

北京郊区潮土中镁素释放特点 及对作物的有效性

汪 洪, 褚天铎

(中国农业科学院土壤肥料研究所 农业部植物营养学重点开放实验室, 北京 100081)

摘要: 通过室内模拟试验、生物耗竭试验和连续流动交换试验, 研究了昌平、大兴两处潮土中镁释放特点。尽管两处土壤中交换态镁含量较高, 但随种植茬数增加, 交换态镁含量下降, 六茬植物镁的总吸收量中, 非交换态镁的贡献率将近 50%。大兴处土壤镁释放能力好于昌平处土壤, 释放量高。600 min 内用 0.5 mol/L 中性 NH_4Ac 连续流动交换镁释放过程, 以抛物线扩散方程拟合最好。

关键词: 潮土; 土壤镁; 释放; 耗竭; 动力学方程

中图分类号: S158.3 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2000)01-0086-06

土壤中镁主要以无机形态存在, 一般分为矿物态、交换态和水溶态。而能被稀酸溶解的那部分矿物态镁, 又称为酸溶态或非交换态镁^[1]。植物对土壤中镁的吸收利用是个动态过程, 尽管水溶态和交换态镁被认为是土壤中有效镁, 但非交换态镁在一定条件下也可以被植物利用^[2]。但是对土壤中镁的释放机理及不同形态镁对植物的贡献大小, 研究并不多。本研究通过室内模拟、生物耗竭和连续流动交换等三个方面试验, 探讨了土壤中镁的供应机制及在交换态镁含量高的北方土壤, 非交换态镁对植物的贡献大小。

1 材料和方法

1.1 土壤性状

供试土壤为潮土, 取自北京郊区昌平和大兴两地, 土壤的基本理化性状见表 1。

表 1 供试土壤的基本理化性状

地点	pH	有机质 (%)	全氮 (%)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	交换态钾 (mg/kg)	阳离子交换量 (cmol/100g)	土壤质地
昌平	7.76	0.85	0.056	24.2	16.30	67.9	16.18	重壤土
大兴	8.50	0.65	0.040	18.3	0.90	69.1	8.93	砂壤土

1.2 土壤中镁模拟释放试验

参照李伏生^[3]方法加以修改。5.000 g 过 1 mm 筛的风干土样, 放入 100 mL 离心管中, 先用 1 mol/L NH_4Ac 振荡离心法提取交换态镁后, 用 95% 酒精洗去多余的 NH_4^+ (检测 NH_4^+ 有无用纳氏试剂), 再用 0.0001 mol/L CaCl_2 洗 2 次, 最后加甲苯 3 滴抑制微生物活动, 将离心

收稿日期: 1998-12-13

作者简介: 汪洪, 男, 1970 年生, 助理研究员, 农学硕士, 现在中国农业科学院攻读博士学位。主要从事土壤和植物中量、微量元素营养的研究工作。

管放入恒温箱中 25 ℃下培养, 设置土壤完全湿润和干湿交替 2 种处理, 经 4, 8, 12 周后取出, 用 NH₄Ac 振荡离心法提出释放的镁量。

1.3 土壤中镁交换释放动力学试验

采用程明芳等^[4]对钾的研究方法, 称取过 1 mm 筛土壤 2.000 g, 置于已备有微孔薄膜(0.45 μm 孔径)的滤膜滤器(直径 50 mm)中, 固定好摇匀, 使土壤成薄层状。接通滤膜滤器上的进液口和连续流动交换仪的出液口, 开动机器, 用 0.5 mol/L NH₄Ac 溶液匀速(1 mL/min)连续流动交换土壤中镁, 以出液口出现第 1 滴交换液始计时, 分别经过 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 120, 160, 200, 240, 300, 360, 420, 480, 540, 600 min, 用塑料瓶接收交换液, 测定其中镁含量。

1.4 生物耗竭试验

称 500.0 g 过 3 mm 筛的风干土样, 装入塑料烧杯中, 烧杯外套纸避光, 种植作物第一茬为番茄(中杂 1 号), 后五茬为玉米(黄 417), 每盆定植 5 株。供应充分的氮、磷、钾肥(分别是硫酸铵或尿素, 磷酸二氢钾), 后期补充微量元素, 浇灌去离子水, 管理中治理病虫害。试验在土肥所温室和网室里进行。每茬作物生长时间为 1 个月或 1 个半月左右。每茬作物收获后, 用自来水洗净根部, 再用去离子水洗净植株, 105 ℃下杀青, 60~70 ℃下烘干, 称重、磨碎。并取少量土样, 过 1 mm 筛后分析土壤交换态镁含量。

1.5 测定方法

土壤中镁形态分级及测定参照[5]。水溶态: 土液比 1:5, 振荡 1 h; 交换态: 1 mol·L⁻¹中性 NH₄Ac 以土液比 1:10 分 2 次各振荡 30 min, 离心(2000 r/min)10 min; 非交换态: 1 mol·L⁻¹ HCl 煮沸浸提 15 min; 全镁: HF—HClO₄ 消煮。植株用 HNO₃—HClO₄ 消煮。所有提取液中镁用原子吸收分光光度计测定, 加 SrCl₂ 消除干扰。

2 结果与分析

2.1 土壤中不同形态镁含量

从表 2 可以看到, 大兴、昌平两处土壤中镁含量较高。几种形态镁水平均为大兴处土壤高于昌平处土壤。

表 2 土壤中不同形态镁的含量

	水溶态镁(mg/kg)	交换态镁(mg/100g)	非交换态镁(mg/100g)	全镁(%)
昌平	19.25(0.16%)	37.25(3.13%)	788.0(66.22%)	1.19
大兴	30.75(0.23%)	58.90(4.46%)	1 032.0(78.18%)	1.32

注: 括号内数据为不同形态镁占全镁量的比例。

2.2 土壤中镁模拟释放

先提取交换态镁, 放置一段时间后测定土壤中镁释放量, 体现出非交换态镁的释放能力及其对交换态镁的恢复程度。由表 3 可见, 大兴处土壤释放量高出昌平处土壤 2 倍。干湿交替处理和完全湿润条件下, 非交换态镁释放量无显著差别。前 4 周时间内, 两处土壤非交换态镁释放速率较高, 后两个 4 周时间内, 大兴处土壤释放速率相近, 昌平处土壤则稍有下降。总的看来, 大兴处土壤中非交换态镁较易释放, 跟大兴处土壤中非交换态镁含量较高有一定关系。

12 周内总的释放量, 大兴处土壤相当于原有土壤交换态镁量的 34. 3% (干湿交替) 和 35. 9% (湿润), 昌平处土壤则分别为 28. 9% 和 30. 0%; 占非交换态镁量比例: 昌平处土壤为 1. 4%, 大兴处土壤在 2. 0% 左右。

表 3 不同条件下土壤中非交换态镁的释放 mg/ 100g

条件	地点	时间		
		4 周后	8 周后	12 周后
干湿交替	昌平	7. 43±1. 59	10. 43±0. 47	10. 75±0. 71
	大兴	16. 15±1. 65	18. 07±0. 93	20. 25±0. 43
完全湿润	昌平	7. 65±1. 73	9. 93±0. 46	11. 17±0. 58
	大兴	15. 62±0. 68	18. 92±0. 14	21. 17±1. 38
LSD _{0. 05}		2. 78	1. 08	1. 54
LSD _{0. 01}		4. 03	1. 57	2. 24

矿物态镁的位置在原生和次生矿物晶格和层间, 多数土壤非交换态镁可以释放, 但是释放量相当少^[1]。本试验结果也反映了这点, 但对交换态镁补充能力是较大的。在李伏生^[3]试验中, 赤红壤、砖红壤、浅海沉积物发育的水稻土非交换态镁含量低, 但释放量占非交换态镁比例较高, 相反, 非交换态镁量高的土壤上, 释放绝对数量虽较高, 但所占比例较低。本文结果与之一致。有试验表明, 干湿交替能促进非交换态镁的释放^[6], 但本文无类似结果。看来, 非交换态镁的释放机制有待进一步探讨。

2. 3 土壤中镁的释放动力学研究

运用连续流动交换方法研究土壤中元素释放动力学, 具有能模拟田间条件、省时、不用离心等优点, 已被用于钾的研究上^[4, 7], 但用于研究土壤中镁的释放, 未见报道。

在试验的 600 min 内, 大兴处土壤累积释放总量高于昌平处土壤, 但在前 10 min 内, 昌平处土壤较高, 与释放速率较高一致。达到累积释放量一半时的时间: 大兴处土壤为 50 ~ 60 min, 而昌平处土壤在 10 min 左右。释放速率在最初开始时都很快, 随时间延长, 速率急剧下降, 后趋于稳定, 达到稳定时间: 大兴处土壤为 240 min 左右, 昌平处土壤为 60 min 左右。总的看来, 大兴处土壤释放镁的强度大, 释放量高, 释放能力也持久。

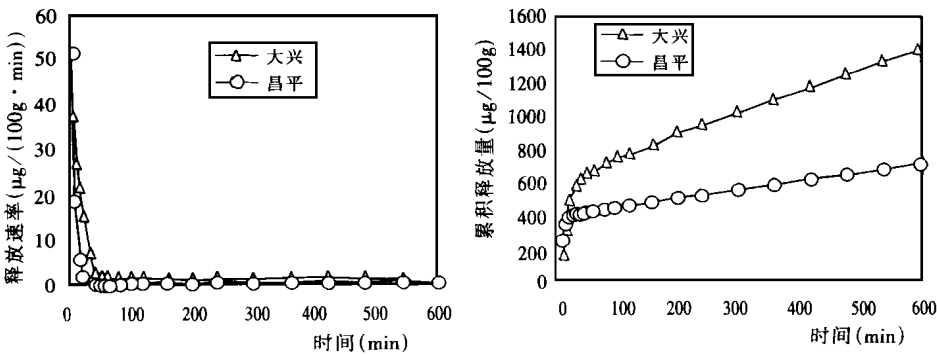


图 1 土壤中镁交换动力学释放总量曲线和释放速率曲线

用 5 种常用的数学模型模拟 2 种土壤中镁释放过程, 比较相关系数 (R^2) 和标准差 (SE), 以抛物线扩散方程拟合程度最好, 一级反应动力方程和幂数方程也能很好拟合 (表 4, 5)。

用 0. 5 mol/L 中性 NH_4Ac 连续交换土壤中镁, 抛物线扩散方程拟合程度最好, 意味着该

交换过程中扩散是控制反应速度的重要步骤。从图 1 上看: 在开始阶段, 抛物线扩散方程拟合并不适合, 这在钾释放动力学研究中有类似现象^[7], 对此的解释是: 开始的过程可能是膜扩散控制的交换过程。在镁释放开始速度较快的部分更多是水溶性和交换性镁的贡献, 抛物线扩散方程并不适合这部分形态镁释放动力学过程。

土壤中镁释放动力学的研究不多, Simard 等^[8]曾用 5×10^{-4} mol/L 柠檬酸连续 1 800 h 浸提 12 种魁北克土壤中钾和镁, 钾的释放过程用 Elovich 方程拟合较好。

土壤中镁释放机制研究远不及钾, 且镁释放动力学方程参数与植物生长间相关关系、与土壤中镁植物有效性关系仍需要进一步探讨。

表 4 大兴处土壤中镁交换释放动力学方程及其参数

方程	标准差($\mu\text{g}/100\text{g}$)	相关系数(R^2)	参数 a	参数 b
Elovich $M_t = a + b \ln t$	68. 821	0. 957	- 211. 010	222. 188
幂数方程 $\ln M_t = \ln a + b \ln t$	0. 118	0. 945	156. 225	0. 337
抛物线扩散方程 $M_t/M_0 = a + b t^{1/2}$	0. 045	0. 966	0. 196	0. 033
零级动力学 $M_0 - M_t = a - b t$	108. 855	0. 892	870. 338	1. 580
一级动力学 $\ln(M_0 - M_t) = a - b t$	0. 167	0. 949	6. 900	0. 004

注: M_0 表示 600 min 内总释放量; M_t 表示在特定时间内释放量。

表 5 昌平处土壤中镁交换释放动力学方程及其参数

方程	标准差($\mu\text{g}/100\text{g}$)	相关系数(R^2)	参数 a	参数 b
Elovich $M_t = a + b \ln t$	32. 854	0. 909	150. 891	70. 897
幂数方程 $\ln M_t = \ln a + b \ln t$	0. 062	0. 931	225. 802	0. 157
抛物线扩散方程 $M_t/M_0 = a + b t^{1/2}$	0. 035	0. 953	0. 448	0. 022
零级动力学 $M_0 - M_t = a - b t$	31. 996	0. 913	297. 787	0. 523
一级动力学 $\ln(M_0 - M_t) = a - b t$	0. 187	0. 931	5. 831	0. 004

注: M_0 表示 600 min 内总释放量; M_t 表示在特定时间内释放量。

2.4 生物耗竭试验

植物体内镁浓度, 除了第三茬(赶上夏季高温多雨天气, 病虫害严重, 生长量低)外, 随茬数增加, 略有下降, 但变化不大。植物吸收镁的总量, 由于每茬植株受光热等因素影响不一, 生长量不同, 所以随茬数的变化规律也不一样。大兴处土壤上生长植株体内镁浓度和吸收总量均高于昌平处土壤(表 6)。

连续 6 茬耗竭, 土壤中交换态镁含量下降(表 6), 种植前后交换态镁含量差值作为植株对土壤交换态镁的吸收量, 植株体内镁净吸收总量(植株镁总量减去种子中带来的镁量, 5 粒玉米种子含镁量平均为 1. 088 mg)与其差值可用于估计植株对土壤非交换态镁的吸收。从表 7 可以看到, 种植 6 茬植株, 土壤中非交换态镁对植株镁吸收的贡献比例达到了 50% 以上。随茬数增加, 土壤非交换态镁占植株吸镁的比例增加。大兴处土壤上, 尽管土壤中交换态镁含量较高, 但土壤非交换态镁被植株的吸收比例高于昌平处土壤, 尤其是在前 5 茬, 这跟前面的室内模拟释放的试验结果相一致, 表明, 大兴处土壤中非交换态镁易释放, 易于被植株利用。

土壤中非交换态镁对植物的贡献大小, 不同研究有不同的结果。Salmon 等^[9]在英格兰、威尔士土壤上种植黑麦草进行耗竭试验, 土壤非交换态镁释放数量很少。而 Rice 等^[9]在北 Carolina 滨海大平原上用 5 种砂质土壤所做的试验表明, 玉米植株对土壤非交换态镁的利用程度较高。一般认为土壤交换态镁含量高的土壤, 非交换态镁的贡献相对较小^[3], 但本试验表明, 尽管大兴处土壤交换态镁含量高于昌平处土壤, 但土壤非交换态镁对植株吸镁的贡献仍较高, 非交换态镁释放能力大小可能起很重要的作用, 当然这种释放能力跟土壤中粘土矿物种

类有关^[10]。

表 6 连续耗竭下植株干物重、含镁量、吸镁总量及土壤交换态镁的变化

地点		耗竭前	第一茬	第二茬	第三茬	第四茬	第五茬	第六茬
植株干物质 (g/盆)	昌平		3 389±0. 227	6 855±0. 260	2. 073±0. 860	4. 825±0. 261	9. 435±0. 549	9. 007±1. 255
	大兴		1. 460±0. 170	6 488±0. 537	2. 132±0. 450	4. 235±0. 480	6. 094±0. 472	3. 888±0. 999
植株中含镁 量(%)	昌平		0. 791±0. 019	0. 716±0. 033	0. 923±0. 086	0. 687±0. 018	0. 622±0. 005	0. 652±0. 019
	大兴		1. 315±0. 202	0. 782±0. 030	1. 296±0. 232	1. 113±0. 166	1. 138±0. 048	0. 978±0. 099
植株吸镁总 量(mg/盆)	昌平		26. 83±2. 10	49. 05±0. 68	16. 19±0. 15	33. 13±1. 41	58. 68±3. 24	61. 50±7. 23
	大兴		19. 39±5. 02	50. 8±5. 49	26. 94±1. 54	46. 67±3. 93	69. 37±6. 15	34. 82±14. 59
土壤交换态 镁(mg/100g)	昌平	37. 25±0. 07	33. 50±2. 38	27. 81±1. 93	24. 58±1. 04	20. 25±1. 32	16. 08±0. 72	13. 58±1. 18
	大兴	58. 90±0. 03	56. 98±0. 95	48. 75±2. 19	48. 54±0. 90	42. 29±0. 65	38. 12±2. 48	36. 34±0. 20

表 7 植物对土壤交换态和非交换态镁的吸收利用

茬数	大兴			昌平		
	植物吸收量	交换态镁	非交换态镁	植物吸收量	交换态镁	非交换态镁
前三茬	94. 95	61. 80(65. 1%)	33. 15(34. 9%)	89. 89	63. 35(85. 9%)	12. 66(14. 1%)
前四茬	140. 54	83. 05(59. 1%)	57. 49(40. 4%)	121. 94	85. 00(69. 8%)	36. 94(30. 2%)
前五茬	208. 82	103. 90(49. 8%)	104. 92(50. 2%)	179. 53	105. 85(59. 0%)	73. 68(41. 0%)
六茬共计	242. 55	112. 80(46. 5%)	129. 75(53. 5%)	239. 94	118. 35(49. 3%)	121. 59(50. 7%)

注: 括号内数据为 2 种形态镁在植物吸镁总量中百分比例。

3 结论

室内模拟试验表明, 大兴处土壤的非交换态镁释放量高于昌平处土壤; 干湿交替和湿润条件下土壤非交换态镁释放无多大差别; 尽管 12 周内土壤非交换态镁释放量占其总量比例很低, 仅 1%~2%, 但仍能恢复原有交换态镁量的 30%~35%。

生物耗竭试验表明, 尽管大兴、昌平处土壤交换态镁含量很高, 但植株仍能利用土壤中非交换态镁。前 3 茬, 非交换态镁对植株吸镁的贡献, 大兴处土壤为 35%, 昌平处土壤为 14%。随种植茬数增加, 土壤中交换态镁含量下降, 6 茬植物吸收土壤非交换态镁达到 50%。

用 0. 5 mol/L 中性 NH₄Ac 连续流动交换, 600 min 内土壤镁释放动力学过程用抛物线扩散方程拟合最好, 但在最初开始部分, 并不适合。大兴处土壤上累积释放量高于昌平处土壤。

参考文献:

[1] Barber S A. Soil nutrient bioavailability. A mechanistic approach[M]. A Wiley-Interscience publication, 1984

[2] 袁可能. 植物营养的土壤化学[M]. 北京: 科学出版社, 1983

[3] 李伏生. 南方几种土壤镁素释放和固定的初步研究[J]. 土壤通报, 1991, 22(3): 115—118

[4] 程明芳, 金继运, 黄绍文. 我国北方主要土壤非交换性钾释放速率的研究[J]. 土壤学报, 1999, 36(2): 218—224.

[5] Page A L, Miller R H, Keeney D R. Methods of soil analysis. Part 2: Chemical and microbiological properties. (2nd

[M]. ASA SSSA Madison Wisconsin USA. 1982.

- [6] Salmon R C, Arnold P W. The uptake of magnesium under exhaustive cropping[J]. J Agric Sci, 1963, 61: 421—425.
- [7] Sparks D L. Potassium dynamics in soils[J]. Adv Soil Sci, 1987, 6: 1—63.
- [8] Simard R R, Kimpe C R De, Zizka J. The kinetics of nonexchangeable potassium and magnesium release from quebec soils[J]. Can J Soil Sci, 1989, 69: 663—675.
- [9] Rice H B, Kamprath E J. Availability of exchangeable and nonexchangeable Mg in sandy coastal plain soils[J]. Soil Soc Am Proc, 1968, 32: 386—388.
- [10] Christenson D R, Doll E C. Release of magnesium from soil clay and silt fractions during cropping[J]. Soil Science, 1973, 116(1): 59—63.

Characteristics of Magnesium Release from the Fluvo-aquic Soil in Beijing Suburbs and Relative Availability of Magnesium to Plants

WANG Hong, CHU Tian-duo

(Institute of Soil and Fertilizer, Chinese Academy of Agricultural Sciences Beijing 100081)

Abstract: To compare with the degree of fluvo-aquic soil (sampled from Daxing and changping located in Beijing suburbs) non-exchangeable magnesium release, the exchangeable Mg was extracted first with 1 mol/L NH_4Ac , and then the amount of Mg released from the extracted soil was measured by the same extracted solution at 4, 8, 12, weeks respectively. It was found that the amount of Mg released from Daxing soil was higher than that from Changping soil. There was little difference of release between under the conditions of all wet and of the alternative of dry and wet. About 1%–2% of total nonexchangeable Mg could be released at 12 weeks' measurement, while 30%–35% of the original soil exchangeable Mg could be restored. The dynamic of Mg release from soils by successive extraction with 0.5 mol/L NH_4Ac (pH 7.0) was studied. The comparison of the coefficient of correlation (R^2) and the standard error (SE) values showed that the parabolic diffusion equation best fitted the kinetics of Mg cumulative release, indicating that the diffusion of Mg out of soils may be the controlling process, but in the beginning periods, this equation wasn't an excellent description of Mg release, and in the latter periods, process of Mg release might be described by the zero order equation. The first order and power function equation can well fit the Mg release as well. The experiment of exhaustive cropping in the greenhouse showed a remarkable tendency of decrease in soil exchangeable Mg with the increase of crop harvest. The difference between the exchangeable Mg decrease and the total amount of Mg taken up by plants was used to estimate Mg release and its availability plants from soil non-exchangeable Mg forms. After three harvests the contribution of non-exchangeable Mg to plant uptake was 14% in Changping soil and 35% in Daxing soil. About 50% of the total Mg uptake by plants in six harvests was believed from the soil non-exchangeable Mg forms.

Key words: Fluvo-aquic soil; Magnesium; Release kinetics; Exhaustive crop