

叶面喷施镁肥对缺镁番茄养分吸收和分配的影响

王辉民¹, 靳小勇¹, 刘颖超¹, 陈竹君^{1,2}, 曹京阳³, 周建斌^{1,2}

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100;

2. 西北农林科技大学农业部西北植物营养与农业环境重点实验室, 陕西 杨凌 712100;

3. 杨陵区农业技术推广中心, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 针对近年来北方日光温室中栽培番茄缺镁普遍发生和日益严重的问题, 研究了叶面喷施 MgSO_4 、 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 及不同施用量对秋冬茬缺镁番茄 K、Ca、Mg 吸收和分配的影响, 以期为番茄缺镁的矫正提供科学依据。结果表明: (1) 随番茄生育进程各处理番茄叶片 Mg 和 K 含量呈下降趋势, Ca 含量先下降后基本稳定, 其中, Mg 和 Ca 以第 1 穗果膨大期到第 2 穗果膨大期下降幅度最大, 降幅分别为 17.8% 和 39.1%。 (2) 喷施 Mg 肥显著提高叶片中 Mg 的浓度及携出量, 喷施含镁 0.4% 的 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 溶液叶片镁含量及携出量较对照分别提高了 1.55 和 1.78 倍, 而对根、茎和果实中 Mg 的浓度及携出量无明显影响; 从产量上看, 喷施含镁 0.2% 和 0.4% $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 及 0.2% $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 溶液与不喷施相比产量分别提高了 8.0%、8.9% 和 5.3%, 但差异不显著。 (3) 土壤交换性 K/Mg 均大于适宜值, K、Mg 养分比例严重失调, 而石灰性土壤养分失调后叶面补施 Mg 肥, Mg 从叶片向其他部位的转运有限, 必须降低钾肥施用量, 使养分平衡供应。

关键词: 番茄; 镁肥; 叶面施肥; 养分分配; 日光温室

中图分类号: S641.2; S143.7+2 文献标志码: A

Influence of foliar spraying magnesium on uptake and distribution of nutrients in magnesium deficient tomatoe grown under greenhouse

WANG Hui-min¹, JIN Xiao-yong¹, LIU Ying-chao¹, CHEN Zhu-jun^{1,2}, CAO Jing-yang³, ZHOU Jian-bin^{1,2}

(1. College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Key Laboratory of Plant Nutrition and Agri-Environment in Northwest China, Ministry of Agriculture, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

3. Yangling Agricultural Technology Extension Station, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Magnesium is an essential nutrient and a constituent of chlorophyll. The deficiency of Mg is common in tomato grown in calcareous soil under solar greenhouse in North China in recent years. It largely affects the fruit yield and quality. Five treatments comprising of different concentration and magnesium fertilizer sources were applied to autumn-winter season tomato by foliage spray. The results showed that: (1) the contents of magnesium and potassium in tomato leaves decreased with time while the calcium content decreased in first and then became stable. The decreasing trend of magnesium and calcium were highest during the period from the first cluster fruit expanding stage to the second cluster fruit expanding stage, the decrease was 17.8% and 39.1%, respectively. (2) Spraying magnesium fertilizer increased the magnesium concentration and nutrient uptake in tomato leaves, but there was no significant difference among the treatments in magnesium concentration and nutrient uptake in roots, stem and fruits ($P > 0.05$). Mg applied at 0.4% ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) improved magnesium concentration (1.55 times) and nutrient uptake (1.78 times) in tomato leaves compared with the CK. The improvement in tomato yield at both Mg concentrations (0.2 and 0.4%) of $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

收稿日期: 2016-04-27 修回日期: 2017-03-09

基金项目: 陕西省农业攻关项目(2014K01-14-03); 国家“十二五”科技支撑计划项目课题(2012BAD15B04); 大学生创新创业训练计划项目; 中英农业生产中养分资源可持续利用合作项目资助

作者简介: 王辉民(1989—, 男, 甘肃白银人, 硕士研究生, 研究方向为设施栽培养分调控技术。E-mail: 592125134@qq.com。

通信作者: 陈竹君, E-mail: zjchen@nwsuaf.edu.cn。

and 0.2% of $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ was 8.0, 8.9 and 5.3% respectively compared with that of CK. However, the difference was not significant among treatments ($P > 0.05$). (3) The soil exchangeable K/Mg ratio exceeded 0.5, which indicated a serious nutrient imbalance in soil. Even under magnesium spray, the transportation of magnesium from leaves to other organs of tomato was limited. Therefore, some measures should be taken to reduce potassium fertilizer rate and maintain the nutrients balanced in soil.

Keywords: tomato; magnesium fertilizer; foliar fertilization; nutrient distribution; greenhouse

日光温室栽培是农业种植业中高产出和高效益产业之一^[1-2]。陕西省设施蔬菜栽培面积已逾10.8万 hm^2 ,已占到全省蔬菜总产出量的50%以上,成为农民增收的主要途径之一。然而,通过田间调查发现,日光温室栽培土壤上频繁出现典型的番茄缺镁症状。陕西杨凌示范区大寨乡和五泉镇万亩设施栽培基地温室秋冬茬(秋延茬)番茄70%出现典型缺镁症状,这与人们过去认为的石灰性土壤含镁丰富不易出现缺镁问题,缺镁主要发生在南方酸性土壤的观点不同。番茄一旦缺镁,后期补施镁肥叶片失绿症状也很难恢复,缺镁已严重影响了番茄的产量和品质^[3]。因此石灰性土壤如何合理补充镁肥以及制定有效的养分平衡管理调控措施,是我省日光温室栽培番茄生产中亟待解决的科学问题。叶面施肥打破了土壤施肥的传统方式,作为土壤施肥的一种直接、高效的辅助措施,已成为现代农业生产中一项见效快、用量少、效率高的施肥技术^[4]。以往对于叶面喷施镁肥的研究多见于南方缺镁板栗、烤烟、椪柑等经济作物^[5-7],关于日光温室栽培下叶面喷施镁肥以改善番茄缺镁症状、提高温室番茄产量的研究尚不多见。针对上述问题,以秋冬茬番茄为对象,在杨凌高新农业技术产业示范区日光温室栽培基地,研究不同叶面喷施镁肥措施对番茄产量、干物质量、K、Ca、Mg吸收和分配的影响,旨在为日光温室番茄缺镁症状的预防及矫正提供科学依据和技术参考。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验地位于陕西省杨凌农业高新技术产业示范区大寨镇设施栽培基地。海拔520 m,年均气温

13℃,年均降水量620 mm(主要集中在7—9月),年均蒸发量1 400 mm,属半湿润易旱区;土壤类型为土垫旱耕人为土。田间试验于2014年8月—2014年12月在DD175号日光温室进行,该温室长57 m,宽7 m。种植作物为秋延茬番茄,品种为“铁观音”,定植时间为2014年8月10日,完全收获时间为2014年12月10日。番茄种植时基肥仅施用拉多美复合肥30 kg(N:P₂O₅:K₂O为20:10:8),折合N、P₂O₅、K₂O用量分别为150、75、60 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;追肥施用尿素(N含量为46.7%)和圣诞树复合肥(N:P₂O₅:K₂O为16:8:34),折合N、P₂O₅、K₂O用量分别为285、120、330 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,分3次追施,各小区基肥和追肥量相同。种植期间地面全覆盖聚乙烯薄膜,灌溉和追肥采用滴灌及文丘里施肥器的水肥一体化系统,每次灌水定额用水表控制,土壤水分在75%~100%田间持水量范围内。本季种植前土壤基本理化性质见表1。

1.2 试验设计

试验设叶面喷施 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 2种镁肥和0.2%、0.4% 2个镁浓度梯度,以及不施镁肥(喷水)对照,共5个处理,分别用SMg1、SMg2、NMg1、NMg2及CK表示。各处理重复3次,共15个小区,采用完全随机区组排列,小区面积为3 m×7 m。每小区栽植4行,每行20株,采用宽窄行栽培,行距分别为90 cm和60 cm,株距为33 cm,每小区共计80株。试验方案见表2。

1.3 样品采集及测定

番茄第1、2、3穗果膨大期和第1穗果成熟期各喷施镁肥5 d后,采各小区番茄完全展开的新生叶片样品,成熟期时选择同穗成熟果采集果实样品;番

表 1 供试土壤基本性质(0~20 cm)
Table 1 Chemical properties of soil used

土层 Soil layer /cm	有机质 Organic matter /(g·kg ⁻¹)	矿质态氮 Mineral nitrogen /(mg·kg ⁻¹)	有效磷 Available P /(mg·kg ⁻¹)	速效钾 Available K /(mg·kg ⁻¹)	交换性钾 Exchangeable K ⁺ /(cmol·kg ⁻¹)	交换性钙 Exchangeable Ca ²⁺ /(cmol·kg ⁻¹)	交换性镁 Exchangeable Mg ²⁺ /(cmol·kg ⁻¹)
0~20	22.10	90.06	190.00	302.70	3.74	20.33	3.10

表 2 田间试验方案
Table 2 Design of the field experiment

处理 Treatment	肥料种类 Fertilizer types	Mg 浓度/% Mg concentration	施肥时期 Spraying stage
CK	水 Water	0	分别在开花期及第 1、2、3 穗果膨大期和第 1 穗果成熟期叶面喷施镁肥,每次间隔 10 天,共喷施 5 次。 Foliage spraying magnesium fertilizer at flowering stage, the 1st, 2nd, 3rd fruit expanding stages and the 1st fruit mature stage respectively. Interval of 10 days. Five times in total.
SMg1	MgSO ₄ ·7H ₂ O	0.2	
SMg2		0.4	
NMg1	Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	0.2	
NMg2		0.4	

茄完全收获时每小区采集 4 株具有代表性植株样品,分为根、茎、叶三部分;同时采集 0~20 cm 土壤样品。植物样品采集后立即带回实验室,流水快速冲洗后,105℃杀青 30 min,然后 75℃下烘干,粉碎保存。此外,番茄开始成熟后分小区连续计产,获得小区产量。

植物样品干灰化后,火焰光度计测定全钾,原子吸收分光光度计测定全钙、镁含量。土壤交换性 K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺ 采用 1 mol·L⁻¹ pH 8.2 的醋酸钠反复交换至胶体上无 Ca²⁺ 离子,交换溶液定容后分别用火焰光度计测定 K⁺,原子吸收分光光度法测定 Ca²⁺、Mg²⁺^[8]。由于石灰性土壤交换性阳离子主要为 K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺,分别以 K⁺/(Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺)、Ca²⁺/(Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺)和 Mg²⁺/(Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺)厘摩尔百分比代表交换性 K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺ 离子饱和度(分别用 CPSK⁺、CPSCa²⁺ 和 CPSMg²⁺表示)。

1.4 数据处理

用 Excel 2007 制表做图,SAS V8 进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同生育期不同处理番茄叶片养分含量

2.1.1 叶片镁含量 由图 1 可以看出,随番茄生育进程番茄叶片镁含量呈下降趋势,第 1 穗果膨大期到第 1 穗果成熟期 SMg1、SMg2、NMg1、NMg2 及 CK 的降幅分别为 35.1%、21.8%、11.1%、22.1% 和 17.4%。第 1 穗果膨大期到第 2 穗果膨大期番茄叶片镁含量明显下降,其中 CK 下降幅度最大,降幅为 33.4%。有研究表明,随番茄生长根对镁的吸收能力下降^[9],也有研究者发现^[10],番茄根、茎、叶中镁的含量随生育期进程而降低,而果实中镁含量明显增加,叶片吸收的镁向果实发生了转运。因此,番茄

镁缺乏多发生在果实开始膨大之后,且结果量越大缺镁越严重,这与本研究结果基本一致。

方差分析表明,喷施不同镁肥及浓度处理各生育期番茄叶片中镁含量均显著高于未喷施镁处理(图 1),但用浓度不同镁肥处理间叶片中镁含量差异不显著,喷施 0.4% 浓度镁肥叶片镁含量最高。说明喷施镁肥对提高番茄叶片镁含量有显著效果。

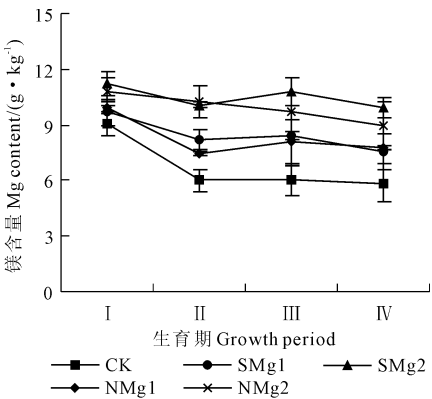


图 1 不同生育期番茄叶片镁含量

Fig.1 Mg content in tomato leaves under different growth stages
注: I :第 1 穗果膨大期; II :第 2 穗果膨大期; III :第 3 穗果膨大期; IV :第 1 穗果成熟期,下同。

Notes: I :The first cluster fruit expanding stage; II :The second cluster fruit expanding stage; III :The third cluster fruit expanding stage; IV :The first cluster fruit ripening stage, the same below .

2.1.2 叶片钙、钾含量 图 2 显示,随生育进程各处理番茄叶片中全钙含量均表现出先大幅下降后基本稳定的趋势,其中第 1 穗果膨大期到第 2 穗果膨大期番茄叶片钙含量明显下降,降幅 39.1%,但不同喷镁处理对叶片钙含量没有显著影响。番茄叶片中全钾随生育进程均呈直线下降趋势,降幅为 38.9%。不同镁肥处理叶片钾含量没有显著差异。说明叶面喷施镁肥对番茄叶片中钙、钾的含量没有显著影响。

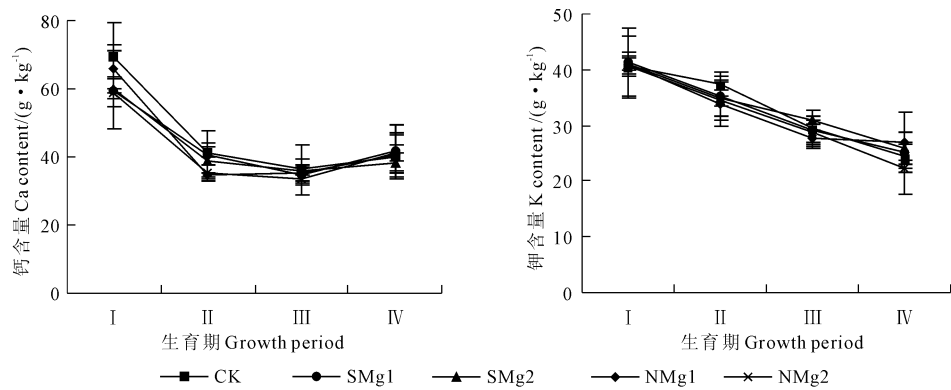


图 2 不同生育期番茄叶片钙、钾含量

Fig.2 Ca and K contents in tomato leaves under different growth stages

2.2 叶面施镁对番茄干物质、养分吸收及产量的影响

2.2.1 番茄干物质和养分吸收量 表 3 可以看出,不同处理番茄根、叶和总的干物质存在差异,茎和果实干物质质量无显著差异,其中,SMg1 处理根干重显著高于对照,较对照提高了 1.3 倍,叶片干重显著高于 NMg2,干物质总量则显著高于对照和 NMg2 处理,其它处理间差异不显著。NMg2 处理叶片干重和干物质总量降低可能与叶面喷施 NO₃⁻ 浓度偏高、造成叶面毒害有关,试验中也观察到叶面灼伤现象。不同处理番茄各部位养分含量显示,喷施 Mg 肥仅提高了叶片中 Mg 的含量,其中 SMg2 处理叶片镁含量较对照提高 1.55 倍,而根、茎和果实中 Mg 的含量并无差异,说明石灰性土壤养分失调引起的缺 Mg 症在叶面喷施 Mg 肥后 Mg 从叶片向其它部位的转运是有限的。不同 Mg 肥对叶片 Ca 含量有影响,硝酸镁有助于叶片 Ca 含量提高。不同处理番茄养分携出量差异主要在叶片携出量上,总生物量也有差异,叶面喷施 Mg 肥显著提高了番茄叶片 Mg 及总 Mg 携出量,其中以 SMg2 处理总镁携出量最高,较 CK 提高了 1.5 倍。

2.2.2 喷施镁肥对番茄产量的影响 不同 Mg 肥及浓度喷施对番茄产量影响表明(图 3),除 NMg2 处理因叶面灼伤减产外,SMg1、SMg2 和 NMg1 处理的番茄产量与 CK 相比均有所提高,产量分别提高了 8.0%、8.9% 和 5.3%,但差异不显著。有研究认为镁主要影响番茄的后期产量^[11],而本试验由于 9 月份连续阴天降雨,农户仅保留了三穗果实,这可能在一定程度上影响了 Mg 肥后效及增产效果评估。

2.3 土壤交换性阳离子含量及比例

如前所述,石灰性土壤上温室栽培番茄缺镁症不是因为土壤镁素绝对量的缺乏,而是土壤阳离子

比例失调引起的相对缺乏,因此在番茄收获后分析了土壤交换性阳离子含量和比例(表 4)。结果表明,土壤交换性镁含量均高于土壤缺镁临界值(0.5 cmol·kg⁻¹),交换性镁离子饱和度亦大于 10%,说明土壤中有有效镁并不缺乏。有研究认为,当 K/Mg > 0.5 时^[12-13],钾会明显抑制镁的吸收,供试土壤中 K/Mg 比例均大于 1,番茄出现典型缺镁症状,因此,土壤 K/Mg 比例的严重失调影响番茄镁吸收转运及其在不同组织中的分配,也影响叶面喷施镁肥的效果。

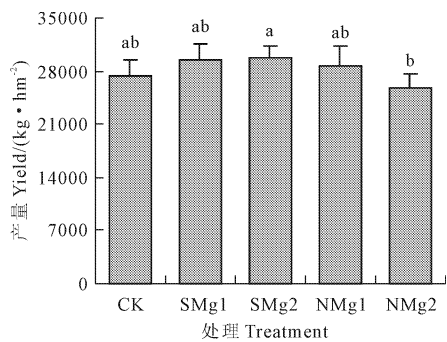


图 3 不同处理番茄产量

Fig.3 Tomato yield of different treatment

注:柱状图上不同字母代表差异显著(P < 0.05)。

Note: Different letters indicate significant difference (P < 0.05).

3 讨论

植物对 Mg²⁺ 的吸收不仅取决于土壤中有有效镁的含量,还受其它因素影响,其中阳离子比例失调产生的拮抗作用是影响土壤镁素生物有效性的重要因素。主要表现为 K⁺、Ca²⁺ 对 Mg²⁺ 吸收的拮抗作用^[14-16],其中以 K⁺ 对 Mg²⁺ 拮抗最为突出。本研究供试温室土壤交换性阳离子分析结果表明:K/Mg 比例严重失调,番茄出现典型缺镁症,缺镁破坏了作物韧皮部从叶片向根尖和茎尖转移光合产物的输导组织,造成叶片中有机物的积累,从而影响了光合产

表 3 不同处理番茄干物质与养分吸收量

Table 3 The dry matter contents and nutrient uptake among different organs in tomato

器官 Organs of plant	处理 Treatment	干物质质量 Dry matter /(kg·hm ⁻²)	养分含量/(g·kg ⁻¹) Nutrient concentration			养分携出量/(kg·hm ⁻²) Nutrient uptake		
			K	Ca	Mg	K	Ca	Mg
根 Root	CK	71.85b	26.22a	31.48a	3.72a	1.89b	2.26a	0.27a
	SMg1	93.45a	27.96a	29.10a	3.57a	2.61a	2.77a	0.33a
	SMg2	78.55ab	29.13a	25.23a	3.39a	2.30ab	1.99a	0.27a
	NMg1	87.74ab	27.30a	26.75a	3.32a	2.40ab	2.35a	0.29a
	NMg2	81.31ab	25.72a	27.78a	3.65a	2.08ab	2.28a	0.30a
茎 Stem	CK	368.12a	32.82ab	32.03a	7.41a	12.10a	11.76b	2.75a
	SMg1	416.47a	32.65ab	35.17a	7.10a	13.59a	14.64a	2.96a
	SMg2	405.17a	33.47a	35.01a	7.53a	13.59a	14.14a	3.03a
	NMg1	410.12a	32.73ab	34.89a	7.13a	13.41a	14.26a	2.92a
	NMg2	379.4a	29.26b	37.70a	7.17a	11.16a	14.26a	2.71a
叶 Leaf	CK	992.31ab	27.03a	68.88ab	10.21c	26.77b	67.75a	10.08c
	SMg1	1239.68a	26.85a	59.58b	13.07b	33.31a	73.81a	16.20ab
	SMg2	1136.41ab	26.07a	63.49ab	15.87a	29.59ab	71.86a	17.94a
	NMg1	1056.55ab	27.79a	69.08a	14.12ab	29.23ab	72.89a	14.94b
	NMg2	972.19b	25.95a	67.59ab	14.02ab	24.89b	65.29a	13.50b
果实 Fruit	CK	1398.32a	39.29a	3.95a	1.62a	54.81ab	5.52a	2.25a
	SMg1	1481.01a	38.10a	3.86a	1.64a	56.40ab	5.70a	2.43a
	SMg2	1506.74a	39.41a	4.09a	1.79a	59.27a	6.16a	2.69a
	NMg1	1379.14a	38.76a	3.97a	1.72a	53.31ab	5.44a	2.38a
	NMg2	1338.96a	39.29a	3.76a	1.78a	52.57b	5.04a	2.38a
总量 Total	CK	2830.59bc	—	—	—	95.57ab	87.29a	15.34c
	SMg1	3230.61a	—	—	—	105.91a	96.92a	21.92ab
	SMg2	3126.88ab	—	—	—	104.75a	94.15a	23.93a
	NMg1	2933.55abc	—	—	—	98.35ab	94.94a	20.53b
	NMg2	2771.85c	—	—	—	90.70b	86.87a	18.89b

注:同列数据后不同小写字母代表不同处理差异达显著水平($P>0.05$)。

Note: Data with different lowercase letters in the same column means significantly different($P>0.05$).

表 4 收获后土壤交换性阳离子含量及比例(0~20 cm)

Table 4 Concentration and ratio of exchangeable cations in soil after tomato harvesting (0~20 cm)

处理 Treatment	交换性阳离子/(cmol·kg ⁻¹) Concentration of exchangeable cations			CPSCa ²⁺ /%	CPSMg ²⁺ /%	CPSK ⁺ /%	交换性阳离子比例/(cmol·cmol ⁻¹) Ratio of exchangeable cations		
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺				Ca/Mg	Ca/K	K/Mg
CK	17.99	3.34	3.99	71.04	13.19	15.77	5.39	4.51	1.20
SMg1	20.17	3.46	4.47	71.78	12.32	15.90	5.83	4.51	1.29
SMg2	18.51	3.26	4.10	71.54	12.61	15.86	5.67	4.51	1.26
NMg1	19.70	3.65	4.32	71.18	13.20	15.62	5.39	4.56	1.18
NMg2	19.11	3.29	3.88	72.71	12.51	14.78	5.81	4.92	1.18

物向根系的运输^[17-19]。也有研究发现,缺镁会加深根和茎中输导组织的木质化程度^[20],引起根吸收能力减弱,进一步影响对其它养分元素的吸收。本研究结果也表明,番茄在第2穗果膨大期开始出现缺镁症状,叶片中钾、钙的含量也呈降低趋势。养分

失调产生的阳离子竞争作用引起镁的间接缺乏,进而引起植物生理代谢失调是一个复杂的过程,缺乏症的矫正也较为困难。Morton^[21]和 Trolove^[22]在新西兰的研究发现,由于土壤中 K 和 Ca 含量过高,养分失调诱导柑橘和葡萄缺镁,土壤追施和叶片喷施

镁肥都很难使叶片镁含量得到提高,两种施肥方法效果甚微,最后通过树干注射镁肥才有效缓解了缺镁症状。本研究中,叶面喷施镁肥虽然提高了叶片 Mg 含量,但根和茎中 Mg 的含量并未提高,对叶片缺镁症的改善效果也不明显。Karley 和 White^[23] 研究指出,叶片中的镁有 3/4 是以与蛋白质结合的形式存在,1/5 参与构成叶绿素,其余的存在于液泡中。由于阳离子失调产生的拮抗作用影响镁的吸收及转运,虽然本试验叶面喷施镁肥后叶片中镁含量有所提高,但可能主要提高了叶片中蛋白质结合形态及液泡中的镁含量,而参与构成叶绿素的镁含量提高甚微,有关这方面的机理研究尚需进一步深入。

目前,温室高集约栽培氮、磷肥过量施用引起人们的关注,但钾肥过量施用造成的阳离子平衡失调,进而影响作物对其它养分吸收及产量的降低并未引起足够重视,特别是钾、钙、镁丰富的北方石灰性土壤地区。最近几年市场上大多商品冲施肥为高钾型肥料,使温室栽培番茄等作物钾肥的过量施用有严重化趋势。2015 年杨凌 58 座温室土壤速效钾含量测定结果显示,平均含量高达 $734.9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,最高达 $1\,423.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。因此,由于钾肥过量施用引起的土壤胶体上阳离子比例失调,进而影响其它养分离子吸收、转运等所造成的作物生理紊乱现象值得关注和重视。

4 结 论

(1) 秋冬茬番茄随生育进程叶片 Mg 含量呈下降趋势,Ca 含量先大幅下降后基本稳定。Mg 和 Ca 均以第 1 穗果膨大期到第 2 穗果膨大期下降幅度最大,补施镁肥需要在第 1 穗果膨大期之前进行。喷施 Mg 肥对番茄不同生育期叶片 Ca 和 K 的含量没有显著影响。

(2) 喷施 Mg 肥显著提高了叶片中 Mg 的浓度、叶片 Mg 携出量及植株总 Mg 携出量,对根、茎和果实中 Mg 浓度无明显影响。从产量上看,喷施含 Mg 0.2% 和 0.4% $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 及 0.2% $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 溶液与不施镁相比番茄产量分别提高了 8.0%、8.9% 和 5.3%,但差异未达显著水平。

(3) 石灰性土壤钾、镁养分比例失调后叶面喷施 Mg 肥,Mg 从叶片向其它部位的转运有限,必须降低钾肥施用量,控制养分比例协调供应。土壤交换性阳离子失调对番茄 Mg 吸收转运的影响尚需进一步研究。

参 考 文 献:

- [1] 喻景权.“十一五”我国设施蔬菜生产和科技进展及其展望[J].中国蔬菜,2011,(2):11-23.
- [2] 李天来.我国日光温室产业发展现状与前景[J].沈阳农业大学学报,2005,36(2):131-138.
- [3] 朱少云.大棚番茄缺镁症的成因及防治[J].上海蔬菜,2008,(5):85.
- [4] 李燕婷,李秀英,肖 燕,等.叶面肥的营养机理及应用研究进展[J].中国农业科学,2009,42(1):162-172.
- [5] 黄亚丽,王庆江,郭云龙,等.喷施 5 种叶面肥对板栗产量和品质的影响[J].经济林研究,2013,31(3):143-145.
- [6] 鲁 耀,郑 波,段容颜,等.钙/镁比调控对烟叶产量、化学品质及镁吸收的影响[J].西北农业学报,2010,19(11):69-74.
- [7] 黄毓娟,黄春应,肖起通,等.不同镁肥对桉柑缺镁的矫治作用[J].中国南方果树,2011,40(5):40-42.
- [8] 鲍士旦.土壤农化分析(第三版)[M].北京:中国农业出版社,2007.
- [9] 汪 洪,褚天铎.植物镁素营养的研究进展[J].植物学通报,1999,16(3):245-250.
- [10] 杨竹青,黄灵胜,叶宏平.大棚番茄养分吸收及其分布规律的研究[J].华中农业大学学报,1993,12(2):160-165.
- [11] Hao X M, Athanasios P P. Effects of calcium and magnesium on plant growth, biomass partitioning, and fruit yield of winter greenhouse tomato[J]. Hort Science, 2004,39(3):512-515.
- [12] 袁可能.植物营养元素的土壤化学[M].北京:科学出版社,1983:275-293.
- [13] 陆景陵.植物营养学(上册)[M].北京:北京农业大学出版社,1994:189-190.
- [14] Mengel K, Kirkby E A, Kosegarten H A, et al. Principles of Plant Nutrition[M]. Berlin: Springer Netherlands, 2001:541-552.
- [15] Römheld V, Kirkby E A. Magnesium functions in crop nutrition and yield[C]. Proceedings of a Conference in Cambridge (7th Dec. 2007), 2007:151-171.
- [16] Marschner H. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants(Third Edition)[M]. San Diego: Academic Press, 2012:165-178.
- [17] Hannaway D B, Bush L P, Leggett J E. Mineral composition of Kentucky tall fescue as affected by nutrient solution concentration of Mg and K[J]. Journal of Plant Nutrition, 1982,5(3):137-151.
- [18] 汪 洪,褚天铎.植物镁素营养诊断及镁肥施用[J].土壤肥料,2000,(4):4-8.
- [19] Cakmak I. Magnesium in crop production, food quality and human health[J]. Plant and Soil, 2013,368(1):1-4.
- [20] 杨竹青.钙、镁对番茄根茎叶解剖结构的影响[J].华中农业大学学报,1994,13(1):51-54.
- [21] Morton A R, Trollove S N, Kerckhoffs L H J. Magnesium deficiency in citrus grown in the Gisborne district of New Zealand[J]. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science, 2008,36(3):199-213.
- [22] Trollove S N, Wheeler S, Spiers A. A comparison of three methods of magnesium application to grapes[J]. Proceedings of the Agronomy Society of New Zealand, 2008,38:69-76.
- [23] Karley A J, White P J. Moving cationic minerals to edible tissues: potassium, magnesium, calcium[J]. Current Opinion in Plant Biology, 2009,12(3):291-298.