

镁肥对葡萄叶片糖、淀粉和蛋白质及果实品质的影响

马晓丽^{1,2}, 刘雪峰^{1,2}, 杨 梅^{1,2}, 颜秋杨³, 袁项成^{1,2}, 向莘莘^{1,2*}

(1. 重庆三峡农业科学院, 重庆 404155; 2. 重庆市山地生态农业工程技术研究中心, 重庆 404155; 3. 重庆三峡学院, 重庆 404100)

摘 要: 探讨大田条件下, 施镁对缺镁葡萄叶片糖、淀粉和蛋白质及果实品质的影响, 为葡萄科学施肥提供理论依据。采用裂区试验, 主区设 4 个土施硫酸镁梯度, 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%。结果发现: 土施和叶面喷施镁肥能够显著提高叶片镁含量, 提升硝酸还原酶活性, 增加可溶性蛋白和可溶性糖含量, 并促进淀粉转运, 减少其在叶片中的积累, 最终增加果皮花色素含量, 使果皮显著变红, 并提高果实可溶性固形物含量, 降低可滴定酸含量, 提升了果实外在和内在品质。土施 150 kg/hm²同时叶面喷施 0.4% 硫酸镁肥时, 叶片镁含量处于适量标准, 硝酸还原酶活性高, 叶片可溶性蛋白和糖含量高, 果皮红, 果实糖高酸低, 施镁效果最好。

关键词: 缺镁; 土施; 叶面喷施; 糖; 淀粉; 蛋白质; 果实品质

中图分类号: S143.7; S663.1

文献标识码: A

文章编号: 1673-6257 (2018) 04-0114-07

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, 会改变叶绿体结构、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, 并且在盆栽蔬菜及沙培果树幼苗研究较多^[7-8], 在大田条件下, 缺镁多年生果树土施及叶面喷施镁肥后, 对植株叶片硝酸还原酶活性、糖、淀粉和蛋白质等干物质积累的影响, 特别是果实外在色泽和内在品质的研究相对较少。因此, 本文拟在田间条件下, 对缺镁葡萄园进行土施和叶面喷施镁肥, 分析叶片硝酸还原酶活性、可溶性糖等有机物质积累及果皮颜色、果实内在品质的差异显著性, 评价土施与叶面喷施对葡萄叶片干物质积累和果实品质的影响, 并分析叶片镁含量与果实品质的相关性。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地在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%。试验前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 1.60 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, 发现该地葡萄钾、钙、锌、铁、铜元素均在适量水平, 但镁含量缺乏严重。

1.2 试验设计

采用裂区试验设计, 主区设 4 个土施硫酸镁 (MgSO₄ · 7H₂O) 水平, 分别是 0、112.5、150、187.5 kg/hm², 用 S₀、S₁、S₂、S₃ 表示, 副区设 3 个叶面喷施硫酸镁浓度, 分别是 0%、0.2%、0.4%,

收稿日期: 2017-10-19; 最后修订日期: 2017-12-30

作者简介: 马晓丽 (1991-), 女, 四川简阳人, 硕士研究生, 主要从事果树营养与肥料研究。E-mail: 545298645@qq.com。

通讯作者: 向莘莘, E-mail: 1294983629@qq.com。

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 、 $S_3F_{0.2}$ 、 $S_3F_{0.4}$ 。每个小区选 10 株葡萄, 重复 3 次, 共 360 株葡萄, 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 10 月 5 日, 即果实成熟期, 采集坐果位点的叶片, 每个处理随机采集 9 片, 塑封袋标号, 并放入冰盒, 带回实验室后对各项指标进行测定, 3 次重复, 取其平均值。同时每个处理随机取 10 个果穗, 进行果实品质测定。

1.3.1 叶片镁含量的测定

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% 洗洁剂洗涤 30 s; ③ 自来水冲洗; ④ 无离子水冲洗, 用滤纸吸去表面水分。将洗涤过后的叶片置于 105 °C 烘箱中杀酶 20 min, 之后在 70 ~ 80 °C 下烘干。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。叶片镁通过 550 °C 马弗炉灼烧, 制成灰分, 加入稀盐酸溶解, 用火焰原子吸收光谱法^[10]测定。

1.3.2 叶片硝酸还原酶和部分干物质含量的测定

淀粉含量和可溶性糖含量用蒽酮法测定^[11], 硝酸还原酶活性参考王晶英等^[12]的方法测定, 可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝染色法测定, 用牛血清蛋白作标准曲线^[11]。

1.3.3 果实外观色泽和内在品质的测定

用电子天平称量单穗重, 每穗果摘取上、中、下、东、西、南、北位置的果实称量单果重。采用柯尼卡美能达 CM-2600d 测色仪测定 L (亮度)、a 轴 (红绿)、b 轴 (黄蓝)^[13]。参考杨夫臣等^[14]提取葡萄果皮花色素的方法, 用 1% 盐酸-无水乙醇提取并计算果皮花色素含量。数字显示糖量计测定可溶性固形物含量; 酸碱中和法测可滴定酸含量, 以酒石酸计, 折算系数 0.075^[15]。

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 施镁肥对缺镁葡萄叶片镁含量的影响

由图 1 可以看出, 施镁肥后, 叶片镁含量显著

增加, 均达到了适量标准, 处理 $S_3F_{0.4}$ 镁含量最高, 达到了 4.65 g/kg, 与处理 $S_2F_{0.4}$ 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 $F_{0.4} > F_{0.2} > F_0$, 当叶面喷施浓度一定时, 表现出 $S_3 > S_2 > S_1 > S_0$ 。表 1 为土施和叶面喷施镁肥对叶片镁含量的效果, 可以看出土施和叶面喷施镁肥对叶片镁的影响均达到极显著水平, 且两者存在极显著交互效应, 说明两者配合施用对叶片镁含量有相互促进的作用。

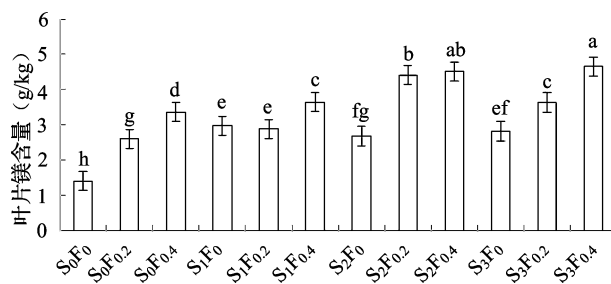


图 1 施镁肥对缺镁葡萄叶片镁含量的影响

注: 图中不同字母表示处理间在 0.05 水平差异显著, 下同。

表 1 土施和叶面喷施镁肥对缺镁黄化葡萄叶片镁含量的效果鉴定

方差分析 F 值	土施 (S)	叶面喷施 (F)	S × F
镁含量	360.79 **	739.02 **	54.84 **

注: ** 表示 F 检验达到极显著水平 ($P < 0.01$), * 表示 F 检验达到显著水平 ($P < 0.05$)。下同。

2.2 施镁肥对缺镁葡萄叶片硝酸还原酶活性和部分干物质含量的影响

硝酸还原酶 (NR) 活性反映了植物的氮素同化效率的能力^[2]。由图 2 可以看出, 未施镁肥的处理 S_0F_0 的 NR 活性显著低于施镁处理, 随着土施和叶面喷施浓度的加大, 叶片 NR 活性出现先升高后降低的趋势, 处理 $S_3F_{0.2}$ NR 活性最高, 达到了 13.223 $\mu\text{g}/(\text{g} \cdot \text{h})$, 与其他处理差异显著, 其次是处理 $S_2F_{0.4}$ 、 $S_2F_{0.2}$ 和 $S_1F_{0.4}$, 土施镁量为 187.5 kg/hm^2 时, 叶面喷施 0.4% 硫酸镁肥, 叶片 NR 活性下降。由表 2 可以看出, 土施和叶面喷施镁肥均能够极显著影响植物 NR 活性, 且交互作用极显著。因此, 缺镁时, 植物 NR 活性降低, 适量施入镁肥可以提高 NR 活性, 但施入过量会出现抑制。该缺镁葡萄地, 以土施镁肥 187.5 kg/hm^2 , 同时叶面喷施 0.2% 硫酸镁肥时, 叶面 NR 活性最高。

对各处理叶片淀粉含量进行分析检测, 结果如

图 2 所示, 未施镁肥的 S_0F_0 处理叶片淀粉含量最高, 土施和叶面喷施镁肥后, 随着施入量的增加, 叶片淀粉含量出现先降低后升高趋势, 处理 S_3F_0 含量最低, 仅 3.368%, 与其他处理差异显著。由表 2 可以看出, 土施和叶面喷施镁肥均能极显著影响叶片淀粉含量, 且交互作用极显著。说明缺镁时, 淀粉易在叶片积累, 通过土施和叶面喷施适量镁肥可以有效降低淀粉在缺镁葡萄叶片中的积累, 促进淀粉转移, 但当土施和叶面喷施量过大, 又抑制了淀粉从叶片转移出去。

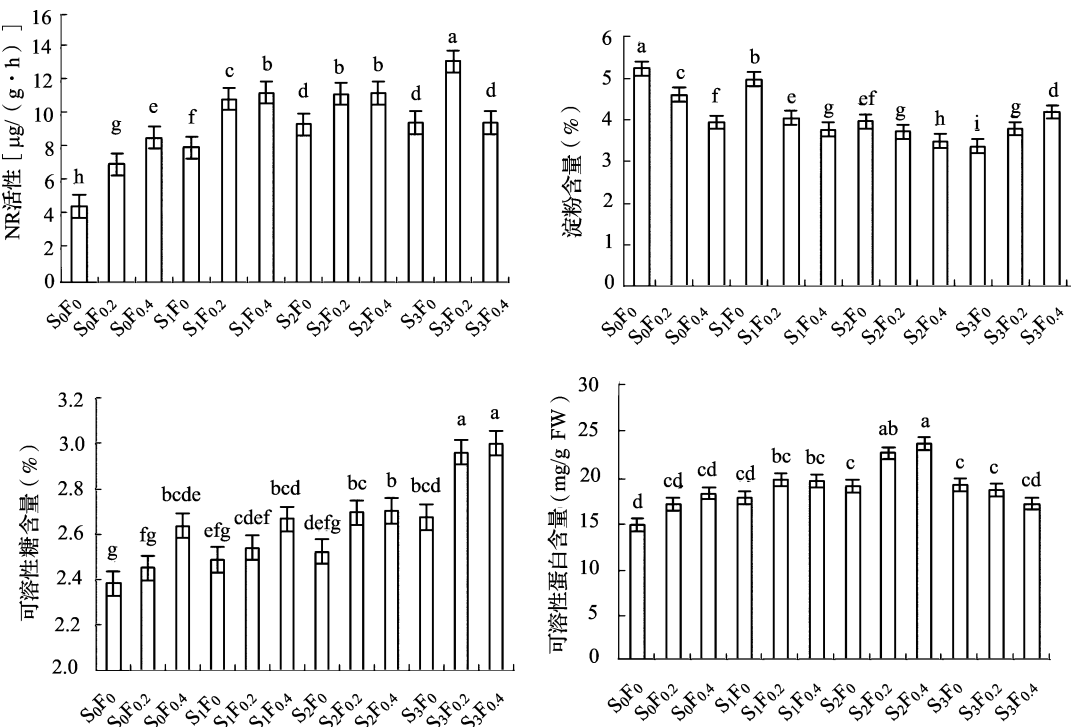


图 2 施镁肥对缺镁葡萄叶片 NR 活性和部分干物质含量的影响

表 2 土施和叶面喷施镁肥对缺镁葡萄叶片 NR 活性和部分干物质含量的效果鉴定

方差分析	NR 活性	淀粉含量	可溶性糖含量	可溶性蛋白含量
<i>F</i> 值				
土施 (S)	360.79 **	567.292 **	35.485 **	11.730 **
叶面喷施 (F)	1 009.019 **	327.428 **	23.909 **	4.046 *
S × F	175.175 **	276.078 **	1.957	1.897

可溶性蛋白 (SP) 含量反映了植物叶片的光合能力, 其含量下降是植物衰老的标志之一^[17]。由图 2 可以看出, 未施镁肥的缺镁处理 S_0F_0 可溶性蛋白含量最低, 仅 14.699 mg/g FW, 与处理 $S_0F_{0.2}$ 、 $S_0F_{0.4}$ 、 S_1F_0 以及 $S_3F_{0.4}$ 差异不显著, 土施量在 0 ~ 150 kg/hm² 时, 施镁量越大, 叶片内可溶性蛋白含

可溶性糖 (SS) 的高低反映了植物碳水化合物的合成和运输情况^[16]。如图 2 所示, 与淀粉含量相反, 未施镁肥的缺镁处理 S_0F_0 叶片可溶性糖含量最低, 仅 2.384%, 土施和叶面喷施镁肥后, 叶片可溶性糖含量不断增加, 处理 $S_3F_{0.4}$ 含量最高, 与处理 $S_3F_{0.2}$ 差异不显著, 分别较未施镁肥的对照 S_0F_0 高 25.858% 和 24.245%。由表 2 可以看出, 土施和叶面喷施镁肥能够极显著影响缺镁葡萄叶片可溶性糖含量, 但两者交互效应不显著。

量越高, 处理 $S_2F_{0.4}$ 含量最高, 但与处理 $S_2F_{0.2}$ 差异不显著, 分别较对照高 60.643% 和 53.164%, 土施镁量为 187.5 kg/hm² 时, 叶片可溶性蛋白含量显著降低。由表 2 可以看出, 土施镁肥能够极显著影响叶片可溶性蛋白含量, 叶面喷施镁肥能够显著影响可溶性蛋白含量, 两者交互作用不显著。

2.3 施镁肥对缺镁葡萄果皮色泽的影响

由图 3 中 L 值变化可以看出, 处理 $S_0F_{0.4}$ 果皮亮度低, 其他处理果皮亮度无显著差异; 结合表 3 可知, 土施和叶面喷施硫酸镁肥对缺镁葡萄果皮亮度无显著影响。由 a 值变化图可以看出, 土施和叶面喷施硫酸镁后, 果皮红色度较未施镁肥的处理显著提升, 但施肥的各处理间差异不显著; 由 b 值变化图可以看出, 处理 S_0F_0 、 $S_0F_{0.2}$ 、 $S_2F_{0.4}$ 、 $S_3F_{0.2}$ 和

$S_3F_{0.4}$ 的b 值为正, 且差异不显著, 表明这几个处理果皮颜色偏黄, 而其他各处理则偏蓝色。由花色素变化图可以看出, 未施镁肥时, 果皮花色素含量最低, 仅 0.390 mg/g, 补镁后果皮花色素含量显著增加, 随着施镁量的增加出现先升高后降低的趋势, 处理 S_2F_0 果皮花色素含量最高, 达到了 0.96 mg/g,

较对照提高 143.575%, 与处理 $S_1F_{0.4}$ 差异不显著, 其次是处理 $S_1F_{0.2}$ 。结合表 3 可知, 土施和叶面喷施硫酸镁肥对缺镁葡萄果皮花色素含量有极显著影响, 且交互作用极显著。说明补充镁肥在适量范围时对果皮花色素含量有促进作用, 但超过一定浓度对果皮花色素含量有抑制作用。

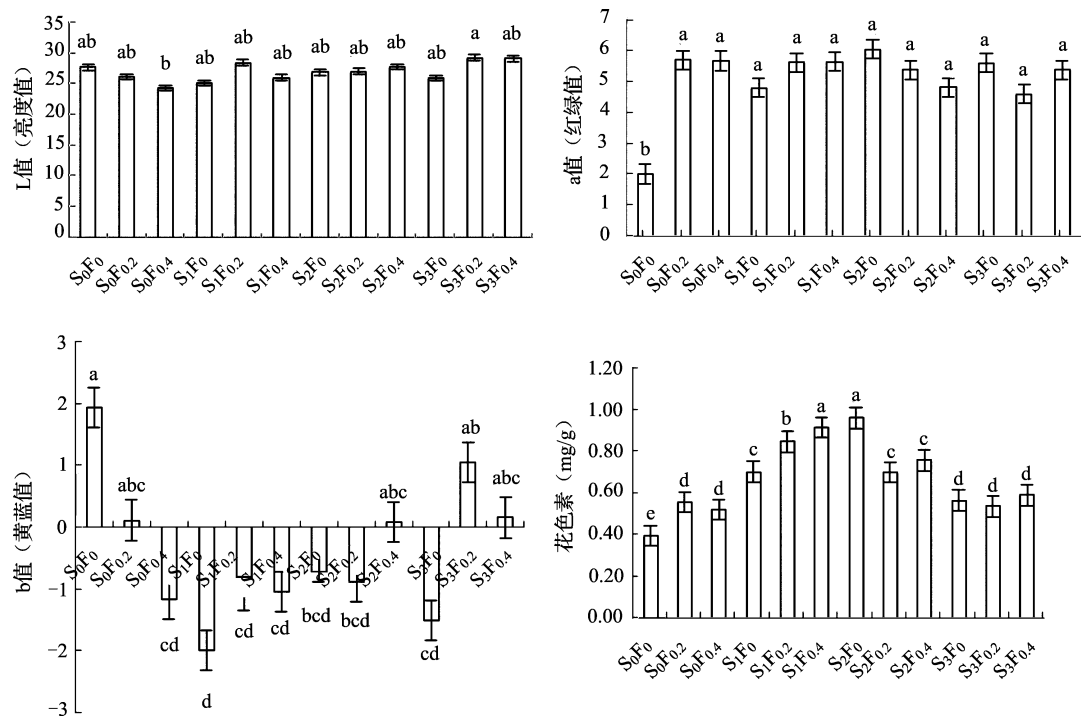


图 3 土施与叶面喷施硫酸镁对缺镁葡萄果皮颜色的影响

表 3 土施和叶面喷施镁肥对缺镁黄化葡萄果皮颜色的效果鉴定

方差分析 F 值	L 值	a 值	b 值	花色素
土施 (S)	1.232	1.173	4.279 *	194.372 **
叶面喷施 (F)	0.888	1.449	0.477	27.861 **
S × F	1.283	3.104 *	4.322 **	40.973 **

2.4 施镁肥对缺镁葡萄果实可溶性固形物和可滴定酸含量的影响

由图 4 可以看出, 未施镁肥的处理 S_0F_0 可溶性

固形物含量最低, 仅 13.26%, 施镁肥后可溶性固形物显著提高, 并随着施镁量的增加出现先升高后降低的趋势, 处理 $S_2F_{0.4}$ 含量最高, 达到 16.68%, 显著高于处理 $S_3F_{0.4}$ 、 S_1F_0 、 S_0F_0 、 $S_0F_{0.2}$ 、 $S_0F_{0.4}$; 与可溶性固形物变化相反, 未施镁肥时, 可滴定酸含量最高, 达到 0.533 g/100 mL, 施镁后, 果实可滴定酸含量显著降低, 处理 $S_2F_{0.2}$ 含量最低, 仅 0.28 g/100 mL, 较对照降低了 47%, 但与处理 $S_1F_{0.2}$ 、 $S_1F_{0.4}$ 、 S_2F_0 、 $S_2F_{0.4}$ 、 $S_3F_{0.2}$ 、 $S_3F_{0.4}$ 差异不显著。

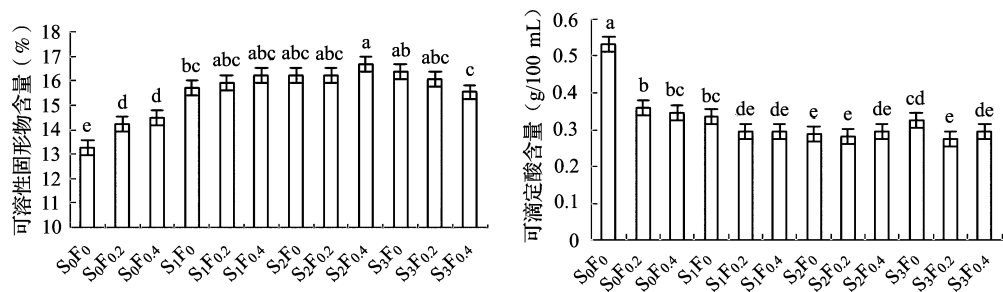


图 4 土施与叶面喷施硫酸镁对缺镁葡萄可溶性固形物和可滴定酸含量的影响

结合表4可知,土施和叶面喷施镁肥对可溶性固形物和可滴定酸含量有极显著或显著影响,且交互作用显著或极显著。说明土施和叶面喷施适量镁肥对缺镁葡萄果实有增糖降酸的作用,但施入过量效果降低。

表4 土施和叶面喷施镁肥对缺镁葡萄可溶性固形物和可滴定酸含量的效果鉴定

方差分析 F 值	土施 (S)	叶面喷施 (F)	S × F
可溶性固形物	60.166 **	2.926 *	3.489 *
可滴定酸	104.807 **	60.076 **	23.096 **

2.5 叶片镁含量与叶片部分有机物含量及果实品质的相关性

由表5可以看出,对缺镁葡萄施镁肥后,叶片中镁含量与叶片硝酸还原酶活性、可溶性糖含量和可溶性蛋白含量极显著正相关,与淀粉含量极显著负相关。

表5 叶片中镁含量与叶片部分有机物的相关性分析

相关性	NR 活性	淀粉含量	可溶性糖含量	可溶性蛋白含量
镁	0.705 **	-0.599 **	0.725 **	0.557 **

从表6可以看出,对缺镁葡萄补镁后,叶片镁含量与葡萄果皮色泽相关性不显著,与花色素含量有显著正相关关系,与果实可溶性固形物极显著正相关,而与果实可滴定酸含量极显著负相关,镁肥对缺镁葡萄有增糖降酸的作用。

表6 叶片中镁含量与葡萄果皮色泽和果肉糖酸含量的相关性分析

相关性	L 值	a 值	b 值	花色素	可溶性固形物	可滴定酸
镁	0.151	0.331	-0.161	0.392 *	0.494 **	-0.724 **

3 讨论

3.1 施镁对缺镁葡萄叶片有机物积累的影响

硝酸还原酶 (NR) 是氮素代谢的限速酶,可直接调节 NO₃⁻ 还原,从而调节 N 代谢,而 Mg²⁺ 可提高 NR 的活性水平^[18]。镁是核糖体的组成部分,能稳定蛋白合成所必需的核糖体构型,缺镁导致核蛋白体解离成小的核蛋白体亚单位^[19]。本试验发现缺镁时,叶片 NR 活性降低,蛋白质含量减少,这与李延等^[20]发现缺镁胁迫下龙眼叶片硝酸还原酶活性下降,蛋白质合成受阻而分解加剧的研究结果一致。施镁后,叶片 NR 活性和蛋白质含量均出

现先升高后降低的趋势,说明适量补充镁肥能够有效提高缺镁葡萄叶片 NR 活性和蛋白质含量,但施入过量则受到抑制,发现叶片中镁含量与 NR 活性和蛋白质含量均有极显著正相关关系,这与供镁对烤烟^[21]、苦瓜^[22]、西瓜^[23]等结果一致。

缺镁可导致叶片光合作用减弱,淀粉合成减少^[24],而在本试验中,未施肥的对照淀粉含量最高,施入镁肥后,叶片淀粉含量却出现先降低后升高的趋势,叶片中镁含量与淀粉含量极显著负相关,说明缺镁导致葡萄叶片淀粉含量的积累,而施肥促进了淀粉的转运。这与温明霞等^[25]在缺镁温州蜜柑果园的施镁效应研究结果一致。

与缺镁叶片淀粉积累结果相反,本试验发现,未施镁肥时葡萄叶片可溶性糖含量较低,施镁后出现先升高后降低趋势,叶片中镁含量与可溶性糖含量极显著正相关。缺镁时,葡萄叶片可溶性糖含量很低,可能原因一是缺镁时叶片光合效率低,二是缺镁叶片淀粉含量积累引起可溶性糖的输出数量下降;而土施和叶面喷施镁肥可以提高光合效率,促进淀粉转移,从而增加叶片可溶性糖含量。这与在温州蜜柑^[25]、龙眼^[20]、大豆^[2]、水稻^[26]上的研究结果一致。

3.2 施镁对缺镁葡萄果实品质的影响

镁能够激活呼吸作用的关键酶,促进碳水化合物的合成,提供合成花色素苷所需的中间产物,周开兵等^[27]发现叶面镁营养刺激了果皮中类黄酮糖基转移酶活性,促进了果皮花色素苷的形成。本试验发现补镁对缺镁葡萄果皮亮度无显著影响,但果皮显著偏红,在适量范围时,土施和叶面喷施镁肥对果皮花色素含量有显著促进作用,超过一定浓度有抑制作用,与高丹等^[28]在三月红荔枝上的研究一致。本试验还发现土施及叶面喷施对果皮花色素含量的影响有极显著交互效应。目前关于镁元素与果皮颜色相关性的文献较少,本试验发现补镁后,叶片镁含量与果皮亮度、果皮 a 值 (红绿)、果皮 b 值 (黄蓝) 相关性不显著,与果皮花色素含量极显著正相关。

镁是叶绿素的中心元素,酶的活化剂,对光合作用、碳氮代谢有重要的作用。其缺乏会导致果实品质下降,可溶性固形物含量显著减少,柠檬酸含量显著增高^[29]。本试验发现,补镁后缺镁葡萄果实可溶性固形物 (TSS) 含量增加,可滴定酸 (TA) 含量降低,土施对 TSS 和 TA 影响极显著,

而叶面喷施对 TA 影响极显著, 对 TSS 影响不显著, 两者配合对 TSS 和 TA 的影响存在显著交互效应。

本试验中叶片镁元素含量与果实 TSS 和 TA 相关性与已有研究有一定不同。凌丽俐等^[30]发现赣南脐橙果实 TSS 与镁含量呈显著正相关, 可滴定酸含量与镁含量相关性不显著。张涓涓等^[31]发现马家柚果实可溶性固形物含量与叶片镁含量相关性不显著, 可滴定酸与叶片中镁含量呈正相关关系。而本试验发现, 施镁后缺镁葡萄叶片镁含量与果实 TSS 含量极显著正相关, 与果实 TA 含量极显著负相关; 产生这些差异的原因, 可能与植物种类和生长条件有关。

4 结论

缺镁导致葡萄叶片硝酸还原酶活性下降, 可溶性蛋白和可溶性糖含量减少, 但淀粉含量积累; 适量施镁则有助于提高硝酸还原酶活性, 增加可溶性蛋白和可溶性糖含量, 并促进淀粉转运, 减少其在叶片中的积累, 最终增加果皮花色素含量, 使果皮显著变红, 并提高果实可溶性固形物含量, 降低可滴定酸含量, 提升了果实外在和内在品质, 而施镁量过大, 又出现抑制。处理 $S_2 F_{0.4}$ (即秋季土施 150 kg/hm^2 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) 的叶片镁含量处于适量标准, 硝酸还原酶活性高, 叶片可溶性蛋白和糖含量高, 果皮红, 果实糖高酸低, 是该土壤环境下的最佳施镁措施。

参考文献:

- [1] Beale S. Enzymes of chlorophyll biosynthesis [J]. *Photosynthesis 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] 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.
- [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] 熊庆娥, 叶珍, 杨世民. 植物生理学实验教程 [M]. 成都: 四川科技出版社, 2003. 81–82.
- [12] 王晶英, 敖红, 张杰. 植物生理生化实验技术与原理 [M]. 哈尔滨: 东北农业大学出版社, 2003. 7–134.
- [13] 王武, 邓烈, 何绍兰, 等. 不同套袋时间对早香橘橙果实体色泽的影响 [J]. *中国农学通报*, 2007, (7): 415–421.
- [14] 杨夫臣, 吴江, 程建徽, 等. 葡萄果皮花色素的提取及其理化性质 [J]. *果树学报*, 2007, 24 (3): 287–292.
- [15] 黄晓钰, 刘领渭. 食品化学与分析综合实验 (第二版) [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2009.
- [16] 熊福生, 高煌珠, 詹昌勇. 植物叶片蔗糖、淀粉积累与其降解酶活性关系研究 [J]. *作物学报*, 1994, 20 (1): 52–58.
- [17] 宋小林, 刘强, 宋海星, 等. 不同处理条件下油菜茎叶可溶性糖和游离氨基酸总量及其对籽粒产量的影响 [J]. *西北农业学报*, 2010, 19 (6): 187–191.
- [18] Rien S B, Held T. Decrease of nitrate activity in spinach leaves during light–dark transition [J]. *Plant Physiol*, 1992, 98: 573–577.
- [19] Menge I K, Krikby A. Principles of plant nutrition [M]. Worblaufen–Bern, Switzerland: International Potash Institute, 1982. 461–472.
- [20] 李延, 刘星辉, 庄卫民. 缺镁胁迫对龙眼苗期氮代谢的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2001, 7 (2): 218–222.
- [21] 李永忠, 丁善荣, 杨志新, 等. 烤烟几个生理指标与镁累积量的关系 [J]. *云南农业大学学报*, 2001, 16 (2): 209–212.
- [22] 孙青慧. 苦瓜镁素营养生理的研究 [D]. 福州: 福建农业大学, 2010. 39–40.
- [23] 林丽琳, 陈晟, 施木田, 等. 镁对新天玲西瓜叶片光合色素、可溶性蛋白含量和硝酸还原酶活性的影响 [J]. *热带农业科学*, 2015, 35 (1): 26–31.
- [24] 张广越, 彭良志, 曾明. 柑橘镁和硼营养元素研究进展 [J]. *中国南方果树*, 2009, 38, (1): 235–239.
- [25] 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.
- [26] 李延, 泰遂初. 镁对水稻稻、淀粉积累与运转的影响 [J]. *福建农业大学学报*, 1995, 24 (1): 54–57.
- [27] 周开兵, 周晓超, 苏阳, 等. 叶面镁营养促进妃子笑荔枝果皮着色的生理成因 [J]. *热带作物学报*, 2016, 37 (9): 1752–1758.
- [28] 高丹, 周晓超, 苏阳, 等. 叶面喷施钾、钙和镁肥对三月

- 红荔枝果皮着色的影响 [J]. 南方农业学报, 2015, 46 (10): 1849–1855.
- [29] 李性苑. 柑桔体内的几种矿质营养 [J]. 黔东南民族师专学报, 2001, 19 (6): 31–32.
- [30] 凌丽俐, 彭良志, 淳长品, 等. 赣南脐橙叶片营养状况对果实品质的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18 (4): 947–954.
- [31] 张涓涓, 杨莉, 刘德春, 等. 马家柚果实品质与土壤、叶片、果实矿质养分的相关性分析 [J]. 江西农业大学学报, 2015, 37 (5): 811–818.

Effects of magnesium application on the leaves sugar, starch and protein content and the fruit quality of grapes

MA Xiao-li^{1,2}, LIU Xue-feng^{1,2}, YANG Mei^{1,2}, YAN Qiu-yang³, YUAN Xiang-cheng^{1,2}, XIANG Ping-wei^{1,2*} (1. Chongqing Three Gorges Academy of Agricultural Sciences, Chongqing 404155; 2. Chongqing Engineering Research Center of the Mountain Ecological Agriculture, Chongqing 404155; 3. Chongqing Three Gorges University, Chongqing 404100)

Abstract: Under the condition of lack of magnesium, effects of magnesium application on the sugar, starch, protein and fruit quality of grape were studied, in order to provide reference basis for formulating fertilization of grape. A field experiment with split plot design was conducted, in the main area four soil applied gradient of 0, 112.5, 150, 187.5 kg/hm² were set up, in the deputy district three concentrations of foliar spraying of 0%, 0.2%, 0.4% were applied. The results showed that soil and foliar spraying magnesium fertilizer significantly improved the magnesium content in leaf, increased nitrate reductase activity, soluble protein and soluble sugar content, promoted the starch transshipment, reduced its accumulation in leaf, eventually increased the skin pigment content, made the skin become red, improved fruit total soluble solid content, reduced the content of titrable acid and improved the quality of the fruit from both external and internal. When soil applied 150 kg/hm² magnesium and foliar spraying 0.4% magnesium fertilizer, the content of magnesium in leaves was in the moderate amount, with high activity of nitrate reductase, high content of soluble protein and sugar, red fruit peel, low fruit sugar, and the effect of magnesium was the best.

Key words: magnesium deficiency; soil application; foliar spraying; sugar; starch; protein; fruit quality