

灌水、石灰和镁肥水平对玉米干物质积累 和镁素利用的影响^①

雷文杰, 李伏生*, 陆文娟

(广西大学农学院, 南宁 530005)

摘要: 研究了2种灌水水平、3种石灰水平和3种镁肥水平对玉米干物质积累及镁(Mg)素利用的影响。结果表明, 灌水能提高玉米干物质积累和玉米对Mg的吸收; 施用石灰不明显影响玉米干物质积累, 但降低玉米对Mg的吸收, 增加土壤对Mg的固定, 对Mg肥表观有效率的影响因施用量不同而有所不同。施用Mg肥在一定程度上提高玉米干物质积累, 明显增加Mg的吸收和土壤交换性Mg含量。因此玉米对Mg的吸收利用不仅受到土壤Mg供应水平的制约, 而且也受到灌水、施用石灰等因素的影响。

关键词: 灌水; 石灰; 镁肥; 镁有效性; 干物质积累

中图分类号: S158.5

近年来土壤镁(Mg)素及Mg肥施用的研究受到重视^[1-7]。大田施用Mg肥, 以红壤旱地上大豆、花生增产幅度最大达25%~40%, 其次是茶叶、烤烟, 增产幅度20%~25%, 水稻增产幅度较少仅有6%左右^[4]。不同土壤上施用Mg肥对作物的效应不同^[7], 冲积物水稻土的交换性Mg低, 花生施用Mg肥比对照增产26%~47%, 而交换性Mg量较高的土壤, 花生施用Mg肥增产效果不明显; 盆栽试验也得到, 交换性Mg低的土壤, 施用Mg肥后, 玉米干物质质量比对照增加7.2%~11.4%, 而交换性Mg量高的土壤, 玉米增产效果不明显^[7]。胡承孝等^[8]也指出, 施用石灰和硫酸镁肥都能提高供试土壤上油菜的产量。影响作物对Mg吸收的因素已有较多报道, 如K肥施用后, K对Mg吸收产生拮抗作用造成玉米对Mg的吸收降低^[9]。目前有关石灰施用对Mg肥和土壤Mg素有效性的影响做了一定的工作, 李伏生^[10-11]研究认为种植玉米后, 石灰加Mg肥的处理较单施Mg肥处理土壤交换性Mg含量低, 单施石灰后处理土壤交换Mg含量也比对照低。但灌水水平及其与Mg肥、石灰交互作用对土壤Mg素利用的影响少见报道。本研究目的是通过盆栽试验和室内模拟试验, 探讨灌水、石灰和Mg肥水平对玉米干物质积累及Mg素利用的影响, 以期Mg肥

的施用提供依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

盆栽试验在广西大学农学院农业资源与环境教学实习基地网室大棚中进行, 供试土壤采自广西大学农科教学基地的赤红土, 土壤pH值为6.6, 碱解氮(N) 60.4 mg/kg (1 mol/L NaOH碱解扩散法), 速效磷(P) 18.2 mg/kg (0.5 mol/L NaHCO₃法), 速效钾(K) 41.1 mg/kg (1 mol/L中性NH₄Ac法), 交换性镁(Mg) 68.9 mg/kg (1 mol/L中性NH₄Ac法), 田间持水量为28% (占干土质量百分数)。供试作物为玉米(豫玉30)。

1.2 试验处理和实施

盆栽试验设2种灌水水平, 3种石灰水平和3种Mg肥水平, 完全方案设计, 共18个处理, 每个处理重复3次, 共54盆。2种灌水水平分别为W₁ (苗期-拔节期、拔节期-抽雄期土壤含水量分别保持在50%~60%、75%~85%的土壤田间持水量)和W₂ (苗期-拔节期、拔节期-抽雄期土壤含水量分别保持在60%~70%、85%~95%的土壤田间持水量)。3种石灰水平Ca₀、Ca₁和Ca₂, 分别施用CaO 0、1.0和1.5 g/kg土(施用碳酸钙, 分析纯), 3种镁肥水平Mg₀、Mg₁和

①基金项目: 国家自然科学基金项目(50869001)资助。

* 通讯作者(zhenz@gxu.edu.cn)

作者简介: 雷文杰(1985—), 男, 湖南祁东人, 硕士, 主要从事植物营养与施肥研究。E-mail: woxihuan4217@sina.com

Mg₂, 分别施用Mg 0、0.05 和 0.10 g/kg土(施用硫酸镁, 分析纯)。每盆栽(盆高 16.5 cm、直径 17.5 cm)通过 3 mm筛孔的风干土 3.3 kg, 均施等量N、P和K肥(N 0.15 g/kg土, P₂O₅ 0.075 g/kg土和K₂O 0.15 g/kg土)作底肥, 装盆前与土壤充分拌匀。N肥用尿素(分析纯, 含N 460 g/kg)、P肥用磷酸二氢钾(分析纯)、K肥用磷酸二氢钾和氯化钾(分析纯)。在播种前保持土壤水分至田间持水量的 80%。

2008年9月26日每盆各播种5粒已催芽种子, 9月30日出苗, 10月5日间苗, 每盆留长势均匀植株各2株, 10月9日玉米长至3~4叶时开始进行灌水处理。苗期土壤含水量保持在60%~80%土壤田间持水量, 其他时期按试验设计进行。试验期间用磅秤称量盆重, 称重间隔时间为2天, 用水量平衡法确定灌水量, 并记下每次各处理的灌水量。各处理其他农业技术措施相同。试验于2008年11月22日即播种后58天结束。

室内模拟试验与盆栽试验处理相同, 不种植玉米,

$$\text{Mg肥表观有效率}(\%) = \frac{\text{施Mg与不施Mg处理植物吸收Mg量差值} + \text{施Mg与不施Mg处理植后土壤交换性Mg量差值}}{\text{施入Mg量}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Mg肥利用率}(\%) = \frac{\text{施Mg与不施Mg处理植物吸收Mg量差值}}{\text{施入Mg量}} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{Mg肥表观固定率}(\%) = \frac{(\text{施入Mg量} + \text{原有土壤交换性Mg量}) - \text{试验后土壤交换Mg量}}{\text{施入Mg量}} \times 100 \quad (3)$$

1.4 统计分析

试验数据用 SPSS 程序中通用线性模型单因素变量法进行方差分析, 方差分析包括灌水水平、石灰、镁肥的主效应以及它们两因素和三因素之间的交互效应。多重比较用 Duncan 法, 用 SPSS 程序中平均值比较中单因素方差分析进行分析。

2 结果与分析

2.1 灌水、石灰和镁肥水平对玉米干物质积累的影响

统计结果表明, 灌水水平对玉米总干质量、地上部干质量及根系干质量的影响均显著 ($p < 0.01$ 或 0.05), 说明灌水能提高玉米干物质的积累, 与W₁处理相比, W₂处理玉米总干质量、地上部干质量及根系干质量分别提高 31.3%、33.3% 和 20.8% (图 1)。而石灰水平和Mg肥水平的影响均不显著 ($p > 0.05$), 仅在

试验时间与盆栽试验同步(2008年9月26至11月22日)。每塑料瓶(高 12 cm、直径 7 cm)装通过 3 mm筛孔的风干土 50 g。灌水处理前保持土壤水分至田间持水量的 80%, 灌水处理后按试验要求进行。试验各处理施肥水平同盆栽试验。

1.3 测定方法

玉米收获后分别采集各处理根系及地上部分, 105℃杀青 30 min, 65℃烘干至恒重后磨碎。土壤交换性Mg用 1.0 mol/L中性NH₄Ac浸提, 植株根系及地上部分用HNO₃-HClO₄消煮, 所有提取液和消煮液中加入SrCl₂消除干扰并用原子吸收分光光度法分别测定土壤交换性Mg和植株全Mg含量^[12]。地上部或根系Mg吸收量是用地上部或根系Mg含量与其干物质重相乘所得, Mg吸收总量为地上部与根系Mg吸收量之和^[13], 本研究吸收量单位以玉米从每千克土吸收Mg的毫克数表示(mg/kg土)。Mg肥表观有效率和Mg肥利用率(有作物时)与Mg肥表观固定率(无作物时)用下述公式计算^[10,13]:

一定程度上提高玉米干物质的积累。

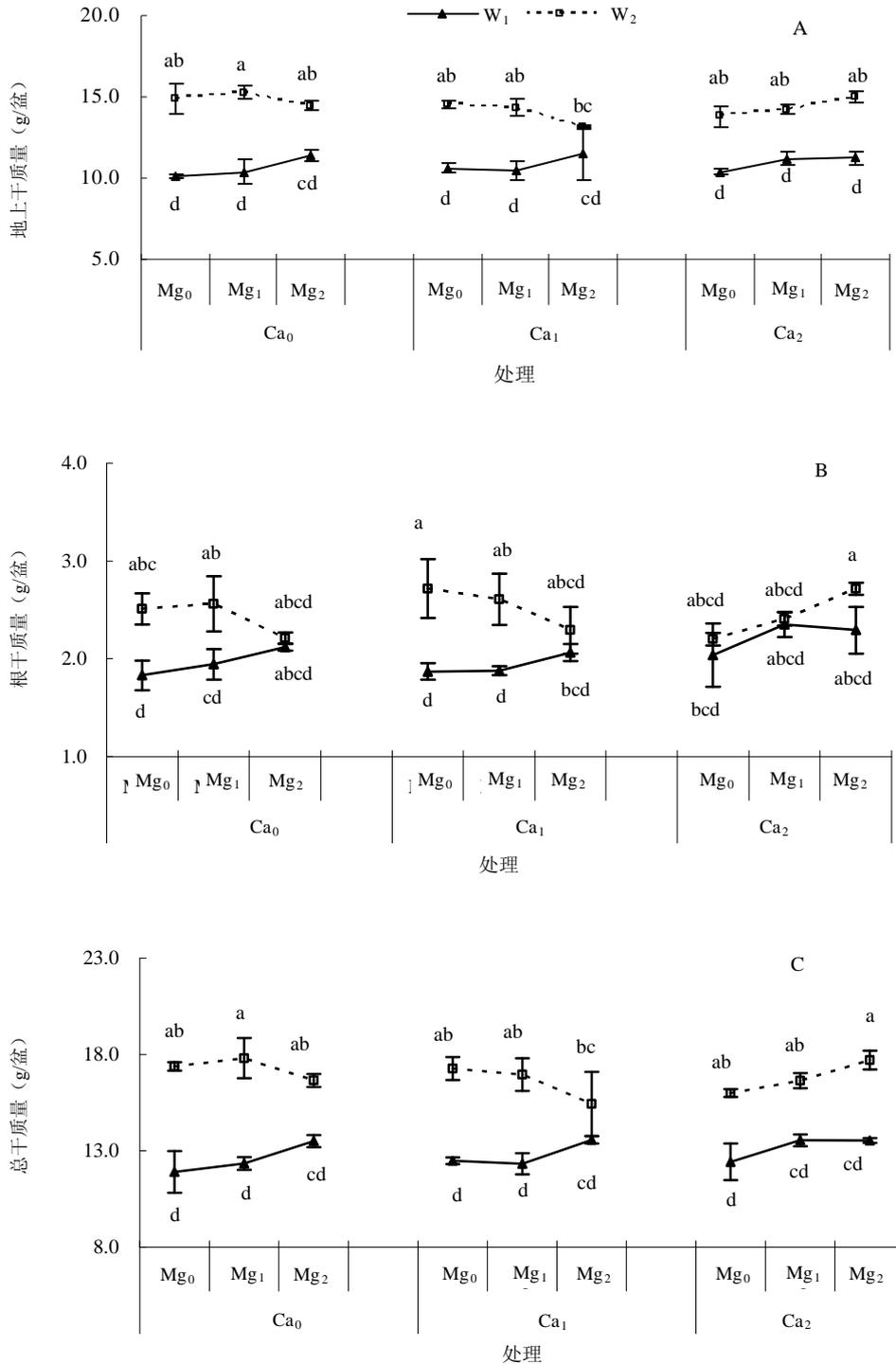
2.2 灌水、石灰和镁肥水平对玉米镁含量和镁吸收量的影响

灌水、石灰和Mg肥水平对玉米地上部和根系Mg含量的影响显著 ($p < 0.01$ 或 0.05)。灌水和施用Mg肥提高玉米Mg含量, 与Mg₀处理相比, Mg₁处理地上部及根系Mg含量分别增加 7.6% 和 15.0%, Mg₂处理则分别增加 15.8% 和 22.3% (图 2)。而施用石灰则降低玉米Mg含量, 与Ca₀处理相比, Ca₁处理地上部及根系Mg含量分别减少 7.3% 和 10.7%, Ca₂处理则分别减少 5.3% 和 11.8%。

灌水、石灰和Mg肥水平对玉米地上部Mg吸收量和Mg吸收总量的影响显著 ($p < 0.01$ 或 0.05), 灌水水平和 Mg肥水平也对根系Mg吸收量的影响显著(p

<0.01 或 0.05)。灌水和施用Mg肥明显提高玉米对Mg的吸收，W₂处理比W₁处理玉米总Mg、地上部Mg及根系Mg吸收量分别提高40.1%、39.1%和47.2% (图3)。与Mg₀处理相比，Mg₁处理玉米总Mg、地上部Mg及根系Mg吸收量分别增加10.8%、9.5%

和19.8%，而Mg₂处理分别增加19.4%、18.5%和26.1%。而施用石灰则明显降低玉米对Mg的吸收，与Ca₀处理相比，Ca₁处理玉米总Mg、地上部Mg及根系Mg吸收量分别减少10.4%、10.5%和9.6%，而Ca₂处理分别减少6.5%、6.6%和6.4%。



(图中数值为平均值 ± 标准差 (n=3)，标有不同字母处理，差异显著 (p<0.05)，下同。)

图 1 灌水、石灰和 Mg 肥水平对玉米干物质积累的影响

Fig. 1 Effects of irrigation, lime and Mg fertilizer levels on dry mass accumulation of maize

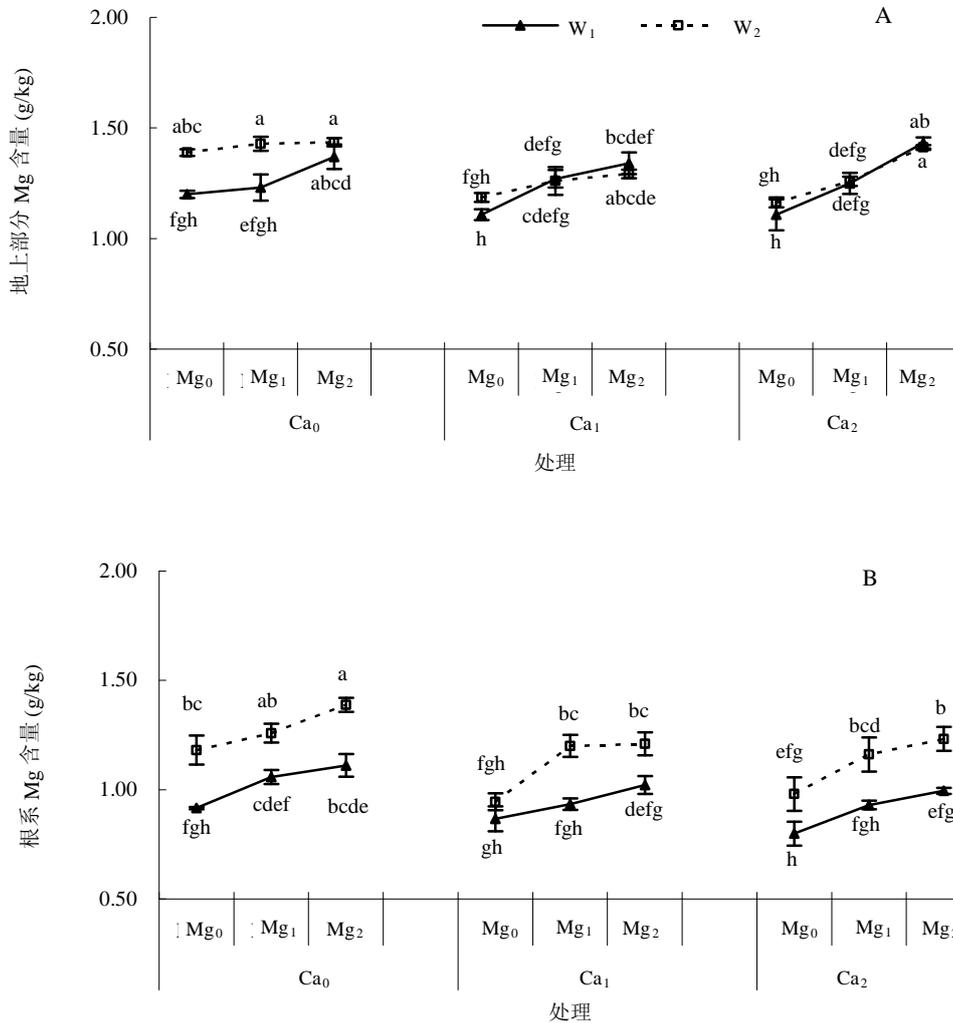


图 2 灌水、石灰和 Mg 肥水平对玉米 Mg 含量的影响

Fig. 2 Effect of irrigation, lime and Mg fertilizer levels on Mg content of maize

2.3 灌水、石灰和镁肥水平对土壤交换性镁含量的影响

在盆栽试验中，灌水、石灰和Mg肥水平对植后土壤交换性Mg含量的影响显著 ($p < 0.01$ 或 0.05)。除Ca₁处理外，灌水降低植后土壤交换性Mg含量，施用石灰一般降低植后土壤交换性Mg含量，而施用Mg肥明显提高植后土壤交换性Mg含量（图 4A）。与Mg₀处理相比，Mg₁处理和Mg₂处理交换性Mg含量分别增加24.0%和55.8%。

在室内模拟试验中，石灰水平和Mg肥水平对交换性Mg含量的影响显著 ($p < 0.01$ 或 0.05)。灌水量增加会使土壤交换性Mg含量有所减少，施用石灰明显降低交换性Mg含量，与Ca₀处理相比，Ca₁处理和Ca₂处理

交换性Mg含量平均分别降低9.9%和10.7%（图 4B）。而施用Mg肥明显提高交换性Mg含量，与Mg₀处理相比，Mg₁处理和Mg₂处理交换性Mg含量分别增加28.0%和51.4%。此外，与原始土壤相比，培养后不施Mg肥和石灰处理的土壤交换性Mg含量会增加7.4%，说明土壤交换性Mg低时，非交换性Mg有所释放。

2.4 灌水、石灰和镁肥水平对镁有效性的影响

在盆栽试验中，除Ca₁Mg₁处理灌水使Mg肥表观有效率下降明显外，其他处理灌水对Mg肥表观有效率降低不明显（图 5A）。不同石灰水平对Mg肥表观有效率的影响有所不同，与Ca₀处理相比，Ca₁处理Mg肥表观有效率减少25.1%，而Ca₂处理Mg肥表观有效率则

增加 8.0%。施用Mg肥后Mg肥表观有效率略有提高。
除Ca₂Mg₁处理灌水对玉米Mg肥利用率下

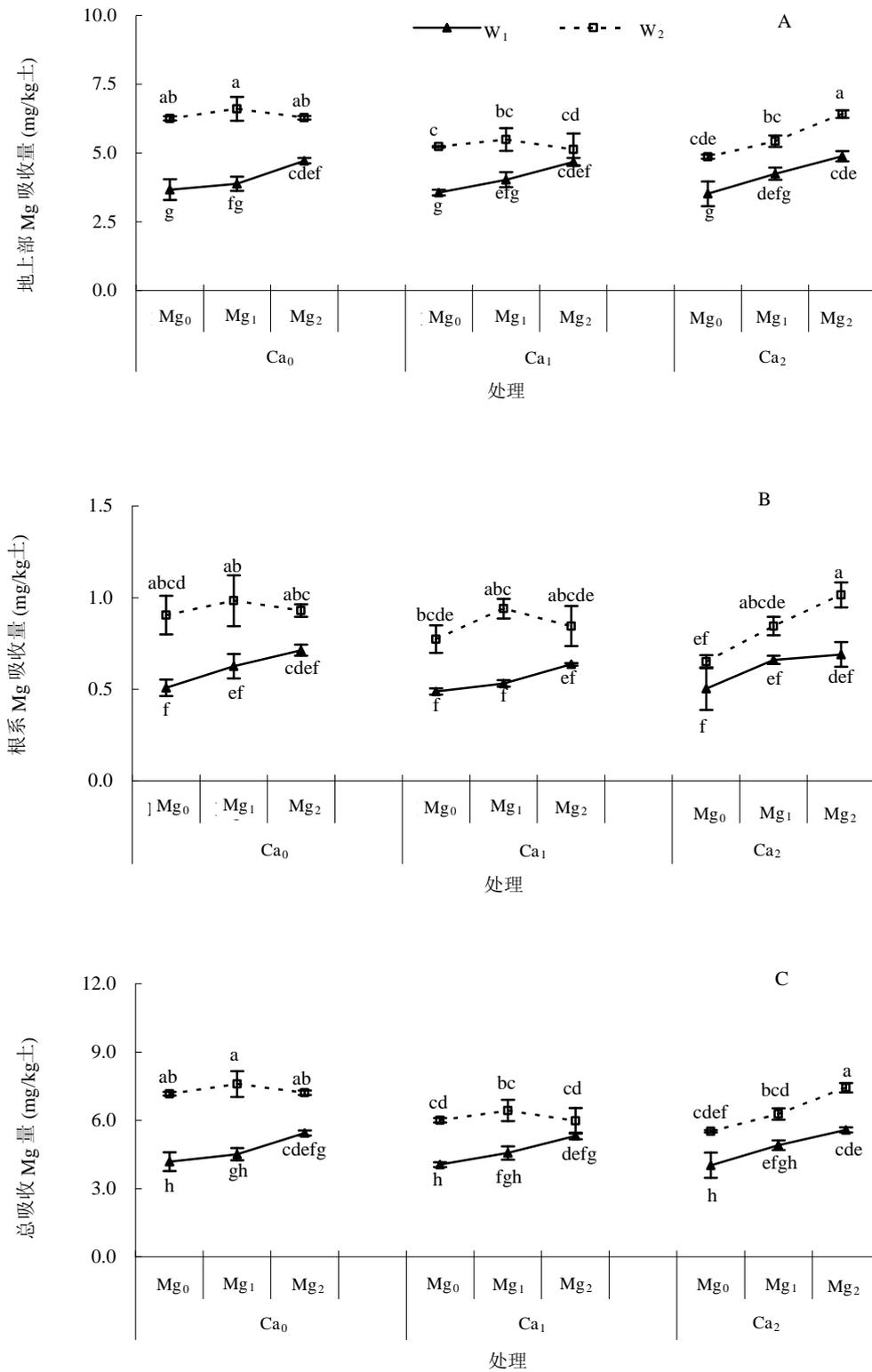


图 3 灌水、石灰和 Mg 肥水平对玉米吸收 Mg 量的影响

Fig. 3 Effects of irrigation, lime and Mg fertilizer levels on Mg uptake of maize

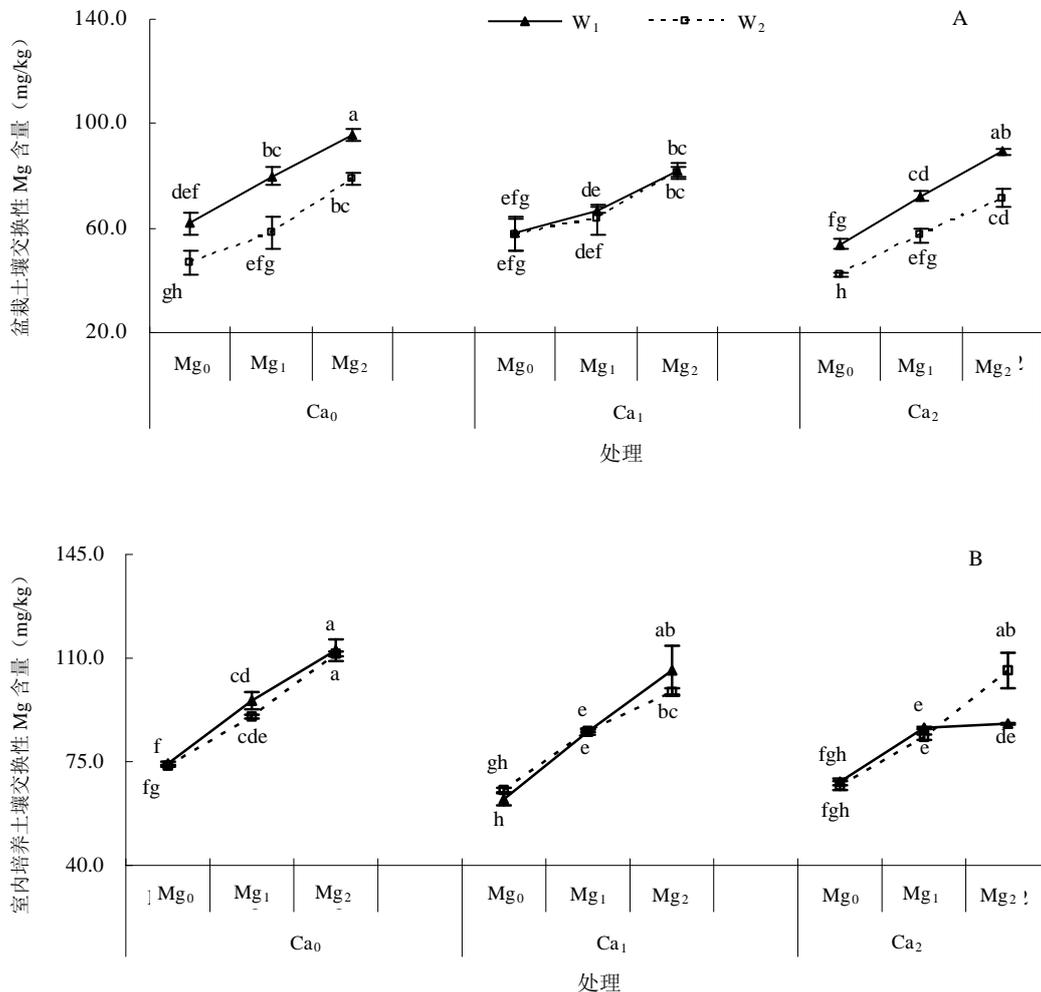


图 4 灌水、石灰和 Mg 肥水平对土壤交换性 Mg 含量的影响

Fig. 4 Effects of irrigation, lime and Mg fertilizer levels on exchangeable Mg content in soil

降明显外，其他处理灌水对 Mg 肥利用率下降不明显（图 5B）。施用石灰玉米对 Mg 肥利用率有所增加，施用 Mg 肥玉米对 Mg 利用率有所降低。

在室内模拟试验中，灌水和施用Mg肥对Mg肥表观固定率的影响不明显，施用石灰明显增加Mg肥表观固定率（ $p < 0.01$ ），与Ca₀处理相比，Ca₁和Ca₂处理Mg肥表观固定率分别增加 26.8% ~ 42.1% 和 17.0% ~ 19.7%（图 5C）。

3 讨论与小结

本研究结果表明，灌水能提高玉米干物质积累和Mg的吸收，但降低植后土壤交换性Mg含量。有人发现，一般含水量较高的植烟土壤有利于烟草对Mg的吸

收^[14]，这与本研究结果相同。除Ca₁处理外，植后土壤交换性Mg含量降低主要是灌水促进玉米对Mg的吸收的结果，也可能部分Mg肥被土壤固定，还有可能是土壤采集和Mg肥施用时间与土壤没有充分混匀引起的误差。有研究表明，干湿交替可以增强土壤对Mg的固定^[10]。但灌水导致Mg肥表观有效率和Mg利用率有所下降，有关这方面的研究报导不多，因此原因不清楚，有待进一步研究。

本研究表明，施用石灰在一定程度上降低玉米对Mg的吸收和植后土壤交换性Mg含量，增加土壤对Mg的固定，且不同石灰水平对Mg肥表观有效率的影响有所不同。据研究，施用石灰后，土壤Mg的有效性就明显降低^[10]，当土壤pH为 5.5 时，土壤中Mg开始被固定；

接近中性时,土壤交换性Mg减少 36%~93%^[15]。老成土施石灰后, pH上升到 6.0 以上时, 加入的Mg转变成非交换态Mg^[16]。当土壤pH>6.5 以后, 土壤 Mg 开

始转变成非交换态, 至pH 9.5 时, 62%

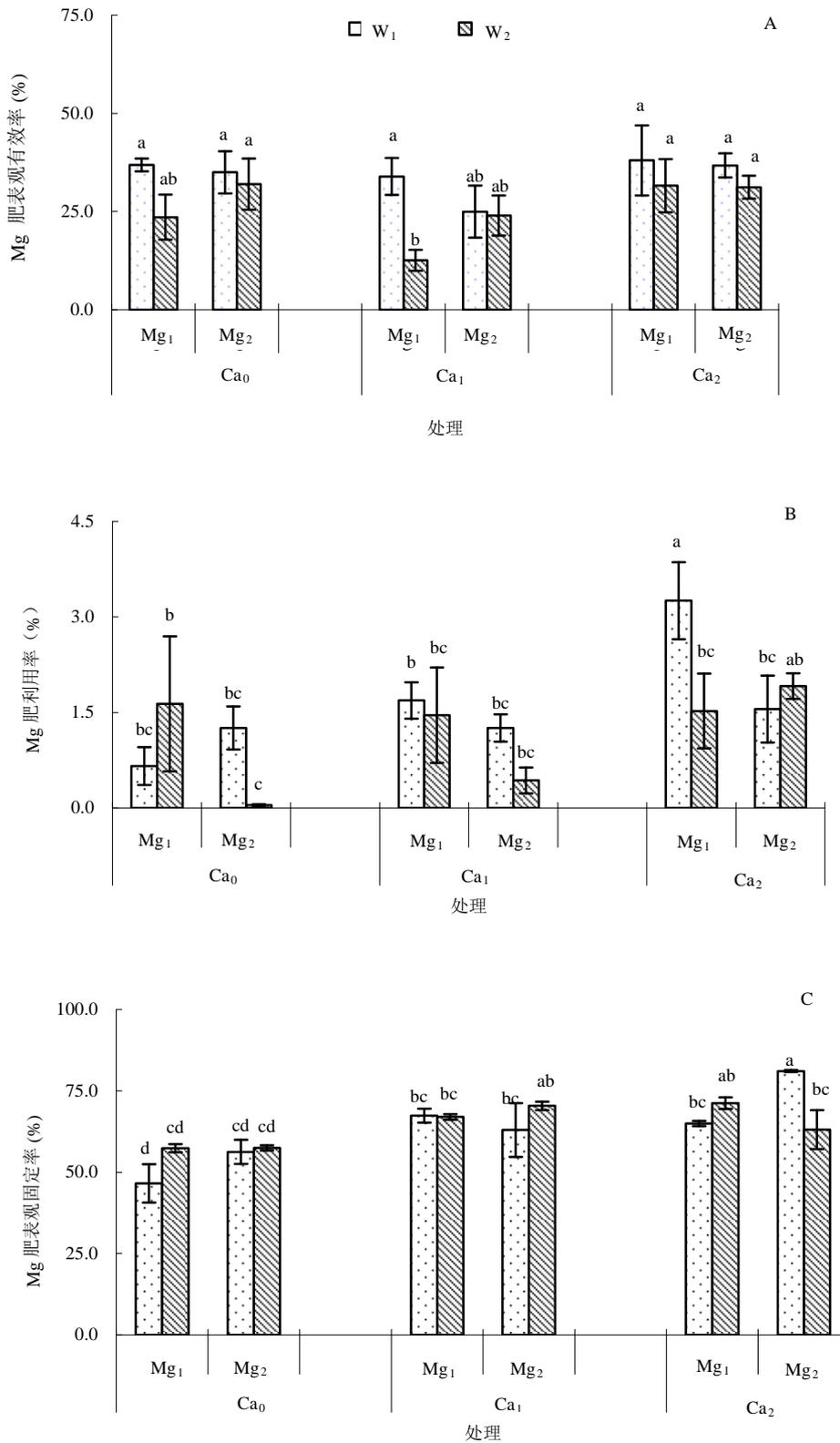


图 5 灌水、石灰和 Mg 肥水平对 Mg 有效性的影响

Fig. 5 Effects of irrigation, lime and Mg fertilizer levels on Mg availability

的交换态Mg (pH 4.0 时) 转化为非交换态^[17]。土壤pH中性时, 交换性Mg显著降低^[18]。土壤pH上升后, Mg素被固定可能是由于新形成的无定形羟基聚合物的表面负电荷增加, 因而对Mg吸附增强所致^[17]。Sumner等^[15]认为, 系Mg与水溶性硅反应形成硅酸镁沉淀或与氢氧化物共沉淀所致。Chan等^[17]提出, 镁(MgOH⁺)被Stern层专性吸附后变成非交换态。此外, 施用石灰后, 土壤有效Ca增加, 这也会抑制植物对Mg的吸收。本研究施用石灰对玉米干物质积累的影响不明显, 这可能是因为土壤pH较高以及交换性Ca较高的缘故。

本研究指出, 施用Mg肥能在一定程度上增加玉米干物质积累和Mg的吸收, 明显增加土壤交换性Mg含量, 这与李伏生^[9]研究结果相似, 施用Mg肥后, 玉米含Mg量和吸Mg量均增加。

因此, 玉米对Mg的吸收利用不仅受到土壤Mg供应水平的制约, 而且也受到灌水、施用石灰等因素的影响。

参考文献:

- [1] Mayland HF, Wilkinson SR. Soil factor affecting magnesium availability in plant-animal systems: A review. *J. Anim. Sci.*, 1989, 67: 3437-3444
- [2] 谢建昌, 陈际型, 朱月珍, 黄顺忠, 马茂桐, 时正元. 红壤区几种主要土壤的镁素供应状况及镁肥肥效的初步研究. *土壤学报*, 1963, 11(3): 294-305
- [3] Hossner LR, Doll EC. Magnesium fertilization of potatoes as related to liming and potassium. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 1970, 34: 772-774
- [4] 黄鸿翔, 陈福兴, 徐明岗, 秦道珠, 高菊生, 朱永兴. 红壤地区土壤镁素状况及镁肥施用技术的研究. *土壤肥料*, 2000(5): 19-24
- [5] Mokuwney AU, Melsted SW. Magnesium forms in selected temperature and tropical soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 1972, 36(5): 762-764
- [6] Rice HB, Kamprath EJ. Availability of exchangeable and nonexchangeable Mg in sandy coastal plain soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 1968, 32: 386-388
- [7] 李伏生. 红壤地区镁肥对作物的效应. *土壤与环境*, 2000, 9(1): 53-55
- [8] 胡承孝, 吴平. 鄂南棕红壤旱地施用石灰和硫酸镁对油菜的效应. *华中农业大学学报*, 1997, 16(6): 571-575
- [9] 李伏生. 广西主要母质土壤交换性镁含量和影响玉米对镁吸收的因素. *广西农业科学*, 1997(3): 128-131
- [10] 李伏生. 南方几种土壤镁素释放和固定的初步研究. *土壤通报*, 1991, 22(3): 115-118
- [11] 李伏生. 土壤镁素和镁肥施用的研究. *土壤进展*, 1994, 22(4): 21-22
- [12] 鲍士旦. *土壤农化分析*. 3版. 中国农业出版社, 2000: 152-282
- [13] 袁可能. *植物营养的土壤化学*. 北京: 科学出版社, 1983
- [14] 谢锦辉. 土壤水分张力及容重对烟叶中镁素积累的影响 // 胡思农主编. *硫、镁和微量元素在作物营养平衡中的作用国际学术讨论会论文集*. 成都: 成都科技大学出版社, 1993: 183-186
- [15] Sumner ME, Farina PMW, Hurst VJ. Magnesium fixation—A possible cause of negative yield responses to lime applications. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 1978, 9: 995-1007
- [16] Juo ASR, Uzo FO. Liming and nutrient interactions in two ultisol in southern Nigeria. *Plant Soil*, 1977, 47: 419-430
- [17] Chan KY, Davey BG, Geering HR. Adsorption of magnesium and calcium by a soil with variable charge. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 1979, 43: 301-304
- [18] Grove JH, Sumner ME. Lime induced magnesium stress in corn: Impact of magnesium and phosphorous availability. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 1985, 49(5): 1192-1196

Effect of Irrigation, Lime and Mg Fertilizer Levels on Dry Mass Accumulation and Mg Utilization of Maize

LEI Wen-jie, LI Fu-sheng, LU Wen-juan

(Agricultural College, Guangxi University, Nanning 530005, China)

Abstract: Effects of two irrigation levels, three lime levels and three Mg fertilizer levels on dry mass accumulation and Mg utilization of maize were investigated. Results showed that irrigation enhanced dry mass accumulation and Mg uptake of maize. Lime did not affect the dry mass accumulation significantly, but reduced Mg uptake and increased soil Mg fixation. The effect of lime on Mg apparent recovery fraction varied with

the lime level. Applied Mg fertilizer increased the dry mass accumulation of maize to some extent and enhanced Mg uptake and soil exchangeable Mg content significantly. Thus Mg uptake and utilization of maize could be affected not only by soil Mg level, but also by irrigation and lime etc.

Key words: Irrigation, Lime, Mg fertilizer, Mg availability, Dry mass accumulation