | 35.6 | 11.7 | 20.9 |
| | | 13 | 5.60 | 2.35 | 0.0589 | 8.78 | 1.83 | 40.3 | 51.6 | 11.4 | 29.9 |
| | | 14 | 5.40 | 2.50 | 0.0432 | 4.98 | 0.78 | 7.60 | 33.4 | 11.8 | |
| | 姜石黄泥 | 15 | 5.60 | 3.05 | 0.0620 | 10.7 | 1.31 | 22.7 | 56.4 | 18.4 | 33.4 |
| | | 16 | 6.80 | 1.92 | 0.0450 | 5.02 | 0.48 | 13.3 | 21.6 | 13.6 | 23.3 |
| | 大土黄泥 | 17 | 7.00 | 4.25 | 0.0694 | 5.59 | 0.74 | 14.9 | 14.8 | 26.1 | 38.3 |
| | | 18 | 6.50 | 3.67 | 0.0476 | 3.97 | 0.83 | 12.2 | 12.7 | 24.2 | 19.0 |
| | | 19 | 8.00 | 3.64 | 0.0555 | 13.7 | 0.70 | 1.00 | 26.3 | 16.5 | 30.8 |
| | | 20 | 7.30 | 4.05 | 0.0520 | 9.47 | 0.87 | 15.3 | 34.0 | 17.2 | 28.5 |
| 21 | | 6.20 | 3.96 | 0.0454 | 8.30 | 1.09 | 11.2 | 36.2 | 21.4 | | |

化学测定: 全磷用 H₂SO₄-HClO₄ 法; 有效磷用 Olsen 法 (pH 8.5, 0.5M NaHCO₃)、Bray I 法 (0.03N NH₄F + 0.025N HCl) 和 Bray II 法 (0.03N NH₄F + 0.1N HCl), Al-Abbas 法 (0.3N NaOH + 0.5N Na₂C₂H₄); 有机磷用灼烧法; 无机磷形态用修改的张守敬—Jackson 法。

二、结果和讨论

(一) 全磷和有效磷含量的土体分布

本区黄壤性水稻土主要发育于第四纪上更新统 (Q₃) 和中下更新统 (Q₂) 的粘土母质上, 分布于近代河流的二、三、四级阶地上。从 49 个剖面的分析资料看出 (表 2), 农业土壤的磷素状况受成土母质的影响小, 受耕作施肥的影响大。经过人为的耕作施肥, 磷素富集于耕作层。耕作层的全磷含量 0.028—0.083%, 平均 0.048%, 比旱地耕作层高 22%, 比荒地表层高 2.1 倍。底土层的全磷含量平均 0.018%, 与旱地相近, 比荒地高 50%。

耕作层有效磷 3.1—29.5 ppm, 平均 11.6 ppm, 比旱地耕作层高 36%, 比荒地表层高 28.4 倍。底土层的有效磷含量平均 1.4 ppm, 比旱地高 79%, 比荒地高 3.7 倍。由此

表 2 全磷和有效磷含量的土体分布

Table 2 Distribution of total and available P in soil profile

| 土壤类型 Soils | 剖面数 No. of soil profile | 全 磷 Total P(P,%) | | | | | 有 效 磷 Available P (P,ppm) | | | | |
|---------------|----------------------------------|----------------------------------|------------|----------------|----------------|-----------------------|---------------------------------|------------|----------------|----------------|--------------------|
| | | 耕作层0—15 cm Cultivated horizon | | 犁底层 Plowpan | 心土层 Subsoil | 底土层 Bottom soil | 耕作层0—15cm Cultivated horizon | | 犁底层 Plowpan | 心土层 Subsoil | 底土层 Bottom soil |
| | | 变 幅 Range | 平均 Meam | | | | 变 幅 Range | 平均 Meam | | | |
| 小土黄泥 | 23 | 0.03—0.082 | 0.048 | 0.032 | 0.020 | 0.018 | 3.1—29.5 | 13.4 | 5.4 | 1.4 | 1.5 |
| 姜石黄泥 | 9 | 0.028—0.07 | 0.050 | 0.031 | 0.016 | 0.015 | 5.5—18.1 | 10.1 | 4.3 | 1.5 | 1.8 |
| 大土黄泥 | 13 | 0.029—0.07 | 0.046 | 0.030 | 0.019 | 0.02 | 3.7—17.5 | 9.4 | 3.3 | 1.1 | 1.3 |
| 合计 | 45 | 0.028—0.082 | 0.048 | 0.031 | 0.019 | 0.018 | 3.1—29.5 | 11.6 | 4.6 | 1.4 | 1.5 |
| 旱地 | 2 | 0.036—0.043 | 0.039 | | 0.017 | 0.012 | 3.9—13.2 | 8.6 | | 0.8 | 0.2 |
| 疏林地 | 2 | 0.015—0.016 | 0.016 | | 0.012 | 0.012 | 0.04—0.7 | 0.4 | | 0.3 | 0.3 |

可见,耕作施肥熟化对土壤磷素的影响,有效磷大于全磷,耕作层大于底土层。

磷在土壤中的扩散系数极小,因此,肥料磷主要集中于耕作层,犁底层以下迅速降低。耕作层的全磷含量分别比犁底层、心土层、底土层高 0.53、1.56 和 1.68 倍;有效磷含量分别比犁底层、心土层和底土层高 1.52、7.55 和 6.79 倍。磷的有效化系数(有效磷/全磷)亦随土层深度的增加而降低,在耕作层、犁底层、心土层和底土层分别为 2.4%、1.5%、0.7% 和 0.8%。

(二) 土壤的磷素形态

黄壤性水稻土有机磷含量的变异幅度较大,为 0.0127—0.0249%, 占全磷的 35% 左右(表 3)。稻茬测定的土壤磷素的有机率 y = 有机磷占全磷的百分率对年降雨量 (x_1)、年平均气温 (x_2)、土壤有机质含量 (x_3) 和 <0.001 的粘粒含量 (x_4) 的回归方程为:

$$\hat{y} = 155.02 + 0.02729x_1 - 8.3495x_2 - 1.3833x_3 - 0.1641x_4$$

回归方程的 F 检验得出: $F = 6.699 > F_{0.05}$, 表示回归方程成立。对各变量进行显著性检验, x_1 和 x_2 对 y 的偏回归系数是显著的,即土壤磷素的有机率受降雨、温度等矿化条件的影响。年降雨量对有机率的影响为正作用,即年降雨量增多,有机磷积累增加;年平均气温对有机率的影响为逆作用。

国内外研究表明,土壤中各种形态的磷的相对含量是风化条件与母质性质的函数^[4],土壤无机磷形态的相对组成与土壤水平地带性的分布规律有一定的相关^[1,3]。本区黄壤性水稻土属于过渡带的土壤,土壤无机磷形态为磷酸盐的混合分布型,平均铝磷占无机磷总量的 5.9%,铁磷占 30.6%,钙磷占 28.7%,闭蓄态磷占 34.8%。

在相同气候带下,不同土壤类型的无机磷形态组成的特征及分异在很大程度上与成土母质和地下水的性质有关。从表 4 看出,小土黄泥成土母质的主要粘土矿物成分为高岭石、伊利石, $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ 为 2.0 左右,在土壤磷素的转化系统上,磷酸铁铝占优势,占无机磷总量的 51.8%。而姜石黄泥、大土黄泥的主要粘土矿物为蒙脱石、伊利石, $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ 为 2.40—2.61,粘粒中氧化钙镁的含量较高,且土体中常有姜石, (CaCO_3) ,加之本区地下

表 3 耕层土壤的磷素组分分析

Table 3 Fractionation of P in cultivated horizon of paddy soils from yellow earth

| 取 土 时 间 Time of sampling | 土 壤 Soils | 编 号 No. | 磷 素 (ppm) Total P | 无 机 磷 Inorganic P | | | | | | | | 有 机 磷 Organic P | | |
|--|-----------------|---------------|----------------------------|-------------------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|-------|------|
| | | | | Al-P | | Fe-P | | Ca-P | | O-P | | 总 量 (ppm) Total | ppm | % |
| | | | | ppm | % | ppm | % | ppm | % | ppm | % | | | |
| 稻 茬 Rice | 小土黄泥 | 1 | 541.4 | 45.9 | 13.2 | 141.5 | 40.7 | 61.4 | 17.7 | 98.5 | 28.4 | 347.4 | 218.3 | 40.3 |
| | | 2 | 489.0 | 19.5 | 6.7 | 116.8 | 40.3 | 25.3 | 8.7 | 128.1 | 44.2 | 289.7 | 212.8 | 42.5 |
| | | 3 | 379.8 | 28.3 | 17.5 | 61.5 | 38.1 | 53.4 | 33.1 | 18.2 | 11.3 | 161.3 | 223.8 | 59.0 |
| | 姜石黄泥 | 4 | 436.6 | 10.1 | 3.2 | 65.8 | 20.7 | 134.8 | 42.4 | 107.4 | 33.8 | 318.1 | 163.7 | 37.5 |
| | | 5 | 384.2 | 10.5 | 4.2 | 58.2 | 23.2 | 91.8 | 36.6 | 90.0 | 35.9 | 250.5 | 141.9 | 36.9 |
| | 大土黄泥 | 6 | 580.7 | 30.5 | 8.6 | 129.8 | 36.5 | 111.3 | 31.3 | 83.6 | 23.5 | 355.2 | 174.6 | 30.1 |
| | | 7 | 371.1 | 8.95 | 4.1 | 47.7 | 21.8 | 131.6 | 60.2 | 30.3 | 13.9 | 218.6 | 147.4 | 39.8 |
| | | 8 | 502.1 | 44.2 | 12.6 | 39.3 | 11.2 | 107.2 | 30.5 | 160.4 | 45.7 | 351.2 | 174.6 | 34.8 |
| | | 9 | 449.7 | 29.2 | 10.7 | 92.7 | 34.0 | 72.1 | 26.5 | 78.2 | 28.7 | 272.3 | 185.6 | 41.3 |
| 平均 | | 459.3 | | 8.9 | | 29.4 | | 30.8 | | 31.0 | 284.9 | | 40.4 | |
| 麦 茬 Wheat | 小土黄泥 | 10 | 451.4 | 10.6 | 2.8 | 137.2 | 35.5 | 146.7 | 38.0 | 91.8 | 23.8 | 386.4 | 248.9 | 42.5 |
| | | 11 | 427.9 | 17.4 | 6.2 | 94.7 | 49.5 | 104.9 | 37.6 | 18.0 | 6.6 | 279.3 | 126.6 | 29.6 |
| | | 12 | 419.1 | 17.1 | 11.3 | 50.7 | 33.4 | 28.5 | 18.8 | 55.2 | 36.4 | 151.5 | 187.7 | 44.8 |
| | | 13 | 589.4 | 12.1 | 4.6 | 69.8 | 26.6 | 43.7 | 16.6 | 137.2 | 56.2 | 262.7 | 126.6 | 21.5 |
| | 姜石黄泥 | 14 | 432.2 | 6.90 | 3.5 | 86.5 | 43.5 | 79.3 | 39.8 | 26.3 | 13.2 | 199.0 | 126.6 | 29.3 |
| | | 15 | 620.0 | 13.8 | 3.7 | 150.9 | 40.8 | 95.1 | 25.7 | 110.2 | 29.8 | 370.1 | 179.0 | 28.9 |
| | | 16 | 449.7 | 9.00 | 4.0 | 68.6 | 30.6 | 79.3 | 35.3 | 67.4 | 30.1 | 224.4 | 144.1 | 32.0 |
| | 大土黄泥 | 17 | 462.4 | 5.68 | 1.9 | 50.7 | 17.1 | 47.6 | 16.0 | 193.2 | 65.0 | 297.2 | 244.5 | 35.2 |
| | | 18 | 475.9 | 3.62 | 1.8 | 60.9 | 30.8 | 27.7 | 14.0 | 105.4 | 53.3 | 197.7 | 144.1 | 30.3 |
| | | 19 | 554.5 | 10.0 | 2.5 | 89.4 | 22.3 | 111.2 | 27.7 | 188.4 | 46.9 | 399.0 | 152.8 | 27.6 |
| | | 20 | 519.6 | 8.43 | 3.1 | 78.8 | 29.3 | 79.1 | 19.2 | 130.2 | 48.4 | 268.9 | 152.8 | 29.4 |
| | 21 | 454.1 | 6.94 | 2.3 | 71.6 | 24.1 | 85.7 | 28.9 | 132.6 | 44.7 | 296.9 | 131.0 | 28.8 | |
| 平均 | | 475.0 | | 3.6 | | 31.6 | | 27.0 | | 37.7 | 277.8 | | 31.7 | |
| 平均 | | 468.0 | 16.6 | 5.9 | 86.1 | 30.6 | 80.5 | 28.7 | 97.7 | 34.8 | 280.8 | 171.8 | 35.4 | |

水的埋藏深度仅离地表 2—10 米, 地下水中钙离子含量 42.1—110.2 毫克/升, 矿化度为 0.3—0.6 克/升, 水质类型一般属 $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{++}$ 或 $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{++}, \text{Mg}^{++}$ 型。因此, 在这两种母质中, 钙磷的比例也就相对较高, 占无机磷总量的 35—40%。

水稻土水旱轮作对无机磷形态也有一定影响。淹水后随着土壤的还原, 闭蓄态磷酸盐的氧化胶膜溶解, 非闭蓄态磷增加。在稻茬, 非闭蓄态磷由麦茬占无机磷总量的 62.3% 上升到 69%, 这与 Goswami 等人的研究结论一致^[5]。

(三) 土壤供磷能力及作物对不同形态磷的吸收

黄壤性水稻土的 A 值测定结果指出 (表 5): A 值随作物根系的扩展和生育进程而变

表 4 无机磷形态组成与成土母质的关系

Table 4 Forms of inorganic P in paddy soils from yellow earth in relation with parent material

| 土壤类型 Soils | 母质 Parent material | 胶粒<0.001* 矿物成分 Clay minerals | 取样深度 (m) Depth | 样品数(个) No. sampling | 化学成分 Chemical composition | | | | | | 无机磷形态组成(%) Fractions of inorganic P | | | |
|---------------|-----------------------|------------------------------------|----------------------|------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|---|--|------|------|------|
| | | | | | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | SiO ₂ / R ₂ O ₃ | Al-P | Fe-P | Ca-P | O-P |
| 小土黄泥 | 雅安期粘土 | 高岭石、伊利石、蒙脱石、水针铁矿、石英 | 0.7—4.6 | 20 | 40.47 | 26.35 | 12.11 | 0.21 | 1.05 | 2.02 | 11.7 | 40.1 | 17.5 | 30.7 |
| 姜石黄泥 | 成都粘土 | 蒙脱石、伊利石、水针铁矿、石英 | 2—6 | 5 | 44.59 | 24.69 | 10.64 | 0.20 | 1.28 | 2.40 | 3.6 | 21.8 | 39.9 | 34.7 |
| 大土黄泥 | 广汉粘土 | 蒙脱石、伊利石、水针铁矿、石英 | 0.7—3.4 | 7 | 45.16 | 23.41 | 9.29 | 0.32 | 1.83 | 2.61 | 9.4 | 25.9 | 35.3 | 29.5 |

* 摘自四川地质局水文工程地质大队,1980: 四川成都平原区域水文地质普查总结报告 p21—38, p69, p104—135。

表 5 稻麦生长期中土壤有效磷量 A 值的测定

Table 5 A values of available P in soils during the growing period of rice and wheat

| 作物 Crop | 土壤 Soils | 编号 No. | 不施磷产量 (克/盆) No P ₂ yield (g/pot) | 不施磷植株总 吸磷量(克/盆) P absorbed by plant (no P) | A 值 | | |
|-------------|--------------|-----------|--|--|------------------|-------------------|----------------|
| | | | | | 分蘖期 Tillering | 拔节期 Elongating | 抽穗期 Heading |
| 小麦 Wheat | 小土黄泥 | 1 | 18.1 | 121.62 | 37.0 | 29.4 | 53.8 |
| | | 2 | 16.1 | 113.61 | 17.2 | 15.2 | 34.4 |
| | | 3 | 23.4 | 153.64 | 42.4 | 15.0 | 57.1 |
| | 姜石黄泥 | 4 | 12.9 | 89.75 | 16.9 | 10.9 | 25.8 |
| | | 5 | 16.2 | 98.68 | 15.2 | 11.7 | 28.2 |
| | | 6 | 25.6 | 215.5 | 33.3 | 43.0 | 107.3 |
| | 大土黄泥 | 7 | 6.8 | 49.14 | 14.3 | 19.3 | 70.2 |
| | | 8 | 23.9 | 169.2 | 42.3 | 51.8 | 112.8 |
| | | 9 | 21.9 | 133.0 | 32.7 | 31.9 | 75.3 |
| | 与产量的相关系数 r | | | | 0.8229** | 0.6276 | 0.5623** |
| | 与总吸磷量的相关系数 r | | | | 0.7410* | 0.6960* | 0.6595** |
| 水稻 Rice | 小土黄泥 | 10 | 45.7 | 319.8 | 187.4 | | 384.0 |
| | | 11 | 43.1 | 271.3 | 128.1 | | 172.8 |
| | | 12 | 46.8 | 286.6 | 95.4 | | 177.9 |
| | | 13 | 51.8 | 333.2 | 157.3 | | 236.6 |
| | | 14 | 41.0 | 239.8 | 75.4 | | 228.0 |
| | 姜石黄泥 | 15 | 53.7 | 346.1 | 212.8 | | 609.2 |
| | | 16 | 36.0 | 234.4 | 63.1 | | 183.3 |
| | 大土黄泥 | 17 | 42.5 | 238.9 | 72.3 | | 136.5 |
| | | 18 | 33.7 | 240.0 | 36.8 | | 91.7 |
| | | 19 | 45.3 | 277.8 | 87.4 | | 133.1 |
| | | 20 | 41.7 | 239.8 | 104.7 | | 127.8 |
| 21 | | 49.2 | 346.3 | 164.5 | | 185.9 | |
| | 与产量的相关系数 r | | | | 0.8451** | | 0.6202* |
| | 与总吸磷量的相关系数 r | | | | 0.8955** | | 0.6388* |

表 6 不同形态的磷与作物反应及土壤 A 值的相关

Table 6 Response of crops to various forms of P and A values of the soils

| 磷素形态 Forms of P | A 值 | | 作物反应(田间试验) Response of crops (field expermant) | |
|--------------------|----------------|----------|---|----------|
| | 水稻 Rice n = 12 | | 小 麦 Wheat n = 7 | |
| | 分 蘖 期 | 抽 穗 期 | 产 量 | 总吸磷量 |
| 非闭蓄态磷酸盐 | 0.6769* | 0.6779* | 0.7958* | 0.9300** |
| Al-P | 0.4563 | 0.3529 | 0.6929 | 0.7420 |
| Fe-P | 0.7341** | 0.8553** | 0.9326** | 0.9579** |
| Ca-P | 0.5188 | 0.4263 | 0.8594** | 0.9308** |
| 闭蓄态磷 | 0.0248 | -0.1197 | 0.3590 | 0.5332 |
| 有机磷 | 0.1727 | 0.3058 | 0.7383 | 0.7260 |

表 7 土壤有效磷不同方法的测定值与作物反应和 A 值的相关系数 (r)

Table 7 Correlation coefficient between various methods of testing available P in soil and crop response or A values

| 测 定 方 法 Testing methods | | | Olsen | Bray I | Bray II | Al-Abbas |
|----------------------------|--------------|-------|----------|--------|---------|----------|
| 作物反应 | 小麦 n = 9 | 产 量 | 0.7880* | 0.4205 | 0.3463 | 0.5000 |
| | | 总吸磷量 | 0.8390** | 0.3925 | 0.3247 | 0.4785 |
| | 水稻 n = 12 | 产 量 | 0.6067* | 0.2803 | 0.4454 | 0.7816** |
| | | 总吸磷量 | 0.5789* | 0.4098 | 0.4755 | 0.6444* |
| A 值 | 小麦 n = 9 | 分 蘖 期 | 0.5698 | 0.6555 | 0.4754 | 0.6288 |
| | | 拔 节 期 | 0.7750* | 0.2090 | -0.0588 | 0.4373 |
| | | 抽 穗 期 | 0.8060** | 0.1107 | -0.0799 | 0.2287 |
| | 水稻 n = 12 | 分 蘖 期 | 0.6287* | 0.4636 | 0.4525 | 0.6874* |
| | | 抽 穗 期 | 0.4219 | 0.3602 | 0.3787 | 0.4807 |

化。分蘖期的 A 值与水稻和小麦的产量和植株总吸磷量分别呈极显著或显著相关, 表明水稻和小麦生育初期吸收的磷对产量确有重大意义。利用六周苗龄左右测定的 A 值, 能较有效地估计土壤磷对这两种作物的有效性^[2]。

根据不同形态的磷与作物反应及土壤 A 值的相关分析(表 6), 非闭蓄态的磷酸盐与水稻分蘖期和抽穗期的 A 值以及小麦产量和总吸磷量分别呈显著或极显著相关, 其中磷酸铁盐对土壤 A 值和小麦反应都呈极显著相关, 磷酸钙盐对小麦反应呈极显著相关。表明非闭蓄态的磷酸盐(包括占无机磷总量的 31% 左右的磷酸铁盐和占无机磷总量 29% 左右的磷酸钙盐), 都可能是小麦和水稻生长的主要磷源。其中磷酸铁盐在作物磷素营养中的地位, 无论从土壤中的含量, 还是作物反应的相关性来看, 都略高于磷酸钙盐。

(四) 土壤有效磷测定方法的相关分析

本试验采用了目前国内外应用较为普遍的 Olsen 法、Bray I 法、Bray II 法和 Al-Abbas 法, 对小麦、水稻的反应及对土壤有效磷 A 值分别进行相关分析。从表 7 可看出:

Olsen 法对小麦、水稻的产量和总吸磷量,小麦、水稻 A 值分别呈显著或极显著相关。Bray I 法和 Bray II 法与作物反应及土壤 A 值的相关不显著; Al-Abbas 法仅与水稻产量及总吸磷量呈极显著相关,表明 Olsen 法对本区黄壤性水稻土是比较理想的方法。这与 S. C. Chang (1972) 关于当土壤为磷酸盐的混合分布型时, Olsen 法比较优越的结论是一致的^[5]。在水稻上, Al-Abbas 法也有被考虑采纳的价值。

参 考 文 献

- [1] 李庆远主编, 1983: 中国红壤。145—158 页, 科学出版社。
 [2] 国际原子能机构技术报告丛书 (中国农科院原子能利用研究所三室译), 1980: 作物和土壤示踪教程。141—152 页, 原子能出版社。
 [3] 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。
 [4] L. W 沃尔什、J. D 比坦立编(周鸣铮译, 1982) 1973: 土壤测定与植物分析。23—46, 76—87 页, 农业出版社。
 [5] S. C. Chang. et al., (国外农学-水稻编辑部选, 1981) 1979: 土壤与水稻。247—252, 283—291 页, 浙江科学技术出版社。

CHARACTERISTICS OF PHOSPHORUS AND CORRELATION STUDY ON PHOSPHORUS SUPPLYING CAPACITY IN PADDY SOIL FROM YELLOW EARTH

Zhu Zhonglin, Jia Zhonglun, Mi Junfu and Luo Xiaochuan
(*Institute of Soil and Fertilizer, Sichuan Academy of Agricultural Sciences*)

Summary

The paddy soil from Quaternary red clay is generally deficient in P. Owing to phosphate fertilizer having been successively applied for more than 20 years, P is concentrated in topsoil in which the total P is 0.048%, and the available P is 11.6 ppm on the average. It is 1.7 times and 7.5 times higher than those in subsoil, and 2.1 times and 28.4 times higher than those in topsoil of waste soil with scarce vegetation respectively.

The distribution of various fractions of P in the paddy soils was closely related with the zonality of main soil group on which the paddy soils were developed. The organic P was about 35.4%. The Al-p, Ca-p, Fe-p and O-p were about 5.9%, 30.6%, 28.7% and 34.8% respectively. The organic P and non-occluded P increased after rice season under submerged condition, while they decreased after wheat season in dry farming.

The A values were measured by ³²P during the tillering stage of wheat and rice. They were related with the yield and the amount of P uptaken by crop, and also with the content of Fe-p, Ca-p, in the soils which were considered as the main P resources for wheat and rice.

The correlation analysis between four methods of chemical test of available P and the responses of plant or the A values indicates that Olsen method can reflect the availability of P in soil. The Al-Abbas method is worth of being brought into consideration only for rice.