

钙镁缺乏对不同甘薯品种的生长及矿质元素吸收的影响

马洪波¹, 李传哲³, 宁运旺¹, 张 辉^{1,2}, 许仙菊¹, 汪吉东¹, 张永春^{1*}

1. 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所/农业部江苏耕地保育科学观测实验站, 江苏 南京 210014;
2. 土壤与农业可持续发展国家重点实验室, 中国科学院南京土壤研究所, 江苏 南京 210008;
3. 南京农业大学, 江苏 南京 210095)

摘 要: 为了探索钙、镁元素缺乏对不同甘薯品种的生长及矿质元素吸收的影响, 采用砂培的方法, 以苏 16 和苏 11 为材料, 在钙、镁缺乏条件下, 对其外观症状、叶绿素含量、光合作用、地上与地下部分生物量及其根部和叶部矿质元素含量进行了研究。结果表明: 钙、镁缺乏时苏 16 和苏 11 的叶绿素含量、净光合速率、地上和地下生物量均显著下降, 苏 11 的下降幅度比苏 16 大, 缺钙条件下, 苏 16 的显著症状为烂根, 并且只有根部和叶部的钙含量显著下降 ($P < 0.05$), 苏 11 的典型症状为老叶坏死的斑块沿着靠近叶柄的叶边缘不规则向外扩散, 逐渐衰老枯落, 并且根部钙含量显著降低伴随铁的显著降低 ($P < 0.05$), 可能伴有缺铁并发症, 缺镁条件下, 苏 16 和苏 11 的典型症状相同, 叶片均失绿, 老叶逐渐枯萎脱落, 并且根部和叶部的镁含量显著降低伴随着硫含量的显著降低 ($P < 0.05$), 可能伴有缺硫并发症。

关键词: 钙; 镁; 甘薯品种; 缺素症状; 叶绿素; 净光合速率; 矿质元素

中图分类号: S143.7; S531

文献标识码: A

文章编号: 1673-6257(2015)04-0101-07

甘薯是我国主要粮食作物之一, 种植面积仅次于水稻、小麦、玉米, 居第 4 位^[1]。甘薯营养丰富, 含有大量的糖、蛋白质、脂肪和各种维生素及矿物质, 其中所含的矿物质对于维持和调节人体功能, 起着十分重要的作用, 钙和镁可以预防骨质疏松症。长期以来, 人们一直沿用传统栽培方法, 在生产中只注重施用大量元素, 而忽略了中、微量元素(钙、镁)的适量施入。作物需要各种矿质元素以维持正常的生理活动, 良好的矿质营养是作物高产优质的必要条件^[2]。N、P、K、Ca、Mg 是甘薯所必需的 5 大矿质营养元素。目前, 关于甘薯对 N、P、K 需肥规律的研究, 国内外已有许多报道^[3-6], 但关于甘薯对 Ca、Mg 吸收特性及规律的研究尚未见详细报道, 极少的相

关报道缺乏直观的钙、镁缺素图片, 另外, 钙、镁的缺乏程度可能与表现症状有关, 且钙、镁元素缺乏必然会对其它元素的吸收产生影响等方面的研究相对较少。

另外, 甘薯具有适应性广、抗逆性强、耐旱、耐贫瘠, 植株的吸收能力和再生能力、抗病虫能力都很强的特点, 由于甘薯的匍匐习性, 使得甘薯的吸收根系分布广、数量大, 对土壤养分具有较强的吸收能力^[7]。因此, 在大田条件下很难获得甘薯的缺素症状, 缺素症状轻微, 为了获得甘薯生长前期氮、磷、钾缺乏的典型症状和缺素图谱, 有必要在完全缺素条件下研究甘薯的生长和养分吸收状况。因此, 本文研究了在钙、镁完全缺乏条件下甘薯生长发育及矿物质吸收的情况, 以为甘薯植株钙、镁元素缺素诊断及施肥奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料准备

选用苏 16 和苏 11 两种甘薯品种作为试验材料。苏 16 属食用型品种, 苏 11 属淀粉加工型品种, 两品种种植面积广, 生长性状差异大, 可以作为缺素对比的两种甘薯品种。石英砂粒径 2 ~

收稿日期: 2014-07-14; 最后修订日期: 2014-10-12

基金项目: 现代农业产业技术体系 (cars-11-b-15); 国家公益性行业(农业)科研专项(201203013); IPNI 国际合作项目(JIANGSU-10); 土壤与农业可持续发展国家重点实验室开放基金(0812201209); 江苏省农业科技自主创新资金项目 [CX(14)2005]。

作者简介: 马洪波(1983-), 男, 黑龙江铁力人, 助理研究员, 硕士, 从事土壤质量管理研究。E-mail: 274579992@qq.com。

通讯作者: 张永春, E-mail: yczhang66@sina.com。

4 mm, 经 0.1 mol/L HCl 浸泡 24 h 后, 自来水冲洗 3 次、蒸馏水清洗 3 次后装入圆柱状塑料盆钵内, 每盆 3 kg。盆钵上、下口直径分别为 18 cm 和 12.5 cm, 高为 15 cm。盆钵底部镂空, 石英砂装盆时用双层塑料纱布垫于盆钵底部。

1.2 试验处理

试验于 2013 年 6 ~ 10 月在江苏省农业科学院温室内进行。设完全营养液 (CK)、缺钙营养液 (-Ca)、缺镁营养液 (-Mg) 3 个处理, 4 次重复。以 Hongland and Arnon 营养液作基础配方^[8]。完全营养液组成: Ca (NO₃)₂ · 4H₂O 944 mg/L, KNO₃ 606 mg/L, MgSO₄ · 7H₂O 487 mg/L, NH₄H₂PO₄ 115 mg/L, Fe-EDTA 4.18 mg/L, ZnSO₄ · 7H₂O 0.22 mg/L, CuSO₄ · 5H₂O 0.08 mg/L, MnCl₂ · 4H₂O 1.8 mg/L, H₃BO₃ 2.87 mg/L, NaMoO₄ · 2H₂O 0.03 mg/L。在其余组分不变的前提下, 用 680 mg/L NaNO₃ 代替 Ca (NO₃)₂ · 4H₂O 构成缺钙营养液; 不加 MgSO₄ 构成缺镁营养液。营养液配制用去离子水, 电导率 < 1 μS/cm (25℃)。试验所用的试剂均为分析纯。

1.3 试验管理

将石英砂装盆后取生长一致的薯苗材料, 剪切茎尖以下约 25 cm 长的薯蔓, 移栽时薯苗埋入钵内约 6 cm, 每盆移栽 1 株。薯苗移栽后将相同处理的 4 次重复置于同一周转箱 (37 cm × 27 cm × 14 cm) 内, 再用 1/2 浓度的 CK、-Ca、-Mg 营养液进行处理, 薯苗发根成活至 3 片新叶后, 每天加入相应处理的正常浓度的营养液以保持周转箱内营养液面的深度为 2 cm, 在温室中自然光温条件下培养。处理后培养 35 d 甘薯出现明显缺素症状, 测量第 6 ~ 8 片功能叶片 SPAD 值和光合特性, 对典型症状拍照后从主蔓基部剪断, 地上部分和地下部分用蒸馏水洗净后称取鲜重留样测定氮、磷、钾、钠、钙、镁、铁、硫含量, 留样时新鲜植株样品在通风干燥箱中 105℃ 杀青 30 min, 70℃ 烘干、磨碎。

1.4 测定项目与方法

采用 CCM-200 型叶绿素计读取叶片 CCI 值, LI-6400XT 便携式光合作用测量系统在 9:00 ~ 11:00 测定光合参数, 空气温度为 (33.6 ± 1.5)℃, 空气二氧化碳浓度为 (462.3 ± 2.8) μmol/mol, 光强设定为 1 000 μmol/(m · s)。植株全氮、磷、钾、钠用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮, 全氮用凯氏定氮法测定, 植株全磷采用钼锑抗比色法测定,

植株全钾、全钠采用火焰光度法测定^[9], 钙、镁、铁、硫通过高氯酸-浓硝酸消煮, 采用原子吸收和等离子体光谱仪测定。

利用 Excel 2003 和 SPSS 16.0 软件进行数据处理分析, 统计方法为 Duncan 多重比较。

2 结果与分析

2.1 甘薯钙、镁缺乏症状

要使植物能够正常生长发育, 必须有足够的营养作保证。一般在植物生长发育过程中如果某种营养元素不足, 就会在植株上出现这种营养的缺乏症。图 1A 所示, 分别培养 35 d 后发现, 苏 16 和苏 11 在完全培养液中正常生长的甘薯植株株型饱满, 叶片表面平滑有光泽, 新叶和功能叶片色绿、叶脉色淡、叶柄绿色; 苏 16 缺钙症状表现为植株矮小, 整株叶片小而薄, 颜色均失绿, 新叶叶柄变短, 叶脉绿色, 失绿严重 (图 1B), 老叶发黄并逐渐衰老枯落, 根部短小, 并有烂根现象 (图 1C), 苏 11 缺钙症状表现为植株矮小, 整株叶片小而薄, 颜色均失绿, 新叶叶柄变短, 叶脉绿色, 失绿严重 (图 1B), 老叶坏死的斑块沿着靠近叶柄的叶边缘不规则向外扩散, 并逐渐衰老枯落, 根部短小 (图 1C); 苏 16 缺镁症状表现为整株叶片变薄, 颜色均失绿, 新叶小, 叶脉绿色, 失绿严重 (图 1B), 老叶变黄并逐渐衰老枯落 (图 1C), 苏 11 缺镁症状表现为整株叶片变薄, 颜色均失绿, 新叶小, 叶脉绿色 (图 1B), 老叶变黄并逐渐衰老枯落, 根部短小 (图 1C)。

2.2 钙、镁缺乏对地上部和地下部生物量的影响

图 2A 所示, 苏 16 的缺钙、镁处理的地上部生物量鲜重显著低于对照 ($P < 0.05$), 降低幅度分别为 25.01%、28.71%, 苏 11 的缺钙处理的地上部生物量鲜重显著低于对照 ($P < 0.05$), 缺镁处理的地上部生物量鲜重低于对照, 但未达到显著水平 ($P > 0.05$), 缺钙、镁处理比对照分别降低 37.73%、29.52%。

钙、镁缺乏处理不仅影响甘薯地上部发育, 对其根系发育也有不同程度影响。缺素处理间地下部生物量的变化如图 2B 所示。与对照相比, 钙、镁缺乏显著降低苏 16 的地下部生物量 ($P < 0.05$), 分别降低 30.25%、28.02%, 缺钙处理显著降低了苏 11 的地下部生物量 ($P < 0.05$), 然而苏 11 的地下部生物量缺镁处理降低不显著 ($P > 0.05$), 降低幅度分别为 42.85%、4.51%。

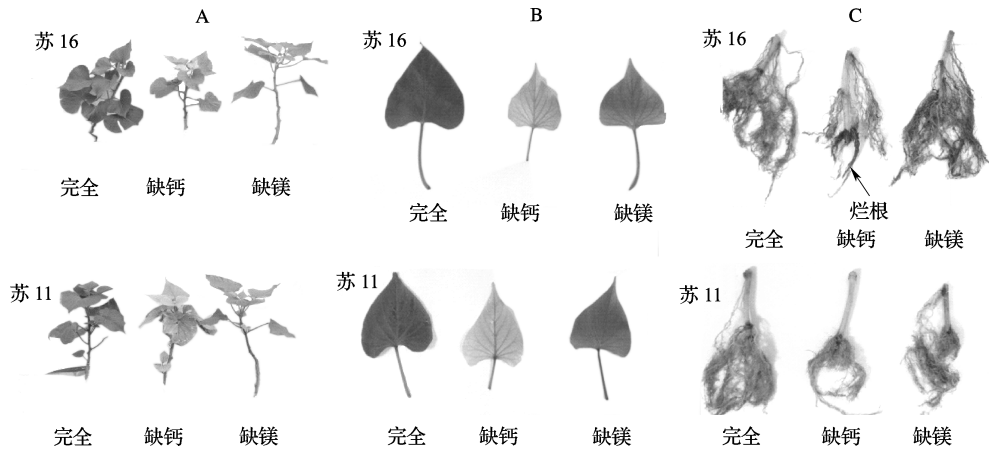


图1 甘薯品种苏16和苏11钙、镁缺乏症状

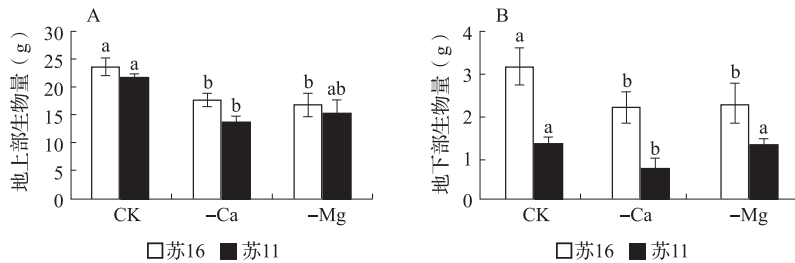


图2 钙、镁缺乏条件下苏16和苏11地上部和地下部的生物量

注：图柱上的不同字母表示处理间差异达到5%显著水平，下同。

2.3 钙、镁缺乏对叶片的叶绿素和净光合速率的影响

钙参与植物生长发育与衰老、光合作用电子传递和光合磷酸化，镁在植物中的生理作用尤其是光合作用中有着其他阳离子不可替代的重要地位。

如图3A所示，苏16的缺钙、镁处理的叶片叶绿素含量显著低于对照 ($P < 0.05$)，降低幅度分别

为37.71%、40.26%，苏11缺钙、镁处理的叶片叶绿素含量显著低于对照 ($P < 0.05$)，降低幅度分别为66.36%、32.24%。图3B所示，苏16的缺钙、镁处理的叶片净光合速率显著低于对照 ($P < 0.05$)，降低幅度分别为29.85%、25.53%，苏11的缺钙、镁处理的叶片净光合速率显著低于对照 ($P < 0.05$)，降低幅度分别为41.37%、28.52%。

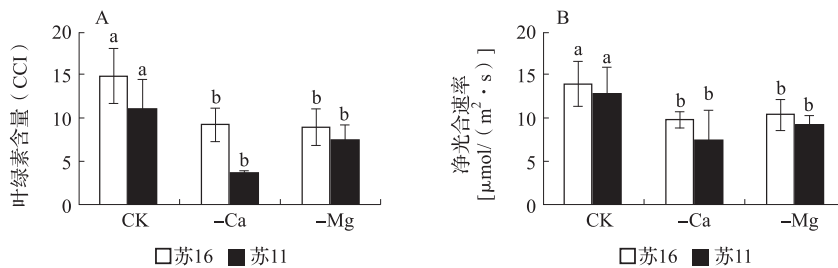


图3 钙、镁缺乏条件下苏16和苏11叶片的叶绿素和净光合速率

2.4 钙、镁缺乏对苏16和苏11根部的氮、磷、钾、钠、钙、镁、铁、硫含量的影响

满足植物生长所必需的矿质营养元素有14种，某种营养元素的缺乏对作物生长的影响不仅与这种营养元素的生理功能缺失直接相关，还通过影响其它营养元素的吸收间接影响作物生长，体现在具有营养吸收功能的根部。

图4A所示，苏16的缺钙、镁处理的根部氮

含量显著高于对照 ($P < 0.05$)，升高幅度分别为16.46%、11.73%，苏11的缺钙处理的根部氮含量显著高于对照 ($P < 0.05$)，升高幅度为10.7%，苏11的缺镁处理的根部氮含量与对照相比未达到显著水平 ($P > 0.05$)，升高幅度为7.87%；图4B所示，从根部磷含量上看，苏16的缺钙、镁处理的根部磷含量显著高于对照 ($P < 0.05$)，升高幅度分别为24.1%、17.66%，而苏11的缺钙、镁处

理的根部磷含量显著低于对照 ($P < 0.05$), 降低幅度分别为 9.3%、22.67%; 图 4C 所示, 苏 16 的缺钙、镁处理的根部钾含量与对照相比均未达到显著水平 ($P > 0.05$), 而苏 11 的缺钙、镁处理的根部钾含量显著高于对照 ($P < 0.05$), 升高幅度分别为 48.57%、17.25%; 图 4D 所示, 苏 16 的缺钙处理的根部钠含量显著高于对照 ($P < 0.05$), 升高幅度为 19.23%, 缺镁处理的根部钠含量与对照相比未达到显著水平 ($P > 0.05$), 苏 11 的缺钙、镁处理的根部钠含量均显著高于对照 ($P < 0.05$), 升高幅度分别为 16.71%、18.08%; 图 4E 所示, 苏 16 的缺钙处理的根部钙含量显著低于对照 ($P < 0.05$), 降低幅度为 56.48%, 缺镁处理的根部钙含量与对照相比未达到显著水平 ($P > 0.05$), 苏 11 的缺钙处理的根部钙含量显著低于对照 ($P < 0.05$), 降低幅度为 51.12%, 缺镁处理的根部钙含量却未达到显著水平 ($P > 0.05$); 图 4F 所示, 苏

16 的缺钙处理的根部镁含量与对照相比未达到显著水平 ($P > 0.05$), 缺镁处理的根部镁含量显著低于对照 ($P < 0.05$), 降低幅度为 70%, 苏 11 的缺钙、镁处理的根部镁含量显著低于对照 ($P < 0.05$), 降低幅度分别为 16.27%、79.06%; 图 4G 所示, 苏 16 的缺钙、镁处理的根部铁含量与对照相比均未达到显著水平 ($P > 0.05$), 苏 11 的缺钙处理的根部铁含量显著低于对照 ($P < 0.05$), 降低幅度为 54.16%, 苏 11 的缺镁处理的根部铁含量与对照相比未达到显著水平 ($P > 0.05$); 图 4H 所示, 苏 16 的缺钙处理的根部硫含量与对照相比未达到显著水平 ($P > 0.05$), 缺镁处理的根部硫含量显著低于对照, 降低幅度为 17.58%, 苏 11 的缺钙处理的根部硫含量与对照相比也未达到显著水平 ($P > 0.05$), 缺镁处理的根部硫含量显著低于对照 ($P < 0.05$), 降低幅度为 35.45%。

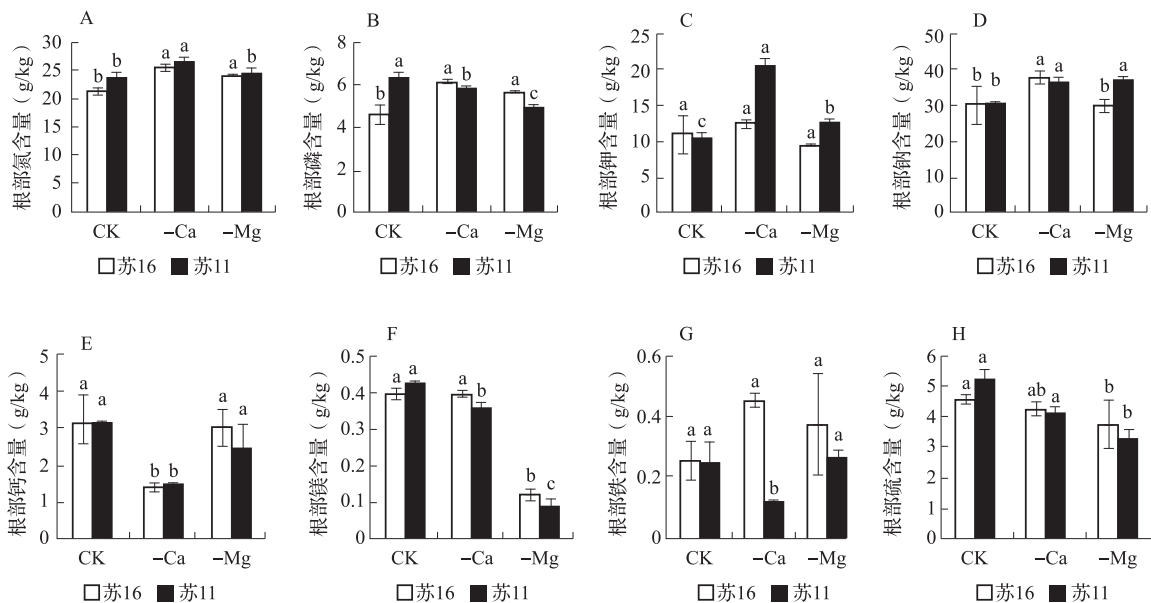


图 4 钙、镁缺乏条件下苏 16 和苏 11 根部的氮、磷、钾、钠、钙、镁、铁、硫含量

2.5 钙、镁缺乏对苏 16 和苏 11 叶部的氮磷钾钠钙镁铁硫含量的影响

钙、镁缺乏条件下同样也会影响具有重要功能的叶片中矿质元素的含量, 进而影响其生长发育。图 5A 所示, 从叶片氮含量上看, 苏 16 的缺钙处理与对照相比未达到显著水平 ($P > 0.05$), 缺镁处理显著高于对照 ($P < 0.05$), 升高幅度为 25.37%, 苏 11 的缺钙处理与对照相比未达到显著水平 ($P > 0.05$), 缺镁处理显著高于对照, 升高幅度为 22.89%; 图 5B 所示, 从叶部磷含量上看, 苏 16 的

缺钙、镁处理显著高于对照 ($P < 0.05$), 升高幅度分别为 16.52%、23.97%, 苏 11 的缺钙处理显著高于对照 ($P < 0.05$), 升高幅度为 16.92%, 缺镁处理与对照相比未达到显著水平 ($P > 0.05$); 图 5C 所示, 从叶部钾含量上看, 苏 16 的缺钙、镁处理显著高于对照 ($P < 0.05$), 升高幅度分别为 22.45%、24.96%, 苏 11 的缺钙处理显著低于对照 ($P < 0.05$), 降低幅度为 11.18%, 缺镁处理与对照相比未达到显著水平 ($P > 0.05$); 图 5D 所示, 苏 16 的缺钙、镁处理叶部钠含量显著高于对照 ($P < 0.05$), 升高幅

度分别为 72.01%、65.19%，苏 11 的缺钙、镁处理也显著高于对照 ($P < 0.05$)，升高幅度分别为 29.44%、15.74%；图 5E 所示，从叶片钙含量上看，苏 16 的缺钙处理显著低于对照 ($P < 0.05$)，降低幅度为 77.54%，缺镁处理与对照相比无显著差异 ($P > 0.05$)，苏 11 的缺钙处理显著低于对照 ($P < 0.05$)，降低幅度为 65.57%，缺镁处理与对照相比仍无显著差异 ($P > 0.05$)；图 5F 所示，从叶部镁含量上看，苏 16 的缺钙处理与对照相比未达到显著水平 ($P > 0.05$)，缺镁处理显著低于对照 ($P < 0.05$)，降低幅度为 25.58%，苏 11 的缺钙处理与对照相比也未达到显

著水平 ($P > 0.05$)，缺镁处理也显著低于对照 ($P < 0.05$)，降低幅度为 46.66%；图 5G 所示，从叶部铁含量上看，苏 16 的缺钙处理与对照相比未达到显著水平 ($P > 0.05$)，缺镁处理却显著高于对照 ($P < 0.05$)，升高幅度为 27.77%，苏 11 的缺钙、镁处理与对照相比未达到显著水平 ($P > 0.05$)；图 5H 所示，从叶部硫含量上看，苏 16 的缺钙处理与对照相比未达到显著水平 ($P > 0.05$)，缺镁处理显著低于对照 ($P < 0.05$)，降低幅度为 18.86%，苏 11 的缺钙处理与对照相比也未达到显著水平 ($P > 0.05$)，缺镁处理也显著低于对照 ($P < 0.05$)，降低幅度为 29.48%。

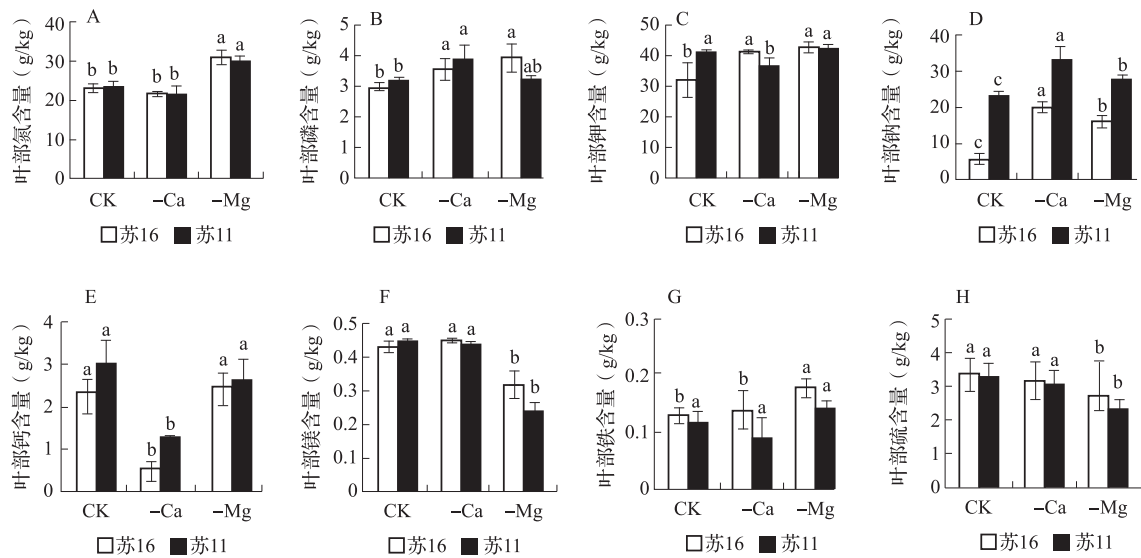


图 5 钙、镁缺乏对苏 16 和苏 11 叶部的氮、磷、钾、钠、钙、镁、铁、硫含量的影响

3 讨论

3.1 缺钙对不同甘薯品种生长及矿质元素吸收的影响

钙是植物生长的必需营养元素，在植物细胞中， Ca^{2+} 作为第二信使的作用参与植物生长发育与衰老、光合作用电子传递和光合磷酸化、细胞的向性运动和激素调控等，具有重要的生理生化作用^[10-12]，李中勇等的研究表明，在相同氮水平条件下缺钙造成“中油 5 号”油桃的产量和品质显著降低 ($P < 0.05$)^[13]，因此，植物一旦缺钙，势必对整个生理代谢过程造成很大影响，进而影响植物的生长发育。本研究表明，缺钙条件下的甘薯苏 16 和苏 11 的叶绿素含量和净光合速率显著降低 ($P < 0.05$)，龙明华等认为，厚皮甜瓜在缺钙胁迫下叶片叶绿素荧光参数都明显下降，叶片净光合速率 (P_n)、气孔导度 (G_s) 下降，光

合抑制主要是由于气孔限制引起^[14]，推断甘薯的净光合速率降低也是由于气孔限制引起的，苏 11 的叶绿素含量和净光合速率的降幅均比苏 16 高，表明苏 11 的叶绿素含量和净光合速率受到缺钙胁迫的影响更大，缺钙导致的叶绿素和光合速率的降低，进一步导致生物量的降低，缺钙处理的甘薯苏 16 和苏 11 的地上部和地下部都显著降低 ($P < 0.05$)，这与李金玲等报道的钙缺乏何首乌地上部和地下部生物量显著降低的结论相同^[15]，甘薯品种苏 11 的生物量降幅比苏 16 的高，表明苏 11 的生物量受到缺钙胁迫的影响更大。进而出现的甘薯缺钙症状为苏 16 植株矮小，整株叶片小而薄，颜色均失绿，新叶叶柄变短，叶脉绿色，失绿严重 (图 1B)，老叶发黄并逐渐衰老枯落，根部短小，并有烂根现象 (图 1C)，李合生等认为，甘薯根腐病是甘薯的一种新的毁灭性病害，主要症状为烂根^[16]，苏 11 缺钙症状表现为植株矮小，整株叶片

小而薄,颜色均失绿,新叶叶柄变短,叶脉绿色,失绿严重(图1B),老叶坏死的斑块沿着靠近叶柄的叶边缘不规则向外扩散,并逐渐衰老枯落,这一现象与O'Sullivan等报道一致,他们认为甘薯最初的缺钙症状为新叶坏死,坏死的斑块沿着靠近叶柄的叶边缘不规则向外扩散,最终导致叶片顶端枯萎^[17]。一般来讲,甘薯缺钙会导致嫩芽的坏死,植株很难继续生长,另外一个重要原因是甘薯缺钙会导致根腐烂,丧失了吸收必需养分的能力^[18]。

Krauss关于葛苣地上部分阳离子含量与受灰霉菌感染的关系研究结果表明,钙的含量与灰霉菌感染呈负相关^[19],因此,矿质元素的吸收显得尤为重要,本研究在缺钙条件下,苏16根部和叶部的氮、磷、钾、钠、镁、铁、硫无显著下降现象($P > 0.05$),只有钙含量显著下降($P < 0.05$),无其它矿质元素缺乏并发症,可以推断苏16烂根与钙含量有关;苏11根部磷、钙、镁、铁含量显著下降($P < 0.05$),叶部的钾、钙、铁含量显著下降($P < 0.05$),其中根部的铁含量降幅最大,达到54.16%,可能造成了铁缺乏并发症。

3.2 缺镁对不同甘薯品种生长及矿质元素吸收的影响

镁是叶绿素的重要成分,存在于植物体内叶绿素分子中心,对维持叶绿体结构有举足轻重的作用。叶绿体结构在缺镁状态下会受到破坏,致使叶片内叶绿素含量下降^[20]。镁还是植物体内多种酶的活化剂,在植物体中参与光合作用、糖酵解、三羧酸循环、呼吸作用等过程的酶都依靠镁来激活^[21],植物一旦缺镁,势必对整个生理代谢过程造成很大影响,进而影响植物的生长发育,董飞等认为少量的施镁会增加大蒜的产量^[22]。韩艳婷等研究表明在镁缺乏的情况下,葡萄叶片叶绿体结构发生变异,叶绿素及碳代谢受阻,叶绿素含量及光合作用效率降低^[23],本研究表明,缺镁条件下的甘薯苏16和苏11的叶绿素含量和净光合速率显著降低($P < 0.05$),缺镁导致的叶绿素和光合速率的降低,进一步影响了甘薯的生物量,缺镁处理的甘薯苏16的地上部和地下部都显著降低($P < 0.05$),而苏11未显著降低($P > 0.05$),表明苏16与苏11在生物量上相比对镁缺乏反应敏感。另外,相应的甘薯缺镁症状会出现,Tulin等的研究表明,甘薯缺镁的典型症状为老叶脉间失绿,新叶变黄,随着黄化加剧,绿叶先变黄,再变浅黄,最

后变成金黄色,同时嫩芽变得瘦小,老叶相对于其它叶片黄化的更加严重^[18],本研究表明,苏16缺镁症状表现为整株叶片变薄,颜色均失绿,新叶小,叶脉绿色,失绿严重(图1B),老叶变黄并逐渐衰老枯落(图1C),苏11缺镁症状表现为整株叶片变薄,颜色均失绿,新叶小,叶脉绿色(图1B),老叶变黄并逐渐衰老枯落,根部短小(图1C)。

另外,本研究在缺镁条件下,苏16根部和叶部的氮、磷、钾、钠、钙、铁无显著下降现象($P > 0.05$),镁和硫含量显著下降($P < 0.05$),表明镁的缺乏伴随着硫的显著下降($P < 0.05$),可能造成缺硫并发症;苏11根部的磷、镁、硫含量显著降低($P < 0.05$),叶部的镁、硫含量也显著降低($P < 0.05$),也同样可能在缺镁条件下伴随着缺硫并发症。

4 结论

不同甘薯品种对钙元素缺乏的响应不同,钙缺乏时苏11的叶绿素含量、净光合速率、地上和地下生物量下降幅度比苏16的大,表明在钙缺乏条件下苏11比苏16更敏感,缺钙条件下,苏16的显著症状为烂根,苏11的典型症状为老叶坏死的斑块沿着靠近叶柄的叶边缘不规则向外扩散,最后衰老枯落,另外,根部钙含量显著降低伴随铁的显著降低($P < 0.05$);镁缺乏时苏11的叶绿素含量、净光合速率、地上和地下生物量下降幅度比苏16的大,表明在镁缺乏条件下苏11也比苏16更敏感,然而苏16和苏11的缺镁典型症状相同,叶片均失绿,老叶逐渐枯萎脱落,并且根部和叶部的镁含量显著降低伴随着硫含量的显著降低($P < 0.05$),可能伴有缺硫并发症。综合以上表述,钙、镁缺乏条件下对甘薯生长产生了抑制作用,表明钙、镁对甘薯生长具有重要的意义,因此,在钙、镁缺乏的土壤上应该重视对甘薯施用钙、镁肥料,可以通过甘薯钙、镁缺乏的典型症状来及时诊断,及时施肥,达到甘薯增产稳产的目的。

参考文献:

- [1] 彭慧元,邓宽平,宋吉轩,等. 贵州甘薯产业发展现状与展望[J]. 河北农业科学, 2011, 15(1): 104-106.
- [2] 潘瑞焱,王小菁,李娘辉,等. 植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006. 28.
- [3] 高聚林,王志刚,孙继颖,等. 青贮玉米对氮磷钾的吸收规律[J]. 作物学报, 2006, 32(3): 363-368.
- [4] 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.
- [5] Masoni A, Ercoli L, Mariotti M, et al. Post-anthesis accumulation and remobilization of dry matter, nitrogen and phosphorus in durum wheat as affected by soil type [J]. *European Journal of Agronomy*, 2007, 26 (3): 179-186.
- [6] Muurinen S, Kleemola J, Peltonen-Sainio P. Accumulation and translocation of nitrogen in spring cereal cultivars differing in nitrogen use efficiency [J]. *American Society of Agronomy*, 2007, 99 (2): 441-449.
- [7] Firon N, LaBonte D, Villordon A, et al. The sweetpotato. chapter 3. Botany and physiology: storage root formation and development [M]. Berlin: Springer Science + Business Media B. V., 2009. 13-26.
- [8] Hewitt E J. Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition [M]. London: Eastern Press, 1966. 187-198.
- [9] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000. 302-315.
- [10] 牟咏花. 钙的生理功能及在果蔬生理中的重要性 [J]. *浙江农业学报*, 1995, 7 (6): 499-500.
- [11] Ferguson I B, Brobak B K. Calcium and the regulation of plant growth and senescence [J]. *Hort Science*, 1988, 23 (2): 262-266.
- [12] Rita B, Karen S, Troxel F, et al. Calmodulin antagonists inhibit electron transport in photosystem II of spinach chloroplasts [J]. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 1982, 104 (4): 1182-1188.
- [13] 李中勇, 韩龙慧, 史娟, 等. 高氮水平下钙对设施油桃果实生长及品质的影响 [J]. *中国土壤与肥料*, 2014, (4): 72-75.
- [14] 龙明华, 唐小付, 于文进, 等. 不同钙素水平对厚皮甜瓜叶片光合作用和保护酶活性的影响 [J]. *广西植物*, 2005, 25 (1): 77-82.
- [15] 李金玲, 熊寅森, 赵致, 等. 钙镁元素缺乏对何首乌生长发育的影响 [J]. *贵州农业科学*, 2012, 40 (11): 68-70.
- [16] 李合生, 向阳, 施克俭. 钙素对甘薯根腐病生理影响的研究 [J]. *河南农业科学*, 1988, 16 (11): 11-13.
- [17] O'Sullivan J N, Asher C J, Blamey F P C. Nutritional disorders of sweetpotato [M]. Brisbane: Dept. of Agr. University of Queensland, 1995. 75-76.
- [18] Tulin A B, Asio V B, Pardales J R, et al. Nutrient deficiency symptoms of sweetpotato varieties planted in degraded uplands of pinabacdao, samar and in commercial areas of leyte and samar [J]. *Journal of Plant Nutrition*, 2000, 11 (5): 66-69.
- [19] Krauss. The effect of fertilising lettuce with the major elements on botrytic cinerea pers. attack [M]. London: Eastern Press, 1971. 12-23.
- [20] 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 [J]. *中国农业科学*, 1999, 32 (4): 63-67.
- [21] 王芳, 刘鹏, 史锋, 等. 镁对大豆叶片抗氧化代谢的影响 [J]. *中国油料作物学报*, 2006, 28 (1): 32-38.
- [22] 董飞, 高莉敏, 王传增, 等. 钙、镁、硫、硅用量对大葱产量的影响 [J]. *中国土壤与肥料*, 2014, (1): 53-56.
- [23] 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.

The influence of calcium and magnesium deficiency on growth and mineral elements absorption of different sweetpotato varieties

MA Hong-bo¹, LI Chuan-zhe³, NING Yun-wang¹, ZHANG Hui^{1,2}, XU Xian-ju¹, WANG Ji-dong¹, ZHANG Yong-chun^{1*}
 (1. Institute of Agricultural Resource and Environment; Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing Jiangsu 210014; 2. State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing Jiangsu 210008; 3. Nanjing Agricultural University, Nanjing Jiangsu 210095)

Abstract: In order to explore the influence of calcium and magnesium deficiency on growth and mineral elements absorption of different sweetpotato varieties, the method of sand culture was adopted. The symptoms appearance, chlorophyll content, photosynthesis, the ground and underground biomass, root and leaf mineral element content of Su16 and Su11 were studied under the condition of calcium and magnesium deficiency. The results showed that chlorophyll content, net photosynthetic rate, the ground and underground biomass of Su16 and Su11 were decreased significantly under calcium and magnesium deficiency, but Su11 declined more than Su16. Moreover, under the condition of calcium deficiency, Su16 appeared typical symptoms of rotten root, and the calcium content of Su16 in root and leaf decreased significantly ($P < 0.05$), while Su11 appeared typical symptoms that necrotic patches in old leaves near petiole spread irregularly beyond the leaf edge, then gradually withered and fell. The calcium content of Su11 in root decreased significantly with iron content decreasing significantly ($P < 0.05$). It was suggesting that calcium deficiency might be associated with iron deficiency. Under magnesium deficiency condition, typical symptom of Su16 and Su11 was the same, for both of them the leaves became yellow and the old leaves fell and withered gradually. Under magnesium deficiency, the magnesium content of roots and leaves decreased significantly with sulfur content decreasing significantly ($P < 0.05$). It was suggesting that magnesium deficiency might be associated with sulfur deficiency.

Key words: calcium; magnesium; sweetpotato varieties; symptoms appearance; chlorophyll; net photosynthetic rate; mineral elements