

# 宁夏灌淤土对磷吸附的初步研究

何文寿

(宁夏农学院, 750105)

## 摘 要

本文报道了宁夏灌淤土 12 个代表性土样对磷的等温吸附与解吸特性。实测吸附曲线与 Freundlich、Langmuir 和 Temkin 三种等温吸附方程都很吻合。全部供试样品的相关系数变化在 0.931—0.999 之间,均达极显著水平 ( $p < 0.01$ )。其中 Langmuir 等温式与本实验资料最为吻合。

供试土壤对磷的最大吸附量 ( $X_m$ ) 变化在 172—460  $\mu\text{gP/g}$  之间,平均为  $347 \pm 28 \mu\text{gP/g}$ 。影响其大小的因子主要是物理性粘粒和  $\text{CaCO}_3$  含量,均达极显著正相关。

灌淤土不同土层的吸磷量大小依次为: 剖面 24 > 23 > 21 > 22, 而解吸磷能力大小依次为: 剖面 23 > 22 > 21 > 24。磷的解吸量与吸附量之间呈极显著正相关。

根据本试验数据,土壤对磷的等温吸附曲线可以用来预测土壤需磷量。

**关键词** 磷的吸附与解吸,等温吸附曲线,吸附等温式,最大吸磷量,相关系数

研究土壤对磷的等温吸附特性,在理论上有助于进一步深化土壤对磷的吸附机制和土壤与磷肥反应的本质的认识,在实践上可据此提出一些土壤需磷的物理化学指标,并对了解土壤供磷能力以及预测土壤需磷量可提供一定的理论依据。

应用等温吸附方程研究土壤对磷的吸附与解吸是 70 年代以来国际上土壤化学与土壤植物营养化学研究的重要领域<sup>[1,11-17]</sup>,80 年代以来国内在这方面也做了一些研究<sup>[1,11-18]</sup>。但就宁夏灌淤土对磷的吸附特性尚未见报道。故本试验目的在于:(1) 初步探讨适合宁夏灌淤土对磷吸附的等温线形式,并由此可计算出灌淤土吸磷的一些物化参数;(2) 了解灌淤土剖面不同土层对磷的吸附与解吸的一般特性;(3) 探索应用等温吸附曲线来预测土壤需磷量。

## 一、试验材料与方法

供试土壤为灌淤土,采自永宁县境内和农学院试验农场。样点选取在不同轮作制度下具有一定代表性的长年稻田(9号),长年旱田(1、3、5和8号)和稻旱轮作田(7、10和11号)。其它四个土样为灌淤土剖面样,编号为 21、22、23 和 24。各土样的理化性质见表 1。

等温吸附的实验方法:根据 Bache 和 Williams (1971)<sup>[11]</sup> 提出的制作方法测定。称取通过 30 目的风干土样 13 份,每份 5.0000 克,分别放入 250 ml 三角瓶中,然后分别加入 0.01 mol/L  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  溶液(以 pH7 的 0.01 mol/L  $\text{KCl}$  溶液为支持电解质) 0—50 ml。并用 0.02 mol/L  $\text{KCl}$  溶液补至 100 ml。以维持统一的离子强度为 0.02。上述各瓶中磷的加入量分别为 0、31、62、155、310、465、620、774、929、1240、1858、2478 和 3097  $\mu\text{gP/g}$  土。为防止微生物活动,各瓶加氯仿 2 滴,加塞,在 CZ-3 型磁力振荡器

上(控温  $20 \pm 0.1^\circ\text{C}$ )连续振荡 18 小时(振荡频率为 120 次/分)。悬浊液用慢速滤纸过滤, 滤液在 5000 转/分的离心机上离心 30 分钟。用钼锑抗比色法测定上层清液中的磷, 即得平衡溶液中磷的浓度 ( $C$ )。根据平衡前后溶液中磷浓度之差计算出吸附磷量 ( $X$ )。以平衡磷浓度  $C(\mu\text{gP/ml})$  为横坐标, 吸附量  $X(\mu\text{gP/g})$  为纵坐标作图。

等温解吸实验步骤: 根据赵伯善等<sup>[1]</sup>的方法改进。上述等温吸附过滤之后的土壤样品(只做剖面四个样), 经 3 小时空滤, 各加蒸馏水 100 ml 洗涤, 以减小残留液对土壤吸磷的影响。然后将样品风干 6 天, 称取 2.5000 克, 加入  $0.5\text{molL}^{-1}\text{NaHCO}_3$  溶液 50ml, 在  $20 \pm 0.1^\circ\text{C}$  下振荡 30 分钟, 过滤, 用钼锑抗比色法测定滤液中的磷, 即为解吸磷量。以原平衡溶液磷浓度 ( $C$ ) 为横坐标, 解吸磷量 ( $Y$ ) 为纵坐标作图。

表 1 供试土壤的一些理化性质

Table 1 Some physical and chemical properties of soil samples used in the experiment

| 土样号<br>Soil sample<br>No. | 采样深度<br>Depth<br>(cm) | 有机质 <sup>1)</sup><br>OM<br>(g/kg) | pH <sup>2)</sup><br>(H <sub>2</sub> O) | CaCO <sub>3</sub> <sup>3)</sup><br>(g/kg) | 有效磷 <sup>4)</sup><br>Available P<br>( $\mu\text{g/g}$ ) | 粘粒 <sup>5)</sup><br>Clay<br>( $<0.01\text{mm}$ )<br>(g/kg) |
|---------------------------|-----------------------|-----------------------------------|--|---|---|--|
| 1                         | 0--20                 | 13.5                              | 8.14                                   | 129.8                                     | 27.8  | 578.0  |
| 3                         | 0--20                 | 12.8                              | 8.16                                   | 130.3                                     | 28.8  | 575.5  |
| 5                         | 0 20                  | 12.8                              | 8.29                                   | 132.8                                     | 34.6  | 575.5  |
| 7                         | 0--20                 | 11.0                              | 8.05                                   | 128.2                                     | 4.9   | 567.5  |
| 8                         | 0--20                 | 12.2                              | 8.08                                   | 122.6                                     | 9.1   | 504.5  |
| 9                         | 0--20                 | 13.0                              | 7.96                                   | 133.8                                     | 10.4  | 573.0  |
| 10                        | 0--20                 | 11.5                              | 8.05                                   | 130.8                                     | 14.5  | 571.0  |
| 11                        | 0--20                 | 10.4                              | 8.20                                   | 130.1                                     | 5.4   | 561.9  |
| 21                        | 0-20                  | 12.4                              | 8.21                                   | 129.0                                     | 1.9   | 522.4  |
| 22                        | 20--40                | 7.1                               | 8.26                                   | 127.0                                     | 0.4   | 520.2  |
| 23                        | 40--80                | 5.4                               | 8.30                                   | 128.0                                     | 0.4   | 538.6  |
| 24                        | 80--120               | 5.8                               | 8.30                                   | 130.4                                     | 0.4   | 590.8  |

注: 1) 重铬酸钾容量法, 2) pH 计法, 3) 气量法, 4) Olsen 法, 5) 常用比重计法。

## 二、结果与讨论

### (一) 等温吸附曲线与吸附方程的吻合性

从供试土壤的 12 个土样对磷的等温吸附曲线(图 1)的结果表明, 在供试磷浓度范围 ( $0-3097 \mu\text{gP/g}$ ) 内, 其吸磷量基本上都可以达到平衡。其中 8、22 和 21 号样的吸磷量较小, 吸磷能力较弱, 当加入磷的水平较低时, 即可达吸附平衡。11、9 和 10 号样的吸磷量较大, 吸磷能力较强, 达吸附平衡时, 所需磷的加入量较大。7 号样虽吸磷量较大, 但吸附达平衡时所需磷的加入量较小(与 8、22 和 21 号样相当)。其它土样的吸磷量及吸磷能力居中。有些土样的吸磷量之间差异甚小(如 1 与 5、22 与 21 号等)。

由图 1 可以看出, 供试土壤的吸附图象若用折线逼近, 每条曲线都可以用三条直线逼近。这与 Syers (1981)<sup>[18]</sup> 等将等温吸附曲线分为吸附能级不同的三个区域是吻合的。这就是所谓的第 I 区域是快速吸附的初始阶段, 曲线很陡, 吸附点具有较高的结合能, 属化学吸附。第 II 区域是慢速吸附阶段, 曲线较平缓, 吸附点结合能较低, 属化学沉淀。第

III 区域是极慢速吸附阶段,曲线平缓,吸附点结合能很低,属物理吸附,易被解吸。本试验中,由于磷的加入量足够大,所以第 I、II 和 III 区域均已出现。

在描述土壤对磷吸附的文献中,广泛应用的有如下几种等温吸附方程式<sup>[1-3,9,11-14,16]</sup>。

1. Freundlich 方程式:  $X = aC^{1/n}$  或

$$\lg X = \frac{1}{n} \lg C + \lg a,$$

式中  $a, n$  都是由土壤性质决定的常数,  $C$  为平衡溶液中磷浓度,  $X$  为单位土壤的吸磷量。

2. Langmuir 方程式:

$$X = X_m \frac{KC}{1+KC} \text{ 或 } \frac{C}{X} = \frac{C}{X_m} + \frac{1}{KX_m},$$

式中  $X$  与  $C$  意义同上式,  $X_m$  为土壤最大吸磷量,  $K$  是因土壤性质而异的常数,它代表土壤对磷结合能力的大小。

3. Temkin 方程式:  $X = \frac{RTX_m}{b} \ln AC,$

式中  $X_m, X$  和  $C$  意义同上式,  $R$  为气体常数,  $T$  为绝对温度,  $A, b$  都是有关土壤性质的常数。

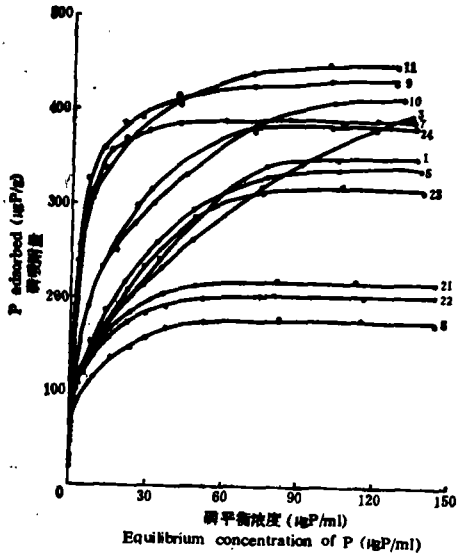


图 1 供试土样磷的等温吸附曲线

Fig.1 P adsorption isotherm of warped irrigated soils tested

根据上述三种吸附方程式,对试验数据进行了处理,结果见表 2。从表 2 列出的相关系数来看,供试土样的吸磷曲线与三种吸附方程都很吻合,其相关系数达 0.931\*\*—0.999\*\* ( $p < 0.01$ ) 之间,均为极显著水平。再用 12 个土样的实测平衡液磷浓度 ( $C$ ) 及其吸磷量 ( $X$ ) 的平均值,配置出宁夏灌淤土对磷吸附的三个等温式分别为:

(1)  $\lg X = 0.371 \lg C + 1.85, r = 0.974^{**}$ ; (2)  $\frac{C}{X} = 2.94 \times 10^{-3} C + 0.0162,$

$r = 0.997^{**}$ ; (3)  $X = 49.6 \ln C + 95.3, r = 0.988^{**},$

其相关系数亦均达极显著水平 ( $P < 0.01$ )。由此可见,供试灌淤土对磷的吸附,尽管在曲线上有所差异,但都可以用以上三个方程式描述其吸附特征。

在三种吸附方程的相关系数均达极显著的情况下,为寻求最优拟合性的方程式,本试验进行了如下两方面检验:(1) 相关系数:经计算得出所有供试土样的三种吸附方程的相关系数平均值分别为  $\bar{r}_1 = 0.9721, \bar{r}_2 = 0.9920, \bar{r}_3 = 0.9640$ , 即  $\bar{r}_2 > \bar{r}_1 > \bar{r}_3$ 。从平均相关系数的绝对数值来看,还是 Langmuir 方程最大。(2) 误差标准差 ( $S$ ):通过对供试土样吸磷量的实测值与理论值的误差标准差 ( $S$ ) 计算(表 2),结果表明,除 3 号样以 Freundlich 方程拟合的  $S$  值最小外,其它土样均以 Langmuir 方程拟合的  $S$  值最小。12 个土样的三种方程的误差标准差平均值分别为:  $\bar{S}_1 = 17.3, \bar{S}_2 = 11.0, \bar{S}_3 = 18.1$ , 这与上述平均相关系数的变化相反。由此可见,在供试条件下,土壤对磷的吸附曲线以 Langmuir 方程的拟合性最好,况且从该方程中能够获得某些反映土壤吸附特性的参数,所以

表 2 供试样品的吸附实验值与三种等温吸附方程的吻合性  
Table 2 Comparison between the P adsorption data of soil samples and the three adsorption equations

| 土样号<br>Soil sample | 吸 附 模 式<br>Adsorption models         |          |                                  |   |                              |       |                            |          |       |
|--------------------|--------------------------------------|----------|----------------------------------|---|------------------------------|-------|----------------------------|----------|-------|
|                    | Freundlich 方程<br>Freundlich equation |          | Langmuir 方程<br>Langmuir equation |   | Temkin 方程<br>Temkin equation |       |                            |          |       |
| No.                | $\lg X = \frac{1}{n} \lg C + \lg a$  | $r^{**}$ | $S_1$                            | $\frac{C}{X} = \frac{C}{X_m} + \frac{1}{KX_m}$              | $r^{**}$                     | $S_2$ | $X = \frac{RTX}{b} \ln AC$ | $r^{**}$ | $S_3$ |
| 1                  | $\lg X = 0.424 \lg C + 1.71$         | 0.995    | 16.5                             | $\frac{C}{X} = 2.61 \times 10^{-3} C + 0.0364$              | 0.990                        | 15.7  | $X = 55.9 \ln C + 53.7$    | 0.962    | 27.6  |
| 3                  | $\lg X = 0.457 \lg C + 1.67$         | 0.992    | 14.6                             | $\frac{C}{X} = 2.44 \times 10^{-3} C + 0.0403$              | 0.978                        | 18.4  | $X = 59.6 \ln C + 44.0$    | 0.937    | 17.5  |
| 5                  | $\lg X = 0.411 \lg C + 1.74$         | 0.990    | 26.4                             | $\frac{C}{X} = 2.77 \times 10^{-3} C + 0.0305$              | 0.994                        | 14.0  | $X = 53.7 \ln C + 61.6$    | 0.972    | 27.9  |
| 7                  | $\lg X = 0.358 \lg C + 2.14$         | 0.977    | 27.8                             | $\frac{C}{X} = 2.54 \times 10^{-3} C + 2.66 \times 10^{-3}$ | 0.999                        | 6.4   | $X = 54.5 \ln C + 199.9$   | 0.990    | 25.0  |
| 8                  | $\lg X = 0.312 \lg C + 1.69$         | 0.949    | 11.0                             | $\frac{C}{X} = 5.80 \times 10^{-3} C + 0.0117$              | 0.994                        | 9.6   | $X = 27.1 \ln C + 57.1$    | 0.969    | 10.2  |
| 9                  | $\lg X = 0.296 \lg C + 2.15$         | 0.956    | 10.0                             | $\frac{C}{X} = 2.37 \times 10^{-3} C + 1.76 \times 10^{-3}$ | 0.998                        | 8.0   | $X = 51.7 \ln C + 212.0$   | 0.984    | 8.3   |
| 10                 | $\lg X = 0.286 \lg C + 2.04$         | 0.993    | 12.2                             | $\frac{C}{X} = 2.38 \times 10^{-3} C + 0.0196$              | 0.992                        | 9.5   | $X = 53.8 \ln C + 122.0$   | 0.961    | 21.1  |
| 11                 | $\lg X = 0.290 \lg C + 2.15$         | 0.970    | 16.0                             | $\frac{C}{X} = 2.18 \times 10^{-3} C + 6.43 \times 10^{-3}$ | 0.999                        | 9.9   | $X = 50.4 \ln C + 216.0$   | 0.990    | 10.6  |
| 21                 | $\lg X = 0.283 \lg C + 1.83$         | 0.973    | 13.2                             | $\frac{C}{X} = 4.67 \times 10^{-3} C + 9.29 \times 10^{-3}$ | 0.989                        | 8.8   | $X = 29.7 \ln C + 87.9$    | 0.933    | 9.8   |
| 22                 | $\lg X = 0.306 \lg C + 1.78$         | 0.957    | 22.5                             | $\frac{C}{X} = 4.77 \times 10^{-3} C + 0.0106$              | 0.993                        | 7.3   | $X = 31.0 \ln C + 75.8$    | 0.958    | 11.3  |
| 23                 | $\lg X = 0.361 \lg C + 1.81$         | 0.982    | 22.0                             | $\frac{C}{X} = 3.00 \times 10^{-3} C + 0.0249$              | 0.986                        | 16.8  | $X = 47.5 \ln C + 79.3$    | 0.949    | 25.7  |
| 24                 | $\lg X = 0.332 \lg C + 1.97$         | 0.931    | 15.5                             | $\frac{C}{X} = 2.54 \times 10^{-3} C + 0.0134$              | 0.992                        | 8.1   | $X = 50.3 \ln C + 116.0$   | 0.963    | 22.7  |

$r^{**}$  表示相关性达极显著水平 ( $P < 0.01$ ), 自由度 ( $n$ ) = 10;  $S = \sqrt{\frac{\sum(X - \bar{X})^2}{n-2}}$ 。

对于研究灌淤土磷的吸附特性,采用 Langmuir 方程更适合。

## (二) 灌淤土的吸磷特性

根据 Langmuir 方程计算的有关磷吸附的一些物理化学参数(表 3)描述了供试土壤的吸磷特征。供试灌淤土的最大吸磷量 ( $X_m$ ) 介于 172—459  $\mu\text{gP/g}$  (8—11 号样之间, 平均为  $347 \pm 28 \mu\text{gP/g}$ 。其平均值与红壤相比, 约小 3 倍<sup>[3]</sup>。磷的最大吸附值是土壤磷库大小的反映, 是一种数量因子<sup>[2]</sup>。只有当磷库充满到一定数量时, 土壤才能对作物供磷。

表 3 灌淤土吸附磷的一些物理化学参数

Table 3 Some physicochemical parameters of P adsorption by warped irrigated soil

| 土样号<br>Soil sample<br>No. | 平衡常数<br>K value<br>(ml/ $\mu\text{g}$ ) | 吸附反应自由能<br>$\Delta G^\circ$<br>(kJ/mol) | 最大吸磷量<br>Maximum P adsorbed<br>$X_m$ ( $\mu\text{g P/g}$ ) |
|---------------------------|---|---|--|
| 1                         | 0.0716                                  | -18.8                                   | 383.3  |
| 3                         | 0.0605                                  | -18.4                                   | 410.1  |
| 5                         | 0.0909                                  | -19.4                                   | 360.6  |
| 7                         | 0.9531                                  | -25.1                                   | 394.0  |
| 8                         | 0.497                                   | -23.5                                   | 172.5  |
| 9                         | 1.34                                    | -25.9                                   | 422.1  |
| 10                        | 0.122                                   | -20.1                                   | 419.4  |
| 11                        | 0.338                                   | -22.6                                   | 459.4  |
| 21                        | 0.492                                   | -23.5                                   | 218.9  |
| 22                        | 0.450                                   | -23.3                                   | 209.6  |
| 23                        | 0.120                                   | -20.0                                   | 322.9  |
| 24                        | 0.189                                   | -21.2                                   | 393.4  |
| 红壤 <sup>(3)</sup>         | 10.2                                    | -31.4                                   | 914.3  |

$$*\Delta G^\circ = -RT \ln K_s = -2.438 \ln(K \times 30974)$$

吸附反应平衡常数  $K$  值和吸附反应自由能  $\Delta G^\circ$  值也是土壤吸磷与供磷特性的反映。例如红壤的  $K$  值大,  $\Delta G^\circ$  值也大, 表明其对磷的吸附能力强, 而供磷能力弱。灌淤土的  $K$  值和  $\Delta G^\circ$  值都比较小, 其平均值分别为:  $\bar{K} = 0.394 \text{ ml}/\mu\text{g}$ ,  $\Delta \bar{G}^\circ = -21.8 \text{ kJ/mol}$  (千焦耳/摩尔), 说明其吸磷能力比较弱, 而供磷能力比较强。在灌淤土与红壤上施用等量磷肥时, 则在前者的效应将优于在后者的效应。

## (三) 影响灌淤土吸磷能力的因子

通过测试供试土样的某些性质与最大吸磷量之间的相关性, 结果表明, 12 个土样的最大吸磷量与其物理性粘粒 ( $< 0.01 \text{ mm}$ )、 $\text{CaCO}_3$  含量之间呈极显著正相关, 相关系数 ( $r$ ) 分别为 0.897\*、0.737\*\* ( $p < 0.01$ ); 而与 pH 值、有机质和有效磷含量之间相关不显著。这是由于物理性粘粒含量的多少决定着土壤固相吸附位的数量<sup>[3]</sup>。 $\text{CaCO}_3$  的吸磷能力虽然不强, 但它在灌淤土中含量较高, 除以化学沉淀的方式吸附磷酸根外, 磷酸根离子还可同钙离子相配位的基团 (如  $\text{OH}^-$ 、 $\text{HCO}_3^-$  等) 进行配位基交换, 即专性吸附<sup>[4]</sup>。因此, 初步推断物理性粘粒和  $\text{CaCO}_3$  含量是决定灌淤土最大吸磷量的关键因子。

## (四) 灌淤土不同土层对磷吸附与解吸的基本特征

试验结果表明, 供试土壤所吸附的磷都能在在一定程度上被解吸下来。整个剖面的四个样品的等温解吸曲线见图 2。

将图 1 和图 2 作比较可以看出, 整个剖面土样的两种曲线相应的位置基本上是一致的。表明吸附量大者被解吸的磷量也大。但是等温解吸曲线与等温吸附曲线并不是完全一样的, 因为土壤所吸附的磷只有部分是能被解吸的。

从理论上说, 由于吸附磷的能级不同, 被解吸的难易程度当然也有差别。图 2 中每条解吸磷的曲线与吸磷曲线(图 1)一样亦可由三条直线逼近, 因而可以推测等温解吸磷曲线也可分成三个不同的区域: 即第 I 区域为快速解吸区, 把结合能很低的物理吸附的磷迅速解吸下来; 第 II 区域则是慢速解吸区, 把结合能较低的共价键吸附的磷解吸下来; 第 III 区域为特慢解吸区, 则是非常慢的解吸被高能键相结合的牢固吸附的磷, 有些磷可能就根本不能被解吸。

从图 1 吸附曲线可以看出, 灌淤土剖面不同土层的吸磷量大小依次为:  $24 > 23 > 21 > 22$ 。其中 21 和 22 号样吸磷量差异甚小, 吸磷能力相似, 这是由于灌淤土熟化土层较深, 影响其吸磷能力大小的物理性粘粒和  $\text{CaCO}_3$  含量在 0—40 cm 范围内分布比较均匀所致。

由图 2 可见, 灌淤土剖面不同土层的解吸磷量大小依次为:  $24 > 23 > 22 > 21$ , 这与吸磷量的变化基本上是一致的。这就进一步表明灌淤土不同土层吸附磷量愈大, 解吸磷量也愈大; 相反, 吸附磷量愈小, 解吸磷量亦愈小。

供试剖面样品的解吸磷量 ( $y$ ) 与其吸附磷量 ( $x$ ) 之间的关系见表 4。可以看出, 磷的解吸量与吸附量之间呈现出极显著的直线正相关, 即  $y = bx + a$ , 这与赵美芝等的研究结果一致, 并且他还认为  $b$  值的大小可反映某种吸附形态的磷被解吸难易的一个指标<sup>[4]</sup>。从本试验  $b$  值来看, 其大小依次为:  $22 \approx 23 > 21 > 24$ 。

再从解吸率(解吸量与吸附量的%)来看, 21、22、23 和 24 号样品的平均解吸率分别为: 45.4、49.4、51.2 和 44.2%。这与上述  $b$  值的变化次序基本一致。由此可见, 灌淤土剖面不同土层解吸磷的能力大小依次为:  $23 > 22 > 21 > 24$ 。其中第 4 层(24 号样)吸磷量大于其它三层, 但解吸磷能力最小, 这与该层物理性粘粒含量大于其它三层有关。

#### (五) 根据磷吸附等温线预测土壤需磷量

Fox 和 Kamprath 于 1970 年研究并总结了这一问题<sup>[4]</sup>。他们认为土壤供磷的强度指标就是土壤溶液中磷的平衡浓度, 而能维持这一必需浓度的土壤固相表面活性磷的量为其相应的数量指标。经过他们大量的研究, 证明土壤溶液中平衡磷浓度能维持在 0.2

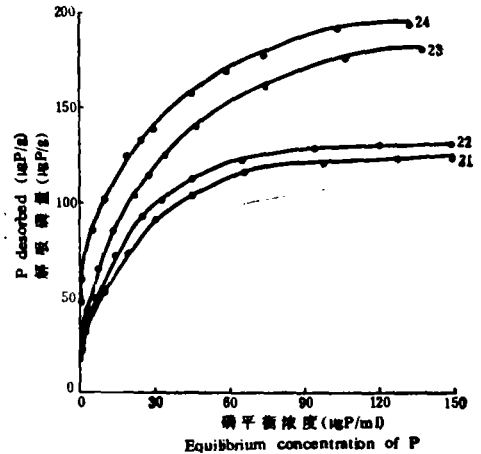


图 2 灌淤土对磷的等温解吸曲线  
Fig. 2 P desorption isotherm of warped irrigated soil

$\mu\text{gml}^{-1}$  时, 珍珠玉米的生长量即可达最高生长量的 92—98% (如果其他养料保证充足)。对于小麦这一平衡磷浓度为  $0.3 \mu\text{gml}^{-1}$ , 大麦为  $0.6—0.7 \mu\text{gml}^{-1}$ , 水稻仅为  $0.1 \mu\text{gml}^{-1}$ 。近年来国内的一些研究报道与此一致<sup>[4,6,9]</sup>。于是根据等温吸附试验中不同磷加入量所达到的平衡溶液磷浓度的曲线, 不难直接算出使土壤达到某一磷浓度时所需要的加入量, 从而进一步计算出单位面积所需施用的磷肥量。

表 4 磷的解吸量与吸附量之间的相关性

Table 4 Correlation coefficients between the desorbed P amount and adsorbed P amount

| 土 样 号<br>Soil sample No. | 回归方程*<br>Regression equation | 相关系数 (r)<br>Correlation coefficients |
|--------------------------|------------------------------|--------------------------------------|
| 21                       | $y = 0.509x - 6.15$          | 0.954**                              |
| 22                       | $y = 0.572x - 7.94$          | 0.939**                              |
| 23                       | $y = 0.570x - 7.64$          | 0.986**                              |
| 24                       | $y = 0.467x - 2.35$          | 0.986**                              |

\* X-吸磷量 ( $\mu\text{g P/g}$ ), y-解吸磷量 ( $\mu\text{g P/g}$ )。

\*\* 表示相关达极显著水平 ( $p < 0.01$ )。

根据供试样品不同磷加入量 (Y) 与其所得到的平衡溶液平均磷浓度 (C) 数据, 用 Langmuir 等温式处理, 得出方程  $\frac{C}{X} = 2.43 \times 10^{-4}C + 0.0190 (r = 0.807^*, n = 12)$ 。

若要达到  $0.3 \mu\text{gml}^{-1}$  平衡溶液磷浓度, 就可得出磷加入量为  $15.7 \mu\text{gP/g}$ ; 若要达到  $0.1 \mu\text{gml}^{-1}$  平衡溶液磷浓度, 则加入量为  $5.2 \mu\text{gP/g}$ 。

根据磷加入量计算每亩施磷量。以  $667 \text{ m}^2$  土壤的表土按 15 万公斤计, 磷肥以含  $\text{P}_2\text{O}_5$  12% 的过磷酸钙计, 则上述两个加入量分别相当于亩施过磷酸钙 45 公斤和 15 公斤, 亦即相当于亩施  $\text{P}_2\text{O}_5$  5.4 公斤和 1.8 公斤。这两个施磷量与目前宁夏灌区小麦及水稻的施磷水平一致。

### 参 考 文 献

- [1] 赵伯善等, 1984: 关中壤土对磷酸盐吸附的初步研究。西北农学院学报, 第 1 期, 37—43 页。
- [2] 周鸣铮, 1979: 土壤磷有效度的物理化学研究法(上)。土壤学进展, 第 1 期, 39—43 页。
- [3] 曹志洪等, 1988: 黄土性土壤对磷的吸附与解吸。土壤学报, 第 25 卷 3 期, 218—226 页。
- [4] 何振立、朱祖祥、袁可彪、黄昌勇, 1988: 土壤对磷的吸持特性及其与土壤供磷指标之间的关系。土壤学报, 第 25 卷 4 期, 397—403 页。
- [5] 赵美芝, 1988: 几种土壤和粘土矿物上磷的解吸。土壤学报, 第 25 卷 2 期, 156—163 页。
- [6] 傅明华、戴朱恒、承友松、顾仲兰, 1986: 上海土壤磷的吸附特性及缓冲性能的研究。土壤学报, 第 23 卷 2 期, 113—123 页。
- [7] 赵美芝、陈家坊, 1981: 土壤对磷酸离子 ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) 吸附的初步研究。土壤学报, 第 18 卷 1 期, 71—78 页。
- [8] 叶炳、王虹, 1984: 应用 Langmuir 等温式解释我国东北某些土壤对磷酸离子的吸附作用。土壤学报, 第 21 卷 1 期, 21—28 页。
- [9] 黄德明等, 1983: 应用等温吸附技术预测土壤需磷量的初步研究。土壤养分、植物营养与合理施肥论文集, 农业出版社, 367—373 页。
- [10] 金耀青编著, 1989: 计量施肥。农业出版社, 88—101 页。
- [11] Bache, B. W. & Williams, E. G., 1971: A phosphate sorption index for soils. J. Soil Sci., 22: 289—301.
- [12] Harter, R. D. & Baker, D. E., 1977: Application and missapplication of Langmuir equation to soil adsorption phenomena. Soil Sci. Soc. Am. J., 41: 1077—1080.
- [13] Olsen, S. R. & Watanable, F. S., 1975: A method to determine a phosphate adsorption maximum of soils

- as measured by the Langmuir equation. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 21: 144—149.
- [14] Fox, R. L. & Kamprath, E. J., 1970: Phosphate isotherms for evaluating the phosphate requirement of soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 34: 902—904.
- [15] Ballaux, J. C. & Peaslee, D. E., 1975: Relationships between sorption and desorption of phosphate by soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 39: 275—278.
- [16] Barrow, N. J., 1978: The description of phosphate adsorption curves. J. Soil Sci., 29: 447—462.
- [17] Holford, I. R. C, et al., 1976: Phosphate adsorption and plant availability of phosphate. Plant soil, 44: 377—389.
- [18] Syers, J. K. et al., 1981: Soil phosphorus chemistry, P. 571—599.

## A PRELIMINARY STUDY ON PHOSPHATE ADSORPTION BY WARPED IRRIGATED SOIL IN NINGXIA

He Wenshou

(Ningxia Agricultural College, 750105)

### Summary

The present paper deals with the characteristics of isothermal phosphate adsorption and desorption of warped irrigated soil collected from Yinchuan Plain in Ningxia. The data of isothermal phosphate adsorption of the twelve soil samples tested in a wide range of phosphorus concentration (up to 3097 ug P/g) were all found to be in close agreement with the Freundlich, Langmuir and Temkin equations. Their correlation coefficients ( $r$ ) ranged from 0.931 to 0.999, with a very significant level ( $P < 0.01$ ). Among these equations the Langmuir adsorption isotherm seems to be the best fitting model.

The P adsorption maxima of the soil samples tested as estimated by the Langmuir equation varied from 172 to 460 ug P/g. Their average was approximately  $347 \pm 28$  ug P/g. The relationships between the P adsorption maxima and some soil properties have been examined by simple linear regression analyses. Results have showed that P adsorption maxima were in fairly significant direct correlations ( $P < 0.01$ ) to the contents of physical clay and  $\text{CaCO}_3$  in warped irrigated soil.

According to the experimental data in the paper, the isothermal phosphate adsorption curves of soils could be used for predicting the requirement of phosphorus fertilizer for soils.

**Key words** Phosphate adsorption and desorption, Isothermal adsorption curve, Adsorption isotherm, Phosphate adsorption maximum, Correlation coefficient.