

施镁对缺镁葡萄叶片和果实矿质元素含量的影响

马晓丽¹, 王 进¹, 关 睢¹, 吕秀兰^{1*}, 向苹苇², 任杰群²

(1. 四川农业大学园艺学院, 四川 成都 611130; 2. 重庆三峡农业科学院, 重庆 万州 404155)

摘 要: 在大田条件下, 对缺镁的葡萄园进行了土施和叶面喷施硫酸镁肥的试验, 探讨缺镁条件下, 施镁对葡萄叶片和果实矿质营养吸收的影响, 为葡萄施肥提供理论依据。采用裂区试验, 主区设 4 个土施硫酸镁梯度, 分别为 0、112.5、150、187.5 kg/hm², 副区设 3 个叶面喷施硫酸镁浓度, 分别是 0%、0.2%、0.4%。结果表明: 土施和叶面喷施硫酸镁在增加缺镁葡萄镁含量的同时, 促进了钾、钙和锰的吸收, 但降低了叶片和果实中锌含量, 对铁和铜的影响不显著。土施镁肥极显著增加了叶片和果实中镁含量, 叶面喷施极显著增加了叶片镁含量, 但对果实镁含量影响不显著; 土施 150 kg/hm²同时叶面喷施 0.4% 硫酸镁肥, 可提高叶片和果实中镁及其它矿质元素的含量。

关键词: 缺镁; 土施; 叶面喷施; 矿质元素; 相关分析

中图分类号: S143.7⁺2; S663.1

文献标识码: A

文章编号: 1673-6257 (2017) 06-0117-05

镁在植物生理作用中有着其它阳离子不可替代的重要地位, 参与光合作用、碳氮代谢等^[1-2]。我国南方地区受气候及土壤酸性较强等因素的影响, 土壤中的镁容易因迁移和淋溶而损失, 土壤供镁能力降低, 作物缺镁现象日益严重^[3-4]。葡萄对镁需求量大, 缺镁全年都可发生, 葡萄缺镁时, 会改变叶绿素结构、降低光合效率、蛋白质合成受阻, 影响对其他矿质元素的吸收, 并导致果实品质的降低^[5-6]。国内外有很多对镁素营养的研究, 但大多集中在缺镁对植物光合作用以及酶系统等的的影响上, 并且对盆栽蔬菜及沙培果树幼苗研究较多^[7-8], 在大田条件下, 对缺镁多年生果树土施及叶面喷施镁肥对植株矿质营养的吸收是否产生影响及镁含量与其他矿质元素含量的相关性的报道相对较少。因此, 本文拟在田间条件下, 对缺镁的葡萄园进行土施和叶面喷施镁肥, 分析叶片及果实中部分矿质元素含量的差异显著性, 评价土施与叶面喷施对矿质元素含量的影响, 并分析叶片与果实镁含量与其他矿质元素的相关性。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于四川省龙泉驿区洛带镇宝胜村, 属

亚热带湿润气候, 气候温和, 雨量充沛, 四季分明。年平均日照 1 032.9 h, 8 月最多, 12 月最少。年平均气温 16.5℃, 无霜期年平均 297 d, 年降水量平均为 895.6 mm, 年均相对湿度 81%。试验的前一年对该地土壤和葡萄成熟叶片进行了营养诊断, 试验土壤为红色砂土, 其基本理化性状为 pH 值 5.56、有机质 19.76 g/kg、铵态氮 8.56 mg/kg、硝态氮 18.29 mg/kg、有效磷 20.76 mg/kg、速效钾 104.34 mg/kg、有效钙 342.35 mg/kg、有效镁 40.79 mg/kg、有效锌 1.23 mg/kg、有效铁 34.78 mg/kg、有效锰 17.89 mg/kg; 该地葡萄成熟叶片元素含量为钾 5.93 g/kg、钙 14.84 g/kg、镁 1.6 g/kg、铁 74.34 mg/kg、锰 48.36 mg/kg、锌 24.78 mg/kg、铜 12.36 mg/kg。参考李港丽等^[9]葡萄叶片营养分级标准, 发现该地葡萄的钾、钙、锌、铁、铜元素均在适量水平, 但镁含量缺乏。

1.2 试验设计

采用裂区试验设计, 主区设 4 个土施硫酸镁 ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 水平, 分别是 0、112.5、150、187.5 kg/hm², 以 S_0 、 S_1 、 S_2 、 S_3 表示, 副区设 3 个叶面喷施硫酸镁浓度, 分别是 0%、0.2%、0.4%, 用 F_0 、 $F_{0.2}$ 、 $F_{0.4}$ 表示, 共计 12 个处理, 依次为 S_0F_0 、 $S_0F_{0.2}$ 、 $S_0F_{0.4}$ 、 S_1F_0 、 $S_1F_{0.2}$ 、 $S_1F_{0.4}$ 、 S_2F_0 、 $S_2F_{0.2}$ 、 $S_2F_{0.4}$ 、 S_3F_0 、 $S_3F_{0.2}$ 、 $S_3F_{0.4}$ 。每个处理选 10 株葡萄, 重复 3 次, 小区面积 30 m², 土施硫酸镁在秋季随基肥施入, 然后进行旋耕; 叶面喷施则分 3 次, 分别为 5 月中旬、6 月中旬、7 月中旬, 以叶片

收稿日期: 2017-01-20; 最后修订日期: 2017-03-20

作者简介: 马晓丽 (1991-), 女, 四川简阳人, 硕士研究生, 主要从事葡萄栽培配套关键技术研究与推广。E-mail: 545298645@qq.com。

通讯作者: 吕秀兰, E-mail: xllvjj@163.com。

滴水为限。自2014年10月开始, 试验连续进行2年。

1.3 测定项目与方法

2016年8月15日采集结果位点叶片, 并摘取相应位点果穗上、中、下、东、西、南、北位置的果实, 样品采集后带回实验室, 根据中国农业大学制定的标准进行洗涤: ① 0.1 mol/L 盐酸溶液洗涤叶片 30 s; ② 0.1% 洗净剂洗涤 30 s; ③ 取出并用自来水冲洗; ④ 再用无离子水冲洗, 用滤纸吸去表面水分。将洗涤过后的叶片和果实置于 105℃ 烘箱中杀酶 20 min, 之后在 70~80℃ 下烘干至脆。用不锈钢植物磨碎机磨碎之后过 0.25 mm 孔径筛, 贮于干燥器中待测。叶片和果实中全钾用 $\text{H}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}_2$ 消煮, 火焰光度计法测定, 全钙、镁、锌、铁、锰、铜通过 550℃ 马弗炉灼烧, 制成灰分, 倒入稀盐酸溶解, 用火焰原子吸收光谱法^[10]测定。叶片营养诊断评价指标参照李港丽等^[9]和石伟勇^[11]的分级标准, 见表 1。

表 1 中国葡萄叶片营养元素分级标准

叶片养分	缺乏	低量	适量	高量
全钾 (g/kg)	<2.8	2.8~9.0	9.1~22.0	>22.0
全钙 (g/kg)	<0.4	0.4~6.9	7.0~20.0	>20.0
全镁 (g/kg)	<1.5	1.5~2.5	2.6~15.0	>15.0
全铁 (mg/kg)	<18	18~29	30~100	>100
全锰 (mg/kg)	<18	18~29	30~650	>650
全铜 (mg/kg)	<2	2~9	10~50	>50
全锌 (mg/kg)	<11	11~24	25~50	>50

果实成熟后, 每处理随机采取 8 穗果, 用电子天平称量单穗重, 并计算单株产量, 每穗果摘取上、中、下、东、西、南、北位置的果实称量单果重。

1.4 数据处理与分析

试验数据采用 Excel 2010 软件进行处理并绘制相关图表, 采用 SPSS 18.0 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 施镁对缺镁葡萄叶片与果实镁含量的影响

由图 1 可以看出, 施镁后叶片镁含量显著增加, 均达到了适量标准, 处理 $\text{S}_3\text{F}_{0.4}$ 叶片镁含量最高, 达到了 4.65 g/kg, 与处理 $\text{S}_2\text{F}_{0.4}$ 差异不显著, 较其他处理差异显著。当土施量一定时, 叶片镁含量表现出 $\text{F}_{0.4} > \text{F}_{0.2} > \text{F}_0$, 当叶面喷施浓度一定时, 表现出 $\text{S}_3 > \text{S}_2 > \text{S}_1 > \text{S}_0$, 鉴定土施与叶面喷施对叶片中镁含量的效果发现, 土施和叶面喷施镁肥能够极显著影响叶片中镁含量, 且有极显著交互效应。

果实中各处理镁含量, 没有叶片中差异大, 处理 $\text{S}_3\text{F}_{0.2}$ 果实镁含量最高, 与处理 $\text{S}_3\text{F}_{0.4}$ 、 S_3F_0 及 $\text{S}_2\text{F}_{0.4}$ 差异不显著, 其次是处理 S_2F_0 , 未施镁肥的处理 S_0F_0 含量最低, 但与处理 $\text{S}_0\text{F}_{0.2}$ 、 $\text{S}_0\text{F}_{0.4}$ 、 S_1F_0 、 $\text{S}_1\text{F}_{0.2}$ 、 $\text{S}_1\text{F}_{0.4}$ 、 $\text{S}_2\text{F}_{0.2}$ 差异不显著。分析两种施镁方式对果实镁含量的影响发现, 土施能够极显著增加果实中镁含量, 而叶面喷施对镁含量影响不显著, 两者交互效应不显著。

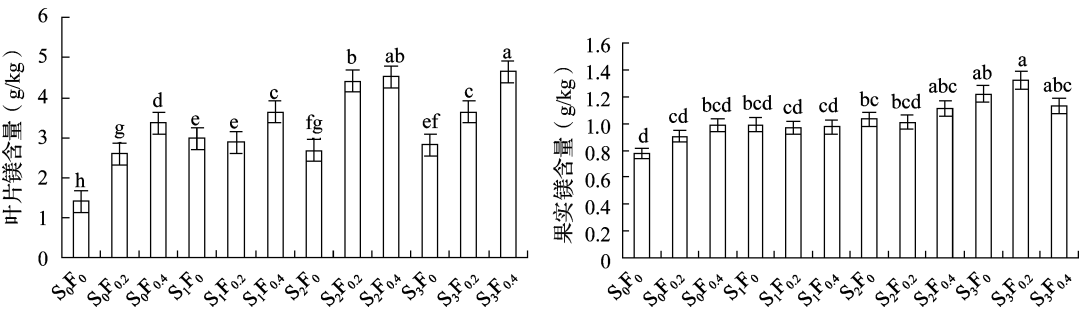


图 1 土施与叶面喷施硫酸镁对缺镁葡萄叶片与果实镁含量的影响

注: 图柱上字母不同表示处理间在 0.05 水平差异显著。下同。

2.2 施镁对缺镁葡萄叶片与果实钾、钙含量的影响

由表 2 可以看出, 土施和叶面喷施硫酸镁后, 叶片及果实钾、钙含量显著增加, 处理 $\text{S}_2\text{F}_{0.4}$ 叶片钾含量最高, 显著高于其他处理, 其次是处理 S_2F_0 、 $\text{S}_2\text{F}_{0.2}$ 和 S_3F_0 , 再次是处理 $\text{S}_1\text{F}_{0.4}$, 未土施镁肥的 S_0F_0 、 $\text{S}_0\text{F}_{0.2}$ 和 $\text{S}_0\text{F}_{0.4}$ 含量最低且差异不显著; 处理 $\text{S}_1\text{F}_{0.4}$ 、 S_2F_0 、 $\text{S}_2\text{F}_{0.2}$ 、 $\text{S}_2\text{F}_{0.4}$ 和 S_3F_0 叶片钾含量

达到适量范围, 其他处理钾含量处于低量范围。处理 $\text{S}_2\text{F}_{0.4}$ 果实钾含量最高, 达到 6.93 g/kg, 其次是处理 $\text{S}_3\text{F}_{0.4}$ 、 S_2F_0 、 $\text{S}_1\text{F}_{0.4}$, S_0F_0 钾含量最低; 处理 $\text{S}_1\text{F}_{0.2}$ 叶片钙含量最高, 与 $\text{S}_1\text{F}_{0.4}$ 差异不显著, 较其他差异显著, 其次是 S_2F_0 、 $\text{S}_2\text{F}_{0.4}$ 、 $\text{S}_3\text{F}_{0.2}$ 、 $\text{S}_3\text{F}_{0.4}$, 处理 S_0F_0 钙含量最低, 与处理 $\text{S}_0\text{F}_{0.4}$ 差异不显著, 两者钙含量处于适量范围, 其他处理钙含量均处于

高量范围; 处理 $S_2F_{0.2}$ 果实钙含量最高, 其次是处理 $S_2F_{0.4}$ 、 S_3F_0 和 $S_3F_{0.2}$, 未土施硫酸镁的处理 S_0F_0 、 $S_0F_{0.2}$ 、 $S_0F_{0.4}$ 含量最低。

鉴定土施与叶面喷施硫酸镁对钾、钙含量的效果发现, 土施硫酸镁对叶片和果实钾、钙含量存在极显著影响, 叶面喷施对叶片钾含量影响不显著, 对果实钾含量和叶片及果实钙含量影响极显著, 土施和叶面喷施对叶片和果实钾、钙含量存在极显著交互效应。

表2 土施和叶面喷施镁肥对缺镁葡萄叶片和果实中钾、钙含量的影响 (g/kg)

处理	钾		钙	
	叶片	果实	叶片	果实
S_0F_0	5.17 f	2.87 g	15.00 f	0.72 f
$S_0F_{0.2}$	4.07 f	4.25 d	23.54 cd	0.76 f
$S_0F_{0.4}$	4.28 f	4.95 c	16.61 f	0.64 f
S_1F_0	6.86 e	3.63 ef	20.41 e	1.50 e
$S_1F_{0.2}$	8.68 cd	4.06 de	29.76 a	1.57 e
$S_1F_{0.4}$	9.38 c	6.24 b	27.99 ab	2.31 d
S_2F_0	11.47 b	6.18 b	25.18 bc	3.39 c
$S_2F_{0.2}$	11.14 b	4.98 c	22.19 de	5.78 a
$S_2F_{0.4}$	12.92 a	6.93 a	26.33 bc	4.42 b
S_3F_0	10.78 b	3.27 fg	24.40 cd	4.80 b
$S_3F_{0.2}$	8.44 cd	5.39 c	25.42 bc	4.64 b
$S_3F_{0.4}$	7.93 de	6.33 b	25.78 bc	3.73 c
方差分析 F 值				
土施 (S)	195.93 **	82.15 **	44.28 **	257.85 **
叶面喷施 (F)	2.69	182.49 **	20.56 **	8.57 **
$S \times F$	11.52 **	23.18 **	13.40 **	12.71 **

注: 1. ** 表示 F 检验极显著水平 ($P < 0.01$)。2. 各处理多重比较采用 DUCAN 法, 同一列不同的小写字母表示各处理在 0.05 水平下差异显著。下同。

2.3 施镁对缺镁葡萄叶片和果实铁、锰、铜、锌含量的影响

由表3可以看出, 所有处理叶片铁含量均处于适量范围, 其中处理 S_3F_0 叶片铁含量最高, 达到了 95.79 mg/kg, 但与 S_2F_0 、 S_1F_0 和 $S_0F_{0.4}$ 差异不显著, 处理 $S_3Y_{0.4}$ 铁含量最低。处理 S_3F_0 和 S_2F_0 果实铁含量最高, 其次是处理 $S_0F_{0.4}$, 而处理 $S_3F_{0.4}$ 含量最低, 土施硫酸镁对缺镁葡萄叶片和果实铁含量影响不显著, 叶面喷施对叶片和果实中铁含量有极显著影响, 两者结合使用对铁含量有极显著交互效应。

施镁后, 叶片和果实中锰含量显著增加, 除处理 S_0F_0 、 $S_0F_{0.2}$ 叶片锰含量处于低量范围, 其他处理均为适量范围, 处理 $S_3F_{0.2}$ 叶片和果实锰含量最高, 未施镁肥的处理 S_0F_0 叶片锰含量最低、处理 $S_0F_{0.4}$ 果实锰含量最低, 随着土施和叶面喷施浓度的增大, 叶片和果实锰含量逐渐增加。

施镁后, 叶片和果实锌、铜含量存在一定程度的降低, 所有处理叶片锌含量均处于低量但在不缺乏范围, 处理 S_2F_0 和 $S_3F_{0.2}$ 叶片铜含量处于低量范围, 其他处理均处于适量范围。处理 S_0F_0 锌含量最高, 其次是处理 $S_0F_{0.2}$ 和 $S_1F_{0.2}$; 处理 S_0F_0 、 $S_2F_{0.2}$ 和 $S_3F_{0.4}$ 叶片铜含量最高, 处理 S_2F_0 和 $S_3F_{0.2}$ 含量最低。土施对叶片和果实锌、铜含量影响显著, 叶面喷施对叶片和果实锌含量有显著的影响, 对叶片铜含量影响不显著, 对果实铜含量影响显著, 两者结合对叶片和果实锌、铜含量有极显著交互效应。

表3 土施和叶面喷施镁肥对缺镁葡萄叶片和果实中铁、锰、锌、铜含量的影响 (mg/kg)

处理	铁		锰		锌		铜	
	叶片	果实	叶片	果实	叶片	果实	叶片	果实
S_0F_0	70.12 b	19.86 cde	22.81 e	8.25 ef	21.29 a	1.48 a	16.39 a	8.76 cd
$S_0F_{0.2}$	53.68 c	17.76 de	26.68 e	8.36 ef	15.77 bc	0.84 b	12.47 b	6.11 ef
$S_0F_{0.4}$	89.57 a	23.04 bc	39.48 e	6.65 f	14.52 cd	0.91 b	11.02 bc	6.50 ef
S_1F_0	85.30 a	21.98 cd	62.55 d	12.11 d	15.30 c	0.74 b	10.13 bc	9.78 bc
$S_1F_{0.2}$	68.29 b	18.62 de	68.75 d	8.53 ef	17.88 b	0.46 c	11.98 bc	5.95 f
$S_1F_{0.4}$	70.14 b	20.39 cde	130.28 c	9.32 e	13.62 cde	0.40 c	10.53 bc	9.36 bc
S_2F_0	93.34 a	26.30 ab	115.56 c	12.26 d	12.31 de	0.21 d	9.54 c	10.77 b
$S_2F_{0.2}$	66.30 b	18.20 de	120.54 c	20.00 c	12.69 de	0.35 cd	16.88 a	12.71 a
$S_2F_{0.4}$	69.53 b	19.76 cde	128.54 c	11.55 d	12.68 de	0.86 b	11.71 bc	7.23 def
S_3F_0	95.79 a	28.08 a	186.41 b	26.57 b	12.04 e	0.51 c	10.31 bc	7.05 ef
$S_3F_{0.2}$	67.52 b	17.77 de	222.16 a	40.12 a	12.17 de	0.86 b	9.64 c	7.76 de
$S_3F_{0.4}$	50.93 c	16.12 e	212.11 a	28.29 b	12.47 de	0.46 c	16.70 a	5.62 f
方差分析 F 值								
土施 (S)	1.67	0.53	289.76 **	732.05 **	31.84 **	75.44 **	4.90 *	27.46 **
叶面喷施 (F)	45.05 **	22.72 **	16.81 **	67.72 **	7.00 **	4.16 *	2.26	13.84 **
$S \times F$	17.62 **	6.57 **	5.30 **	33.61 **	8.47 **	34.28 **	18.82 **	14.78 **

2.4 施镁对缺镁葡萄单果重和单穗重的影响

由图2可以看出, 土施和叶面喷施镁肥后, 缺镁葡萄单果重和单穗重显著升高, 处理 $S_2F_{0.4}$ 单果重

和单穗重均最大, 单果重达到了 15.21 g, 与处理 $S_1F_{0.4}$ 、 $S_2F_{0.2}$ 差异不显著, 单穗重达到 686.23 g, 与处理 $S_1F_{0.4}$ 、 $S_2F_{0.2}$ 、 $S_3F_{0.2}$ 、 $S_3F_{0.4}$ 差异不显著。

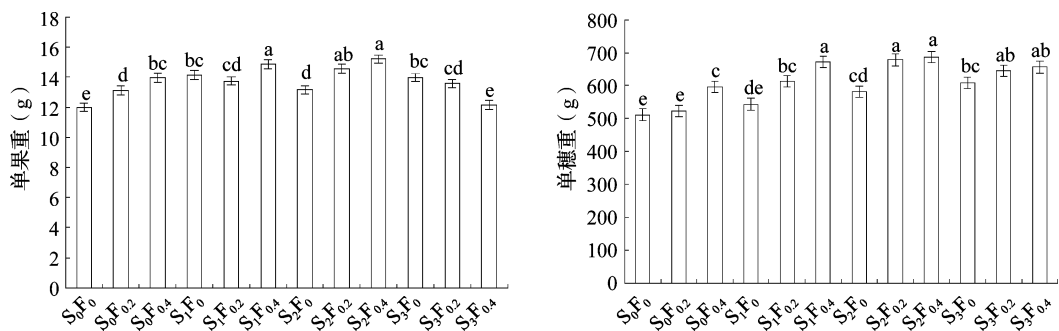


图2 土施与叶面喷施硫酸镁对缺镁葡萄单果重和单穗重的影响

2.5 叶片、果实中镁含量与矿质元素含量的相关性分析

表4为叶片中镁含量与部分矿质元素含量的相关分析。可以看出，对缺镁葡萄土施和叶面喷施硫酸镁后，叶片镁含量与叶片钾和锰含量有极显著正相关关系，与钙含量有显著正相关，与锌含量极显著负相关，与铁和铜含量相关性不显著。

表4 叶片中镁含量与部分矿质的相关性分析

相关性	钾	钙	铁	锰	锌	铜
镁	0.48 **	0.41 *	-0.31	0.59 **	-0.67 **	0.13

注：*和**分别表示相关性达显著（ $P < 0.05$ ）和极显著（ $P < 0.01$ ）水平。下同。

表5为果实中镁含量与部分矿质元素含量的相关分析，可以看出，对缺镁葡萄土施和叶面喷施硫酸镁后，果实中镁含量与钙和锰含量有极显著正相关关系，与钾和铁含量有显著正相关，与锌和铜含量相关性不显著。

表5 果实中镁含量与矿质元素含量的相关性分析

相关性	钾	钙	铁	锰	锌	铜
镁	0.39 *	0.68 **	0.35 *	0.74 **	-0.14	0.07

3 讨论

葡萄生产上施镁以土施和叶面喷施镁肥为主。在镁比较缺乏的土壤上，镁肥作为基肥施用效果较好，但是土施镁肥容易受到土壤酸度、土壤质地、土壤胶体种类和其他元素（尤其是交换性钙、铝）的影响。叶面喷施镁肥，用量少，成本低，见效快，但无法从根本上解决缺镁症状^[12-13]。本试验发现，土施镁肥极显著增加了叶片和果实中镁含量，叶面喷施极显著增加叶片镁含量，但对果实镁含量影响不显著，土施和叶面喷施结合时，对叶片镁含量的增加有极显著交互效应。

一般认为，镁与钾、钙之间存在负相关关系，

陈伟立等^[14]发现缺镁增加了砂糖橘叶片钾含量，徐畅等^[15]发现烟叶钾素含量与施镁量的增加呈极显著负相关，张一扬等^[16]也发现施钾后烟叶镁含量降低，钾与镁的吸收存在拮抗作用。陈建军等^[17]发现镁元素缺乏降低了何首乌块根对钙的吸收，李华东等^[18]也发现土壤施钙降低了芒果果实中镁含量。但本试验发现施镁能够显著增加缺镁葡萄叶片和果实中钾、钙含量，且镁与钾、钙含量显著正相关，可能是由于硫酸镁的施入促进了缺镁葡萄的生长发育，增强了植株对钾、钙的吸收能力。

已有对于镁与铁、锰、锌、铜之间的关系的研究也并不一致，陈建军等^[17]发现镁元素缺乏降低了何首乌块根对锰和铁的吸收，马洪波等^[19]发现缺镁条件下，甘薯苏16根部和叶部的铁无显著下降。徐雷等^[20]则发现缺镁显著增加了黄瓜苗期锰、铁、锌、铜含量。本试验发现补镁后缺镁葡萄锰含量显著增加，叶片和果实中锰含量与镁含量显著正相关，这与Hermans等^[21]在拟南芥上发现缺镁显著增加了锰含量，锰含量与镁含量呈显著负相关不一致。与杨思存等^[22]发现绿洲盐化潮土施镁抑制了玉米幼苗对锌的吸收研究一致，本试验也发现，施镁后，缺镁葡萄叶片锌含量显著降低，锌含量与镁含量极显著负相关，但果实中相关性不显著。

4 结论

施镁显著增加了缺镁葡萄叶片和果实镁含量，并促进了叶片和果实中钾、钙、锰的吸收，但降低了锌含量，对铁和铜的影响不显著。处理S₂F_{0.4}（即秋季土施150 kg/hm²硫酸镁肥，5月中旬、6月中旬、7月中旬叶面喷施0.4%硫酸镁肥）的叶片镁、钾、铁、锰含量处于适量标准，钙高量，锌低量但不缺乏，单果重和单穗重最大。

参考文献：

[1] Beale S. Enzymes of chlorophyll biosynthesis [J]. Photosyn-

- thesis Research, 1999, 60: 43–73.
- [2] 王芳, 刘鹏, 朱靖文. 镁对大豆游离脯氨酸、可溶性糖和可溶性蛋白质含量的影响 [J]. 河南农业科学, 2004, (6): 35–38.
- [3] Guo J H, Liu X J, Zhang Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands [J]. Science, 2010, 327: 1008–1010.
- [4] 刘晓燕. 我国农田土壤肥力和养分平衡状况研究 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2008.
- [5] 韩艳婷, 杨国顺, 石雪晖, 等. 不同镁营养水平对红地球葡萄叶绿体结构及光合响应的影响 [J]. 果树学报, 2011, 28 (4): 603–609.
- [6] Yang G H, Yang L T, Jiang H X, et al. Physiological impacts of magnesium deficiency in Citrus seedlings: photosynthesis, antioxidant system and carbohydrates [J]. Trees, 2012, 26: 1237–1250.
- [7] 谢小玉, 刘晓建, 刘海涛. 不同温度下镁胁迫对黄瓜光合特性和活性氧清除系统的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15 (5): 1231–1235.
- [8] 刘厚诚, 陈细明, 陈日远, 等. 缺镁对菜薹光合作用特性的影响 [J]. 园艺学报, 2006, 33 (2): 311–316.
- [9] 李港丽, 苏润, 宇沈隽. 几种落叶果树叶内矿质元素含量标准值的研究 [J]. 园艺学报, 1987, 14 (2): 81–88.
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析 (第三版) [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000. 67–72.
- [11] 石伟勇. 植物营养诊断与施肥 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2005. 312.
- [12] 温明霞, 吴韶辉, 王鹏, 等. 缺镁温州蜜柑果园的施镁效应研究 [J]. 果树学报, 2015, 32 (1): 63–68.
- [13] 吴兴明, 杨建榕, 王晋, 等. 叶面施用硫酸镁矫治柑桔缺镁症的效果研究 [J]. 中国南方果树, 2013, 42 (1): 1–4.
- [14] 陈伟立, 谢小林, 李娟, 等. 缺镁胁迫对‘砂糖橘’植株矿质养分及抗氧化酶的影响 [J]. 热带农业科学, 2015, 35 (6): 5–10.
- [15] 徐畅, 高明, 谢德体, 等. 重庆市植烟区土壤镁素含量状况及施镁效应研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16 (2): 449–456.
- [16] 张一扬, 肖汉乾, 李明德, 等. 钾素营养对烤烟生长及养分吸收的影响 [J]. 土壤通报, 2004, 35 (4): 466–470.
- [17] 陈建军, 李金玲, 赵致, 等. 钙镁元素缺乏对一年生何首乌块根矿质元素含量的影响 [J]. 贵州农业科学, 2014, 42 (1): 33–35.
- [18] 李华东, 白亭玉, 郑妍, 等. 土壤施钙对芒果果实钾、钙、镁含量及品质的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2014, (6): 76–80.
- [19] 马洪波, 李传哲, 宁运旺, 等. 钙镁缺乏对不同甘薯品种的生长和矿质元素吸收的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2015, (4): 101–107.
- [20] 徐雷, 梁林洲, 董晓英, 等. 镁缺乏对黄瓜苗期生长及矿质营养吸收的影响 [J]. 江西农业大学学报, 2012, 34 (5): 899–903.
- [21] Hermans C, Chen J, Coppens F, et al. Low magnesium status in plants enhances tolerance to cadmium exposure [J]. New Phytologist, 2011, 192 (2): 428–436.
- [22] 杨思存, 霍琳, 王成宝, 等. 绿洲盐化潮土施镁对玉米幼苗生长、活性氧自由基代谢和锌营养的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21 (2): 354–361.

Effects of magnesium application on the mineral nutrition absorption by grapes with magnesium deficiency

MA Xiao-li¹, WANG Jin¹, GUAN Sui¹, LÜ Xiu-lan^{1*}, XIANG Ping-wei², REN Jie-qun² (1. College of Horticulture, Sichuan Agricultural University, Chengdu Sichuan 611130; 2. The Chongqing Tree Gorges Academy of Agriculture Sciences, Wanzhou Chongqing 404155)

Abstract: Under the condition of lack of magnesium, effects of magnesium application on the mineral nutrition absorption of grape were studied to explore the relationship between magnesium application and nutrients contents of leaves and grape fruits, in order to provide reference basis for formulating rational fertilization technique of grape. A field experiment with a split plot design was conducted, four soil applying gradients of 0, 112.5, 150, 187.5 kg/hm² were set up in the main area, while in deputy district three concentrations of foliar spraying were set up, respectively was 0%, 0.2%, 0.4%, mineral element contents in leaves and fruits were measured. The results showed that magnesium supplement significantly increased the magnesium content of grape leaves and fruit, and promoted the absorption of potassium, calcium and manganese, but reduced the zinc content in the leaves and fruit, and there was no significant effect on iron and copper. When soil applying 150 kg/hm² and foliar spraying 0.4% magnesium fertilizer, the magnesium, potassium, iron, manganese contents in the blade were appropriate, while calcium was high, zinc was in low level but could meet the need of grapes, spikelets and fruit weight were the largest. It was concluded that magnesium application under soil applying 150 kg/hm² and foliar spraying 0.4% was the best.

Key words: magnesium deficiency; soil application; spraying on the leaf; mineral nutrition; correlation analysis