

马存金,陈剑秋,李曰鹏,等. 水溶肥中镁不同含量对辣椒产量、品质和根系发育的影响[J]. 江苏农业科学,2019,47(13):179-182.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.13.044

# 水溶肥中镁不同含量对辣椒产量、品质和根系发育的影响

马存金<sup>1,2</sup>, 陈剑秋<sup>1,2,3</sup>, 李曰鹏<sup>1</sup>, 任士伟<sup>1,2,3</sup>

(1. 金正大生态工程集团股份有限公司, 山东临沭 276700; 2. 养分资源高效开发与综合利用国家重点实验室, 山东临沭 276700;

3. 农业部植物营养与新型肥料创制重点实验室, 山东临沭 276700)

**摘要:**采用盆栽的方法,研究镁元素在水溶肥中不同添加量对辣椒产量、品质和根系发育的影响。以线椒 8819 品种为试验材料,设置镁元素不同添加量为 0、0.25%、0.50%、1.00%、2.00%、4.00% (均以 MgO 计),整盆取样并进行各指标测定。试验结果表明:在低添加量(0~2.00%)下,镁元素的添加促进了辣椒的生长发育及产量和品质的提升,随着镁元素含量的增加,辣椒生长各指标[株高、茎粗、叶绿素含量(以 SPAD 计)、净光合速率]、果实产量、果实品质、根系形态指标和根系生理活性指标均呈先升后降的趋势,其中以镁元素添加量为 1.00% 的处理效果最好;当镁元素添加量达到 4.00% 时,各指标均低于对照,说明高添加量镁元素对辣椒的生长发育产生了抑制作用。综上,在镁元素添加量为 0~2.00% 范围内,镁元素的添加促进了辣椒的生长发育及产量、品质的提高,其中以镁元素添加量为 1.00% 的处理效果最好,超过 4.00% 后对辣椒生长发育及产量、品质的提高产生了抑制作用。

**关键词:**辣椒;镁含量;水溶肥;生长指标;产量;根系发育;形态指标;生理活性指标;品质;镁元素添加量

**中图分类号:**S641.306 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2019)13-0179-04

镁是植物必需的中量营养元素,是植物体内叶绿素和许多酶的重要组成成分,在植物的光合作用、酶的活化、碳水化合物与蛋白质合成、脂肪代谢等诸多方面均有重要作用<sup>[1]</sup>。随着化肥用量增加和有机肥用量的减少,高产耐肥品种大面积种植以及复种指数不断提高,镁元素不断携出土壤,同时土壤又长期缺少镁肥补充,因而土壤中镁元素逐渐耗竭,作物的缺镁现象在各地不断出现,并已成为限制作物产量和品质提高的一个重要因素。据系统研究<sup>[2]</sup>发现,我国目前缺

镁土壤 0.26 亿  $\text{hm}^2$ ,要补充 984 万 t MgO,约占亚洲镁肥料用量的 1/4。随着镁肥料研究的深入、推广应用工作的展开,镁肥料的研发逐步加强,镁肥料的产销量和施用量大幅提高<sup>[3]</sup>。

植物根系的生长发育不仅受到遗传基因的控制,而且强烈地受到生长环境如养分、水分状况等诸多因素的影响<sup>[4]</sup>。矿质元素的生物有效性可直接影响到植物根系的生长、分布和功能<sup>[5]</sup>,镁作为植物必需的一种矿质元素,可直接或间接地影响根系的生长状况和活力水平,进而影响地上部的生长及作物最终产量和品质<sup>[6]</sup>。有研究表明,适量的镁不仅能够促进植株根系的形态建成和活力提高,建成强大的根系<sup>[7]</sup>,增强作物对矿质元素的吸收,加强生长发育进程,还能提高叶绿素的含量,增加光合作用的强度,促进植株体内碳水化合物的合成与转化<sup>[8]</sup>。镁素不仅能增加作物根系生物量、根尖数、根系体积和表面积<sup>[9]</sup>,促进水分和养分的吸收,还能提高作物果实产量和品质<sup>[10]</sup>。

国内对于镁肥料的研究与应用起步较晚,目前镁肥料的

收稿日期:2018-03-30

基金项目:国家重点研发计划(编号:2016YFD0222405-7);山东省重点研发计划(编号:2016ZDJQ0701)。

作者简介:马存金(1989—),男,山东新泰人,硕士,中级农艺师,主要从事作物栽培生理及新型肥料研究。E-mail: macunjin@kingenta.com。

通信作者:任士伟,硕士,中级农艺师,主要从事植物营养和新型肥料研究。E-mail: renshiwei@kingenta.com。

[13]冯平安,叶寿山,韩传环,等. 复方鱼腥草滴丸解热抗炎作用实验研究[J]. 安徽教育学院学报,2002,20(6):66-68.

[14]王晓丽,韦朝阳,冯人伟,等. 白玉凤尾蕨与印度芥菜对不同形态砷的富集与转化特征[J]. 环境科学学报,2014,34(3):720-727.

[15]郝再彬,苍晶,徐仲. 植物生理实验[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2004:1-147.

[16]黄亚萍,俎丽红,沈广爽,等. 铅胁迫对蜀葵重金属积累及抗氧化酶活性的影响[J]. 农业环境科学学报,2017,36(9):1746-1752.

[17]张文娟,李悦,陈忠林,等. 重金属胁迫对高羊茅和黑麦草种子萌发及幼苗生理特性的影响[J]. 安徽农业科学,2017,45

(6):1-4.

[18]李德生,何安,彭玲,等. 重金属对日本榉木内渗透调节物质的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(1):101-104.

[19]谌金吾. 三叶鬼针草(*Bidens pilosa* L.)对重金属 Cd、Pb 胁迫的响应与修复潜能研究[D]. 重庆:西南大学,2013:1-141.

[20]焦铁男,朱宏. 黑藻(*Hydrilla verticillata*)对重金属  $\text{Cd}^{2+}$  的积累及生理响应[J]. 中国农学通报,2014,30(5):249-253.

[21]黄玉山,罗广华,关荣文. 镉诱导植物的自由基氧化损伤[J]. 植物学报,1997,39(6):522-526.

[22]焦蓉,刘好宝,刘贯山,等. 论脯氨酸累积与植物抗渗透胁迫[J]. 中国农学通报,2011,27(7):216-221.

功效还未被充分认识,尽管有许多学者也研究了镁元素对作物生长发育的作用<sup>[11-12]</sup>(主要是对大田水稻、烟草、大豆等作物研究报道),但研究相对较少,且多数研究重点放在水培、底肥或复合肥等方面<sup>[13-14]</sup>,而关于镁肥冲施对辣椒根系发育和果实产量和品质的影响研究较少,故本研究在温室条件下,采用盆栽方法,精确研究不同镁添加量对辣椒根系发育、产量和品质的影响,旨在为进一步探明镁元素在水溶肥中的合理添加量,并为其在肥料中的应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于2016年8月5日至11月24日在金正大生态工程集团股份有限公司国家缓控释肥工程技术研发中心温室中进行。供试作物为线椒8819;所用镁为MgSO<sub>4</sub>,镁含量为33%(以MgO计),国药集团化学试剂有限公司生产提供;供试肥料15-15-15水溶肥配方(N 15%、P 15%、K 15%),尿素、磷酸二铵和硝酸钾或其他原料试剂进行配制,镁按水溶肥料的质量比进行添加,如MgO 1%即表示100 g水溶性肥料添加MgSO<sub>4</sub> 3.03 g(=100 g×1%/33%)左右;土壤为山东省临沭县当地土壤,含有机质11.04 g/kg、全氮0.80 g/kg、碱解氮60.10 mg/kg、速效磷27.35 mg/kg、速效钾113.55 mg/kg、交换性镁66.65 mg/kg,pH值6.30。

1.2 试验设计

试验以盆栽的方式进行,共设6个处理,即设置水溶肥中镁不同添加量为0、0.25%、0.50%、1.00%、2.00%、4.00%(均以MgO计),每个处理均重复4次。每盆(体积为4.3 dm<sup>3</sup>)装土共5 kg,2017年8月18日将均匀一致的辣椒苗移栽于盆中,之后浇足等量水,等缓苗生长稳定后冲施配制的水溶肥料(添加不同含量镁元素),每隔15 d冲施1次,500倍稀释进行冲施,每次每盆300 mL(水溶肥为0.6 g/盆,含量为2 g/L),共冲施3次。其间注意浇水与观察记录,2017年12月14日整盆收获并进行各指标测量。

1.3 测定项目与方法

收获时先将地上部取下后再进行根系取样,并将地上部与根系分开,测定根系发育、产量和品质等指标。根系取样采用整盆取样法,将土壤全部倒出后,再装入0.42 mm孔径网袋,低压水冲洗根系,剔除杂质,迅速吸干根系样品表面水分,测定根

系氯化三苯基四氮唑(TTC)还原强度、吸收面积及活跃吸收面积,测定根系形态指标(根长、根表面积、根尖数、根系体积等),各指标测定完成后置于80℃烘箱中烘干并称质量。

根系鲜质量及干质量的测定采用称量法;选取粗细均匀的根系,采用氯化三苯基四氮唑(TTC)还原法<sup>[15]</sup>测定根系活力,根系TTC还原总量(μg/h)=根系TTC还原强度[μg/(g·h),鲜根]×根系鲜质量(g);采用亚甲基蓝吸附法<sup>[16]</sup>测定根系总吸收面积及活跃吸收面积;把待测样品均匀平铺于储水玻璃槽中,使样品漂浮在水面上,用EPSON根系扫描仪扫描各处理根系图片并分析,测定根系长度(m)、根表面积(m<sup>2</sup>)、根系体积(cm<sup>3</sup>)和根尖数等指标,再计算出根长密度(m/m<sup>3</sup>)与单位土体内的根表面积(m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>)。

株高测量植株茎底部至顶尖的距离;茎粗使用游标卡尺测定;叶绿素含量(SPAD)使用叶绿素仪进行测定;净光合速率采用CIRAS-II型便携式光合仪(PP-system)、UK测定,采用开放式光路,于晴天10:00时测定,测定同一叶位叶片净光合速率,以LED为光源,PAR=1 600 μmol/(m<sup>2</sup>·s),CO<sub>2</sub>浓度=360 μmol/mol。果实产量采用称量法,果实维生素C含量的测定方法采用二氯靛酚(DPI)进行氧化还原滴定。辣椒红素含量的测定参考GB 1886.34—2015《食品安全国家标准 食品添加剂 辣椒红》的方法;辣椒素含量的测定参考GB/T 21266—2007《辣椒及辣椒制品中辣椒素类物质测定及辣度表示方法》。

1.4 数据分析

数据采用SPSS 19.0软件进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理辣椒生长的变化

由表1可以看出,在0~4.00%范围内,随着镁添加量的增加,辣椒的株高、茎粗、SPAD和净光合速率呈先增加后降低的趋势,均于1.00%处理达到最大;但当添加量达到4.00%时,株高、茎粗、SPAD和净光合速率与对照基本没有差异,其中SPAD和净光合速率甚至低于对照,说明在0~2.00%范围内,镁的添加有利于辣椒合成叶绿素,进而促进叶片的光合作用和有机物质的积累,促进辣椒生长发育,但当添加量大于4.00%时,过量的镁元素破坏了辣椒叶绿素形成,影响植株光合作用,进而抑制辣椒的生长发育。

表1 不同处理辣椒生长的变化

Mg 添加量 (%,以MgO计)	株高 (cm)	茎粗 (cm)	SPAD 值	净光合速率 [μmol/(m <sup>2</sup> ·s)]
0	56.50d	0.42d	46.95c	7.11c
0.25	62.00c	0.46c	49.08b	8.20b
0.50	67.75b	0.50b	50.05b	8.43b
1.00	72.35a	0.56a	54.95a	9.47a
2.00	66.00b	0.49b	49.25b	8.29b
4.00	57.75d	0.43d	46.55c	7.02c

注:同列不同小写字母表示在0.05水平上差异显著,下同。

2.2 不同处理辣椒产量的变化

由表2可得,随着镁添加量的增加,辣椒单株挂果数量及质量均呈现先上升后下降趋势,于1.00%达到最大,其果实增产29.85%;当添加量达到4.00%后,单株挂果数量及质量

均低于对照,但与对照无显著差异。其中2.00%和0.50%两处理辣椒单株挂果数量及质量无明显差异;0.25%、4.00%和对照3个处理间无显著差异。说明在0~2.00%范围内,镁的添加均促进了叶绿素的合成,影响叶片光合作用及其产物

表 2 不同处理辣椒产量的变化

Mg 添加量 (%)	单株挂果数量 (个)	单株挂果质量 (g)	果实增产 (%)
0	9.00c	61.01c	—
0.25	9.50c	64.55c	5.80
0.50	12.00b	71.60b	17.36
1.00	14.00a	79.22a	29.85
2.00	12.00b	70.31b	15.24
4.00	8.00c	58.22c	-4.57

积累,进而促进辣椒果实的发育,从而提高产量;但当添加量大于 4.00% 时,过量镁元素对辣椒叶片和果实的发育产生抑制作用,可能与过量镁元素对植株产生盐害或导致钾的吸收

表 3 不同处理辣椒根系形态的变化

Mg 添加量 (%)	根长密度 (m/m <sup>3</sup> )	根表面积 (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	根系体积 (cm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	根尖数 (×10 <sup>4</sup> 个/m <sup>3</sup> )
0	2 005.65d	1.85d	530.48d	58.95d
0.25	2 498.02c	2.16c	579.65c	67.56c
0.50	2 875.50b	2.56b	615.27b	78.59b
1.00	3 254.05a	2.91a	682.55a	89.55a
2.00	2 905.84b	2.48b	585.15bc	72.78bc
4.00	1 856.30d	1.80d	520.56d	55.68d

系的建成。

2.3.2 不同处理辣椒根系生理活性的变化 根系 TTC 还原强度、TTC 还原总量、根系吸收面积(总吸收面积与活跃吸收面积)都是反映根系吸收性能的重要指标,都能在一定程度

上客观地反映根系活力状况<sup>[7]</sup>。由表 4 可以看出,随着镁元素添加量增加,辣椒根系 TTC 还原强度、TTC 还原量、吸收面积及活跃吸收面积均呈现先升后降的趋势,均于 1.00% 处理

减少(钾镁拮抗)有关。

2.3 不同处理辣椒根系的变化

2.3.1 不同处理辣椒根系形态的变化 由表 3 可以看出,在试验处理添加量范围内,辣椒根系各形态指标(根长密度、根表面积、根系体积、根尖数)均呈先升后降的趋势,且均于 1.00% 处理达到峰值,之后迅速下降。在 0~2.00% 范围内,镁元素的添加提高了叶片的光合作用,增加了光合产物向根部的运输,促进了辣椒根系的发育,表现为根长密度、根表面积、根系体积较大,根尖数增多;当添加量达到 4.00% 以上时,根系各形态指标均低于对照,说明镁元素添加量超过 4.00% 后对辣椒产生盐害,影响了叶绿素的合成和光合产物的积累,对辣椒根系产生明显的抑制作用,不利于辣椒优良根

达到最大,之后迅速下降。在 0~2.00% 条件下,镁元素添加有利于光合产物向根部运输,从而提升辣椒根系的活力,表现为根系 TTC 还原强度、还原量较高,吸收面积及活跃吸收面积较大,生理活性高;在较高添加量(达到 4.00%)条件下,根系各生理活性指标均低于对照,说明镁元素在水溶肥中高浓度添加对辣椒产生盐害,对辣椒根系活性产生抑制作用,根系活力下降,不利于辣椒强大根系的建成。

表 4 不同处理辣椒根系生理活性的变化

Mg 添加量 (%)	根系 TTC 还原强度 [μg/(g·h)]	根系 TTC 还原量 (μg/h)	根系吸收面积 (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	根系活跃吸收面积 (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )
0	22.39cd	75.56d	330.22c	115.65d
0.25	24.00c	89.54c	387.25b	149.90c
0.50	31.24b	101.25b	423.60ab	176.98b
1.00	36.95a	129.36a	480.62a	228.37a
2.00	28.95b	97.20bc	380.26b	172.32b
4.00	22.23d	73.12d	300.54c	110.04d

2.4 不同处理辣椒果实品质的变化

由表 5 可得,随着镁元素添加量增加,辣椒维生素、辣椒红素及辣椒素含量均呈现先升后降的趋势,均于 1.00% 处理达到最大。在 0~2.00% 条件下,镁元素添加能促进叶片光合作用提高和有机物质的积累和转化,进而有利于辣椒维生素、辣椒红素及辣椒素含量的提高,表现为辣椒维生素、辣椒红素及辣椒素含量较高,果实品质相对较高;但当镁元素添加量达到 4.00% 时,辣椒各品质指标均低于对照,说明高添加量镁元素冲施可能是对辣椒产生了盐害,影响了叶片的光合作用与有机物的积累,并对辣椒品质产生不良作用,辣椒品质下降,不利于辣椒果实品质的提升。

3 结论与讨论

根系的发育和代谢状况与地上植株关系密切,它的生长

表 5 不同处理辣椒果实品质的变化

Mg 添加量 (%)	维生素含量 (mg/g)	辣椒红素含量 (%)	辣椒素含量 (%)
0	0.61d	0.20c	0.16c
0.25	0.72c	0.24b	0.21b
0.50	0.84b	0.27ab	0.22b
1.00	1.02a	0.30a	0.27a
2.00	0.86b	0.25b	0.20b
4.00	0.58d	0.20c	0.15c

情况直接制约着地上部的生长情况和产量<sup>[17]</sup>。根系活力泛指根系的吸收、合成、氧化和还原能力等<sup>[6]</sup>,是一种客观反映根系生命活动的生理指标;而根系吸收能力强的作物在根系形态上表现为根系长度、体积、分布密度和有效吸收面积较大<sup>[18]</sup>。根系形态结构和活力大小直接影响植株地上部的营

养状况。研究发现,在一定浓度范围内, $Mg^{2+}$ 与根系平均直径、根体积、根表面积、根尖数、总根长成成正比,一定程度上促进根系的生长<sup>[9]</sup>。同时,适量的镁能使根系活力旺盛<sup>[19]</sup>,有利于植株根系充分吸收水分和养分;而在低浓度镁元素供应下,根系长度、体积和分布密度等指标均明显增大,空间分布和根系构型更加合理<sup>[20]</sup>,有利于其建成强大的根系,保障植株的生长发育。本研究结果表明,在 0~2.00% 范围内,镁元素的添加促进了叶片叶绿素合成及其光合作用,有利于将叶片制造的有机物运往根部,从而促进了辣椒根系的发育。随着镁元素添加量的增加,辣椒根系各形态指标和生理活性指标均呈先升后降的趋势,且均于 1.00% 处理达到峰值,表现为根长密度、根表面积、根系体积较大,根尖数增多,根系生理活性(辣椒根系 TTC 还原强度、TTC 还原量、吸收面积及活跃吸收面积)明显增强;当添加量达到 4.00% 时,根系各指标均低于对照,说明镁元素添加量超过 4.00% 后对辣椒根系产生抑制作用。由此可见,镁元素低添加量有利于提高叶片光合作用,制造更多的有机物,从而促进辣椒根系的生长发育,而高添加量对辣椒产生盐害,对根系形态及生理活性产生抑制作用,不利于辣椒优良根系的建成。

辣椒具有极高的食用及药用价值,富含维生素 C、维生素  $\beta$ -胡萝卜素、叶酸、辣椒素等,其中维生素 C 的含量在蔬菜中居第 1 位,而辣椒中的辣椒素还具有抗炎及抗氧化作用。镁是作物生长发育不可缺少的营养元素,当镁营养不足时,植物的叶绿素含量下降,光合强度降低,碳水化合物、脂肪、蛋白质等合成受阻,产量和品质下降<sup>[21]</sup>。已有文献指出,镁素对提高茄果类蔬菜、果树及大田等作物的产量和品质均有较明显的效果<sup>[22]</sup>。前人研究发现,施镁处理与对照相比,水稻碳水化合物供应更加充足,有效穗增多,结实率、千粒质量提高,进而产量提高<sup>[23]</sup>。镁素主要集中在作物的籽粒和果实中,对作物品质的影响很大<sup>[24]</sup>。研究表明,施镁可以明显增加稻米蛋白质和氨基酸含量<sup>[25]</sup>,提高烟叶总糖、还原糖含量<sup>[26]</sup>,进而改善作物品质。本研究结果显示,在 0~2.00% 范围内,镁元素的添加促进了辣椒产量和品质的提高,与以上前人的研究结论基本一致:镁元素的添加有利于提高叶片叶绿素含量和光合作用,制造更多的有机物,从而提高产量和品质。随着镁元素添加量的增加,辣椒根系产量和和品质均呈先升后降的趋势,且均于 1.00% 处理达到峰值,表现为单株挂果数量和质量、辣椒维生素含量、辣椒红素含量及辣椒素含量最高,果实产量和品质相对较高;但当镁元素添加量达到 4.00% 时,辣椒各指标均低于对照,说明镁元素高添加量冲施对辣椒产生盐害,对辣椒产量和品质产生不良作用,辣椒产量和品质下降,不利于辣椒果实产量和品质的提升。

综上,镁元素在 0~2.00% 范围内冲施能提高辣椒叶绿素合成及其光合作用,促进辣椒根系发育和果实产量、品质的提高,其中添加量以 1.00% 效果最佳,超过 4.00% 后对辣椒叶片、根系及果实的发育产生抑制作用。因此,在实际应用中应科学施用含镁肥料,合理把握其用法用量。

#### 参考文献:

[1]熊英杰,陈少风,李恩香,等. 植物缺镁研究进展及展望[J]. 安徽农业科学,2010,38(15):7754-7757.

- [2]白由路,金继运,杨俐苹. 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):3-5.
- [3]杨军芳,周晓芬,冯伟. 土壤与植物镁素研究进展概述[J]. 河北农业科学,2008,12(3):91-93,96.
- [4]Forde B, Lorenzo H. The nutritional control of root development[J]. Plant and Soil,2001,232(1/2):51-68.
- [5]Marschner H, Kirkby E A, Cakmak I. Effect of mineral nutritional status on shoot-root partitioning of photoassimilates and cycling of mineral nutrients[J]. Journal of Experimental Botany, 1996, 47: 1255-1263.
- [6]王芳,刘鹏,朱靖文. 镁对大豆根系活力叶绿素含量和膜透性的影响[J]. 农业环境科学学报,2004,23(2):235-239.
- [7]丁玉川,罗伟,任小利,等. 不同镁浓度对水稻根系生长及生理特性的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2009,15(3):537-543.
- [8]崔国明,张大海,李永平,等. 镁对烤烟生理生化及品质和产量的影响研究[J]. 中国烟草科学,1998,1(1):7-9.
- [9]黄红荣,李建明,胡晓辉,等. 提高营养液镁浓度可缓解黄瓜幼苗亚低温胁迫[J]. 植物营养与肥料学报,2017,23(3):740-747.
- [10]王秀娟,娄春荣,解占军,等. 中微量元素对辣椒养分吸收和产量的影响[J]. 北方园艺,2011(1):174-176.
- [11]王芳,刘鹏. 土壤镁的植物效应的研究进展[J]. 江西林业科技,2003(1):34-37.
- [12]李延,刘星辉. 缺镁胁迫对龙眼叶片衰老的影响[J]. 应用生态学报,2002,13(3):311-314.
- [13]秦遂初,李延,徐定超,等. 水稻缺镁黄叶症的调查研究[J]. 浙江农业科学,1993(4):153-155.
- [14]Nooden L D. Absciscic acid, auxin and other regulator of senescence [C]// Senescence and aging in plant. San Diego: Academic Press, 1998:329-335.
- [15]张志良. 植物生理实验指导[M]. 北京:高等教育出版社,1992:88-93.
- [16]邹琦. 植物生理生化实验指导[M]. 北京:中国农业出版社,1995:30-31.
- [17]李晓鸣. 矿质镁对水稻产量及品质影响的研究[J]. 植物营养与肥料学报,2002,8(1):125-126.
- [18]赵首萍,赵学强,施卫明. 不同氮效率水稻品种苗期吸氮效率差异及其机理研究[J]. 土壤,2006,38(4):400-409.
- [19]李延,刘星辉,庄卫民. 植物 Mg 素营养生理的研究进展[J]. 福建农业大学学报,2000,29(1):74-80.
- [20]李延,张建丽,刘星辉. 缺镁对龙眼碳、氮代谢若干生理指标的影响[J]. 福建农业学报,1998,13(S1):58-62.
- [21]杨文祥,王强盛,王绍华,等. 镁肥对水稻镁吸收与分配及稻米食味品质的影响[J]. 西北植物学报,2006,26(12):2473-2478.
- [22]郭如新. 镁肥研究开发与应用近况[J]. 磷肥与复肥,2002,17(1):61-63.
- [23]李延,秦遂初. 缺镁对水稻生理代谢的影响及诊断指标研究[J]. 浙江农业大学学报,1995,21(3):279-283.
- [24]Zimmerman M. Magnesium in plants[J]. Soil Science,1947(63):1-12.
- [25]丁玉川,罗伟,徐国华. 镁、钾营养及其交互作用对水稻产量、产量构成因素和养分吸收的影响[J]. 水土保持学报,2008(3):178-182.
- [26]关广晟,屠乃美,肖汉乾,等. 镁对烟草生长及叶片叶绿素荧光参数的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2008,14(1):151-155.