

含镁复合肥对黄花菜生长及土壤养分含量的影响

孙楠¹, 曾希柏², 高菊生¹, 王伯仁¹

(¹中国农业科学院土壤肥料研究所, 北京 100081; ²中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081)

摘要:【目的】探讨红壤旱地、特别是低肥力红壤旱地中镁对作物生长及产量的影响, 为镁肥的合理施用和含镁复合肥的研制奠定进一步的基础。【方法】利用田间试验方法, 研究了两种不同镁含量的复合肥对黄花菜生长、产量及红壤旱地养分含量的影响, 并对其生长过程中土壤养分、作物生长等的变化进行了系统观测。【结果】两种含镁复合肥对促进黄花菜生长发育、提高黄花菜产量和抗病能力均具有良好效果, 其中含镁量较高的镁肥 II 增产效果更优, 比不施肥处理增产 57.4%, 比施氮磷钾处理增产 32.8%, 比含镁较低的镁肥 I 增产 14.5%。两种含镁复合肥对土壤交换性镁和氮磷钾含量亦具有一定影响。其中施用镁肥 II 处理土壤碱解氮、速效磷、交换性钾及交换性镁含量分别比对照提高 94.9%、46.5%、31.1%和 35.3%。施用含镁复合肥可以明显提高黄花菜的产量、改善土壤养分状况。【结论】在红壤旱地土壤、气候和生产水平等条件下, 为保证作物优质、高产, 在现有施肥结构的基础上, 应考虑施用镁肥。

关键词: 含镁复合肥; 黄花菜; 生长; 土壤养分

Effects of Magnesium Compound Fertilizer on Daylily (*Hemerocallis citrina* Baroni) Growth and Soil Nutrients

SUN Nan¹, ZENG Xi-bai², GAO Ju-sheng¹, WANG Bo-ren¹

(¹Soil and Fertilizer Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081; ²Institute of Agricultural Environment and Sustainable Development, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081)

Abstract: 【Objective】 This paper was to explore the effects of magnesium in dry lands of red soil on the growth and yield of crops, especially for that with low fertility, and to give guidance for application and development of magnesium compound with fertilizer. 【Method】 The effects of two kinds of magnesium compound fertilizer on daylily (*Hemerocallis citrina* Baroni) growth, yield and soil nutrients in red soil were studied, and the change of soil nutrients and daylily growth was observed systemically in field experiments. 【Result】 The results showed the favorable effects of magnesium compound fertilizers on improving daylily growth, and increasing its yields and strengthening disease resistance. The effects of magnesium compound fertilizer II (higher Mg content) were better than others, which increased daylily yield by 57.4% and 32.8% than that of in control and NPK treatments, respectively, increased daylily yield by 14.5% as compared with the magnesium compound fertilizer I (lower Mg content). In addition, alkalizable N, available P, exchangeable K and Mg in soil treated with magnesium compound fertilizer II were increased by 94.9%, 46.5%, 31.1% and 35.3% as compared with the control. 【Conclusion】 It is concluded that application of magnesium compound fertilizers on red earth is a good method of keeping higher yield and higher quality of crops and soil fertility.

Key words: Magnesium compound fertilizer; Daylily (*Hemerocallis citrina* Baroni); Growth; Soil nutrient

0 引言

【本研究的重要意义】镁是植物生长的必需元素

之一, 是组成叶绿素分子中唯一的矿质营养。除此之外, 它还是许多酶如磷酸激酶等的激活剂, 部分欧洲学者甚至将其列为仅次于氮、磷、钾的植物第四大必

收稿日期: 2005-05-30; 接受日期: 2005-07-06

基金项目: 农业科技成果转化资金项目 (02EFN216900755) 和国家“十五”科技攻关项目 (2004BA516A19)

作者简介: 孙楠 (1975-), 女, 内蒙古呼和浩特人, 助理研究员, 研究方向为土壤肥力、退化耕地修复等。通讯作者, 曾希柏, Tel: 010-62119689; E-mail: zengxb@ciac.org.cn

需元素^[1,2]。南方红壤地区受高温、多雨及土壤酸性较强等影响,土壤中的镁容易因迁移和淋溶而损失,并导致作物缺镁,使作物产量降低、品质变劣等,因此,在该地区开展镁肥施用效果等相关研究,具有重要的意义。【前人研究进展】近年来,国内关于土壤镁素状况、镁在土壤中的运移转化规律及机理、镁对植物生长的影响等研究逐渐增多,如黄鸿翔等^[3~10]对湘南红壤地区土壤镁素状况及镁肥施用效果的研究结果认为,红壤地区土壤镁含量较低,在玉米、水稻、茶叶等作物上的施用效果较好。徐明岗^[11]、李映强^[12]等研究了土壤中镁的生物有效性及其动力学性质,认为在小麦、玉米和大豆根-土系统中,Mg 的运移以质流为主,质流养分量可达作物吸收量的数倍至数十倍。汪洪等^[1]比较了缺镁与正常供镁菜豆的组织结构,认为缺镁将影响菜豆的正常发育,关军锋等^[13]在草莓上的研究亦认为缺镁将加速草莓的衰老。白由路^[14]、汪洪^[15]等在系统总结中国土壤镁素含量及镁肥施用效果的基础上,认为中国土壤镁素及镁肥施用效果研究亟待加强。与此同时,笔者也认识到:目前,国内对镁肥施用效果的研究主要集中在玉米、水稻、茶叶等少数作物上^[2,5~8,13,16],对镁肥施用的土壤条件、不同作物需镁量等的研究相对较少,且缺少专用含镁肥料,或者说,镁肥的重要性在农业生产实践中尚未受到应有的重视。【本研究切入点】湖南是黄花菜的重要产区和主要出口基地,具有适宜黄花菜生长的良好生态条件^[17~20],但因土壤镁素营养缺乏等原因,导致其产量和品质下降^[19],并由此影响黄花菜的生产与贸易。目前,有关黄花菜施用镁肥效果及专用肥的研究尚未见报道,为探明镁素对黄花菜生长和产量的影响,本研究在红壤旱地镁素供应及镁肥施用效果研究的基础上^[3~5,7,8],以红壤旱地镁素营养状况和黄花菜生长对镁素营养的需要为切入点,研制了两种不同镁含量、适合黄花菜生长需要的含镁复合肥,并进行了相应的施用效果研究,【拟解决的关键问题】旨在探讨镁素营养对黄花菜生长、产量及土壤相关性状的影响等相关问题,为黄花菜的高产、优质生产提供理论指导和相关依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2002 年 11 月至 2003 年 8 月在中国农业科学院红壤试验站进行。供试土壤为第四纪红壤旱地,肥力较低。供试土壤基本性质为: pH 5.5, 有机质含

量 13.8 g·kg⁻¹, 全量氮磷钾分别为 0.71、0.40 和 10.5 g·kg⁻¹, 碱解氮 43.4 mg·kg⁻¹, 速效磷 11.4 mg·kg⁻¹, 交换性钾 201.4 mg·kg⁻¹, 交换性钙 4.10 cmol·kg⁻¹, 交换性镁 1.70 cmol·kg⁻¹。

试验用含镁复合肥为中国农业科学院土壤肥料研究所针对红壤地区土壤特性研制并开发的、适合黄花菜生长需要的产品。镁肥 I 中 N、P₂O₅、K₂O 和 MgO 的含量分别为 10%、5%、10%、2%; 镁肥 II 中 N、P₂O₅、K₂O 和 MgO 的含量分别为 10%、5%、10%、10%, 两种肥料的主要原料为磷铵、尿素、硫酸钾和氧化镁等,并同时添加了不同数量的海泡石和珍珠岩,作为红壤物理性质的改良剂。

试验小区面积 18 m², 处理设置为: (1) 对照(不施肥); (2) 氮磷钾化肥; (3) 含镁复合肥 I; (4) 含镁复合肥 II。试验重复 3 次, 随即区组排列。各施肥处理肥料分为冬季(底肥)、春季(苗期追肥)和夏季(抽薹期)3 次施用, 每次施肥量均为纯氮 150 kg·ha⁻¹、P₂O₅ 75.0 kg·ha⁻¹、K₂O 150 kg·ha⁻¹。处理 2 换算成尿素、过磷酸钙和硫酸钾施用, 处理 3 和处理 4 换算成含镁复合肥。

1.2 土壤和黄花菜样品采集与分析

在黄花菜生长期, 原则上按每 10 d 左右采 0~20 cm 土壤样品分析有效养分含量变化, 但在春季苗期、抽薹期及蕾期根据需要适当调整采样间隔; 试验前后均取土壤样品作全量及速效养分分析用。试验结束后, 取黄花菜各部位样品留作相关分析。同时对黄花菜生长发育、抽薹、开花和病害发生等情况进行相应调查。

土壤全量氮磷钾、速效氮磷钾、有机质、交换性钙镁、pH 等的分析均参照文献^[21]进行。其中, 交换性钙镁采用 1 mol·L⁻¹ NH₄OAc 浸提、EDTA 滴定法, 黄花菜植株中交换性钙镁采用干灰化、EDTA 直接滴定法测定^[21]。

2 结果与分析

2.1 不同处理对黄花菜生长和产量的影响

2.1.1 对黄花菜生长发育的影响 各施肥处理中, 尽管氮磷钾养分的施用量完全相同, 但由于镁施用量的差异(4 个处理中 MgO 总施用量分别为对照 0; 氮磷钾化肥处理 0、镁肥 I 处理 90 kg·ha⁻¹、镁肥 II 处理 450 kg·ha⁻¹), 因此, 黄花菜的生长发育亦出现较大差别(表 1)。

从表 1 结果可以看出, 不同处理下黄花菜的绿叶

表 1 不同处理下黄花菜的生长发育情况

Table 1 Growth of daylily (*Hemerocallis citrina* Baroni) under different fertilization treatments

处理 Treatment	绿叶数 (10 兜)	抽薹数	株高	开花数	抽薹个数	锈病发生情况 (20 兜)	
	Green leaf	(10 兜)	(10 兜平均)	(10 兜)	(10 兜)	Rust condition (20 bag)	
	number	Bud number	Plant height	Flower number	Bud number	发病兜数	比对照增减率
	(10 bag)	(10 bag)	(10 bag) (cm)	(10 bag)	(10 bag)	Rust bag number	Increase vs CK(%)
对照 CK	413	13	72.6	27	20	4	0
氮磷钾 NPK	466	18	74.7	40	23	10	43
镁肥 I Mg I	493	20	78.7	52	26	8	29
镁肥 II Mg II	640	22	79.3	54	28	6	14

2003.5.27 至抽薹期调查生长发育；2003.6.15 调查抽薹、开花；2003.6.30 至开花期调查锈病，调查 14 穴

2003.5.27: Survey on growth at bud stage; 2003.6.15: Survey at bud and flower; 2003.6.30: Survey rust condition of 14 bag at flower stage. Mg I: Magnesium fertilizer I, Mg II: Magnesium II. The same as below

数量、抽薹期抽薹数以及株高等，均有较大差别，且按对照、氮磷钾、镁肥 I 和镁肥 II 的顺序依次增加。其中镁肥 II 处理与镁肥 I、氮磷钾及对照 3 处理比较，绿叶数分别增加 29.8%、37.3% 和 55.0%，抽薹数分别增加 10.0%、22.2% 和 69.2%，株高分别提高 0.8%、6.2% 和 9.2%，平均开花数分别增加 3.8%、35.0% 和 100%，平均抽薹数分别提高 7.7%、21.7% 和 40.0%，说明增加黄花菜的镁素营养，在一定程度上有利于促进黄花菜的生长发育，特别是有利于提高黄花菜的开花数量、抽薹数量，并因此可能使黄花菜获得高产。

表 2 不同处理对黄花菜产量 (干重) 的影响

Table 2 Yield of daylily (*Hemerocallis citrina* Baroni) under different fertilization treatments

处理 Treatment	小区产量 Plot yield (dry weight, kg/18m ²)				黄花菜产量 Yield (kg·ha ⁻¹)	较对照增产率 Increase vs CK(%)
	I	II	III	平均 Average		
对照 CK	0.58	0.56	0.76	0.63	351.9 A	
氮磷钾 NPK	0.70	0.66	0.90	0.75	418.5 AB	18.7
镁肥 I Mg I	0.80	0.84	0.98	0.87	485.2 BC*	37.4
镁肥 II Mg II	0.90	0.98	1.12	1.00	555.6 C**	57.4

采摘期: 33 d (6/16~7/18); 黄花菜产量: 指经济产量 (可食用部分)。以上产量为 33 d 采摘量之和。*、** 分别表示差异达 5% 和 1% 显著水平

Pluck stage: 33 days (6/16-7/18); Yield of daylily: Economic yield (esculent parts) as that of statistical number in 33 days. *, **. Significance at 0.05, 0.01 level, respectively

从表 2 结果可以发现，施用镁肥有利于黄花菜生长并获得较高产量，而不施肥处理 (CK) 的产量是最低的。4 个处理比较，镁肥 II 达 555.6 kg·ha⁻¹，比对照增产 57.4%；镁肥 I 产量次之，为 485.2 kg·ha⁻¹，比对照增产 37.4%；对照处理则最低，仅 351.9 kg·ha⁻¹。应用方差分析和 LSD 测验法进行多重比较，其结果表明，镁肥 I 与对照差异达到显著水平；镁肥 II 与对照差异达到极显著水平，与氮磷钾处理亦有显著差异；而氮磷钾处理与对照的差异则不显著。这种结果说明，在红壤地区黄花菜上施用含镁肥料，对促进黄花菜生长、提高黄花菜产量等，均具有十分显著的效果。

2.2 不同处理下黄花菜对养分的吸收

锈病是影响黄花菜产量和品质的重要原因之一。在黄花菜生长期，调查了开花期锈病的发生情况，发现单施氮磷钾化肥处理的黄花菜锈病发生严重，发病比例达到 50%，而镁肥 II 处理则仅 30%，分别比镁肥 I 和氮磷钾量处理减少 25% 和 40%。可见增加镁素养分的施用，对防止黄花菜锈病的发生具有较显著的效果。

2.1.2 不同处理对黄花菜产量的影响 不同处理下，黄花菜的产量亦有较大的差异 (表 2)。

不同处理对黄花菜的生长及产量的影响不同，其同时是否会对其养分吸收量也产生相应的不同呢？表 3 为试验收割时黄花菜各部位养分含量植株情况。

从表 3 结果可以看出，不同处理下黄花菜茎秆、花蕾中的氮磷钾的含量尽管有一定的差异，但均不是很大。各施肥处理，黄花菜茎秆中钙的含量均较对照低，但处理间差异不大。这种结果一方面是由于施肥促进了黄花菜的生长，从而使其中茎秆中钙的含量降低；另一方面可能是由于钙、镁间存在拮抗作用，随着作物生长状况的改善，对镁素的吸收量增加，从而抑制了对钙的吸收，使植物体内钙的含量下降。

施用镁肥的 2 个处理植物体内的镁含量明显较

表 3 不同处理下黄花菜植株的养分含量

Table 3 Nutrient content of daylily (*Hemerocallis citrina* Baroni) under different treatments ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)

处理 Treatment	茎秆 Straw					花蕾 Bud		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
对照 CK	6.5	1.6	20.1	28.0	3.0	18.7	2.5	12.1
氮磷钾 NPK	7.3	2.4	23.3	21.0	4.4	19.9	3.1	14.4
镁肥 I Mg I	7.3	1.7	20.9	21.5	6.3	19.2	2.9	13.1
镁肥 II Mg II	7.3	1.7	21.9	21.4	7.9	19.3	2.9	12.2

高，其中以镁肥 II 处理最高。而未施镁肥的对照茎秆中镁的含量最低，为 $3.0 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，仅相当于镁肥 II 处理的 38%。各处理茎秆中镁含量的差异，一方面与镁素营养的供应水平有关，另一方面也在一定程度上与氮磷钾化肥的施用有关，即施用氮磷钾化肥可能将在一定程度上促进黄花菜对镁的吸收、从而改善黄花菜植株体内的镁营养水平，这可能也是氮磷钾化肥处理下黄花菜茎秆中镁含量较对照高出 46.7% 的重要原因。

2.3 不同处理下土壤养分变化

2.3.1 黄花菜生长期间土壤速效养分的动态变化

图 1 是黄花菜生长期间土壤碱解氮含量的变化情况。可以看出，各处理间土壤碱解氮的动态变化趋势尽管基本一致，但其含量的高低是不一样的，其总的趋势表现为前期高、中期最低、后期又有所升高。但前期以化肥、镁肥 II 两处理较高，中、后期则 3 个施肥处理（特别是镁肥 II）的含量均较高，而不施肥处理则没有明显的变化规律。

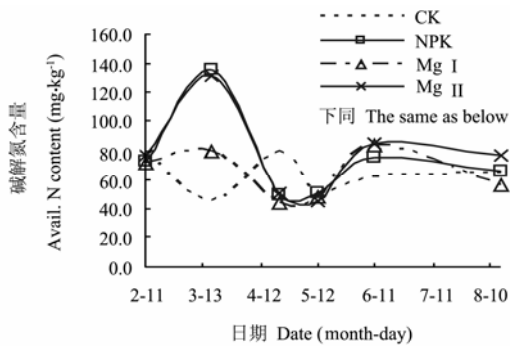


图 1 土壤碱解氮含量变化 (2003 年)

Fig.1 Change of soil avail. N in 2003

从图 2 土壤速效磷的变化情况可以发现，各处理在黄花菜生长期间速效磷含量尽管均呈倒“V”字型变化，即前期含量较低、中期逐渐升高、达到一定值后又下降，但各处理间的差异较大。各处理比较，镁

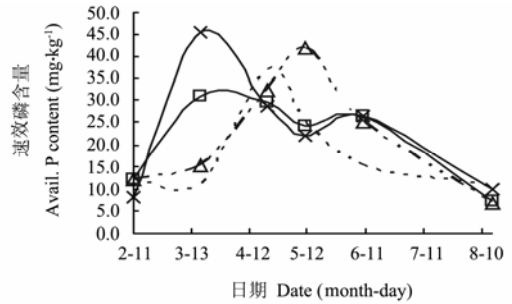


图 2 土壤速效磷含量变化 (2003 年)

Fig.2 Change of soil avail. P in 2003

肥 II 和化肥 2 处理的含量最早达到最高点，但镁肥 II 处理的含量明显较高；镁肥 I 处理达到最高点最晚，其含量亦较高。

各处理在黄花菜生长期间交换性钾的变化与速效磷的变化同样呈现出倒“V”字型（图 3），且各处理到达最高点的时期有较大差异。其中镁肥 II 最先到达最高点，而其余 3 处理则基本同时到达。3 个施肥处理间交换性钾含量尽管有一定差异，但均明显高于不施肥处理。

上述各处理中土壤碱解氮速效磷、交换性钾含量的变化，各处理间的差异一方面与黄花菜的生长相关，

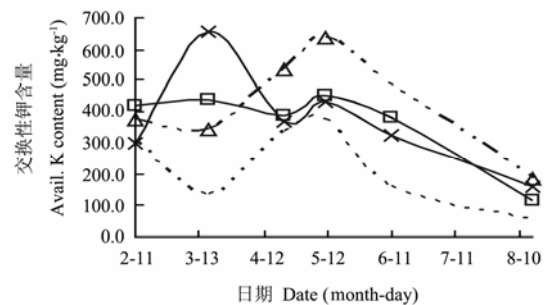


图 3 土壤交换性钾含量变化 (2003 年)

Fig.3 Change of soil avail. K in 2003

即在黄花菜生长前期(苗期)土壤养分含量较高,这样有利于黄花菜营养体的快速生长及养分的累积;当接近抽薹期时,随着营养体的快速生长,对养分的需要量大大增加,导致土壤养分含量逐渐下降;进入蕾期后,黄花菜对养分的需要量相对减少,土壤养分含量又开始有一定幅度增加,但亦随黄花菜的生长而缓慢下降。各处理比较,镁肥 II 在黄花菜生长前期养分含量高,抽薹期有所下降,蕾期含量亦保持在较高水平,这种变化与不同时期黄花菜对养分的需要基本一致,因此,黄花菜生长良好、产量较高、抗病能力也较强。其它 2 个施肥处理在黄花菜生长期间的土壤养分含量亦较高,同样有利于黄花菜生长发育,这也是其产量较高的主要原因。而对照处理下的土壤养分变化无显著规律,且其含量一般均较低,对黄花菜养分

供应不充足,因而黄花菜的生长较差、产量也较低。各处理比较,土壤养分含量变化的这种差异可能也在一定程度上与肥料的性质有关:镁肥 II 由于其中镁含量较高,且加入了海泡石和珍珠岩等物质,肥料的碱性相对较强,有利于其养分的释放;化肥处理所施用的过磷酸钙为微酸性肥料,其施入土壤中后,养分迅速释放并被土壤固定或被黄花菜所吸收,使其有效性降低,仅后期随气温升高、黄花菜根系活性增强等原因才使有效养分含量有一定增加,因此,出现峰值的时间较晚、且峰值较低。当然,是否还有更深层次的其它原因,尚有待进一步探讨。

2.3.2 黄花菜生长前后土壤养分的变化 各处理黄花菜生长前后土壤养分的变化如表 4 所示。

表 4 黄花菜生长前后土壤养分含量比较

Table 4 Comparison of soil nutrients before sowing and after harvest of daylily (*Hemerocallis citrina* Baroni)

处理 Treatments	有机质 OM (g·kg ⁻¹)	全氮 Total N (g·kg ⁻¹)	全磷 Total P (g·kg ⁻¹)	全钾 Total K (g·kg ⁻¹)	pH	碱解氮 Avail. N (mg·kg ⁻¹)	速效磷 Avail. P (mg·kg ⁻¹)	交换性钾 Avail. K (mg·kg ⁻¹)	交换性钙 Exchange Ca ²⁺ (cmol·kg ⁻¹)	交换性镁 Exchange Mg ²⁺ (cmol·kg ⁻¹)
原始土 Original soil	13.8	0.71	0.40	10.5	5.5	43.4	11.4	201.4	4.10	1.70
对照 CK	13.0	0.70	0.41	8.3	5.4	44.3	10.1	208.1	0.80	1.10
氮磷钾 NPK	13.5	1.01	0.42	10.3	5.0	61.6	16.6	225.7	1.90	1.20
镁肥 I Mg I	13.4	1.01	0.46	10.5	5.6	75.6	15.0	276.6	3.30	2.03
镁肥 II Mg II	14.0	0.98	0.44	10.4	5.8	84.6	16.7	264.0	3.10	2.30

从表 4 结果可以看出,对照和化肥处理的土壤 pH 值的变化均较试验前的有较小幅度下降,而施用镁肥的 2 个处理则均较试验前有小幅度上升。土壤有机质含量除镁肥 II 处理略有增加外,其它 3 个处理均呈下降趋势,且对照的下降幅度较大;土壤氮素含量除对照的全氮略有下降外,其余 3 个处理无论是全氮、还是碱解氮含量均有一定幅度的增加;当然,各处理的增加幅度亦有一定差异。土壤磷素含量除对照外,其余 3 个处理同样呈一定的增加趋势,且 3 个处理间差异较小。土壤钾素含量的变化则全量和交换性钾间有所差别,全量钾除对照外其余 3 个处理基本维持试验前水平,交换性钾含量则各处理均较试验前有所增加,其增加幅度以对照最小、化肥处理次之,施用镁肥的 2 个处理则较大。各处理土壤交换性钙含量均较试验前有所下降,其中对照下降幅度最大、化肥处理次之、施用镁肥的 2 个处理则较小。试验前后各处理土壤交换性镁的变化情况,对照和施用化肥 2 个处理均较试验前有一定幅度下降,而施用镁肥的 2 个处理则均较试验前有所增加,显然这与镁肥的施用有一定关系。

3 讨论

3.1 红壤旱地的镁素状况与镁肥施用

红壤是南方亚热带地区具有富铝化特征的典型地带性土壤,受高温、多雨等气候条件的影响,红壤土体中的硅酸盐类矿物强烈分解,硅和盐基离子不断淋失,而铁、铝等氧化物则明显聚积,粘粒与次生矿物不断形成。这种性质在第四纪红土发育的红壤中尤为明显。据统计^[3, 8, 9],第四纪红土发育的红壤,其 pH 值一般为 4.3~5.3、交换性酸在 5 cmol·kg⁻¹ 以上,但交换性盐基总量仅约 1 cmol·kg⁻¹,其中交换性钙、镁量仅分别为 0.7 和 0.1 cmol·kg⁻¹ 左右。而在北方地区发育的土壤如褐土中交换性酸、交换性钙、交换性镁含量则分别达 20.5、15.1 和 4.8 cmol·kg⁻¹ 左右,红壤中交换性酸与交换性钙镁的比值远大于褐土;两种土壤的化学组成中,红壤中 CaO、MgO 的含量分别仅 0.7 和 5.5 g·kg⁻¹,显著低于褐土中的 60.3 和 24.4 g·kg⁻¹,因此,钙镁等养分缺乏已成为红壤的最显著特性,并由此导致作物减产和品质下降,必须合理补充钙、镁等营养元素,以保证红壤中作物的正常生长、提高作

物产量和品质。

20 世纪 70 年代到 80 年代初期, 红壤地区有施用石灰的习惯, 钙镁磷肥也被广泛使用, 这样不仅中和了红壤中的游离酸、而且也补充了一定量的钙、镁等阳离子养分。但 20 世纪 80 年代中期以来, 施用石灰的习惯逐步被抛弃, 钙镁磷肥也逐渐被其它高浓度化肥所取代, 这是导致该地区土壤中镁营养缺乏的重要原因之一。据黄鸿翔、高菊生等^[3-8]2000 年在江西、湖南、广东、广西等地的研究结果, 红壤中有效镁含量仅 $37.2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 与第 2 次土壤普查时的结果基本一致, 该地区大田作物镁肥施用效果以黄豆、花生增产幅度最大, 达 25%~40%; 其次是茶叶、烤烟, 增产幅度为 20%~25%; 而水稻的增产幅度较小, 一般仅 6% 左右。施用镁肥的增产幅度与土壤有效镁含量、作物品种等有关。本研究中原始土壤中交换性镁含量仅 $1.70 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ ($41.3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), 因此, 镁肥的施用效果也较好。由此可见, 镁已成为红壤旱地中作物生长与产量的重要限制因素之一, 为保证该地区旱地作物增产、提高作物品质, 必须施用镁肥。

3.2 镁肥的增产效果及其影响因素

镁肥的增产效果是随土壤理化性质、作物类型、施用方法、镁肥施用量及其与其它养分配比等诸多因素所决定的。从本研究的结果看, 黄花菜中不同含镁量的复合肥尽管其中氮磷钾的用量相同, 但因镁含量的差异, 最终导致了黄花菜产量增加 14.5%, 发病率显著降低, 土壤相关养分含量较高等结果。因此, 在红壤地区不仅应施用镁肥, 而且在一定程度上还应适当增加镁肥的施用量, 以充分发挥其效果。

在土壤理化性质特别是土壤镁含量对作物生长和产量的影响方面, 多数研究者认为土壤交换性镁含量高低是影响镁肥效果的最主要因素, 当土壤中交换性镁含量低于 $50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时, 施用镁肥有较好的增产效果。阮建云等^[7, 8]的研究认为, 在红壤中即使镁含量超过 $50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 茶树施镁也具有显著的增产效果。本研究的结果也充分表明: 在交换性镁含量达到 $40 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 以上时, 红壤旱地作物中施用镁肥亦有十分显著的增产效果, 即使是施用低量镁肥, 这种效果也较显著。因此, 对红壤地区旱地而言, 适当施用镁肥对提高作物产量、改善作物品质等均是十分必要的。

在相关养分施用对镁肥效果的影响方面, 一般认为高浓度的其它离子如 K^+ 、 Ca^{2+} 及 NH_4^+ 会抑制作物对镁的吸收。如黄鸿翔、高菊生等^[3-8]2000 年的研究结果认为, 大量施用钾肥, 更易引起土壤供镁量不足,

钾与镁有相互制约的作用。此外, 亦有研究认为, 当交换性 K 、 Mg 比值大于 5 : 1 时, 就可能会引起作物缺镁。本研究中两种含镁复合肥研制过程中, 充分考虑了作物对氮、磷、钾和镁的需要, 以及有利于充分发挥养分间的协调和促进作用, 并结合红壤旱地的理化性质, 因此, 无论是低镁含量还是高镁含量的复合肥均表现出十分良好的效果。

4 结 论

4.1 施用含镁复合肥有利于黄花菜的生长发育和提高抗锈病力, 并提高了产量。其中, 镁肥 II 产量最高, 达 $555.6 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, 比对照增产 57.4%; 镁肥 I 产量次之, 为 $485.2 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, 比对照增产 37.4%。镁肥 I 和镁肥 II 与对照的产量差异分别达到显著和极显著水平。

4.2 施用化肥及含镁复合肥, 均有利于调节土壤养分状况, 改善红壤的氮磷钾及镁素营养。与试验前比较, 相关养分的含量均有较大幅度提高。且以镁肥 II 效果最好, 碱解氮、速效磷、交换性钾及交换性镁含量分别比对照提高 94.9%、46.5%、31.1% 和 35.3%。可见施用镁肥可以明显提高黄花菜产量、改善土壤肥力状况。

4.3 在目前红壤地区土壤、气候及作物生长条件下, 无论是从提高作物产量, 还是从改善土壤肥力的角度出发, 均有必要施用镁肥。

References

- [1] 汪 洪, 褚天铎, 刘新保. 缺镁与正常供镁的菜豆组织结构比较研究. 中国农业科学, 1999, 32(4):63-67.
Wang H, Zhu T D, Liu B X. The comparative study on anatomical structure of common bean plant with Mg deficiency and normal Mg supply. *Scientia Agricultura Sinica*, 1999, 32(4): 63-67. (in Chinese)
- [2] 王 芳, 刘 鹏, 徐根娣. 土壤中的镁及其有效性研究概述. 河南农业科学, 2004, (1): 33-36.
Wang F, Liu P, Xu G D. Summarization on soil magnesium and validity. *Henan Agriculture Science*, 2004, (1): 33-36. (in Chinese)
- [3] 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): 19-23.
Huang H X, Chen F X, Xu M G, Qin D Z, Gao J S, Zhu Y X. Soil magnesium status and application technology of magnesium fertilizer in red soil region. *Soils and Fertilizers*, 2000, (5): 19-23. (in Chinese)
- [4] 游有文, 黄鸿翔, 王伯仁, 秦 琳. 湘南地区几种主要土壤施用钾、钙、镁肥对玉米生物产量的影响. 土壤肥料, 1999, (1): 20-23.
You Y W, Huang H X, Wang B R, Qin L. Effects of applying potassium, calcium and magnesium fertilizer on maize biology yield for several soil types in South-Hunan region. *Soils and Fertilizers*,

- 1999, (1): 20-23. (in Chinese)
- [5] 高菊生, 秦道珠, 陈福兴. 镁肥在湖南红壤旱地作物上的增产效果研究. 耕作与栽培, 2000, (4): 31-32.
Gao J S, Qin D Z, Chen F X. Effects of applying magnesium fertilizer on increasing yield with crops for red upland soil in South-Hunan region. *Farming and Planting*, 2000, (4): 31-32. (in Chinese)
- [6] 高菊生, 陈福兴, 秦道珠, 徐明岗, 邹长明, 王伯仁. 湘南红壤稻田施用镁肥对水稻的增产效果. 湖南农业科学, 2000, (4): 21-22.
Gao J S, Chen F X, Qin D Z, Xu M G, Zou C M, Wang B R. Effects of applying magnesium fertilizer on increasing rice yield for red paddy soil in South-Hunan region. *Hunan Agriculture Science*, 2000, (4): 21-22. (in Chinese)
- [7] 朱永兴, 陈福兴. 红壤丘陵茶园镁营养调控研究. 茶叶科学, 2003, 23 (增刊): 34-37.
Zhu Y X, Chen F X. Improvement of magnesium nutrition for tea gardens on hilly red soil in the southern Hunan Province. *Journal of Tea Science*, 2003, 23 (Suppl.): 34-37. (in Chinese)
- [8] 阮建云, 管彦良, 吴淘. 茶园土壤镁供应状况及镁肥施用效果研究. 中国农业科学, 2002, 35: 815-820.
Ruan J Y, Guan Y L, Wu X. Status of Mg availability and the effects of Mg application in tea fields of red soil area in China. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35: 815-820. (in Chinese)
- [9] 王伯仁, 游有文, 高菊生, 黄鸿翔. 湘南几种土壤钾、镁形态淋失及施用效果研究. 广西农业科学, 1999, (2): 68-71.
Wang B R, You Y W, Gao J S, Huang H X. Form filter and application effect of Potassium and magnesium for several soil types in South-Hunan region. *Guangxi Agriculture Science*, 1999, (2): 68-71. (in Chinese)
- [10] 姜勇, 张玉革, 梁文举, 闻大中, 肖鲁婷, 魏发田. 耕地土壤交换性镁含量的空间变异性特征. 沈阳农业大学学报, 2003, 34: 181-184.
Jiang Y, Zhang Y G, Liang W J, Wen D Z, Xiao L T, Wei F T. Spatial variability of exchangeable magnesium content in cultivated soils. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2003, 34: 181-184. (in Chinese)
- [11] 徐明岗, 张一平, 张君常, 孙本华. 两种土壤中钙镁磷钾向根系的运移机理. 中国农业科学, 1996, 29(5): 76-82.
Xu M G, Zhang Y P, Zhang J C, Sun B H. Mechanisms for the movement of Ca, Mg, P and K to plant roots growing in two soils. *Scientia Agricultura Sinica*, 1996, 29(5): 76-82. (in Chinese)
- [12] 李映强. 土壤中镁的生物有效性及其动力学性质. 热带亚热带土壤科学, 1998, 7: 236-238.
Li Y Q. Study on the bioavailability and the kinetic characteristics of magnesium in soil. *Tropical and Subtropical Soil Science*, 1998, 7: 236-238. (in Chinese)
- [13] 关军锋, 高敏, 樊秀彩, 顾采琴, 李广敏, 张继澍. 草莓果实成熟衰老与 Ca^{2+} 、 CaMg 、 Ca^{2+} -ATPase 和活性氧代谢的关系. 中国农业科学, 2002, 35: 1385-1389.
Guan J F, Gao M, Fan X C, Gu C Q, Li G M, Zhang J S. Relationship between maturation, senescence and Ca^{2+} , CaMg content, Ca^{2+} -ATPase activity, and active oxygen metabolism in strawberry fruits. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35: 1385-1389. (in Chinese)
- [14] 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. 土壤肥料, 2004, (2): 3-5.
Bai Y L, Jin J Y, Yang L P. Study on the content and distribution of soil available magnesium and foreground of magnesium fertilizer in China. *Soils and Fertilizers*, 2004, (2): 3-5. (in Chinese)
- [15] 汪洪. 土壤镁素研究的现状和展望. 土壤肥料, 1997, (1): 9-13.
Wang H. The current status of study about soil magnesium and its expectation. *Soils and Fertilizers*, 1997, (1): 9-13. (in Chinese)
- [16] 孟赐福, 傅庆林, 水建国, 周梅芳. 土壤酸度对大豆、油菜生长和产量的影响. 中国农业科学, 1994, 27(3): 63-70.
Meng C F, Fu Q L, Shui J G, Zhou M F. Growth and yield of soybeans and rapeseed to soil acidity. *Scientia Agricultura Sinica*, 1994, 27(3): 63-70. (in Chinese)
- [17] 方平. 黄花菜的生长发育特点及施肥技术. 河南农业, 2004, (1): 14.
Fang P. The characteristics of growth for daylily (*Hemerocallis citrina baroni*) and fertilize techniques. *Henan Agriculture*, 2004, (1): 14. (in Chinese)
- [18] 许春晓, 马文银. 湖南邵东县黄花菜资源的开发研究. 资源开发与市场, 1994, 10: 277-280.
Xu C X, Ma W Y. A study of development of daylily (*Hemerocallis citrina baroni*) buds in Shaodong County, Hunan Province. *Resource Development and Market*, 1994, 10: 277-280. (in Chinese)
- [19] 龙琳, 刘杰, 洪亚辉. 邵东黄花菜生产现状及发展分析. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2003, 29: 533-535
Long L, Liu J, Hong Y H. An analysis of day lily production status and development in Shaodong county. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 2003, 29: 533-535. (in Chinese)
- [20] 湖南省经济作物局编著. 黄花菜栽培技术. 上海: 上海科学技术出版社, 1984: 11.
Economic Crop Office of Hunan Province. *Planting Technique about Daylily (Hemerocallis citrina Baroni)*. Shanghai: Shanghai Science and Technique Press, 1984: 11. (in Chinese)
- [21] 中国土壤学会农业化学专业委员会编. 土壤农业化学常规分析方法. 北京: 科学出版社, 1989.
The Agricultural Chemistry Specialty Committee of Chinese Soil Academy. *The General Analysis Methods for Soil and Agriculture Chemistry*. Beijing: Science Press, 1989. (in Chinese)

(责任编辑 李云霞)