

施钙对甘薯铝胁迫的缓解效应

李清华, 刘 庆, 李 欢, 史衍玺*

(青岛农业大学资源与环境学院, 山东 青岛 266109)

摘 要: 采用土培试验方法, 以铝敏感型甘薯品种商薯 19 号为研究材料, 设置不同的钙处理水平 (0、0.8、1.6、2.4 g/kg), 研究了钙对甘薯铝胁迫 (1 g/kg) 的缓解效应。结果表明: 施钙可以显著促进甘薯根系的生长发育, 提高叶片叶绿素含量和 PS II (Photosystem II) 最大光化学效率 (Fv/Fm), 提高叶片中超氧化物歧化酶、过氧化氢酶和过氧化物酶活性, 降低叶片中丙二醛的积累量。施钙可以有效提高甘薯对铝胁迫的抗逆性, 有效缓解铝对甘薯的胁迫。

关键词: 甘薯; 钙; 铝胁迫; 酶活性; 叶绿素荧光参数

中图分类号: S531; S143.7

文献标识码: A

文章编号: 1673-6257 (2016) 04-0124-05

全球范围内酸性沉降的日益严重和生理酸性肥料在农业中的大量投入, 土壤中的铝富集现象加重, 致使铝胁迫已成为酸性土壤中抑制作物生长和导致作物减产的重要因素之一^[1]。因此, 提高作物抗铝胁迫的能力, 缓解铝胁迫对作物的毒害已经成为农业生产中急需解决的问题^[1]。

大量研究表明, 钙在植物抗逆方面有重要作用, 施钙能有效改善逆境下植物的光合能力, 可以缓解铝对植物生长产生的胁迫或毒害, 对增强植物抗逆性具有重要意义^[1]。如施钙可以显著促进铝胁迫下荞麦根的伸长和显著提高叶绿素含量, 同时增强光合作用^[2], 可以显著促进铝敏感型小麦的质膜 H⁺-ATP 酶活性, 恢复铝胁迫下的细胞正常功能^[3], 显著增加小麦质膜磷脂含量, 显著降低糖脂含量, 利于加强膜脂与膜蛋白之间的联系^[4]。施钙可以增强 Ca²⁺ 与 Al³⁺ 的拮抗作用, 减少水合 Al³⁺ 与磷脂结合, 降低了通过羧基与膜蛋白的结合, 缓解铝对作物的毒害作用^[5]。施钙能显著提高铝胁迫下荞麦、杉木幼苗、大豆、银杏等植物根系活力, 降低叶片丙二醛 (MDA) 含量, 提高叶片中可溶性蛋白质含量和促进叶片中过氧化物酶 (POD) 活性, 降低活性氧自由基对质膜的损伤, 维持细胞膜

的稳定性和完整性, 增强植株对铝胁迫的抵抗能力^[6-8]。以上研究充分证明钙在缓解作物铝胁迫方面具有一定的意义, 但钙在缓解甘薯铝胁迫方面的研究还未见报道。

甘薯是我国的第四大粮食作物, 含有丰富的碳水化合物, 多种维生素及矿物质成分, 是补充人体所需能量和营养的重要食物源, 也是饲料和工业原料作物, 在社会生活中发挥着重要作用, 种植面积有逐年增加的趋势^[9-12]。本课题前期研究发现, 部分酸性土壤中活性铝超过 0.40 g/kg 时, 即可显著影响甘薯正常的生长发育。本研究以铝敏感型甘薯商薯 19 为试验材料, 研究施钙对铝胁迫条件下甘薯生长、叶绿素含量、叶绿素荧光、叶片保护性酶等生理生化指标的影响, 揭示钙对铝胁迫缓解的生理生化机制, 为采用农艺措施缓解甘薯生产中铝胁迫提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试土壤取自崂山茶园棕壤, 其基本理化性质见表 1。供试甘薯品种选用淀粉型品种商薯 19 号, 由商丘农科院提供。

表 1 供试土壤基本性状

碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (P mg/kg)	速效钾 (K mg/kg)	有机质 (%)	pH 值	有效钙 (mg/kg)	活性铝 (mg/kg)
46.7	66.5	67.5	0.86	4.3	3.8	163

1.2 试验方法

试验于 2012 年 5 至 10 月在青岛农业大学百埠

收稿日期: 2015-04-22; 最后修订日期: 2015-08-05

基金项目: 国家甘薯产业技术体系营养与栽培生理项目 (CARS-11-B-14)。

作者简介: 李清华 (1988-), 男, 山东安丘市人, 硕士研究生, 主要从事植物营养与环境生态研究。E-mail: qinghual@126.com。

通讯作者: 史衍玺, E-mail: yanxiyy@126.com。

庄试验基地进行, 用装 30 kg 土壤的黑色塑料盆钵栽植, 每盆定植 1 株, 每盆施氮 (N): 0.4 g/kg、磷 (P_2O_5) 0.15 g/kg、钾 (K_2O) 0.3 g/kg 作为肥底。铝 (Al) 共设 2 个水平, 分别为无铝 (0 g/kg) 和有铝 (1 g/kg), 钙 (Ca) 设 4 个水平, 分别为 0、0.8 g/kg (低 Ca)、1.6 g/kg (中 Ca)、2.4 g/kg (高 Ca)。共设 5 个处理: CK (对照, 不添加铝和钙), T1 (Al 为 1 g/kg, Ca 为 0 g/kg), T2 (Al 为 1 g/kg, Ca 为 0.8 g/kg), T3 (Al 为 1 g/kg, Ca 为 1.6 g/kg), T4 (Al 为 1 g/kg, Ca 为 2.4 g/kg), 每个处理 5 次重复。试验中氮、磷、钾肥分别用尿素 (AR), 过磷酸钙 (AR) 和硫酸钾 (AR), 铝用 $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ (AR), 钙用 $CaSO_4$ (AR) 一次性施入。

1.3 样品采集

甘薯定植后 60 d 取样, 每个处理取 5 株。样品分根、茎、叶 3 部分 70℃ 烘干, 磨碎, 用微型植物样品粉碎机粉碎并过 0.25 mm 筛。

1.4 样品测定

土壤交换态铝测定: 浸提水溶态铝后的残渣用 95% 乙醇洗 3~5 次, 加入浓度为 1.0 mol/L KCl 溶液 10.0 mL 振荡 1 h, 离心取一定体积上清液, 0.45 μm 滤膜过滤于塑料样品瓶中, ICP-AES 法测定^[13]。

土壤碱解氮测定用碱解扩散法; 土壤有效磷测定用 $NaHCO_3$ 浸提-钼锑抗比色法; 土壤速效钾用 NH_4OAc 浸提-火焰光度计法; 土壤有机质的测定

用重铬酸钾容量法; 土壤 pH 值用水浸提 pH (pH 计, 土: 水比 = 1: 2.5) 法。

植株 Ca 元素含量用 Optima 8000 型电感耦合等离子发射光谱仪 (ICP-AES 法) 测定^[14]。

根系形态根长、根体积等参数用 WinRHIZO Pro 2012b 09 根系扫描仪测定。

叶绿素含量采用 Anron 混合浸提方法测定^[15]; 叶绿素荧光采用叶绿素荧光分析仪测定; 超氧化物歧化酶 (SOD) 活性、过氧化物酶 (POD) 活性、丙二醛 (MDA) 含量分别采用氮蓝四唑 (NBT) 法、愈创木酚法、硫代巴比妥酸显色法测定^[16]; 过氧化氢酶 (CAT) 活性、色素含量分别采用紫外吸收法、丙酮比色法测定^[17]。

1.5 数据分析

用 winRHIZO 根系分析系统分析根系数据, 用 SPSS 19.0 进行数据统计与方差分析, LSD 法比较平均数间的差异显著程度。

2 结果与分析

2.1 不同施钙量对铝胁迫下甘薯根系生长的影响

由表 2 可以看出, 铝胁迫下 (T1) 处理的甘薯总根长及 < 0.5 mm 直径根长显著短于空白处理 (CK), 说明铝胁迫下甘薯根伸长受到抑制。低钙、中钙、高钙水平下甘薯总根长分别比铝胁迫下 (T1) 长 66.5%、74.1% 及 70.4%, 施钙可以显著促进铝胁迫下甘薯根系伸长。

表 2 不同施钙量对铝胁迫下甘薯根系生长影响

处理	总根长 (cm)	平均直径 (mm)	< 0.5 mm 直径根 总体积 (cm^3)	< 0.5 mm 直径根 总长度 (cm)
CK	2 392.1 $\pm$ 213.7 b	0.75 $\pm$ 0.03 c	0.694 $\pm$ 0.016 b	1 423.3 $\pm$ 133.8 c
T1	1 623.7 $\pm$ 143.6 c	0.68 $\pm$ 0.02 d	0.501 $\pm$ 0.048 c	1 141.9 $\pm$ 94.6 d
T2	2 703.3 $\pm$ 108.5 b	0.73 $\pm$ 0.03 b	0.789 $\pm$ 0.082 ab	1 835.8 $\pm$ 141.9 b
T3	2 826.2 $\pm$ 115.9 a	0.94 $\pm$ 0.03 a	0.843 $\pm$ 0.049 a	1 838.6 $\pm$ 64.5 a
T4	2 766.7 $\pm$ 196.9 a	0.96 $\pm$ 0.03 a	0.776 $\pm$ 0.105 ab	1 740.5 $\pm$ 72.2 b

注: 同列数据后不同小写字母表示处理间差异达到 0.05 显著水平。下同。

甘薯根平均直径在铝胁迫下 (T1) 显著小于空白处理 (CK), 说明铝胁迫下甘薯根纵向生长受到抑制。铝胁迫下, 施钙处理根平均直径都显著高于不施钙处理下根的平均直径, 中水平与高水平的钙处理都显著高于低钙水平处理及 CK 处理下根的平均直径, 且以高钙水平处理下根的平均直径最大。

< 0.5 mm 直径根总长度和总体积在铝胁迫下 (T1) 低于与空白处理 (CK), 说明铝胁迫下甘薯根总长和总体积增加均受到抑制。施钙处理下 < 0.5 mm 直径根总长和总体积都显著高于不施钙处理, 且在中等水平钙 (1.6 g/kg) 处理下缓解胁迫效果最显著。说明施钙可显著缓解铝对甘薯根系

造成的胁迫，增加铝胁迫下甘薯根系平均直径、根系总长和<0.5 mm 直径根总体积，促进甘薯地下部的生长发育。

2.2 不同施钙量对铝胁迫下甘薯叶绿素含量的影响

如表 3 所示，有铝条件（T1）下，甘薯叶片中叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素含量比对照无铝（CK）条件下分别下降 47.2%、55.5% 和 49.2%，说明甘薯铝胁迫下叶绿素含量显著降低。

表 3 不同施钙量对铝胁迫下甘薯叶绿素的影响
(mg/g)

处理	叶绿素 a 含量	叶绿素 b 含量	叶绿素含量
CK	0.780 ± 0.018 c	0.269 ± 0.014 c	1.049 ± 0.03 c
T1	0.530 ± 0.023 d	0.173 ± 0.007 d	0.703 ± 0.02 d
T2	0.921 ± 0.011 b	0.371 ± 0.015 b	1.291 ± 0.02 b
T3	0.977 ± 0.016 a	0.412 ± 0.006 a	1.389 ± 0.02 a
T4	0.938 ± 0.015 b	0.388 ± 0.021 b	1.328 ± 0.01 b

施 Ca 处理的甘薯叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素含量显著高于铝胁迫下含量。施加中等水平钙（T3）处理下，叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素含量较有铝条件（T1）下增加最大，分别显著增加 84.3%、138.2% 和 97.6%。施加低钙（T2）处理下，叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素含量较有铝条件下（T1）增加最小，分别为 73.4%、114.5% 和 83.6%。施钙显著增加了铝胁迫下甘薯叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素的含量。

2.3 不同施钙量对铝胁迫下甘薯叶绿素荧光参数的影响

叶绿素荧光动力学参数可作为快速、无损伤测定植物叶片光合性能的探针，比光合速率更能反映光合作用的真实行为^[18]。其中 Fo 是光学系统 II（PS II）反应中心全部开放时的荧光产量，与激发光强度和叶绿素（Chla）含量有关。Fo 的增加表明逆境导致叶片 PS II 反应中心不可逆转的破坏或可逆失活。Fv/Fm 是 PS II 最大光化学量子产量，其大小反映了 PS II 反应中心内原初光能的转换效率，即最大 PS II 的光能转换效率^[19]。

从表 4 看出，有铝处理（T1）比无铝处理（CK）的 Fo 值显著升高。随着钙施量增加，叶片 Fo 呈现出逐渐降低的趋势。有铝处理（T1）比无铝处理（CK）条件 Fm 值显著降低。随着施钙量增加，Fm 呈现出先升高后降低的趋势。

表 4 不同施钙量对铝胁迫下甘薯叶绿素荧光的影响

处理	Fo	Fm	Fv/Fm	Fv/Fo
CK	0.508 ± 0.006b	2.275 ± 0.031c	0.738 ± 0.012c	3.757 ± 0.006c
T1	0.592 ± 0.007a	1.921 ± 0.016d	0.682 ± 0.016d	3.239 ± 0.024d
T2	0.521 ± 0.002b	2.335 ± 0.045c	0.766 ± 0.014b	3.788 ± 0.008c
T3	0.494 ± 0.004c	2.455 ± 0.015a	0.777 ± 0.015ab	3.942 ± 0.021a
T4	0.482 ± 0.006d	2.397 ± 0.013b	0.799 ± 0.007a	3.849 ± 0.017b

甘薯在有铝处理（T1）的 Fv/Fm 值较无铝处理（CK）条件处理下显著降低。说明添加铝降低甘薯光化学转化效率及最大荧光产量，对甘薯生长产生胁迫。添加钙处理下 Fv/Fm 值均比铝胁迫下显著提高，且随着施钙量的增加，Fv/Fm 值呈现增加的趋势。施钙处理下 Fv/Fo 值变化规律与 Fv/Fm 值相近。施钙对 Fv/Fm、Fv/Fo 的增加幅度高于相应的铝胁迫下的 Fv/Fm、Fv/Fo，可见钙对铝胁迫的具有显著缓解作用。

2.4 不同施钙量对铝胁迫下甘薯叶片超氧化物歧化酶、过氧化物酶、过氧化氢酶、丙二醛的影响

SOD、POD、CAT 是植物体内的 3 种保护酶，SOD 是植物活性氧酶促清除系统中的关键酶，可催化超氧阴离子快速歧化成 H₂O₂ 和 O₂⁻，POD 和 CAT 是清除过氧化物的关键酶，较高的保护酶活性可以使植物保持较高的生理活性、延缓衰老。

由表 5 可知，有铝处理的甘薯叶片 SOD 活性显著低于无铝处理（CK）。说明在铝胁迫下甘薯叶片 SOD 活性降低。随着施钙量增加，叶片中 SOD 活性呈现出逐渐增高的趋势。甘薯 POD 活性变化与 SOD 活性变化趋势一致，即有铝处理（T1）显著低于无铝处理（CK），并且随着施钙量增加，POD 活性逐渐升高。由此看出，钙可以提高甘薯叶片清除活性氧自由基的能力。

表 5 不同施钙量对铝胁迫下甘薯叶片 SOD、POD、CAT 活性和 MDA 含量的影响

处理	SOD (U/g FM)	POD [Δ470/(g·min FM)]	CAT [H ₂ O ₂ mg/(g·min FM)]	MDA (μmol/g FM)
CK	269.71 ± 3.07 c	15.13 ± 0.91 c	0.52 ± 0.03 c	3.41 ± 0.13 b
T1	252.31 ± 2.93 d	13.84 ± 0.77 d	0.48 ± 0.02 d	5.45 ± 0.16 a
T2	267.46 ± 3.13 c	16.14 ± 0.94 c	0.53 ± 0.02 b	3.51 ± 0.09 b
T3	278.23 ± 2.47 b	18.31 ± 1.02 b	0.63 ± 0.03 a	3.42 ± 0.10 c
T4	290.93 ± 2.61 a	20.92 ± 1.09 a	0.65 ± 0.01 a	3.41 ± 0.14 c

甘薯叶片中 CAT 活性的变化趋势与叶片中 SOD 一致。有铝处理 (T1) 比无铝处理 (CK) 甘薯叶片 CAT 活性降低, 而施钙使叶片中 CAT 活性显著升高。

有铝处理 (T1) 比无铝处理 (CK) 叶片 MDA 含量升高, 说明铝胁迫使甘薯叶片 MDA 显著升高。施钙处理下甘薯叶片中 MDA 含量较铝胁迫处理 (T1) 均显著降低, 且随着施钙量升高, MDA 含量依次降低。

3 结论

施钙处理能显著缓解铝对甘薯须根系生长的抑制, 增加根的体积、根长和平均直径, 可以促进甘薯须根的生长。

施钙能使甘薯叶片 Fv/Fm (最大光化学效率)、Fm (最大荧光产量) 显著增高, 光学系统 II (PS II) 荧光产量 Fo 显著降低, 可有效防止铝胁迫对甘薯叶片光合机构的破坏, 从而缓解铝对甘薯产生的胁迫。

施钙能显著提甘薯叶片活力, 提高叶片超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化氢酶 (CAT)、过氧化物酶 (POD) 活性, 降低丙二醛 (MDA) 的积累量, 增强甘薯对铝胁迫的抵抗能力, 减缓铝胁迫对甘薯叶片的伤害。

参考文献:

- [1] 罗虹, 刘鹏, 李淑. 硅、钙对水土保持植物荞麦铝毒的缓解效应 [J]. 水土保持学报, 2005, 19 (3): 101-104.
- [2] 蔡妙珍, 刘鹏, 徐根娣, 等. 钙、硅对铝胁迫下荞麦光合生理的影响 [J]. 水土保持学报, 2008, 22 (2): 206-208.
- [3] 何龙飞, 沈振国, 刘友良. 铝胁迫下钙对小麦根系细胞质膜 ATP 酶活性和膜脂组成的效应 [J]. 中国农业科学, 2003, 36 (10): 1139-1142.
- [4] Cooke D J, Burden R S. Lipid modulation of Plasma membranebound ATPase [J]. Plant Physiology, 1990, 78 (1): 153-159.
- [5] Ceve G. Wate and membranes: the interdependence of their physicochemical properties in the case of phospholipid bilayers

- [J]. Studia Biophyica, 1982, 91: 45-52.
- [6] 张帆, 罗承德, 张健. 外源钙、磷、氮对铝胁迫下杉木幼苗生长影响的调控研究 [J]. 应用生态学报, 2005, 16 (2): 213-217.
- [7] 陈文荣, 刘鹏, 徐根娣, 等. 施钙处理对大豆铝毒缓解作用的研究 [J]. 浙江师范大学学报 (自然科学版), 2008, 31 (2): 201-207.
- [8] 何树悠. 磷、镁、钙、硅对降低铝毒及促进银杏生长的效应研究 [D]. 南宁: 广西大学, 2003.
- [9] 宁运旺, 马洪波, 许仙菊, 等. 氮磷钾缺乏对甘薯前期生长和养分吸收的影响 [J]. 中国农业科学, 2013, 46 (3): 486-495.
- [10] 郝玉华. 高 β -胡萝卜素甘薯品种的组织培养技术研究 [J]. 江苏农业科学, 2012, 40 (12): 60-62.
- [11] 王欣, 谢逸萍, 李强, 等. 淀粉专用型甘薯新品种徐薯 30 的选育及栽培技术 [J]. 江苏农业科学, 2012, 40 (12): 122-123.
- [12] 唐忠厚, 李洪民, 陆国权. 基于近红外光谱的甘薯抗性淀粉含量的快速测定方法 [J]. 江苏农业学报, 2011, 27 (6): 1426-1429.
- [13] 谢忠雷, 李航, 汪精华, 等. 外源有机质存在下钙铝交互作用对茶园土壤铝的吸附能力与活性的影响 [J]. 农业环境科学学报, 2010, (2): 293-298.
- [14] Ramsey M H, Dong D, Thornton I, et al. Discrimination between Al held within vegetation and that contributed by soil contamination using a combination of Electron Probe Micro - Analysis (EPMA) and Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry (ICP - AES) [J]. Environ. Geochem. Health, 1991, 13 (2): 114-118.
- [15] Arnon D N. Copper enzymes in isolated chloroplast, polyphenol oxidase in Beta vulgaris [J]. Plant Physiol, 1982, 69: 1027-1030.
- [16] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000. 119-120, 125-127, 164-165, 167-169, 260-261.
- [17] 赵世杰, 史国安, 董新纯. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2002. 55-57, 138-139.
- [18] 刘瑞显, 王友华, 陈兵林, 等. 花铃期干旱胁迫下氮素水平对棉花光合作用与叶绿素荧光特性的影响 [J]. 作物学报, 2008, 34 (4): 675-683.
- [19] 陈小莉, 李世清, 任小龙, 等. 大气 NH_3 和介质供氮水平对不同氮效率玉米基因型叶绿素荧光参数的影响 [J]. 生态学报, 2008, 28 (3): 1026-1033.

Effects of calcium application on alleviation of aluminum stress to sweet potato

LI Qing-hua, LIU Qing, LI Huan, SHI Yan-xi* (College of Resources and Environment, Qingdao Agricultural University, Qingdao Shandong 266109)

Abstract: Using the Shangshu 19 as plant material, alleviation effects of various concentration of calcium on aluminum stress of sweet potato were examined by soil culture experiment. Different levels of aluminum levels (0, 1 g/L) and calcium treatment

[下转第 132 页]

- 积累特性的初步研究 [J]. 园艺学报, 2007, 34 (2): 325–328.
- [11] 王其兵, 吴金媛, 赵义芳, 等. 落花生不同器官对硒元素吸收和累积动态的研究 [J]. 植物学报, 1997, 39 (2): 164–168.
- [12] 王海波, 王孝娣, 毋应龙, 等. 设施葡萄对硒的吸收运转及积累特性 [J]. 果树学报, 2011, 28 (6): 972–976.
- [13] Dhillon K S, Dhillon S K. Accumulation and distribution of selenium in some vegetable crops grown in selenate – Se treated clay loam soil [J]. Agric. China, 2009, 3 (4): 366–373.
- [14] 王庆华, 黄伟, 李前勇, 等. 中国富硒食品的生产现状及趋势 [J]. 广东微量元素科学, 2008, 15 (3): 7–10.
- [15] 杨光圻, 顾履珍. 微量元素硒的人体需要量和安全摄入量范围 [J]. 生理科学进展, 1992, 23 (2): 184–186.
- [16] Mikkelsen R L, Page A L, Bingham F T. Factors affecting selenium accumulation by agricultural crops [A]. Selenium in agriculture and environment [C]. Madison, Wisconsin, USA: Science Society of America, Special Publication, 1989. 65–94.
- [17] Zhao F J, Lopez – Bellido F J, Gray C W, et al. Effects of soil compaction and irrigation on the concentrations of selenium and arsenic in wheat grains [J]. Science of Total Environment, 2007, 372: 433–439.
- [18] Ogaard A F, Sogn T A, Eich – Grotvold S. Effect of cattle manure on selenate and selenite retention in soil [J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2006, 76 (1): 39–48.

Researches on selenium absorption and distribution in Kyoho grape

ZHENG Xiao-cui, WANG Hai-bo, WANG Xiao-di, WANG Bao-liang, SHI Xiang-bin, LIU Feng-zhi* [Fruit Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Horticultural Crops (Germplasm Resources Utilization), Ministry of Agriculture, Xingcheng Liaoning 125100]

Abstract: To investigate the effect of different selenium application methods and application rate on the absorption, distribution and accumulation of selenium in grape, the Kyoho grape cultured (grafted to beta rootstock) in open cultivation was used as test material. The results were shown as follows: (1) After the application of 0.01% amino acid selenium by foliage spraying and amino acid selenium (0.3 g/plant) into soil at full-bloom stage, the selenium contents in leaves, leafstalks, berry flesh and single berry increased at first and then decreased from flowering to fruit ripening. (2) Compared with the control, the orders of selenium accumulation changed after being treated with selenium, the orders of selenium by foliage spraying were leaf > berry flesh > leafstalks, the orders of the application of selenium into soil were berry flesh > leaf > leafstalks. (3) The distribution and accumulation of selenium in grape were affected by different application methods. The orders of selenium accumulation in the fruit were seed > berry flesh > skin by the application of selenium into soil, and skin > berry flesh > seed by foliage spraying with selenium. (4) The application of amino acid selenium by foliage spraying and into soil at full-bloom stage achieved the best results. The selenium contents in grape berries increased with the increase of exogenous selenium doses.

Key words: Kyoho grape; amino acid selenium; absorption and distribution; accumulation

[上接第 127 页]

levels (0, 0.8, 1.6, 2.4 g/L) were used to study the different concentration of calcium on aluminum toxicity of sweet potato. The results showed that under the stress of aluminum, increased calcium supply alleviated the toxicity by aluminum, significantly weaken the aluminum stress to the root activity, calcium content in leaf and potato, the leaf chlorophyll content, PS II and Fv/Fm, the blade SOD and POD, the accumulation of lower malondialdehyde (MDA) content, and improved the plant resistance to aluminum stress.

Key words: sweet potato; calcium fertilizer; aluminum stress; enzymatic activity; chlorophyll fluorescence