

土壤磷扩散的影响因素研究

时新玲, 李志军, 王锐

(西北农林科技大学, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 对 3 种不同质地土壤磷扩散特征以及影响因素进行了试验研究。结果表明, 随着土壤含水率的增加, 土壤磷的扩散系数明显增加, 土壤磷的扩散系数与土壤含水率的关系呈显著的幂函数相关; 随土壤质地加重, 土壤磷扩散系数增大; 温度升高, 土壤磷扩散系数增大, 土壤磷扩散系数的温度效应可用磷扩散系数的温度系数定量表示; 随着土壤施磷量的增大, 土壤的磷扩散系数明显增加; 土壤容重对磷扩散的影响与土壤的质地有关。对于质地较重的土壤, 随着土壤容重的增加, 磷扩散系数有降低的趋势; 而对于质地轻的沙土, 磷扩散系数有增加的趋势。

关键词: 土壤; 磷扩散系数; 含水率; 质地; 温度; 容重

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2003)05-0015-04

中图分类号: S153.61

Research on Impact Factors of Phosphorus Diffusion in Soil

SHI Xin-ling, LI Zhi-jun, WANG Rui

(Northwest Sci Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, Shaanxi Province, China)

Abstract: Soil phosphate diffusion characteristics and impacting factors are investigated by ^{32}P trace method of different soil texture. Results show as follows; the soil P diffusion coefficient increases markedly with the increase of soil water content, their relation being described by the correlation of the exponential; the soil P diffusion coefficient increases with the increases of soil clay content; the coefficient also increases with the increase of temperature, with the temperature effect on the soil P diffusion coefficient being described by the temperature coefficients of the P diffusion coefficient; the soil P diffusion coefficient increases markedly with the increase of P application quantity in soil; the effect of soil volume weight on the P diffusion coefficient is in relation to soil texture, such that for fine-texture soil, there is an increasing trend in the P diffusion coefficient with decreasing soil volume weight, and for light-texture soil, there is an increasing trend in the P diffusion coefficient with the increasing of soil volume weight.

Keywords: soil; P diffusion coefficient; soil water content; soil texture; temperature; soil volume weight

大量研究表明, 扩散作用是土壤—根系统养分迁移和吸收的重要过程之一。特别是对磷素, 由于它在土壤中有较强烈的吸附作用, 质流作用供给植物养分的吸收占总吸收量的 5%~50%^[1], 其数量大小随作物种类、作物生育期、土壤的含水量以及大气蒸发力等而变化。因此, 土壤中的磷素向植物根系迁移主要依靠扩散作用。有关土壤磷扩散的影响因素研究, 国内外有较多的报道^[2-4], 但对磷扩散的某些机制还有待于深入探讨。

1 试验材料和方法

1.1 供试土壤

供试土壤为陕西省具有代表性的农业土壤黑垆土(陕西长武)、塬土(陕西杨凌)以及渭河岸边滩地

的砂土(陕西杨凌)。土样采自表层 0—20 cm, 风干过筛通过 2 mm。供试土壤的基本性质见表 1。由表 1 可见 3 种土壤质地差异明显, 黑垆土为中壤土, 塬土为重壤土, 砂土质地为沙质土。

1.2 试验方法

1.2.1 土壤处理 将通过 2 mm 筛的土壤, 加入一定数量的 KH_2PO_4 溶液(视施磷量而定), 混合比率为 100 g 土加入 70 ml 的溶液, 然后充分搅拌均匀, 置于搪瓷盘中, 平铺成薄层, 放入 45 C~50 C 的恒温箱中烘干。将烘干的土壤磨细过 1 mm 筛, 混均作为磷肥处理的本底土壤。将本底土壤分为 2 份, 其中一份中加入 ^{32}P 的标记液(NaH_2PO_4 溶液, 计量为 $2.5\mu\text{Ci/g}$ 土), 同时加入蒸馏水至土壤饱和, 不时搅拌至均匀后置于 60 C 的恒温箱中烘干, 磨细作为标记土壤。

收稿日期: 2003-08-20

修回日期: 2003-09-11

资助项目: 西北农林科技大学校青年基金

作者简介: 时新玲(1968), 女(汉族), 陕西洋县人, 讲师, 主要从事土壤水和物质迁移方面的工作。电话(029)7091536, E-mail: shxl424@eyou.com

表 1 供试土壤基本性质

土层深度/ mm	各级颗粒含量/%							pH	有机质/ %	CEC/ ($\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$)	全磷 P/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	
	>1.00	1.00~ 0.20	0.20~ 0.05	0.05~ 0.02	0.02~ 0.01	0.010~ 0.005	0.005~ 0.002					<0.002
沙土	5.51	62.30	21.94	9.61	0.10	0.01	0.04	0.44	8.53	0.28	1.38	0.14
黑垆土	0.86	1.17	2.97	50.32	7.62	5.82	18.64	12.6	8.31	0.93	13.53	0.26
壤土	0.50	0.49	8.13	41.25	11.39	7.25	9.10	21.9	8.01	1.18	16.22	0.30

1.2.2 扩散试验 称取本底和标记各 2 份,按一定的容重分别装入自制的扩散半池中,扩散半池直径为 7.8 cm,厚度为 0.5 cm,按处理的土壤湿度要求用滴管均匀加入蒸馏水,待水分扩散平衡后,合拢扩散半池,两半池接口处加入处理好的醋酸纤维膜(透水和溶质)。接缝处用胶带纸密封,整个装置装入塑料袋中,置入恒温箱中。10 d 后,取出扩散池,分离两半池,混均各半池土壤,分别测定土壤含水量(烘干法)和放射性强度(FH408 自动定标器定标,G-M 管测定)。

由于试验是在非稳态条件下进行的,依据 Fick 第二扩散定律,两扩散半池 ^{32}P 的放射性强度的比率可用式 $Q_t/Q_0 = 2/L \sqrt{Dt/\pi}$ 计算^[4]。

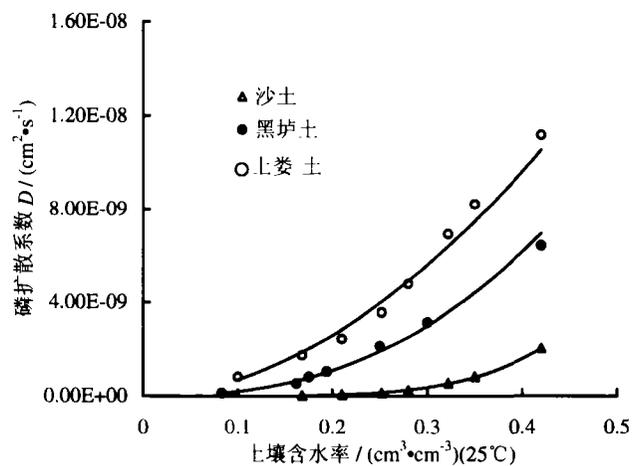
式中: Q_t —— t 时间扩散半池的放射性强度(cpm/g);
 Q_0 ——原标记土的放射性强度(cpm/g); L ——扩散半池的厚度(cm); t ——时间(d); D ——磷的自扩散系数。

2 结果与讨论

2.1 土壤水分对磷扩散的影响

由于养分的扩散作用只发生在充水的土壤空隙中,因此土壤含水量是决定养分扩散的重要因素。图 1 为 3 种不同质地土壤磷的扩散系数(D)与土壤体积含水率(θ_v)的关系曲线。图 1 表明土壤磷扩散系数随着土壤含水率的增加而增加。这主要是由于含水率的增加,扩大了土壤磷扩散的有效截面积和土壤磷扩散的路径,同时也增加了固相磷向液相的转化速率,即磷的吸附作用降低,加大了磷在土壤液相的迁移速率^[5,6]。又图 1 还可看出, D 值随水分含量增加的幅度也因土壤含水率的大小而不同。在土壤含水率低时增加的较为缓慢,水分含量高时增加的较快,这主要是由于在低含水量阶段,土壤的空气空隙较多,导致土壤液相的不连续性,影响了液相磷的扩散速率,当土壤的含水率达到较高时,土壤液相的水力连续性增强,磷的扩散作用也加强。回归分析表明,3 种土壤磷的扩散系数与土壤含水率的关系呈显著幂函数相关。即 $D = a\theta_v^b$, 式中 a, b 为拟合参数。此表达式与徐明岗(1998)研究结论一致,但对黑垆土和壤土 2 种土壤,

测定的 D 值相对较高。这可能是由于测定的装置以及土壤的差异所引起的。

图 1 磷扩散系数 D 与土壤含水率 θ_v (25°C) 的关系曲线

2.2 土壤质地对磷扩散系数的影响

不同质地的土壤其黏粒含量不同,因而影响磷在土壤中扩散。在田间持水量条件下,质地较重的土壤其土壤含水量较高,因此 D 也随质地的加重而增加^[7]。Sharma 在相同含水量下的测定结果表明,磷扩散系数与黏粒含量呈显著正相关^[8]。但凌云霄在水稻土得出了相反的结论^[9]。本试验的结果表明(图 1),在其它条件相同的情况下(含水率、容重、温度),随着土壤质地的加重,土壤磷扩散系数增加,这与许多学者得出的结论相一致^[2,8]。这主要是质地较重的土壤,其土壤颗粒排列的较紧密,土壤颗粒的连续性较好,同时土壤的曲折系数也较大,磷扩散的速率也较快。

从 3 种不同质地土壤磷扩散系数与含水率关系拟合方程中的参数看,方程中 b 值反映了土壤含水率变化时,磷扩散系数变化的快慢程度,沙土、黑垆土和壤土的 b 值分别为 5.034, 4.490 和 1.886,也就是沙质土较黏质土磷扩散系数随含水量的变化幅度较大。从土壤水势的观点分析,质地较轻的土壤其比水容量较大,即增加单位水吸力土壤含水率的降低较多,增加单位土壤含水率,质地较轻的土壤其水势的增加较多,磷在土壤溶液中的扩散速率增加的也较快^[5]。因此,质地对磷扩散的影响还与土壤水分密切相关。

2.3 温度对土壤磷扩散的影响

图 2 为埧土在 5℃、15℃、25℃ 和 40℃ 条件下土壤磷扩散系数与土壤含水率的关系曲线, 不同温度条件下 D 和 θ_v 的关系均符合幂函数和指数函数。以幂函数 $D = a\theta_v^b$ 相关性最高, 拟合性最好, 相关系数 r 达 0.971 ~ 0.996。图 2 显示, 温度对土壤磷扩散系数有明显的影 响, 温度升高, D 和 θ_v 的关系曲线均有上移和变平缓的趋势, 说明随温度升高, 土壤磷扩散系数增加, 并且增加的幅度收土壤含水率的影响。表 2 的数据表明, 随温度升高, 方程中的 b 值降低, 说明低温时磷的扩散收土壤水分的影响较大。

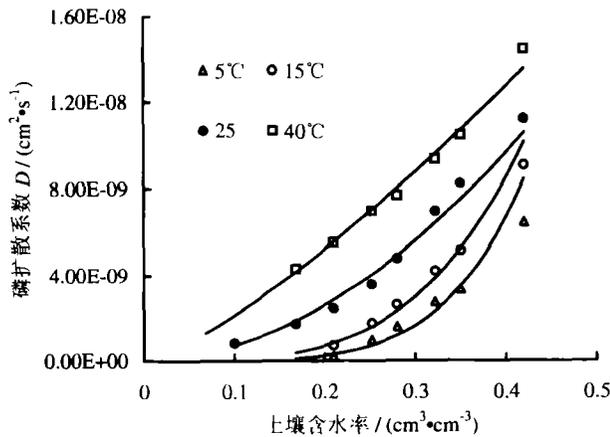


图 2 不同温度下埧土磷扩散系数与土壤含水率的关系曲线

为定量探讨温度对土壤磷扩散系数影响, 将土壤磷扩散系数的温度效应用磷扩散温度系数 $(\partial D / \partial T)_\theta$ 定量表示。即在一定含水率下, 单位温度的变化所引起的土壤磷扩散系数的变化量。由图 2 将不同温度条件下的埧土磷扩散系数与含水率的关系曲线可分为 5℃~15℃ 和 15℃~40℃ 2 个温度段, 分别计算 2 个区段不同含水率下磷扩散系数的温度系数, 其计算结果如图 3 所示。结果表明, 温度系数 $(\partial D / \partial T)_\theta$ 与土壤含水率 (θ_v) 符合幂函数关系即 $(\partial D / \partial T)_\theta = c\theta_v^d$, 且达到显著相关, 由图 3 可见, 2 个温度区段的 (5℃~15℃ 和 15℃~40℃) 磷扩散温度系数大小有所不同, 呈现在土壤含水率小于 0.38 cm³/cm³ 时 15℃~40℃ 区段明显大于 5℃~15℃, 而当土壤含水率大于 0.38 cm³/cm³ 时, 5℃~15℃ 区段明显大于 15℃~40℃, 并且在试验的土壤含水率范围内, 5℃~15℃ 区段的磷扩散温度系数随含水率的变化速率明显地大于 15℃~40℃ 区段。以上分析表明, 在低温区段, 磷扩散温度系数基本上小于高温区段, 但随土壤含水率的变化其温度系数变化也较大; 在高温区段, 磷扩散温度系数随土壤含水率的变化幅度较小。总的来说, 温度较高时, 土壤磷扩散温度效应相对减弱。

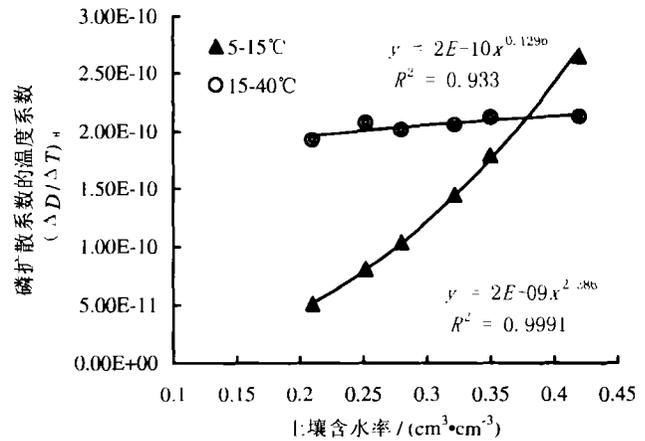


图 3 埧土土壤磷扩散的温度系数 $(\partial D / \partial T)_\theta$ 与含水率 (θ_v) 的关系曲线

2.4 不同施磷量对土壤磷扩散的影响

对 2 种土壤 (黑垆土和埧土) 在不同施磷量条件下 (含 P50~1 000 mg/kg) 土壤磷扩散系数的研究表明 (图 4), 随着土壤施磷量的增加, 2 种土壤的磷扩散系数都有明显增加, 均呈现为在施磷量较低的范围 内 (含 P50~200 mg/kg), 随施磷量的增加, 磷扩散系数增加幅度较快, 但随着土壤施磷量的增加, 增加速率较缓慢。在整个施磷量范围内, 施磷量与土壤磷扩散系数呈幂函数的关系, 达到了显著的相关水平。

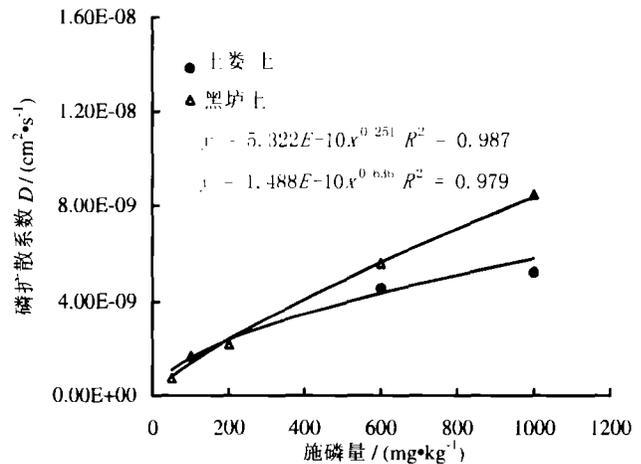


图 4 2 种土壤施磷量与土壤磷扩散系数的关系

对不同施磷量条件下磷扩散的 2 种土壤比较, 在低施磷量条件下 (含 P50~200 mg/kg), 2 种土壤磷扩散系数值差异不大, 显示埧土要较高一些, 但随着施磷量的进一步增加, 黑垆土磷的扩散系数明显地高于埧土。这主要是因为质地较黏重的埧土磷的吸附能力较强, 在较高施磷量条件下, 其吸附的磷量也较多, 相应地土壤溶液中磷的数量较低, 因而扩散系数提高较少。

2.5 土壤容重对磷扩散的影响

土壤容重对磷扩散的影响主要是由于土壤的颗粒的排列程度不同,导致土壤曲折系数发生变化。实验测定的黑垆土和沙土在不同容重时的磷扩散系数。对于黑垆土,当土壤容重从 1.1 g/cm^3 增加到 1.5 g/cm^3 ,土壤磷扩散系数呈线性关系下降;而对于沙土,当土壤容重从 1.4 g/cm^3 增加到 1.8 g/cm^3 ,土壤磷扩散系数呈线性关系增加。由于试验的 2 种土壤具有相同的土壤重量含水率(0.25),对于质地较重的黑垆土(相对于沙土),随着土壤容重的增加,土壤的体积含水量增加,可能导致土壤中磷扩散的增强,但由于单位体积中土壤固相含量增加,因而土壤的缓冲容量(b)增加,减低了土壤磷的扩散。研究表明,土壤质地较重的土壤磷的缓冲容量较大,相对于沙土,土壤容重增加更多地影响了土壤的缓冲容量,因而土壤磷的扩散系数总的表现为降低的趋势。而对于沙土,随着土壤容重的增加,降低了土壤中大空隙的数量比例而增加了小空隙数量比例,这样使土壤体积含水量增加的幅度大于土壤压实增加的土壤磷的缓冲容量,因而表现出磷的扩散系数呈增加趋势。许绣云等对红壤、赤红壤的测定表明^[10],在高含水量时, D 值随容重的增加而上升或下降都很快,含水量低时 D 的升降都较缓慢。因此认为,临界容重(D 值随容重增加而达到最大值时的容重)受土壤质地、土壤化学性质及土壤水分含量所影响。他们提出高中低 3 种水分处理,赤红壤临界容重分别为 1.35 g/cm^3 , 1.50 g/cm^3 和 1.65 g/cm^3 ,旱地红壤临界容重分别为 1.35 , 1.51 和 1.51 g/cm^3 。由于本试验只作了一种土壤含水量,对不同含水量的条件下,容重对土壤磷扩散的影响还需要进一步探索。

3 结 论

土壤含水率是影响磷扩散的一个重要因素。随着土壤含水率的增加,土壤磷的扩散系数明显增加,土壤磷的扩散系数与土壤含水率的关系呈显著的幂函数($D = a\theta_v^b$) 相关。土壤质地不同,磷的扩散系数明显存在差异。随着土壤质地的加重,土壤磷扩散系数增加,温度也是影响土壤磷扩散的一个重要因子。温度升高, D 和 θ_v 的关系曲线均有上移和变平缓的趋势,说明随温度升高,土壤磷扩散系数增加,并且增加

的幅度受土壤含水率的影响。土壤磷扩散系数的温度效应可用磷扩散系数的温度系数定量表示,随着土壤施磷量的增加,土壤的磷扩散系数明显增加,均呈现为在施磷量较低的范围内(含 $\text{P}50 \sim 200 \text{ mg/kg}$),随着施磷量的增加,磷扩散系数增加的幅度较快,但随着土壤施磷量的增加,增加的速率较为缓慢。在整个施磷量范围内,施磷量与土壤磷扩散系数呈幂函数的关系。土壤容重对磷扩散的影响与土壤的质地有关。对于质地较重的土壤,随着土壤容重的增加,磷扩散系数有降低的趋势;而对于质地轻的沙土,磷扩散系数有增加的趋势。

[参 考 文 献]

- [1] Gregory P J, Grawford D V, Mcgowan M. Nutrient relations of winter wheat. 2. Movement of nutrients to the root and their uptake [J]. J. Agric. Sci. Camb. 1979, 93: 495—504.
- [2] 徐明岗,张一平,王锐群. 土壤磷扩散规律及其能量特征的研究, (I)水分、质地、温度及其相互作用对磷扩散的影响[J]. 土壤学报, 1996, 33(2): 148—157.
- [3] 徐明岗,孙本华,张一平. 土壤磷扩散规律及其能量特征的研究, (II)施磷量及水肥温相互作用对磷扩散的影响[J]. 土壤学报, 1998, 35(1): 55—64.
- [4] Klute A, Letey J. The dependence of ionic diffusion on the moisture content of nonadsorbing porous media [J]. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 1958, 22: 213—215.
- [5] Jungk A O. Dynamics of nutrient movement at the soil—root interface [M]. Plant Roots—The Hidden Half. Marcel Dekker, Inc, 1996. 529—557.
- [6] Barber S A. Soil nutrient bioavailability, A mechanistic approach [M]. John Wiley and Sons Inc., New York, 1995.
- [7] Olsen S R, Watanabe F S. Diffusion of phosphorus as related to soil texture and plant uptake [J]. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 1963, 27: 648—653.
- [8] Sharma K N, Deb D L. Effect of soil moisture tension and soil compaction on self—diffusion zine in soils of varying texture [J]. J. Nuclear Agr. Biol., 1984, 13 (4): 118—120.
- [9] 凌云霄. 影响水稻土磷素扩散的某些因素 [J]. 土壤学报, 1981, 18(2): 194—198.
- [10] 许绣云,姚贤良. 红壤的不同物理条件对磷素扩散的影响 [J]. 土壤学报, 1984, 21(1): 1—9.