

磷在农业中的有效利用

Johnny Johnston, Paul Fixen 和 Paul Poulton 著

谢玲译 涂仕华校

(国际植物营养研究所成都代表处 原文译自《Better Crops》2014 第4期 P22 - P24)

本文汇总了欧洲和北美洲完全不同土壤上的试验数据，用于评估磷肥利用效率。英国的数据来自控制试验，而美国的数据则是由州级聚合数据衍生而来。这些数据表明，土壤中的植物有效磷行为存在一个潜在的“简单规则”，即与土壤中的四个无机磷库相关。

磷(P)是所有生物体中必需和不可替代的元素，而全球易于采挖的磷矿资源(PR)是有限的。磷矿经加工后，每年有超过80%的P用于食品生产。因此，延长全球资源的磷矿使用期限依赖于提高农业中P肥利用效率，尤其是因为随着不断增长的人口对食品需求的增加，磷肥的用量也会不断增加。P的有效施用能够满足不断上升人口的需求。农业中P的低效利用直接导致农民的损失。

土壤和肥料中的磷

作为提高农业中P肥利用率的一个贡献，Syers等^[1]人回顾了人们对土壤和肥料行为的理解，发现一个长期持有的观点——认为P是不可逆地被固定在土壤中的观点是没有证据支持的。这些学者认为，土壤中的植物可利用无机磷存在于四个库中，与植物根系的吸收利用性及土壤分析中试剂的可提取性相关(图1)。前两个库是土壤溶液P(库1，含量非常少)和植物易利用的有效磷(库2)。虽然这两个库只占土壤全磷的一小部分，但其数量能被所接受的、广泛使用的常规土壤分析方法测定出来。

在这四个库中，P的有效性和可提取性在很大程度上取决于无机P与被吸持土壤间键的性质和强度。图1显示的重要特性是，在前三个库中P可以相互可逆地转移，正如Syers等^[1]举例详议的那样。从这个概念出发，在库1和库2中存在一个植物有效磷的临界值，低于该值时难以获得作物最佳产量，而高于该值时则不需要施用P肥(施P是无效的)。

P肥的有效使用

直接测定植物中来自磷肥的数量只能用³²P肥料标记法，但这种肥料非常昂贵且半衰期短。因此，磷肥回收率通常使用差值法测定：

$$(U_p - U_o) / F_p$$

其中 U_p 和 U_o 分别为作物从施P土壤中和不施P土壤中吸收的P， F_p 是P肥施用总量，用百分数表示。

通常所说的磷肥百分数利用效率，报道的数值一般为10% - 15%，很少超过25%。

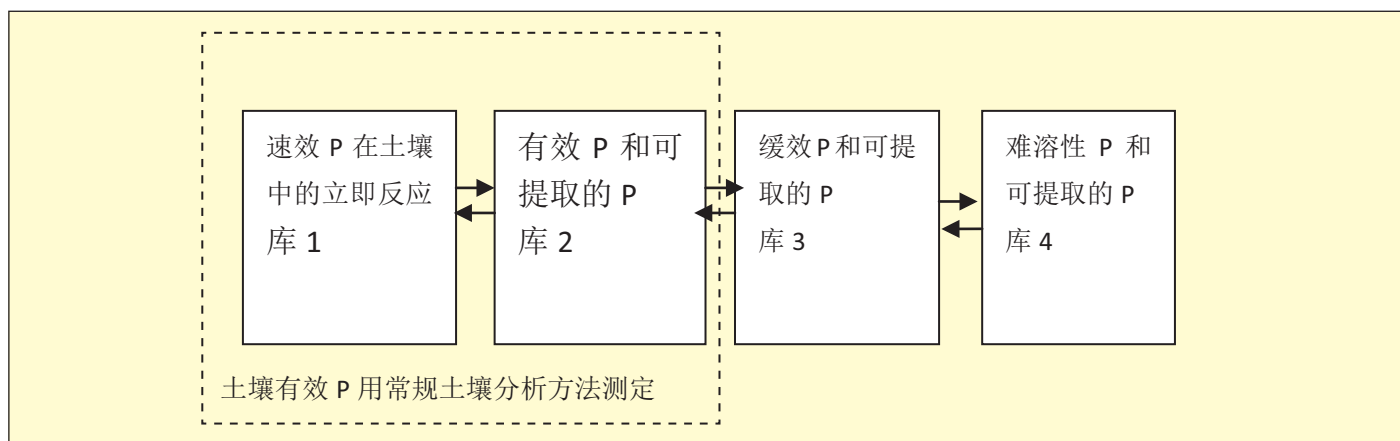


图1 土壤中植物可利用和可提取的无机P形态示意图

如果作物吸收的 P 仅有少量来自磷肥或有机肥，其余则一定来自土壤 P 库。这一 P 库中的 P 要么是天然的，要么是过去所施 P 肥或有机肥的残留。Syers 等^[1]认为，作物从土壤磷库中吸收的磷与从肥料中直接吸收的磷同等有效。这个概念是基于对许多土壤的观测，即施入的 P 肥量与作物收获时摄走的 P 量相当时，库 1 和库 2 中 P 的总量保持恒定（图 1）。因此，P 的摄走 / 施入率（有时指偏养分平衡）是一个有用的 P 效率度量标准，尤其是当它与植物有效土壤磷的数据结合时。

磷肥对土壤中植物有效磷临界水平的效率

施入土壤中磷肥的利用效率通常可超过 80%，这是基于 P 摄走 / 施入率计算的，当施入的 P 是用于维持土壤 P 的临界值水平。在英国洛桑试验站的粉质粘性壤土上开展了一个“维持性”磷肥用量试验（连续 4 年秋季施入 1.3 公斤 / 亩），供试作物为冬小麦，土壤中植物可利用 P（Olsen P）含量为 0.6–2.1 毫克 / 公斤。年均小麦籽粒产量和 P 摄走量（籽粒 + 秸秆）随 Olsen P 的增而增加；因此 P 平衡下降。在接近最高产量时，作物摄走的 P 几乎与施入量相等，这时 P 肥利用率超过 90%（基于 P 的摄走 / 施入率计算）（表 1）。MoCollum^[2]和 Halvorson 和 Black^[3]也做了类似试验和报道，在土壤临界值水平时补充作物收获摄走的那部分 P。

摄走 / 施入率与土壤中作物有效磷变化的关系

作物收获时带走的 P 与肥料磷（化肥或者有机肥）的比率应该与土壤中的植物有效磷变化相关。比率为 1 时意味着带走和输入平衡，土壤有效磷几乎不变。比率大于 1 时意味着带走超过输入，土壤磷的储备库正在减少；当土壤 P 处在或低于临界值时，获得最佳产量的风险增加。在大多数土壤中，比率小于 1（即带走小于输入）使得土壤磷累积。一旦达到或略超过临界值水平，通常应减少 P 肥施用来保持土壤 P 维持量。

国际植物营养研究所利用养分施用地理信息系统（NuGIS）（<http://www.ipni.net/nugis>）得到养分平衡数据，并把它们与土壤中植物有效磷的变化相关联^[4]。例如，美国北部大平原的 IPNI 数据（表 2）表明，在那些每一个 P 摄走 / 施入率接近 1 的州，三年采集并提交给各土壤化验室的 340,000 个土样中的 Bray-1 有效 P 中值几乎没有变化。从表 1（洛桑）和表 2（美国）数据得出的结论是，在 P 摄走 / 施入率大约为 1 和土壤中植物有效磷变化很小或没有变化的地方，磷肥的利用率则非常高，正如 Syers 等^[1]最初在论文中讨论的那样。

P 摄走 / 施入率（主要小于 1）和洛桑试验站两个长期定位试验的土壤 Olsen P 的变化如图 2a 所示。二者存在很好的曲线关系，可用多项式函数拟合，决定系数 r^2 等于 0.84。

表 1 2005–2008 年在英国洛桑试验站补充冬小麦 * 收获时摄走 P 量来维持土壤 Olsen P

	2004 年土壤 Olsen P, 毫克 / 公斤 ***				
	9	14	20	23	31
年平均产量 (公斤 / 亩)	507	553	540	567	567
P 总用量 (公斤 / 亩)**	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3
P 总摄走量 (公斤 / 亩)	3.7	4.5	4.4	5.1	5
P 平衡 (公斤 P / 亩)	1.6	0.8	0.9	0.2	0.3
2008 年 Olsen P (毫克 / 公斤)***	8	13	18	24	31
P 摄走 / 施入比例 (%)	70	85	82	96	94

* 冬小麦连作, ** 秋天施用 1.3 公斤 P / 亩, *** 秋天采样测定土壤 Olsen P。

表 2 在美国三个州中 P 摄走 / 施入率和 Bray-1 等值水平

州	P 摄走 / 施入率 *			Bray-1 中值 (毫克 / 公斤)		
	2002	2007	平均	2001	2005	2010
蒙大纳	0.97	1.04	1.01	12	14	14
北达科他州	1.07	0.94	1.01	10	11	11
南达科塔	1.02	0.91	0.97	11	14	13

注: * 输入 = 施入的磷肥加粪便中作物可利用的 P, 数据由 IPNI NuGIS 数据整理得出, 2012 年 12 月 1 日, 详见正文。

图2显示了P摄走/施入率与美国12个玉米带州用NuGIS计算出的土壤植物有效磷变化之间的关系。在这种情况下,一个估算的“可利用有机肥P”包括在总

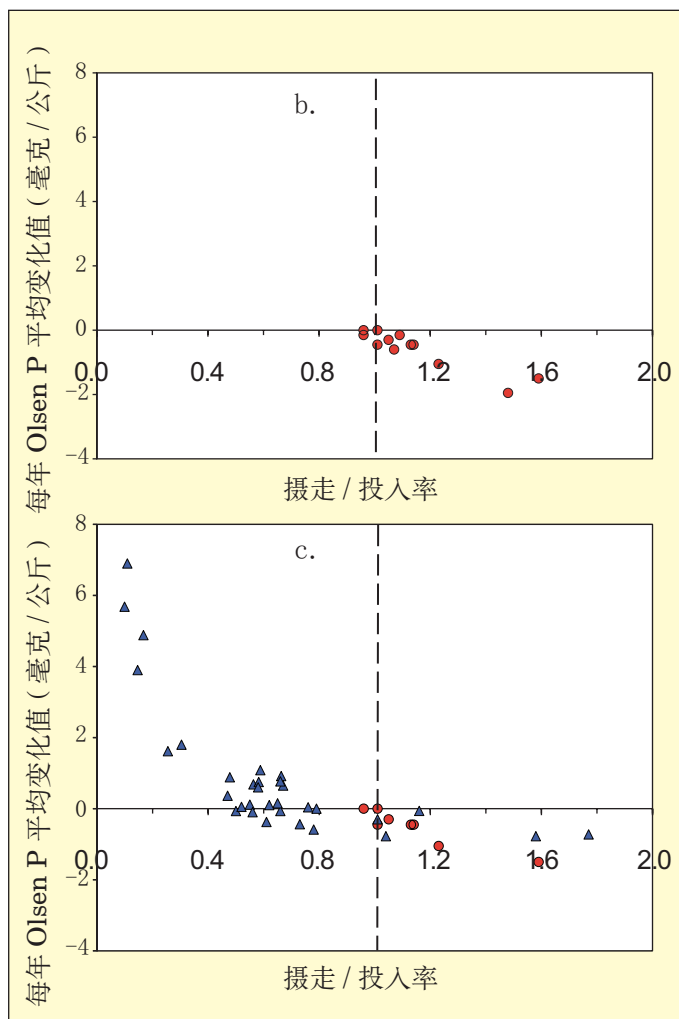


图2: P摄走/施入率(作物带走的P除以P肥用量)和土壤中植物有效磷的关系(a)英国两个长期定位试验[P44等表示每年磷肥平均施用量;(M)表示维持施用量];(b)美国的12个州;(c)●美国数据,▲英国数据。

参考文献

- [1] Syers, J. K., A.E. Johnston, and D. Curtin. *FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin*, 2008, 18. FAO-UN. 107.
- [2] McCollum, R.E. *Agron. J.*, 1991, 83:77-85.
- [3] Halvorson, A.D. and A.L. Black. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1985, 49:933-937.

施P量中;此图中,把Bray-1的数值乘以0.75转换为Olsen-P数值。虽然每一观测值的精确性(因为必须做出假设)存在不确定性,但图2b中的每个点是许多个体观测值的平均值,这表明这是一个可接受的近似值,也是每一个州的实际情况。利用这些数据可以建立一个决定系数 r^2 为0.84的直线函数。大多数比率均大于1(即有一个负的P平衡,土壤P库正在亏损)。

通过肉眼观察图2a和2b可以看出,当把这两组数据放在同一基础上时,可以组合形成图2c,并存在一定程度的共性,而且很有意义。我们并没有选择用一条线把每个数据点连接起来,因为这样可以允许我们从两个方面来考虑分析数据。第一,可用对数函数来拟合,其决定系数 r^2 为0.84;或者第二,可以用一条直线来拟合那些每年施P量很小的土壤,决定系数 r^2 为0.63,另一条直线来拟合六个施P量很高的土壤,决定系数 r^2 为0.84。无论使用什么方法,该组合图显示的数据是来自两个洲完全不同的土壤,在英国数据来自控制试验,而在美国则是由州级聚合数据衍生而来。用一个简单函数可以描述合并后的数据,显示出它功能强大,令人信服。这表明,就获得这些数据的农业土壤而言,其植物有效磷行为存在一个潜在的“简单规则”,即与Syers等^[1]提出的土壤四个无机磷库相关,也正如Johnston等^[5]详细讨论过的那样。

Johnny Johnston 是劳斯信托高级研究员, Paul Poulton 是英国哈彭登罗斯目斯坦德研究中心访问科学家,该中心资金来自生物技术与生物科学研究委员会(BBSRC)。Fixen 博士是IPNI资深副总裁和研究主任;E-mail: pfixen@ipni.net。

- [4] Fixen, P.E., T.W. Bruulsema, T.L. Jensen, R. Mikkelsen, T.S. Murrell, S.B. Phillips, Q. Rund, and W.M. Stewart. *Better Crops with Plant Food*, 2010, 94(4):6-8.
- [5] Johnston, A.E., P.R. Poulton, P.E. Fixen, and D. Curtin. *Adv. Agron.*, 2014, 123:177-228.