

长期不同施肥土壤中磷淋溶“阈值”研究^{*}

刘利花¹, 杨淑英², 吕家珑¹

(1 西北农林科技大学 资源环境学院, 2 西北农林科技大学 生命科学学院, 陕西 杨陵 712100)

[摘 要] 对长期(24年)不同施肥土壤中磷淋溶趋势的研究结果表明: 土壤耕层 $\text{CaCl}_2\text{-P}$ 和 Water-P 的含量远比 Olsen-P 要小得多, 可以淋溶的磷素含量普遍较低; 长期施用厩肥和化肥加秸秆并休闲的土壤更易发生磷素淋溶; $\text{CaCl}_2\text{-P}$ 和 Water-P 之间以及 Water-P 和 Olsen-P 之间的相关系数均达到极显著水平; 土壤耕层中 Olsen-P 含量达 23 mg/kg , 是该土壤发生磷素淋溶的“阈值”。

[关键词] 土壤磷; 磷淋溶; 阈值

[中图分类号] S153.6⁺1

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2003)03-0123-04

磷是植物必需的营养元素, 也是水体富营养化的关键元素^[1~3]。农田土壤中磷进入地表和地下水体的途径主要有3种, 即地表径流、侵蚀和淋溶(渗漏或亚表层径流)^[1~3]; 由于土壤和磷素之间能发生剧烈反应, 土壤吸持和固定磷素的容量很大, 磷素在土壤中很难移动^[2~4,5]; 而且, 由于磷肥主要施在耕层, 磷素含量很低的下层土壤是一个吸持磷素的巨大容量库, 所以, 多数认为土壤中的磷穿过耕层及其下层土壤, 沿剖面垂直向下淋溶的可能性不大, 广泛认为地表径流和土壤侵蚀是主要途径^[6~12], 而淋溶(包括亚表层径流)量极少, 可以忽略。Heckrath等^[2]在对英国洛桑试验站著名的长期土壤肥料试验地(1843年开始)65 cm下排水管中排出水的分析中发现, 水中所含磷浓度很高, 有时接近 2 mg/kg , 而且以可溶的反应性无机磷(MRP)为主, 可占排出水中总磷含量的66%~86%, 即使在单施有机肥而不施化肥达150余年的小区, 排水中可溶的反应性无机磷含量仍可占总磷量的55%~90%。

有人^[1,2]用 CaCl_2 浸提的磷含量作为土壤磷素淋溶的指标, 认为凡是被 CaCl_2 浸提出来的磷, 均可以随水淋溶至土体下部。也有人^[6,7]认为, 可以用水(H_2O)浸提的磷是可以淋溶的。Hesketh等^[3]提出了发生土壤磷素淋溶的“阈值”(Change-Point), 即用土壤 Olsen-P 含量与 $\text{CaCl}_2\text{-P}$ 含量分别为横轴和纵轴作相关曲线, 曲线上的转折点相对应的 Olsen-P 值, 即为“阈值”, 此时, 就会发生磷素淋溶^[3]。但这

些指标是否具有普遍性, 国内还未见到这方面的研究报道。本研究对长期(24年)不同施肥土壤中磷素淋溶的趋势进行了预测, 现将结果报道如下。

1 材料和方法

试验设计 试验在陕西杨陵西北农林科技大学试验农场进行, 土壤为塿土(土垫旱耕人为土), 小区面积 20 m^2 ($4\text{ m} \times 5\text{ m}$), 设置无肥(不施任何肥料)、化肥(尿素 450 kg/hm^2 + 过磷酸钙 525 kg/hm^2)、低秸(化肥+玉米秸 9.357 t/hm^2)、中秸(化肥+玉米秸 18.75 t/hm^2)、高秸(化肥+玉米秸 37.5 t/hm^2)、休闲(化肥+玉米秸 9.357 t/hm^2 , 不种作物)和厩肥(化肥+厩肥 37.5 t/hm^2)7个处理, 3次重复。于1977-10播种开始, 种植制度实行小麦-玉米轮作持续至今。

土样采集 采用五点对角线法布置采样点, 分0~5 cm, 5~10 cm和10~20 cm不同深度, 在每个小区采集3层混合样品(3个重复分别为3个土样); 采样时间2000-03-07; 土样采回后于室内风干、过筛(1 mm和0.25 mm)后备用。各处理不同深度土壤的基本性质如表1所示。

测定方法 土壤有机质用丘林法测定; 土壤全磷用 $\text{HClO}_4\text{-H}_2\text{SO}_4$ 消解, 钼锑抗显色剂比色法测定($\lambda=720\text{ nm}$); 速效磷(Olsen-P)用 pH 8.5的 $0.5\text{ mol/kg NaHCO}_3$ 浸提, 钼锑抗显色剂比色法测定; $\text{CaCl}_2\text{-P}$ 和 Water-P 的测定分别用 $25\text{ mL } 0.01$

* [收稿日期] 2002-12-30

[基金项目] 教育部留学回国人员科研启动基金资助项目; 陕西省自然科学基金项目(2002D09)

[作者简介] 刘利花(1979-), 女, 陕西西安人, 在读硕士, 主要从事土壤化学与环境化学研究。

mol/L CaCl₂ 溶液和高纯去离子水浸提, 钼锑抗显色剂比色法测定(λ= 720 nm)。

表 1 供试土壤基本性质

Table 1 Basic properties of experiment soils

处理 Treatment	深度/cm Depth	有机质/(g·kg ⁻¹) Organic matter	全磷/(g·kg ⁻¹) Total P	速效磷/(mg·kg ⁻¹) Olsen-P
无肥 No fertilizer	0~ 5	14 51	743 8	6 37
	5~ 10	13 75	729 5	4 60
	10~ 20	10 48	643 3	1 27
化肥 Chemical fertilizer	0~ 5	16 14	806 7	12 37
	5~ 10	17 95	766 9	8 45
	10~ 20	13 45	683 3	4 77
低秸 Low quantity of CL	0~ 5	18 69	779 6	14 07
	5~ 10	17 75	796 0	11 21
	10~ 20	11 82	692 7	5 11
中秸 Medium quantity of CL	0~ 5	20 59	811 6	12 08
	5~ 10	21 36	797 6	8 33
	10~ 20	14 15	716 4	4 17
高秸 High quantity of CL	0~ 5	21 41	822 6	11 23
	5~ 10	20 14	827 0	7 77
	10~ 20	16 41	672 6	2 16
休闲 Fallow	0~ 5	16 98	968 8	38 37
	5~ 10	18 60	938 4	27 16
	10~ 20	11 37	823 8	20 17
厩肥 Farmyard manure	0~ 5	22 75	1 071 1	52 74
	5~ 10	22 54	1 109 0	56 80
	10~ 20	15 42	897 0	30 29

2 结果与分析

由于土壤具有巨大的吸持容量, 土壤中的磷绝大多数是难溶性的, 且很难移动^[4], 而可以被水浸提出来的磷(Water-P)和用CaCl₂浸提出来的磷(CaCl₂-P), 被认为是可以随降水或灌溉水向土壤深层淋溶的磷, 各层次土壤中磷(Olsen-P, CaCl₂-P和Water-P)的测定结果列于表2。

表 2 不同深度土壤中Olsen-P, CaCl₂-P 和Water-P 的含量

Table 2 Contents of Olsen-P, CaCl₂-P and Water-P of soils at different depths

mg/kg

处理 Treatment	深度/cm Depth	Olsen-P	CaCl ₂ -P	Water-P
无肥 No fertilizer	0~ 5	6 37	0 08	0 559
	5~ 10	4 60	0 24	0 879
	10~ 20	1 27	0 24	0 08
化肥 Chemical fertilizer	0~ 5	12 37	1 64	1 358
	5~ 10	8 45	0 559	0 39
	10~ 20	4 77	0 399	0 24
低秸 Low quantity of CL	0~ 5	14 07	1 028	0 678
	5~ 10	11 21	0 157	0 111
	10~ 20	5 11	0 24	0 296
中秸 Medium quantity of CL	0~ 5	12 08	0 436	0 198
	5~ 10	8 33	0 678	0 956
	10~ 20	4 17	0 719	0 08
高秸 High quantity of CL	0~ 5	11 23	0 915	0 317
	5~ 10	7 77	0 276	0 595
	10~ 20	2 16	0 08	0 018
休闲 Fallow	0~ 5	38 37	3 116	2 554
	5~ 10	27 16	2 039	2 226
	10~ 20	20 17	0 28	0 08
厩肥 Farmyard manure	0~ 5	52 74	7 956	4 915
	5~ 10	56 80	5 997	3 271
	10~ 20	30 29	6 157	3 918

由表2可以看出, $\text{CaCl}_2\text{-P}$ 和 Water-P 的含量远比 Olsen-P 要小得多, 此结果也进一步证实了石灰性土壤对磷素有强烈的吸持固定作用。由图1, 2可以看出, $\text{CaCl}_2\text{-P}$ 和 Water-P 具有相似的变化趋势, $\text{CaCl}_2\text{-P}$ 和 Water-P 之间以及 Water-P 和 Olsen-P 之间的相关系数均达极显著水平, 分别为 0.920 4^{**} 和 0.779 9^{**}。从数值大小来看, $\text{CaCl}_2\text{-P}$ 比 Water-P 的含量高, 这是因为 CaCl_2 是一种比水强的电解质。

由表2还可看出, 长期不同的培肥方式对磷素的存在形式有较大影响, 厩肥和休闲处理的 $\text{CaCl}_2\text{-P}$ 和 Water-P 含量明显较其他处理高, 主要是因为有机肥含有大量的水溶性磷和有机磷, 休闲则是因

为每年施用的肥料没有作物吸收利用, 从而使土壤中的磷得到积累; 此外, 化肥处理和低秸处理土壤表层(0~5 cm)的 $\text{CaCl}_2\text{-P}$ 和 Water-P 含量也较高。从土壤的3个层次看, 磷素具有明显的“表聚性”, Olsen-P , $\text{CaCl}_2\text{-P}$ 和 Water-P 含量都大致表现出 0~5 cm > 5~10 cm > 10~20 cm 的趋势。

表2还表明, 长期施用厩肥(加化肥)处理或休闲(施用肥料)处理的耕层(0~20 cm)土壤中磷有向下淋溶的趋势; 那么, 当 Olsen-P 含量达到多高时, 磷素有可能淋溶呢? 用 Heckrath 和 Brookes 的土壤 Olsen-P “阈值”方法进行预测^[3], Olsen-P 和 $\text{CaCl}_2\text{-P}$ 的关系曲线如图3所示。

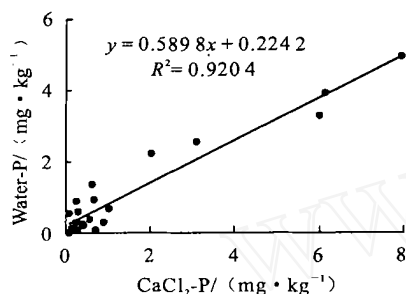


图1 $\text{CaCl}_2\text{-P}$ 和 Water-P 的关系
Fig.1 Relationship between $\text{CaCl}_2\text{-P}$ and Water-P

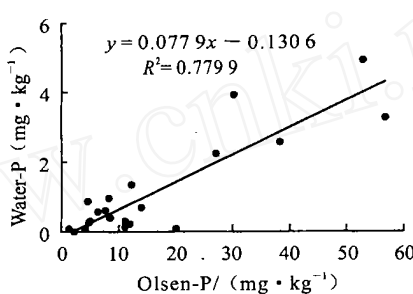


图2 Olsen-P和 Water-P 的关系
Fig.2 Relationship between Olsen-P and Water-P

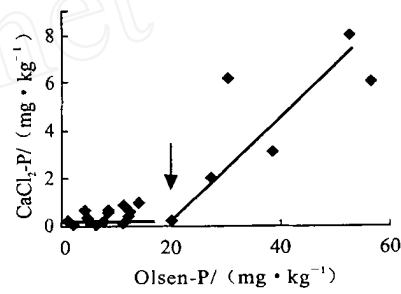


图3 土壤Olsen-P和 $\text{CaCl}_2\text{-P}$ 的关系
Fig.3 Relationship between Olsen-P and $\text{CaCl}_2\text{-P}$

由图3可知, 土壤中 Olsen-P 和 $\text{CaCl}_2\text{-P}$ 呈现出较好的正相关性, 但不是一条直线关系, 而是两条斜率明显不同的直线, 两条直线之间有一个明显的突变转折点, 即“阈值”, 该点大约位于土壤 Olsen-P 含量为 23 mg/kg 处。这一结果表明, 对于西北农林科技大学试验农场的塋土而言, 当土壤中 Olsen-P

的含量小于 23 mg/kg 时, 土壤中的磷素不淋溶或很少发生淋溶; 而当土壤中 Olsen-P 的含量大于 23 mg/kg 时, 土壤中的磷素就有淋溶发生, 这可能与耕层中 Olsen-P 的含量为 23 mg/kg 时就达到饱和有关。至于发生磷素淋溶的机理以及发生淋溶的磷素形态等问题, 还有待于进一步研究探讨。

[参考文献]

- [1] Tunney H, Carton O T, Brookes P C, et al Phosphorus loss from soil to water[M]. UK: CAB international, 1997, 253- 271
- [2] Heckrath G, Brookes P C, Poulton P R, et al Phosphorus leaching from containing different phosphorus concentrations in the Broadbalk experiment[J]. J Environ Qual, 1995, 24: 904- 910
- [3] Hesketh N, Brookes P C. Development of an indicator for risk of phosphorus leaching[J]. J Environ Qual, 2000, 29: 105- 110
- [4] 吕家珑, 张一平, 张君常, 等. 土壤磷迁移研究[J]. 土壤学报, 1999, 36(1): 75- 82
- [5] 吕家珑, 李祖荫. 石灰性土壤中固磷基质的探讨[J]. 土壤通报, 1991, 22(5): 204- 206
- [6] Gburek W J, Sharpley A N, Heathwaite L, et al Phosphorus management at the watershed scale: a modification of the phosphorus index[J]. J Environ Qual, 2000, 29: 130- 144
- [7] 鲁如坤. 土壤-植物营养学原理和施肥[M]. 北京: 化学工业出版社, 1998. 433- 436
- [8] 司友斌, 王慎强, 陈怀满. 农田氮、磷的流失与水体富营养化[J]. 土壤, 2000, 32(4): 188- 193
- [9] 张志剑, 朱荫涓, 王珂, 等. 水稻田-水系统中磷素行为及其环境影响研究[J]. 应用生态学报, 2001, 12(2): 229- 232
- [10] 张志剑, 王珂, 朱荫涓, 等. 浙北水稻主产区田间土-水磷素流失潜能[J]. 环境科学, 2001, 22(1): 98- 101
- [11] 高 超, 张桃林, 吴蔚东. 农田土壤中的磷向水体释放的风险评价[J]. 环境科学学报, 2001, 21(3): 343- 348
- [12] 全为民, 严力姣. 农田面源污染对水体富营养化的影响及其防治措施[J]. 生态学报, 2002, 22(3): 291- 299

Studies on “threshold value” of phosphorus leaching in long-term different fertilization soils

L IU L i-hua¹, YANG Shu-y ing², L ü J i a-long¹

(1 College of Resources and Environment, 2 College of Life Sciences, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Studies on “threshold value” of phosphorus leaching in long-term different fertilization soils was conducted. The results showed that: (1) the contents of $\text{CaCl}_2\text{-P}$ and Water-P were far lower than that of Olsen-P in soil plow layer, so the content of leaching phosphorus was low; (2) It was easy to replace phosphorus leaching by long-term application of farm yard manure and fallow with long-term application of chemical fertilizers and corn litter; (3) it had very significance between $\text{CaCl}_2\text{-P}$ and Water-P , and between Water-P and Olsen-P , the correlation coefficients were 0.920 4^{**} and 0.779 9^{**}, respectively; and (4) “threshold value” of phosphorus leaching from the soils was 23 mg/kg of Olsen-P content.

Key words: soil phosphorus; phosphorus leaching; threshold value

· 信 息 ·

“杂种小麦化学杀雄技术与制种技术的研究” 获 2002 年陕西省科技进步一等奖

由西北农林科技大学张改生教授主持的“杂种小麦化学杀雄技术与制种技术的研究”项目, 2002 年 1 月 12 日通过了陕西省科技厅组织的鉴定, 同年获陕西省科技进步一等奖。

该项目针对杂种小麦突破大面积生产应用关所碰到的诸多重要问题进行了艰辛的钻研与探索, 在多年工作的基础上, 于 1996 年从美国引进新型 GENESIS 杀雄剂, 首先在国内对其杀雄效果进行了系统深入地研究, 研究出其最佳喷药期、最佳喷施剂量, 以及不同年间杀雄效果的稳定性和对不同基因型的广谱性, 使其杀雄率可稳定在 95%~100%, 异交结实率超过 85%。同时还率先在国内将 GENESIS 杀雄剂应用于杂种小麦大田制种, 配套专一强优势组合, 研制出优化的制种技术, 大幅度提高了杂种小麦的制种产量和制种效益, 使制种产量多年来一直稳定在 3 750~5 250 kg/hm²。2001 年, 制种田现场实割验收, 父母本 1 2 行比平均收获杂交种达 5 465.25 kg/hm², 各与制种地父本产量相加, 全田产量与普通生产大田的高产田持平。特别是该项目已采用 GENESIS 杀雄剂选育出一批强优势“西杂”系列高产、优质、多抗杂种小麦新组合, 其中“西杂一号”杂种小麦新品种, 在 2000 年西北农林科技大学的 0.21 hm² 示范田现场实割称产 9 396 kg/hm², 2001 年实割称产 9 626.1 kg/hm²。“西杂一号”于 1998~2000 年参加陕西省小麦新品种区域试验, 22 点次试验资料, 平均产量比对照品种增产 12.4%, 最高增幅达 35.4%, 2 年品比试验均排名第一。2000 年提前通过陕西省品种审定, 成为我国黄淮冬麦区第一个正式审定的杂种小麦新品种, 被评为 2000 年陕西省十大科技新闻之一。

该成果的获得, 从实践上, 实现了小麦育种产业由常规种向杂交种的过渡, 可以利用明显的杂种优势来提高小麦单位面积产量, 并将高产与优质有机地融为一体; 从科学价值上, 实现了小麦育种新的技术变革。该成果的鉴定专家一致认为: 该研究成果使我国小麦杂种优势利用真正从试验研究走向了实用化的生产阶段, 是我国小麦杂种优势利用上的一项重大突破, 达到国际同类研究的先进水平。

(屈李纯 供稿)