

华北花岗岩片麻岩山地土壤促成技术研究 ——室内模拟肥料对岩石金属元素释放作用^①

鲁少波^{1,3}, 宋庆丰², 赵淑琴³, 李琛泽³, 王晓燕¹, 杨新兵⁴

(1. 北京林业大学, 北京 100083; 2. 中国林业科学研究院 森林生态环境与保护研究所, 北京 100091;

3. 河北省林业局, 石家庄 050081; 4. 河北农业大学, 河北 保定 071001)

摘要: 华北花岗岩片麻岩山地土壤严重退化, 恶劣的土壤环境是该地区植被恢复的限制性因子。从加快土壤促成出发, 利用试验区取回的岩石粉末, 室内模拟肥料对岩石金属元素释放作用, 进而找出土壤促成的最佳施肥措施。结果表明: 利用缓释复混肥(HK)、生物有机肥(YJ)和微生物菌肥(SW)等 3 种肥料对 Ca、K、Pb、Mg 等金属元素释放量均有促进作用, 但 Ca、K 元素有肥料溶液+ 岩石处理金属元素含量小于水+ 肥料对照处理的现象发生, 可能由于金属元素与肥料中的某种元素产生了耦合反应或者是金属离子与溶液中 CO₂ 反应形成碳酸盐而又重新被固定。揭示 3 种肥料能够加快岩石风化速率, 且以生物有机肥作用最强。

关键词: 华北花岗岩片麻岩; 土壤肥料; 金属元素

中图分类号: S151⁺ 2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2011)04-0074-05

Study on Soil Facilitation Technology to Granite and Gneiss Mountain in North China - The Effect of Metal Element Release from Rock by Indoor Simulation Fertilizers^②

LU Shaobo^{1,3}, SONG Qing-feng², ZHAO Shu-qin³, LI Shen-ze³, WANG Xiaoyan¹, YANG Xin-bing⁴

(1. Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Research Institute of Forest Ecology,

Environment and Protection, CAF, Beijing 100091, China; 3. Forestry Department of Hebei Province,

Shijiazhuang 050081, China; 4. Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071001, China)

Abstract: The poor soil environment is the factor limiting to vegetation recovery in north granitic gneiss mountains. In order to find out the best fertilization measure to contribute to soil, it was simulated that fertilization had promoted the release of metal elements in rock in indoor with the rock powder from the test area. The results show that: three kinds of fertilizers—slow release fertilizer(HK), bio-organic fertilizer(YJ), microbial agent(SW)—promoted the release of metal elements such as Ca, K, Pb, Mg, but this phenomenon that the contents of metal elements with the treatment of fertilizer solution and rock powder was less than that with the treatment of water and rock powder took place at some treatment and determination time. The reasons might be due to metal elements and some kind of elements in fertilizer had taken place coupling reaction or metal elements and CO₂ in solution had taken place reaction and formed carbonate and had been fixed again. It has revealed that three kinds of fertilizers speeded up the rate of rock efflorescence, and effect of bio-organic fertilizer was the best.

Key words: granitic gneiss of North China; soil fertilizer; metal element

土壤中 Ca、Mg 大量营养元素和 Cu、Zn、Fe、B、Mo 等微量营养元素, 它们不仅对农作物产量的提高有着显著作用, 而且对产品品质、提高抗病性起着决定性作用^[1]。李光仁等研究表明在干旱区沙漠化逆转过程中, 表层土壤 Cu、Mn、Zn、Ni、Nb、Cr、Pb 等金

属元素含量先减少后增加; W、Co、Cs、Tl、U、K 元素含量先增加后减少; 而 Ba、Si 元素含量逐渐减少。显然, 干旱区沙漠化土地逆过程不仅恢复了固沙植被, 改善了土壤结构, 提高了土壤肥力, 也明显改变了植物必需矿质元素及重金属元素含量^[2]。华北花岗

收稿日期: 2011-03-07

修回日期: 2011-03-25

资助项目: 国家“十二五”国家科技支撑计划“黄土高原及华北石质山地水土保持林体系构建技术研究”(NC2010JB0052)

作者简介: 鲁少波(1967-), 男, 教授级高级工程师, 博士, 主要从事森林生态系统管理工作。E-mail: hbtgb7218@sina.com

通信作者: 宋庆丰(1983-), 男, 河北故城县人, 硕士, 从事森林生态系统定位研究、水土保持与荒漠化防治方面的研究。E-mail: songqing-

feng2004@yahoo.com.cn

片麻岩山地大量植被遭到破坏, 降雨形成薄层分散的地表径流, 将土壤中可溶性物质及比较细小的土粒以悬移方式为主冲走, 造成土壤质地明显变粗, 土层渐薄, 土地生产能力不断下降而弃耕, 进而需要对试验区内土壤进行促成, 其中施肥是有效的措施。随着岩石的风化过程, 会有大量的金属元素释放出来。目前施肥对土壤重金属的研究国内外已经很多, 涉及到很多植物生长必须的中量元素和微量元素。施肥措施对土壤重金属元素影响, 因土壤类型、气候条件和种植作物不同而异。为了探究施肥对土壤重金属的影响, 廖文华对近年来国内外部分含镉磷肥施入后对土壤含镉量的影响、作物减产的机理、Cd 在土壤中转移和转化机制进行了总结, 提出了适合含镉磷肥低强度、非点源污染特点的具体土壤修复技术^[3]。李见云等研究表明重金属 Cu、Zn、Pb 含量随大棚棚龄的增加有一定的增加, Cd 含量没有明显的规律性^[4]。Bingham 等报道了 K 肥中的伴随离子 Cl^- 、 SO_4^{2-} 可增加瑞士甜菜对 Cd 的吸收^[5]。单施化肥、有机肥或二者配施均可提高土壤有效 Fe 含量^[6-7]。本文利用室内模拟肥料对岩石粉中金属元素释放的作用, 进而找出土壤促成的最佳施肥技术, 为华北花岗片麻岩山区植被恢复提供理论依据, 也为花岗片麻岩区退耕还林的进一步实施提供技术支撑。

1 试验区概况

河北省平山县的自然条件概括为“八山一水一分田”, 位于太行山中断东麓滹沱河沿岸山西台地与华

表 1 室内模拟不同肥料的处理梯度

处理代号	缓控肥(HK)				YW ₁	生物菌肥(SW)				有机肥(YJ)			
	HK ₁	HK ₂	HK ₃	HK ₄		YW ₂	YW ₃	YW ₄	YJ ₁	YJ ₂	YJ ₃	YJ ₄	
每瓶中加入量/g	0.01	0.05	0.1	1	0.01	0.05	0.1	1	0.1	0.5	1	5	

2.2 试验方法

在 150 ml 的三角瓶中, 加入取回的岩石粉(过 100 目筛) 5 g, 然后加入不同量的肥料, 最后加入 100 ml 去离子水充分搅拌, 25℃左右摇床上进行培养。每隔 10 d 取一次上清液, 共取 5 次, 样品用针头过滤器(Millipore, Whatman 滤膜, 孔径 0.22 μm) 过滤, 去滤液 5 ml 置 50 ml 的容量瓶中定容(稀释 10 倍), 取 5 ml 稀释液放置 10 ml 离心管中, 加 1 滴浓硝酸, 使其酸化待测。用电感耦合等离子-发射光谱仪(美国 Varian 公司 Vista MPX 型) 分别测定溶液中 Na, Fe, Cr, Al 等金属元素浓度。

3 结果与分析

3.1 Ca 元素释放分析

如图 1 所示, 在水对照中, 测定时期内 Ca 元素含

北平原的过渡地带^[8], 该地貌类型属于低山丘陵区。土壤类型属于褐土性土亚类, 主要有以下几种类型土壤。(1) 非耕种花岗片麻岩褐土性土属。分布于海拔 1 300 m 以下的中山、低山、丘陵、阳坡, 表层有机质 0.36%~1.61%, 全氮含量 0.023%~0.105%, 全磷含量 0.01%~0.031%, 碳酸钙 0.28%~1.92%, 砂砾量 24.4%~51.23%, pH 6.4~7.9。土层薄, 不足 30 cm, 侵蚀严重, 肥力低下。代表土种为花岗片麻岩薄层多砾砂壤质褐土性土。(2) 非耕种页岩褐土性土属。间分布于石灰岩区, 仅页岩薄层多砾轻壤质褐土性土种, 土层少于 25 cm, 石灰反应不明显, pH 7.3~7.4, 表层有机质 1.67%, 全 N 含量 0.098%, 全 P 含量 0.023%。(3) 花岗片麻岩褐土性土属。只有花岗片麻岩薄层壤质褐土性土种, 表层有机质 0.38%, 全 N 含量 0.031%, 全 P 含量 0.016%, pH 8.5, 石灰量 1.5%, 砾石 41.1%。

2 试验方法

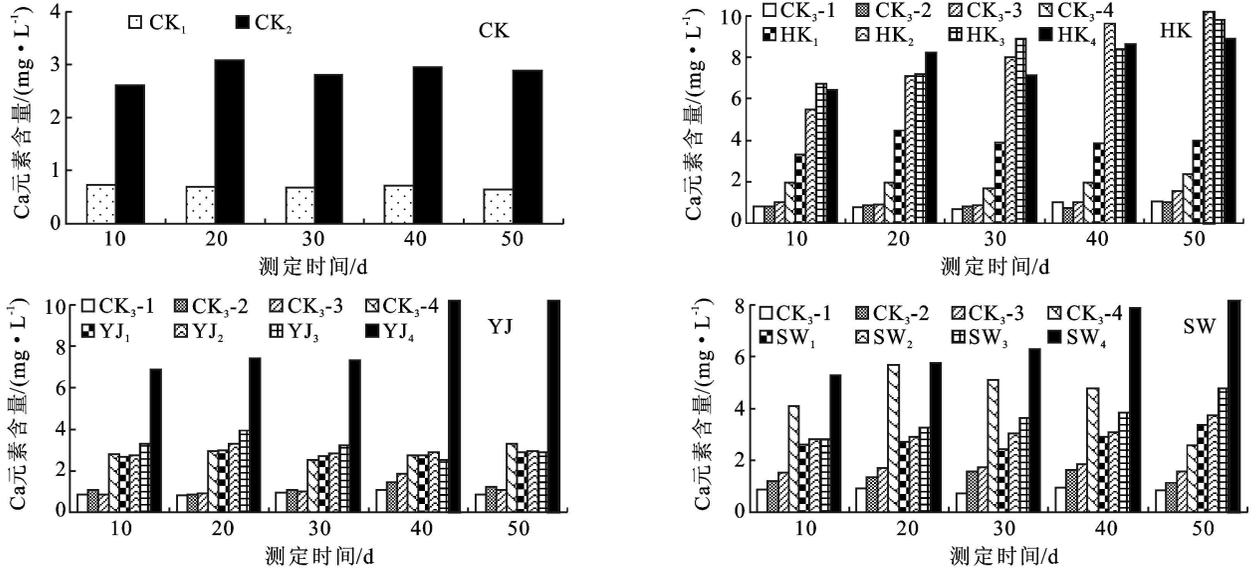
2.1 试验设计

缓释复混肥(slow release fertilizer, 简称 HK); 生物有机肥(bio-organic fertilizer, 简称 YJ); 微生物菌肥(microbial agent, 简称 SW), 每种肥料均设 5 个处理的施肥量, 见表 1。对照设置有水对照(CK₁)、水+岩石对照(CK₂)、水+肥料对照(CK₃), 如: 文中出现的在缓释复混肥(HK) 处理中的 CK₃-1, 即为水+HK₁ 处理梯度。

量基本相同, 而水+岩石粉末对照随着时间延伸, Ca 元素最大释放量(3.078 mg/L) 出现在第 20 天, 其他均呈现出随着时间的延伸而增加的趋势, 说明水分对岩石中 Ca 元素释放有促进作用, 可能是因为 Ca^{2+} 与溶液中的 CO_3^{2-} 离子形成 CaCO_3 沉淀导致释放量的降低。在 HK 处理上, 水+肥料对照处理中, Ca 元素含量随着肥料用量的增加, 在各测定时间点上均呈现逐步增加的趋势, 而在 CK₃-2 处理在第 40 天、50 天出现了释放量低谷, 同样可能是因为 Ca^{2+} 形成 CaCO_3 沉淀所致, 同时肥料不同用量处理下, 随着测定时间的延伸, 其释放量均呈现出先降低在升高的趋势, 在 CK₃-4 处理的第 50 天出现最大释放量(2.335 mg/L); 在肥料溶液+岩石处理中, 各处理间 Ca 元素释放量变化趋势较复杂, 基本上呈现出随着测定时间的延伸不断增加, 最大释放量均出现在第

50 天, 综合最大释放量出现在 HK_2 处理的第 50 天 (10.482 mg/L)。在 YJ 处理上, 水+ 肥料对照处理中, Ca 元素释放量变化较复杂, 不同肥料用量上, 基本呈现随着肥料的增加而增加的趋势, 而在不同测定时间点上, 除了 CK_3-4 最大释放量出现在第 50 天测定处, 其他最大释放量均出现在第 40 天; 肥料溶液+ 岩石处理中, 不同肥料用量对 Ca 元素释放量变化同样较复杂, 其趋势与水+ 肥料对照处理一致, 而在

不同测定时间点上, 除了 YJ4 最大释放量 (12.203 mg/L) 出现在第 40 天, 其余处理均出现在第 20 天。在 SW 处理上, 水+ 肥料对照中, Ca 元素释放量变化趋势与 YJ 处理相同, 但 CK_3-4 的最大释放量 (5.666 mg/L) 出现在第 20 天; 肥料溶液+ 岩石处理中, Ca 元素释放量均呈现出随着肥料用量的增加和测定时间的延伸而增加的趋势, 其最大释放量 (8.194 mg/L) 出现在 SW4 处理的第 50 d。



CK₁ 为水对照; CK₂ 为水+ 岩石对照; CK₃ 为水+ 肥料对照。下同。

图 1 Ca 元素释放量

3.2 K 元素释放分析

如图 2 所示, 室内模拟肥料对 K 元素释放作用在水对照的测定时间上 K 元素含量基本相同, 而水+ 岩石粉末对照随着时间延伸, K 元素呈现不断增加的趋势, 最大释放量 (0.489 mg/L) 出现在第 50 天, 说明水分对岩石中 K 元素释放有促进作用。在 HK 处理上, 水+ 肥料对照处理中, 随着肥料用量的增加以及测定时间的延伸, K 元素释放量均呈现增加的趋势, 在 CK_3-4 处理的第 50 天出现最大值 (97.137 mg/L), 且 CK_3-3 与 CK_3-4 之间差异很大; 在肥料溶液+ 岩石处理中, K 元素释放量在每个肥料用量处理上的每个测定时间处的变化趋势与水+ 肥料对照处理相同, 最大释放量出现在 HK_4 处理的第 50 天 (113.712 mg/L), 但是, HK_4 处理上的 10~30 d 测定的 3 个释放量值均小于水+ 肥料对照, 说明在此时间段内岩石所释放的 K 元素与其他金属元素发生了耦合。在 YJ 处理上, 水+ 肥料对照处理与 HK 中水+ 肥料对照处理中 K 元素释放量变化相同, 最大释放量出现在 CK_3-4 处理的第 50 天 (10.007 mg/L), 而在 CK_3-3 处理的第 30 天, K 元素释放量出现了降低, 这可能是由于测定误差所致; 肥料溶液+ 岩石

处理中, 不同肥料用量间测定值均呈现增高的趋势, 但是在 YJ₃ 处理上除了第 40 天, 其他的均出现了明显低谷, 不同施肥量在各测定时间处, 均呈现出随着时间的延伸而增加的趋势, 在 YJ₄ 处理的第 50 天出现最大值 (7.957 mg/L), 但是 YJ₄ 处理上所有测定时间点的数值均小于水+ 肥料对照处理。

在 SW 处理上, 水+ 肥料对照处理中, K 元素释放量所有的变化趋势与 YJ 处理上水+ 肥料对照处理相同, 最大释放量出现在 CK_3-4 处理的第 50 天 (11.232 mg/L), 但是, 此对照组出现了某些测定值小于水对照处理的现象; 肥料溶液+ 岩石处理中, 不同施肥量间对 K 元素释放量作用的变化趋势均呈现 $SW_4 < SW_2 < SW_1 < SW_3$, 且 SW_4 处理每个测定时间点上释放值均小于 CK_3-4 。在连续测定时间点上, 相同肥料用量处理下, K 元素释放量逐渐的增加, 在 SW_3 处理下的第 50 天出现最大值 (25.067 mg/L), 且 SW_3 处理在 30~50 d 测定处 K 元素释放量土壤增高。

3.3 Pb 元素释放分析

如图 3 所示, “0”并不代表没有含量, 而是含量太低, 试验仪器无法读出合理数值。室内模拟肥料对

Pb 元素释放作用在水对照的测定时间上 Pb 元素含量基本相同, 而水+ 岩石粉末对照随着时间延伸, 元素呈现不断增加的趋势, 最大释放量(0.001 1 mg/L)出现在第 50 天, 说明水分对岩石中 Pb 元素释放有促进作用。在 HK 处理上, 水+ 肥料对照处理与肥料溶液+ 岩石处理在不同肥料用量和不同测定时间点上所测得的 Pb 释放量的变化趋势一致, 均呈现随着肥料用量的增加和测定时间的延伸而增加, 水+ 肥料最大值出现在 CK₃- 4 处理的第 50 天(0.031 mg/L); 肥料溶液+ 岩石的最大值出现在 HK₄ 处理的第 50 天(0.029 mg/L); 肥料溶液+ 岩石处理中, Pb 元素释放规律与 YJ 处理下相同, 最大释放量出现在 SW₄ 处理的第 50 天(0.049 mg/L)。

不同的测定时间点上均呈现出随着时间的延伸而增加, 而不同肥料用量间的差异没有规律可循; 肥料溶液+ 岩石处理中, Pb 元素释放量在不同测定时间点上的变化规律与水+ 肥料对照处理相同, 在不同肥料用量间的差异同样没有规律可循。在 SW 处理上, 水+ 肥料对照处理上, 不同肥料用量间对 Pb 元素释放量的变化总体上呈现随着肥料用量的增加而增加的趋势, 在不同测定时间上规律亦是如此, 随着时间的延伸而增加, 最大含量出现在 CK₃- 4 处理的第 50 天(0.031 mg/L); 肥料溶液+ 岩石处理中, Pb 元素释放规律与 YJ 处理下相同, 最大释放量出现在 SW₄ 处理的第 50 天(0.049 mg/L)。

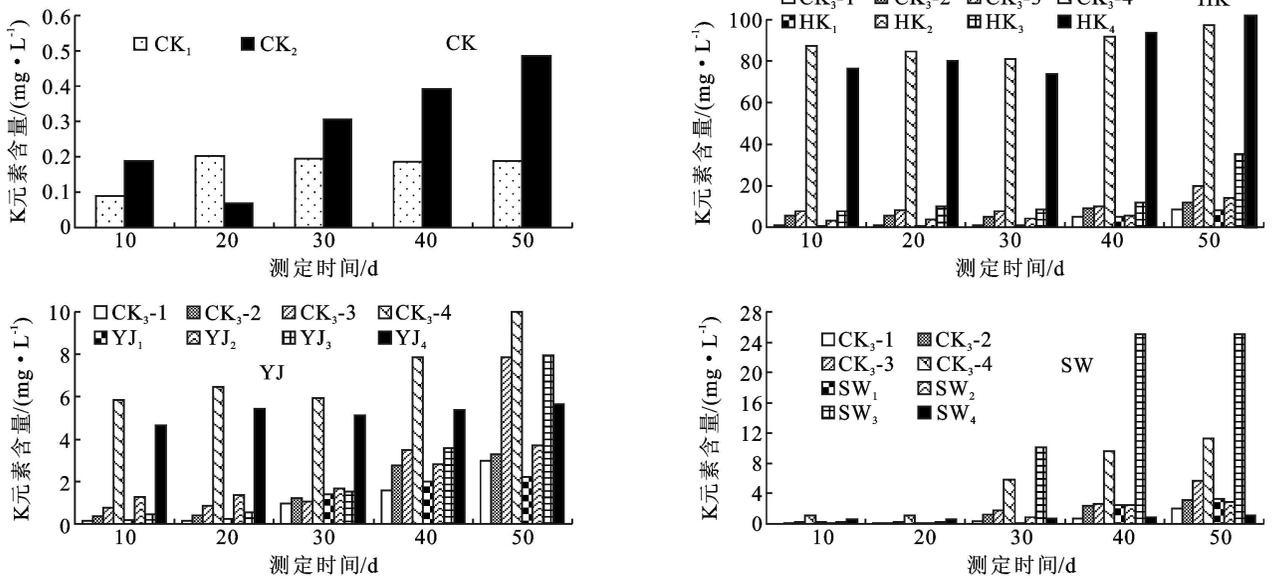


图 2 K 元素释放量

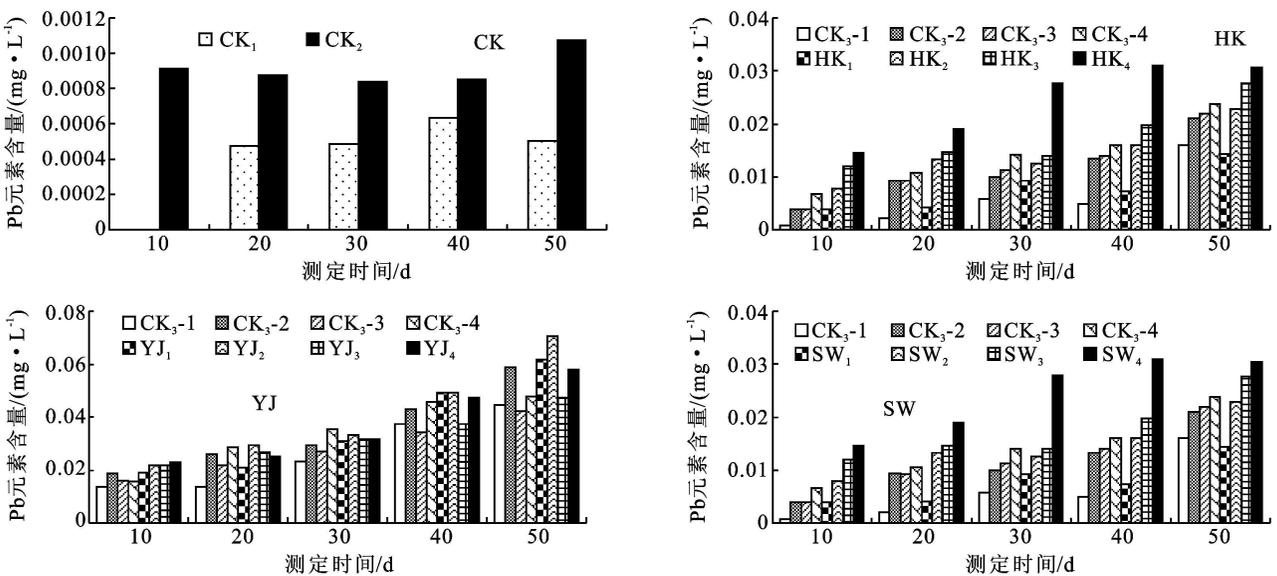


图 3 Pb 元素释放量

3.4 Mg 元素释放分析

室内模拟肥料对 Mg 元素释放作用如图 4 所示,

水对照在测定时间上元素含量基本相同, 而水+ 岩石粉末对照随着时间延伸, 元素呈现不断增加的趋势,

最大释放量(0.640 mg/L) 出现在第 50 天, 说明水分对岩石中 Mg 元素释放有促进作用。在 HK 处理上, 水+ 肥料对照处理与肥料溶液+ 岩石处理中, Mg 元素的释放量变化均随着肥料用量的增加以及测定时间的延伸而逐渐增加的趋势, 水+ 肥料对照处理最大值出现在 CK₃₋₄ 处理的第 50 天(3.690 mg/L); 肥料溶液+ 岩石处理最大释放量出现在 HK₄ 处理的第 50 天(5.421 mg/L), 且肥料溶液+ 岩石处理下 Mg 元素含量高于水+ 肥料对照处理, 说明, HK 处理对岩石中 Mg 元素的释放起到了促进作用。在 YJ 处理

上, 水+ 肥料对照处理与肥料溶液+ 岩石处理中, Mg 元素的释放量变化规律与 HK 相同, 水+ 肥料对照处理最大值出现在 CK₃₋₄ 处理的第 50 天(4.501 mg/L); 肥料溶液+ 岩石处理最大释放量出现在 HK₄ 处理的第 50 天(6.452 mg/L), 且肥料溶液+ 岩石处理下 Mg 元素含量高于水+ 肥料对照处理, 说明, YJ 处理对岩石中 Mg 元素的释放起到了促进作用。在 SW 处理下, 水+ 肥料对照处理与肥料溶液+ 岩石处理中, Mg 元素的释放量变化规律亦是与以上两种肥料处理相同。

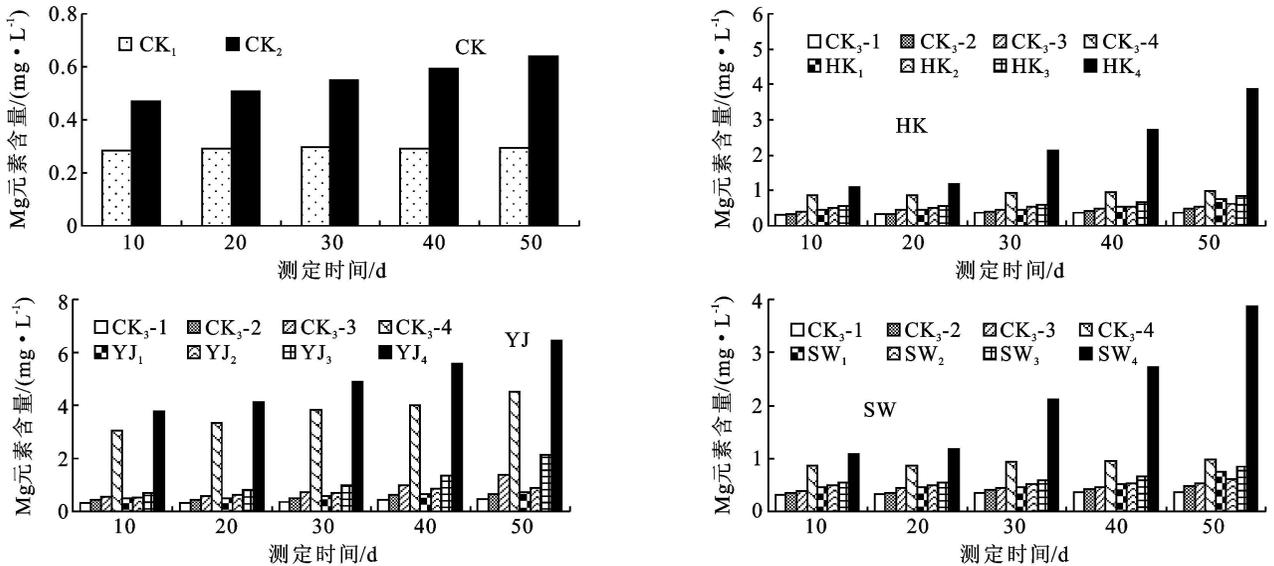


图 4 Mg 元素释放量

4 结论

3 种肥料对岩石中金属元素释放的影响作用不同, Ca 元素释放量在各处理上的变化趋势较为复杂, 主要是因为 Ca^{2+} 形成 CaCO_3 沉淀导致风化出来的 Ca^{2+} 又重新被固定住; K 元素以 HK 处理最为明显, 主要是因为 HK 本身含有大量的 K 元素, 其他两种肥料的影响较为复杂, 但总体均较水+ 岩石对照处理释放量高; Pb 元素各肥料及每个梯度处理下释放量均明显高于水+ 岩石对照处理, 且肥料溶液处理下 Pb 含量高于水+ 肥料处理; Mg 元素各肥料及每个梯度处理下的释放规律相同, 且均较水对照、水+ 岩石对照和水+ 肥料对照中 Mg 元素含量增加。Ca、K、元素在某处理及测定时间点上肥料溶液+ 岩石处理处金属元素含量小于水+ 肥料对照处理的现象发生, 可能由于金属元素与肥料中的某种元素产生了耦合反应或者是金属离子与溶液中 CO_2 反应形成碳酸盐而又重新被固定。但是以上金属元素含量均大于水+ 岩石对照处理, 说明 3 种肥料对岩石中金属元素释放有促进作用, 进而揭示 3 种肥料能够加快岩石风化速率, 且以 YJ 作用最为理想。

参考文献:

- [1] 许学宏, 余云飞, 陈庆生, 等. 江苏南北典型县域表层土壤化学元素差异性及其农业评价[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(增刊): 565-569.
- [2] 李光仁, 徐丽恒, 宋一诚. 干旱区沙漠化逆过程土壤矿物质元素的变化特征[J]. 中国农学通报, 2009, 25(19): 287-290.
- [3] 廖文华. 磷肥施用与锡污染的研究现状及防治对策[J]. 河北农业大学学报, 2001, 24(3): 90-94.
- [4] 李见云, 侯彦林, 化全县, 等. 大棚设施土壤养分和重金属状况研究[J]. 土壤, 2005, 37(6): 626-629.
- [5] Bingham F T, Garrison S, Strong J E. The effect of chloride on the availability of cadmium[J]. J. Environ. Qual., 1984, 13: 71-74.
- [6] Lal S, Mathur B S. Effect of long-term application of manure and fertilizers on the DTPA-extractable micronutrients in acid soil[J]. Journal Indian Society Soil Science, 1989, 37: 588-590.
- [7] Schwab A P, Owensby C E, Kulyingyong S. Change in soil chemical properties due to 40 years of fertilization[J]. Soil Science, 1990, 149(1): 35-43.
- [8] 吴砚峰. 河北平山湿地水鸟群落结构及黑鹳 (*Ciconia nigra*) 的觅食生境选择[D]. 石家庄: 河北师范大学, 2006: 6-25.