

# 滴灌条件下施镁的生物有效性及其移动分布

梁艳 (广东省梅州市梅江区长沙镇农业服务中心, 广东梅州 514000)

**摘要** [目的]以番茄为供试植物,探讨在赤红壤中滴灌施肥条件下镁对作物生长的影响以及滴施镁肥后镁在土壤中水平方向和垂直方向上的移动规律。[方法]以硫酸镁为镁源,通过滴灌系统施入,设3个不同用量处理,在不同的生长期测定。[结果]随着施镁量(0~6 g/盆)的增加,与CK相比,施用镁肥能增加植株的干重和果实的鲜重,而滴施镁肥各处理的番茄株高增加33.69%~37.19%,其中D6-4处理(施镁量4 g/盆)植株干重增加28.55%,达到0.05水平显著差异。在整个生长期滴施镁肥各处理的相对叶绿素和植株叶片含镁量都能保持在较高的水平。在生长中后期,随着滴施镁肥量的增加,滴施镁肥各处理的植株叶片含镁量增加31.0%~101.6%,与CK相比达到0.05显著水平。土柱模拟滴施硫酸镁试验结果表明,滴施3个浓度水平的硫酸镁后,土层交换性镁含量在水平方向上都呈先递减后递增的趋势,在10~15 cm土层镁含量达到最低,其后在15 cm以下的土层中镁含量逐渐升高;而在垂直方向上都呈先急剧减少然后缓慢增加的趋势,其中在0~5、5~10 cm土层中交换性镁含量的下降幅度较大,在10 cm以下土层中交换性镁含量变化趋于平缓。[结论]与不施镁肥处理相比,施用镁肥能促进番茄的生长。滴施不同浓度的镁肥,土层交换性镁含量在水平方向上呈先递减后递增的趋势,在垂直方向上呈先急剧减少然后缓慢增加的趋势。

**关键词** 滴灌;镁肥;分布;番茄

**中图分类号** S275.6 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2014)16-05066-05

## Effects of Magnesium Fertilizer and its Distribution under Drip Irrigation

LIANG Yan (Town of Changsha Agricultural Service Center, Meizhou, Guangdong 514000)

**Abstract** [Objective] The research aimed to study the influence of magnesium on growth of tomato under drip fertigation and the horizontal and vertical distribution of exchangeable magnesium in lateritic soil after the drip fertilization were studied. [Method] With magnesium sulfate as a source of magnesium, through a drip irrigation system, setting up three different dosage treatments, the required data in different growth periods was determined. [Result] Compared with CK, with the increase of the amount of magnesium application (from 0 to 6 g/pot), plant height and dry weight increased by 33.69% - 37.19% and 28.55%, and leaf magnesium content increased by 31.0% - 101.6% after middle growth stage, but didn't exist significant differences in all magnesium treatments. In addition, relative leaf chlorophyll and leaf Mg content could hold at a high level in the growth period. The higher dry weight treatment was D6-4 (4 g/pot). An indoor simulating experiment conducted with repacked soil columns under drip fertigation showed that, after fertilizing magnesium sulfate, the content of exchangeable magnesium first decreased and then increased at horizontal direction, among which the lowest exchangeable magnesium content was at the layer of 10 - 15 cm, and after the layer of 15 cm gradually increased. In upright direction, such change trend of exchangeable magnesium was firstly distinctly declined, and then slowly increased, which sharply slowed down from 0 - 5 cm to 5 - 10 cm layers, and slightly changed after 10 cm near dripper. [Conclusion] Compared with no fertilizer and magnesium fertilizer, magnesium fertilizer could promote the growth of tomato. After drips fertigation of different concentrations of magnesium fertilizer, the trend of soil layer in the exchangeable magnesium content in horizontal direction was decreasing after increasing, and had a sharp drop in vertical direction and then slowly increase trend.

**Key words** Drip irrigation; Magnesium fertilizer; Distribution; Tomato

镁元素在植物体内含量为0.05%~0.70%,在光合作用中发挥重要作用。植物中镁的营养来源主要是土壤,其供应的丰缺与土壤中有效镁含量最为密切,但与成土母质、土壤中酸度、离子组成和阳离子交换量有关<sup>[1]</sup>。

由于我国南方地区地处热带、亚热带,高温多雨,土壤中镁素淋失严重。除少数土壤外,该地区的砖红壤、赤红壤和红壤丘陵旱地上的土壤有效镁含量低,土壤供镁能力弱<sup>[2]</sup>。随着氮、磷、钾肥用量的增加,土壤镁素自身不平衡将日益严重,镁已成为提高作物产量与品质的限制因素<sup>[3]</sup>。国外学者 Winsor 等<sup>[4]</sup>田间试验表明,  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  叶面喷施比土壤施用能更有效地控制番茄失绿症状的发生,并且提议施镁比减少钾肥用量更能预防缺镁症状的发生。我国对土壤镁素的研究比较晚。赵冰等<sup>[5]</sup>研究表明,施用镁肥可明显提高番茄生长后期的叶绿素含量、株高及挂果数量,而且果实产量和生物量的增产效果明显。

滴灌施肥技术是利用滴灌设施将作物需要的养分、水分最低限度地供给,使其限定在作物根域25 cm左右,能随意地

控制水分、肥料,满足作物生长的需要<sup>[6]</sup>。我国是一个水资源严重短缺的国家和肥料消耗大国,农业用水的有效利用率只有30%~40%,氮肥利用率仅为30%~50%,因此发展灌溉施肥技术对于提高农业生产力的潜力具有举足轻重的作用。近年来,滴灌施肥技术在国外得到大力推广<sup>[7]</sup>,国内对滴灌施肥技术的也有大面积的推广应用,如在棉花、西瓜、玉米、番茄、橙、香蕉、荔枝、黄皮等大田作物上有相当规模的应用。

据报道,淋溶和排水是土壤镁损失的主要途径,其损失量达3.0~39.0 kg/hm<sup>2</sup>,多雨地区和砂质土壤镁的淋溶损失更严重,淋失量高达90 kg/hm<sup>2</sup><sup>[8]</sup>。刘安勋等<sup>[9]</sup>研究表明,水溶性的硫镁肥( $MgSO_4 \cdot H_2O$ )较镁石粉( $MgCO_3$ )、轻烧氧化镁(MgO)和硼泥等镁肥易在土壤中淋溶损失,不宜在多雨地区施用。李延等<sup>[10-11]</sup>研究也表明,由于 $Mg^{2+}$ 的淋失量易随降雨量的提高而增加,成为红壤镁素贫乏的重要原因之一。所以,了解施镁后镁在土壤中的分布显得特别重要。

通过滴灌系统施用镁肥,补充作物生长所需的镁营养,更好地解决了南方山地果园中普遍缺镁的问题。笔者以需镁敏感的番茄为供试作物,研究滴灌施肥条件下镁对作物生长的影响,为镁肥在滴灌系统中的应用及提高镁的有效性提供一定的理论依据。同时,将从滴施硫酸镁后镁在土壤中水

平方向和垂直方向上移动,探讨滴灌施肥条件下镁元素在土壤中迁移规律,为今后滴灌系统合理施用镁肥提供一定的理论依据。

## 1 材料与与方法

### 1.1 滴灌条件下施镁的生物有效性研究

**1.1.1 供试土壤。**供试土壤为赤红壤,取自华南农业大学植物营养系校内实习基地。土壤理化性质为 pH 6.25,交换性 Mg 18.11 mg/kg,碱解氮 72.54 mg/kg,速效钾 113.19 mg/kg,有效磷 11.04 mg/kg。土壤经风干碾碎后,过 3 mm 土筛,封存待用。土壤 pH 测定采用电位法(水土比为 2.5:1.0);交换性钙、镁测定采用乙酸铵交换-原子吸收分光光度法;有效磷测定采用盐酸-氟化铵法;速效钾测定采用乙酸铵浸提-火焰光度法;碱解氮测定采用碱解扩散法。

**1.1.2 供试作物。**供试番茄品种为华南农大夏钻石。

**1.1.3 供试容器。**黑色定植袋规格为上口径 30 cm,下口径 28 cm,高 23 cm,每盆装土 10 kg。

**1.1.4 滴灌系统组成。**滴灌系统设置图见图 1。滴灌系统由 100 L 塑料桶,Φ32 mm PVC 管、自吸泵、压力表、过滤器、各种规格的 PVC 给水配件接头以及流量为 2.3 L/h 的外镶式压力补偿式滴头连接而成。每个定植袋装 1 个滴头进行灌水。施肥时使用滴瓶,将硫酸镁分别配成溶液,以滴灌形式滴入各定植袋中。

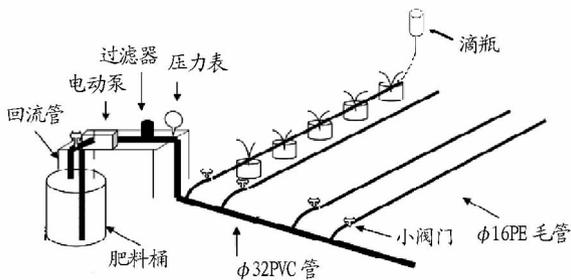


图 1 滴灌施肥系统示意

**1.1.5 试验场所。**华南农业大学植物营养系温室。

**1.1.6 试验设计。**以硫酸镁作为镁源,设置 3 个不同用量处理,每个处理设 3 次重复。试验中,将硫酸镁( $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ )配成溶液,通过滴灌系统施入(表 1)。在定植后第 10、20、30、40、50 和 60 天,滴施镁肥处理。施肥时使用滴瓶,将肥料配成溶液以滴灌形式滴入各处理。

表 1 不同施镁方式对番茄生长的影响

处理	施用镁肥方式	镁肥施用量	
		$MgSO_4 \cdot 7H_2O$ // g/盆	镁肥滴灌频率
CK	-	0	-
D6-2	滴施	2	6
D6-4	滴施	4	6
D6-6	滴施	6	6

注:各处理氮磷钾施用量一致,即 N 0.15 g/kg,  $P_2O_5$  0.10 g/kg,  $K_2O$  0.15 g/kg。

**1.1.7 试验实施。**在 2008 年 4 月 9 日播种。5 月 14 日选取生长一致的番茄幼苗,移栽到黑色定植袋中,每袋 1 株。在番茄移苗后 90 d 收获。各处理氮磷钾用量一致,按每盆 N

1.50 g、 $P_2O_5$  1.00 g、 $K_2O$  1.50 g 的施肥量<sup>[12]</sup>,施用尿素 3.40 g、过磷酸钙 8.30 g 和氯化钾 2.50 g。具体氮磷钾养分分配见表 2。每盆施用泥炭 200 g,作为疏松改土物质。供试肥料为尿素(农用级),含 N 质量分数 46.0%;过磷酸钙(农用级),含  $P_2O_5$  质量分数 12.0%;氯化钾(农用级),含  $K_2O$  质量分数 60.0%;施硫酸镁( $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ,化学纯),含  $MgO$  质量分数 16.4%。

表 2 番茄所需的氮磷钾养分分配施用方案

施用时期	施肥方式	尿素	过磷酸钙	氯化钾
		g/株	g/株	g/株
移栽至开花	基施	1.0	8.3	1.0
开花至结果期(定植后 30 d)	追施	0.8	-	0.5
收获期(定植后 50 d)	追施	0.8	-	0.5
收获期(定植后 70 d)	追施	0.8	-	0.5

**1.1.8 测定项目。**分别于定植后第 60、70 天,从每盆取番茄上位叶(从上面数 6~7 叶)和下位叶(从下面数 3~4 叶),采用 SPAD 透射型活体叶绿素仪(日本)测定相对叶绿素含量;收获时,摘取全部果实,称果实鲜重,测定果实中镁含量。

在番茄生长期间,分 3 次(分别为定植后 30、60 和 80 d),在每株挂果部位邻近的第二簇和第三簇处的叶片,分析叶片中镁含量。收获时,将番茄植株沿土壤表面剪断,将地上部和地下部烘干,称重,测定植株各部分镁含量。采用乙酸铵交换-原子吸收分光光度法,测定收获后土壤的交换性镁含量。

### 1.2 滴灌条件下镁的移动和分布研究

**1.2.1 供试土壤。**供试土壤是赤红壤,取自华南农业大学植物营养系校内实习基地。土壤经风干碾碎后,过 2 mm 土筛,封存待用。

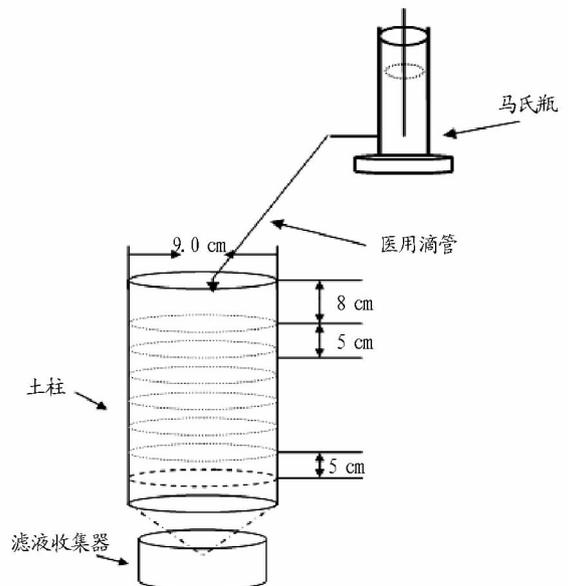


图 2 土柱试验装置

**1.2.2 试验装置。**试验装置见图 2。试验选择 8 段外径 90.0 mm、内径 84.4 mm 的 PVC 排水管作为土柱,最上层一

段高 8.0 cm(最上层装土 5.0 cm),下面 7 段各为 5.0 cm, PVC 管柱总长 43.0 cm。每 2 节管中间连接处用胶带缠绕,以防止土壤溶液外漏。装土时按  $1.3 \text{ g/cm}^3$  容重,从下往上逐层装土。每个土柱装风干土 2.9 kg。用尼龙网封底口,在尼龙网上垫滤纸。柱下端用放一滤纸的尼龙网布扎紧,底端用一塑料布围上成漏斗状,承接渗液于容器中<sup>[13]</sup>。

**1.2.3 试验设计。**参照华南农业大学果菜营养液配方,分别设置 12、24 和 36 mg/L 3 个镁肥浓度水平(表 3),研究滴施硫酸镁对土壤垂直方向和水平方向上交换性镁分布的影响,共 6 个处理。每个处理设 3 次重复。

表 3 滴施硫酸镁对垂直方向和水平方向上交换性镁分布的影响 mg/L

距滴头方向	镁浓度	镁肥用量
垂直方向	12	122
	24	243
	36	365
水平方向	12	122
	24	243
	36	365

**1.2.4 试验实施。**滴灌施肥通过与马氏瓶连接的胶管上用滴头往土柱中心滴施肥液,滴灌所需肥液量为 0.9 L。在试验过程中,始终保持土壤表面无积水。当土柱底部开始渗水时停止滴灌(约 7 h),平衡 5 h 后开始取样。土柱取样以 5.0 cm 土柱为一层,共 8 层,拆开各层之间的胶带后,分层取出,风干后过 2 mm 筛待测。

**1.2.5 测定项目。**测定每层土壤中交换性镁含量。

**1.3 数据处理** 使用 Excel 2003、SAS 8.1 软件对所有试验数据处理、做图。

## 2 结果与分析

### 2.1 滴施镁肥对番茄生长的影响

**2.1.1 株高。**从图 3 可以看出,各处理都表现出株高随着生育期的延长而增加。5 月 24 日~6 月 23 日阶段为前期快速生长期。与 CK 相比,到 6 月 23 日滴施镁肥各处理株高都平均提高 15.75 cm,增幅达 20.83%。到 7 月 14 日番茄株高增长缓慢,与 CK 相比,滴施镁肥各处理平均提高株高 25.00 cm,达到 0.05 显著差异水平。在 8 月 14 日,番茄生长渐趋稳定,与 CK 相比,滴施镁肥的各处理平均提高 30.00 cm。

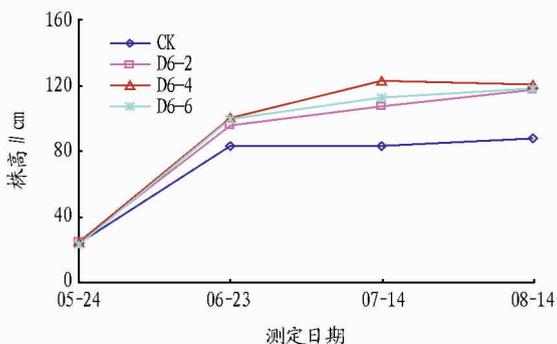


图 3 施镁对番茄不同时期株高的影响

**2.1.2 相对叶绿素含量。**从表 4 可以看出,在 7 月 4 日,

与 CK 相比,施用镁肥各处理的上位叶和下位叶的相对叶绿素含量分别提高 27.44%~31.03% 和 16.26%~35.57%。滴施镁肥的各处理都能将上位叶相对叶绿素含量维持在 49.70 以上,与 CK 相比达到 0.05 显著差异水平,而下位叶处理与 CK 差异不显著。到 7 月 14 日,与 CK 相比,滴施镁肥的 3 个处理的上位叶相对叶绿素含量平均提高了 9.70 以上,差异在 0.05 水平显著,而下位叶的相对叶绿素含量提高了 15.61%~31.38%,但只有 D6-4 处理达到 0.05 水平显著差异。

表 4 施镁肥对番茄叶片相对叶绿素含量(SPAD 值)的影响 %

处理	07-04		07-14	
	上位叶	下位叶	上位叶	下位叶
CK	38.03 ± 5.48 b	37.10 ± 5.76 a	43.05 ± 1.41 b	41.00 ± 5.21 b
D6-2	49.33 ± 1.44 a	43.13 ± 0.03 a	52.27 ± 2.65 a	47.40 ± 1.63 ab
D6-4	49.77 ± 0.82 a	46.50 ± 0.93 a	53.63 ± 0.90 a	53.87 ± 0.54 a
D6-6	49.83 ± 2.05 a	45.17 ± 0.72 a	53.10 ± 1.10 a	48.17 ± 0.34 ab

注:表中数据为 3 个重复的平均值 ± 标准误。同列相同字母表示无显著差异(DMRT,  $P=0.05$ )。

**2.1.3 叶片含镁量。**叶片镁含量是反映植株中叶片镁含量水平的重要指标之一。从表 5 可以看出,随着生育期的变化,滴施镁肥的 D6-4、D6-6 2 个处理叶片中的镁含量呈现随着生育期的延长而持续增加的趋势,而 CK 和 D6-2 2 个处理叶片中的镁含量则呈现随着生长期的延长先下降后增长的趋势。在整个生育期,滴施镁肥条件下 3 个处理都将番茄植株的镁含量维持在较高水平。在 8 月 14 日, D6-4 和 D6-6 2 个处理达到最大值,与 CK 处理间差异在 0.05 水平显著,而 D6-2 与 CK 处理差异不显著。

表 5 施镁肥对番茄叶片镁含量变化的影响 g/kg

处理	06-19	08-04	08-14
CK	4.05 ± 0.52 b	3.13 ± 0.56 c	3.68 ± 0.32 c
D6-2	5.81 ± 0.77 ab	4.10 ± 0.69 ab	5.10 ± 0.49 bc
D6-4	4.48 ± 0.16 ab	5.16 ± 0.12 a	5.65 ± 0.15 b
D6-6	4.99 ± 0.04 ab	5.71 ± 0.14 a	7.42 ± 0.23 a

注:表中数据为 3 个重复的平均值 ± 标准误。同列相同字母表示无显著差异(DMRT,  $P=0.05$ )。

**2.1.4 植株含镁量。**从表 6 可以看出,施加镁肥都能提高植株地上部和地下部镁含量,而对植株果实镁含量的影响较小。随着施镁量的增加,植株地上部和地下部镁含量呈现出升高的趋势。滴施镁肥的 3 个处理地上部和地下部含镁量分别比 CK 提高 1.57 和 0.82 mg/g,达到 0.05 显著差异水平,其中植株地上部镁含量和地下部镁含量都以 D6-6 处理最高,分别比 CK 提高了 50.68% 和 50.87%。

**2.1.5 果实鲜重。**施镁肥对番茄果实鲜重的影响,其中以 D6-4 处理的果实鲜重最大,达到 113.11 g/株,CK、D6-2、D6-6 果实鲜重分别为 103.63、110.85、108.05 g/株,各处理之间差异不显著。

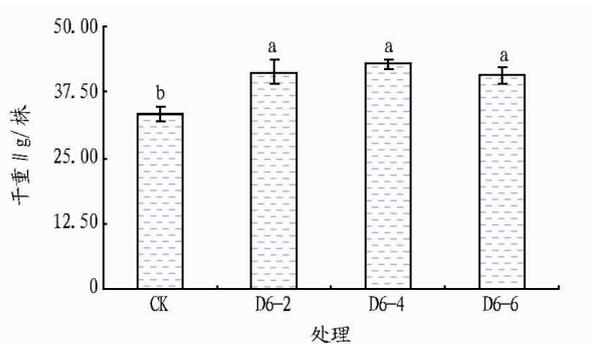
**2.1.6 植株干重。**从图 4 可以看出,施镁肥都能提高番茄植株的干重,其中滴施镁肥的 3 个处理以 D6-4 处理对植株干重的影响最大,比 CK 高 28.55%。滴施镁肥的 3 个处理与

CK 差异在 0.05 水平显著,但各处理间差异不显著。

表 6 施镁肥对番茄植株含镁量的影响 mg/g

处理	地上部	地下部	果实
CK	3.77 ± 0.15 c	2.01 ± 0.09 b	2.13 ± 0.13 a
D6-2	4.91 ± 0.20 b	2.76 ± 0.12 a	1.94 ± 0.25 a
D6-4	5.42 ± 0.17 a	2.70 ± 0.08 a	2.01 ± 0.01 a
D6-6	5.67 ± 0.17 a	3.04 ± 0.23 a	2.05 ± 0.11 a

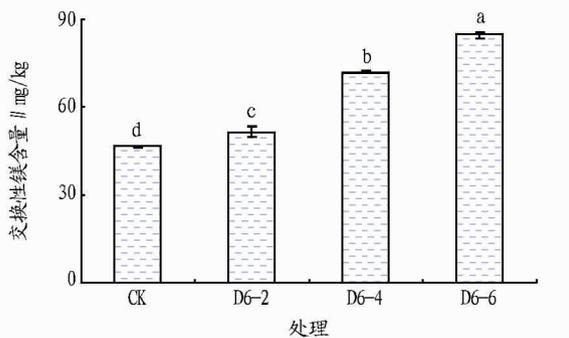
注:表中数据为 3 个重复的平均值 ± 标准误。同列相同字母表示无显著差异(DMRT,  $P=0.05$ )。



注:植株干重包括植株地上部干重、地下部干重和果实干重;图中数据为 3 个重复的平均值 ± 标准误,同列相同字母表示无显著差异(DMRT,  $P=0.05$ )。

图 4 施镁肥对植株干重的影响

2.1.7 土壤中交换性镁含量。从图 5 可以看出,施镁肥都能提高番茄收获后土壤中交换性镁含量。随着施镁量的增加,土壤中交换性镁含量呈升高的趋势。滴施镁肥的 3 个处理与 CK 间差异在 0.05 水平显著,且滴施镁肥的 3 个处理间差异也较显著,D6-4 处理交换性镁含量比 D6-2 处理高 20.37 mg/kg,而 D6-6 处理交换性镁含量比 D6-4 处理高 12.72 mg/kg。



注:图中数据为 3 个重复的平均值 ± 标准误,具有相同字母的数据间无显著差异(DMRT,  $P=0.05$ )。

图 5 施镁肥对番茄收获后土壤交换性镁含量的影响

## 2.2 滴灌条件下镁的移动和分布

2.2.1 滴施不同浓度的硫酸镁对交换性 Mg 在水平方向上分布的影响。从图 6 可以看出,当滴施 12 mg/L 硫酸镁时,在水平方向上交换性镁含量呈现先缓慢下降再逐渐上升的趋势,从 0~5 cm 到 10~15 cm 土层时交换性镁含量下降了 15.79 mg/kg,再到 35~40 cm 土层时交换性镁含量增加了 36.13 mg/kg,0~5 cm 土层与 5~10、10~15、15~20、35~40 cm 土层的交换性镁含量达到 0.05 水平显著差异。

在滴施 24 mg/L 硫酸镁的条件下,土层交换性镁在水平方向上呈先急剧下降到缓慢上升再急剧上升的趋势。在 0~5 cm 到 5~10 cm 土层交换性镁含量下降了 33.79 mg/kg,10~35 cm 土层交换性镁含量缓慢上升。到 35~40 cm 土层时,交换性镁含量急剧上升,比 30~35 cm 土层提高了 45.34%,与 5~10、10~15、15~20、20~25、25~30、30~35 cm 土层相比达 0.05 显著水平,但与 0~5 cm 土层差异不显著。

在滴施 36 mg/L 硫酸镁的条件下,土层交换性镁含量呈先递减再增加的趋势,从 0~5 cm 到 15~20 cm 土层交换性镁含量下降了 61.33%,15~20 cm 土层交换性镁含量逐渐上升,到 35~40 cm 土层时上升了 41.83 mg/kg,其中 5~10、10~15、15~20、20~25、25~35 cm 土层与 0~5、35~40 cm 土层间差异在 0.05 水平显著。

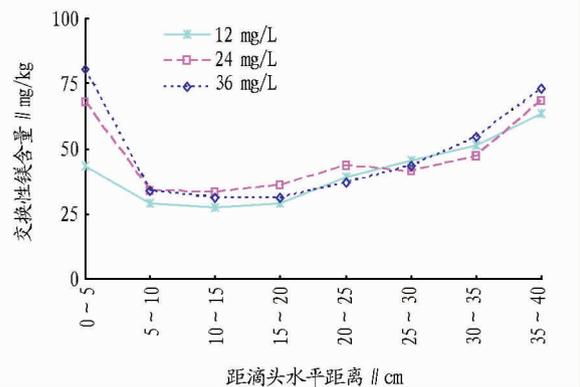


图 6 滴施不同浓度的硫酸镁对交换性镁在水平方向上分布的影响

2.2.2 滴施不同浓度的硫酸镁对交换性 Mg 在垂直方向上分布的影响。从图 7 可以看出,当滴施 12 mg/L 硫酸镁时,在垂直方向上交换性镁含量呈先急剧下降再缓慢上升的趋势,从 0~5 cm 到 5~10 cm 土层交换性镁含量急剧下降了 24.70 mg/kg,以后的土层交换性镁含量缓慢上升,与 0~5 cm 土层相比,其他土层的交换性镁含量达到 0.05 水平显著差异。

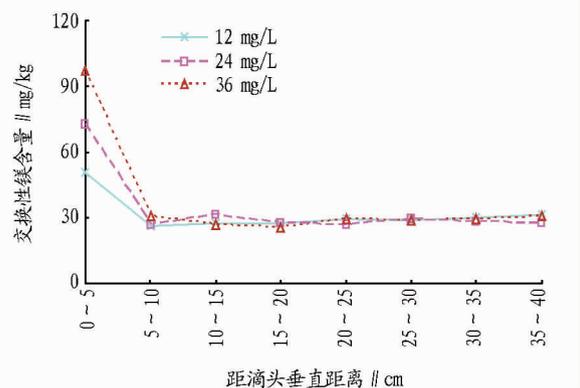


图 7 滴施不同浓度的硫酸镁对交换性镁在垂直方向上分布的影响

在滴施 24 mg/L 硫酸镁的条件下,土层交换性镁含量呈先急剧下降再缓慢上升的趋势,从 0~5 cm 到 5~10 cm 土层交换性镁含量下降了 45.49 mg/kg,差异达到 0.05 显著水平,而其他各土层的交换性镁含量虽有升有降,但差异不

显著。

在滴施 36 mg/L 硫酸镁的条件下,土层交换性镁含量呈先递减再缓慢增加的趋势,从 0~5 cm 到 5~10 cm 土层交换性镁含量急剧下降,下降了 66.13 mg/kg,与 0~5 cm 土层相比,其他土层差异在 0.05 水平显著。

### 3 结论与讨论

近年来,由于长期偏重施用氮、磷、钾等肥料,含镁和有机肥的施用量逐年下降,同时随着农作物品种的改良,复种指数和作物单位面积产量的不断提高,每年有大量的镁和钾从土壤中提取而得不到相应的补充,使得土壤镁、钾养分消耗不断扩大,最终导致土壤养分供应的失去平衡<sup>[14]</sup>。研究表明,施用镁肥对于植株生长有明显的促进效应。在滴灌条件下,随着施镁量(0~6 g/盆)的增加,各处理株高有递增的趋势,可见不同的镁肥施用量对提高株高有明显的影响。相对于 CK,滴施镁肥处理的番茄株高增加 33.69%~37.19%,施用镁肥后植株的干重和果实的鲜重都有增加的趋势,其中以施用 D6-4 处理为最优,表现为植株干重最重与 CK 间差异达到 0.05 显著水平。此外,在整个生长期的滴施镁肥各处理的相对叶绿素和植株叶片含镁量都能维持在较高水平。这与赵冰等<sup>[5]</sup> 研究结果相符。

华南地区的红壤镁素主要损失途径以淋溶为主。有土柱淋溶模拟试验表明,赤红壤中  $Mg^{2+}$  淋失率( $Mg^{2+}$  淋失量占淋洗前土柱交换性镁总量的比例)为 24.63%,与  $K^+$  相当(26.84%,CK 计算值)<sup>[10]</sup>。但是,关于滴灌条件下施用镁肥的淋溶情况没有报道。研究表明,在距滴头水平方向上,随着镁浓度的增加,滴施镁肥处理的交换性镁含量呈先递减后递增的趋势,在 10~15 cm 土层达到最低,最后逐渐升高;而

在距滴头垂直方向上,随着土层深度的增加,土壤中交换性镁含量呈先急剧减少后缓慢增加的趋势,在 0~5、5~10 cm 土层中交换性镁含量下降幅度较大,到 10 cm 以下土层时交换性镁含量变化趋于平缓。

### 参考文献

- [1] 中国农业科学院土壤肥料研究所. 中国肥料[M]. 上海:上海科学技术出版社,1994:332-342.
- [2] 李伏生. 南方地区土壤镁素状况和镁肥效应[J]. 广西农学报,1992(2):21-30.
- [3] 白由路,金继运,杨俐萍. 我国土壤有效镁含量及分布状况与含镁肥料的应用前景研究[J]. 土壤肥料,2004(2):2-5.
- [4] WINSOR G W, MESSING J H L, LONG M I E. The effects of magnesium deficiency on the yield and quality of glasshouse tomato growth at two levels of potassium[J]. Journal of Horticulture Science, 1965, 40:118-132.
- [5] 赵冰,毛小云,廖宗文. 几种镁肥对番茄肥效的比较研究[J]. 土壤通报,2006,37(4):830-832.
- [6] 张承林,郭彦彪. 灌溉施肥技术[M]. 北京:化学工业出版社,2006:95.
- [7] BAR-YOSEF B. Advances in fertigation[J]. Advances in Agronomy, 1999, 65:1-77.
- [8] 谢建昌,杜承林,李伏生,等. 中国南方地区土壤镁素状况与需镁前景[M]. 成都:成都科技大学出版社,1993:126-134.
- [9] 刘安勋,廖宗文. 镁肥在土壤中的淋溶特性研究[J]. 现代农业科技, 2007(24):100-101.
- [10] 李延,刘星辉,庄卫民. 山地龙眼园土壤镁素淋失特点模拟[J]. 山地学报,2000,18(3):248-252.
- [11] 陈星峰. 福建烟区土壤镁素营养与镁肥施用效应的研究[D]. 福州:福建农林大学,2005.
- [12] 朱芳,方炜,杨中艺. 番茄吸收和积累 Cd 能力的品种间差异[J]. 生态学报,2006,26(12):4071-4081.
- [13] 刘晶晶,刘春生,李同杰,等. 钙在土壤中的淋溶迁移特征研究[J]. 水土保持学报,2005,19(4):53-57.
- [14] 杨利华,郭丽敏,傅万鑫. 玉米施镁对氮、磷、钾肥料利用率及产量的影响[J]. 中国生态农业学报,2003,11(1):78-80.
- [1] SCHNITZER M. Soil organic matter-the next 75 years[J]. Soil Science, 1991, 151:41-58.
- [2] JOHNSON D W, CURTIS P S. Effects of forest management on soil C and N storage: meta analysis[J]. Forest Ecology and Management, 2001, 140: 227-238.
- [3] CHAPMAN S J, CAMPBELL C D, PURI G. Native woodland expansion: soil chemical and microbiological indicators of change[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2003, 35:753-764.
- [4] LUGO A E, BROWN S. Management of tropical soils as sinks or sources of atmospheric carbon[J]. Plant and Soil, 1993, 149:27-41.
- [5] TURNER J, LAMBERT M. Change in organic carbon in forest plantation soils in eastern Australia[J]. Forest Ecology and Management, 2000, 133: 231-247.
- [6] GUO L B, GIFFORD R M. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis[J]. Global Change Biology, 2002, 8:345-360.
- [7] POST W M, KWON K C. soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential[J]. Global Change Biology, 2000, 6:317-327.
- [8] PAUL K I, POLGLASE P J, KHANNA P K. Change in soil carbon following afforestation[J]. Forest Ecology and Management, 2002, 168:241-257.
- [9] POWERS J S. Changes in soil carbon and nitrogen after contrasting land-use transitions in northeastern costa Rica[J]. Ecosystems, 2004, 7:134-146.
- [10] FRANZLUEBBERS A J. Soil organic carbon sequestration and agricultural greenhouse gas emissions in the southeastern USA[J]. Soil & Tillage Research, 2005, 83:120-147.
- [11] FELLER C, BEARE M H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropic[J]. Geoderma, 1997, 79:69-116.
- [12] LEPSCH I F, MENK J R F, OLIVEIRA J B. Carbon storage and other properties of soils under agriculture and natural vegetation in Sao Paulo State, Brazil[J]. Soil Use and Management, 1994, 10:34-42.
- [13] 吴建国, 张小全, 徐得应. 土地利用变化对土壤有机碳贮量的影响[J]. 应用生态学报, 2004, 15(4):593-599.
- [14] JOBBAGY E G, JACKSON R B. The vertical distribution soil organic carbon and its relation to climate and vegetation[J]. Ecological Applications, 2000, 10:423-436.

(上接第 5059 页)

表层有机碳的蓄积。但是,对于整个剖面特别是深层土壤,有机碳含量和密度的增加需要一个过程,只有当表层土壤的碳含量或密度达到饱和后才能逐渐提高土壤深层碳含量。

### 参考文献