

马洪波, 李传哲, 宁运旺, 等. 硫缺乏对不同甘薯品种的生长及矿质元素吸收的影响[J]. 江苏农业学报, 2015, 31(5): 1024-1030.

doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2015.05.013

硫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², 宁运旺¹, 张辉^{1,3}, 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. 南京农业大学, 江苏 南京 210095; 3. 中国科学院南京土壤研究所土壤与农业可持续发展国家重点实验室, 江苏 南京 210008)

摘要: 为了探讨硫元素缺乏对不同甘薯品种生长及矿质元素吸收的影响, 采用砂培的方法, 以苏薯 16 和苏薯 11 为材料, 在硫缺乏条件下, 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: 硫缺乏时苏薯 16 和苏薯 11 的叶绿素含量、净光合速率均显著下降, 苏薯 11 的下降幅度比苏薯 16 的大, 而地上和地下部生物量均显著上升, 苏薯 16 的上升幅度大于苏薯 11; 缺硫条件下, 苏薯 16 表现出来的显著症状为新叶失绿、变小, 苏薯 11 表现为新叶失绿、新叶比较宽大, 部分老叶也失绿; 苏薯 16 的根部有膨大, 苏薯 11 无; 苏薯 16 的地上部和根部钾含量升高, 苏薯 11 的地上部和根部钾含量下降, 苏薯 16 和苏薯 11 地上部和根部钠含量均随钾含量的升高而升高, 降低而降低, 以保持合适的 K/Na 比值。

关键词: 硫; 甘薯; 缺素症状; 叶绿素; 净光合速率; 矿质元素

中图分类号: S531.01 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2015)05-1024-07

Growth and mineral elements absorptions of different sweet potato varieties in response to sulfur deficiency

MA Hong-bo¹, LI Chuan-zhe², NING Yun-wang¹, ZHANG Hui^{1,3}, ZHANG Yong-chun¹

(1. Institute of Agricultural Resource and Environment, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences/Scientific Observing and Experimental Station of Arable Land Conservation<Jiangsu>, Ministry of Agriculture, Nanjing 210014, China; 2. Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 3. State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

Abstract: To explore the influence of sulfur deficiency on growth and mineral elements absorption of different

收稿日期: 2015-03-25

基金项目: 现代农业产业技术体系项目 (cars-11-b-15); 国家公益性行业 (农业) 科研专项项目 (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项目 (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, 硕士, 助理研究员, 从事土壤质量管理研究。 (Tel) 13057515535; (E-mail) 274579992@qq.com

通讯作者: 张永春, (Tel) 13057577553; (E-mail) yczhang66@sina.com

sweet potato varieties, sand culture was adopted to study the symptoms, chlorophyll content, photosynthesis, the above-ground and underground biomass, root and leaf mineral element content of Sushu16 and Sushu11 under the condition of sulfur deficiency. The results showed that chlorophyll contents and net photosynthetic rates of Sushu16 and Sushu11 decreased significantly under sulfur deficiency ($P < 0.05$), and the decrease was more in Sushu11. However, the above-ground and underground biomass increased, and the increase was more in

Sushu16. Under the condition of sulfur deficiency, Sushu 16 appeared typical symptoms of smaller new leaf and new leaf chlorosis, and Sushu 11 exhibited new leaf chlorosis and wider new leaf. Swelling roots were seen only in sulfur-deficient Sushu16. The potassium content increased in the shoots and roots of Sushu16 but declined in the shoots and roots of Sushu11 under the condition of sulfur deficiency, and the sodium contents in Sushu16 and Sushu11 shoots and roots increased as well so as to keep an appropriate ratio of K/Na.

Key words: sulfur; sweet potato; sulfur-deficient symptom; chlorophyll; net photosynthetic rate; mineral element

土壤中的营养元素直接影响植物的生长,无论是养分缺乏,还是营养元素过量,都会造成生长胁迫。缺硫胁迫极大阻碍了植物的生长发育,使植物发育缓慢、萎黄,引起变色病,有时候还会变红,并严重导致植物的生物量减少以致于死亡^[1]。例如十字花科植物卷心菜缺硫时,最初会在叶片背面出现淡红色,缺硫的油菜叶片可能向内弯曲成杯状;随着卷心菜缺硫的加剧,叶片正反面都发红紫,杯状叶反折过来,叶片正面显露出凹凸不平。在澳大利亚的新南威尔士州,因土壤缺硫导致油菜产量损失高达80%^[2]。但目前关于甘薯对硫吸收特性及规律的研究国内外尚未见详细报道,极少的相关报道也缺乏直观的硫缺素影像资料;另外硫的缺乏程度可能与表现症状有关,且硫元素缺乏必然会对其他元素的吸收产生影响,这些方面的研究相对较少。

甘薯是中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^[3-5]。另外,甘薯适应性广,耐旱、耐贫瘠,植株的吸收能力、再生能力、抗病虫能力等抗逆性强,且甘薯的匍匐习性,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^[6]。因此,在大田研究条件下很难获得甘薯的缺素症状。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,本试验研究完全硫缺乏对甘薯生长发育及矿物质吸收的影响,以期对甘薯植株硫元素缺乏诊断及施肥奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料准备

选择生长性状差异较大的2个甘薯品种:苏薯16(食用型品种,匍匐株型)和苏薯11(淀粉型品种,匍匐株型)。两品种均为江苏省农业科

学院育成。砂培用石英砂粒径2~4 mm,经0.1 mol/L HCl浸泡24 h后,用自来水冲洗3次,蒸馏水清洗3次,装入圆柱状塑料盆钵内,每盆3 kg。盆钵上、下口直径分别为18.0 cm和12.5 cm,高为15.0 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)、缺硫营养液(-S)2个处理,4次重复。以Hongland and Arnon营养液作基础配方^[7]。完全营养液组成为:Ca(NO₃)₂·4H₂O 944.00 mg/L, KNO₃ 606.00 mg/L, MgSO₄·7H₂O 487.00 mg/L, NH₄H₂PO₄ 115.00 mg/L, Fe-EDTA 4.18 mg/L, ZnSO₄·7H₂O 0.22 mg/L, CuSO₄·5H₂O 0.08 mg/L, MnCl₂·4H₂O 1.80 mg/L, H₃BO₃ 2.87 mg/L, NaMoO₄·2H₂O 0.03 mg/L, 并且用KOH调节pH值至5.5。在其余组分不变的前提下,用555.00 mg/L MgCl₂代替MgSO₄构成缺硫营养液。营养液配制用去离子水,电导率小于1 μs/cm (25℃),试验所用的试剂均为分析纯,砂培系统放置温室中。

将石英砂装盆后,取生长一致的甘薯苗材料,剪切茎尖以下约25 cm长的薯蔓,移栽时甘薯苗埋入钵内约6 cm,每盆移栽1株。甘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、缺硫营养液进行处理。甘薯苗发根成活至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分别用蒸馏水洗净后称取鲜质量,并留样测定氮、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先 105 ℃ 杀青 30 min,再 70 ℃ 烘干、磨碎。

1.3 测定项目与方法

采用美国产 CCM-200 型叶绿素计读取叶片 SPAD 值,用美国 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) $\mu\text{mol}/\text{mol}$,光照度设定为 1 000 $\mu\text{mol}/\text{m} \cdot \text{s}$ 。植株全氮、磷、钾、钠含量测定时样品用 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 消煮,全氮含量用凯氏定氮法测定,全磷含量采用钼锑抗比色法测定,全钾、全钠含量采用火焰光度法测定^[8];植株全钙、镁、铁、硫含量测定时样品用高氯酸-浓硝酸消煮,采用原子吸收和等离子体光谱仪测定。用 Excel 和

SPSS 软件处理数据。

2 结果与分析

2.1 甘薯硫缺乏症状

培养 35 d 后,苏薯 16 和苏薯 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。在缺硫营养液中生长的苏薯 16 缺硫症状表现为植株茂盛,整株叶片大而薄,新叶失绿,变小,叶柄变短,根部发达,并有膨根现象;苏薯 11 缺硫症状表现为植株茂盛,整株叶片大而薄,颜色均失绿,新叶叶柄变短,失绿严重,根部发达,但没有膨根现象(图 1)。

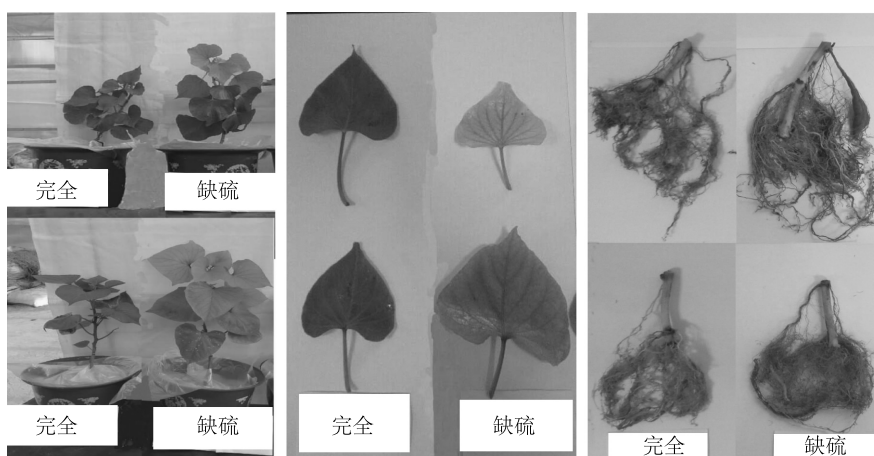


图 1 甘薯品种苏薯 16 和苏薯 11 硫缺乏症状

Fig.1 Sulfur deficiency symptoms of sweet potato varieties Sushu16 and Sushu11

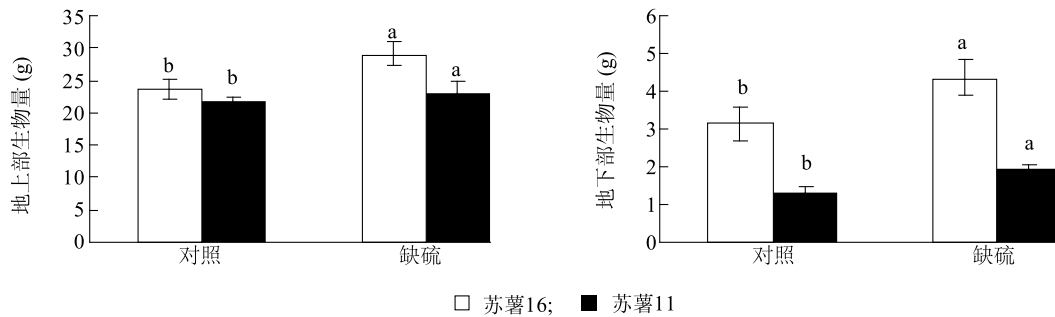
2.2 硫缺乏对甘薯地上部和地下部生物量的影响

苏薯 16 缺硫处理的地上部鲜质量显著高于对照 ($P < 0.05$),升高幅度为 18.7%;苏薯 11 缺硫处理的地上部鲜质量也显著高于对照 ($P < 0.05$),升高幅度为 6.39% (图 2)。

硫缺乏不仅影响甘薯植株地上部发育,对其根系发育也有不同程度影响。与对照相比,硫缺乏处理显著升高了苏薯 16 的地下部生物量 ($P < 0.05$),升高幅度为 27.1%,也显著升高了苏薯 11 的地下部生物量 ($P < 0.05$),升高幅度为 32.1% (图 2)。

2.3 硫缺乏对甘薯叶片叶绿素含量和净光合速率的影响

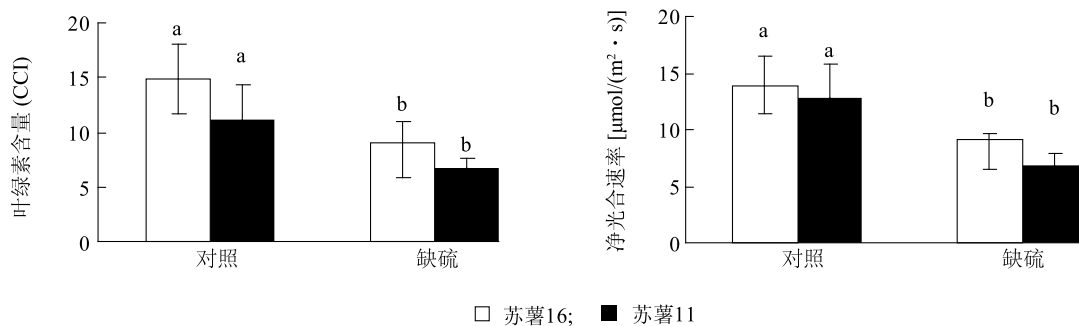
硫是构成蛋白质不可缺少的成分,缺硫时蛋白质的合成受阻,从而影响作物产量和品质^[9]。叶绿素的成分中虽然不含硫,但硫对于叶绿素的形成有一定影响,缺硫时叶绿素含量降低,叶色褪淡,严重时呈黄白色^[10]。缺硫处理的苏薯 16 和苏薯 11 叶片叶绿素含量均显著低于对照 ($P < 0.05$),降低幅度分别为 38.8% 和 46.0%;缺硫处理的苏薯 16 和苏薯 11 叶片净光合速率均显著低于对照 ($P < 0.05$),降低幅度分别为 34.8% 和 46.0% (图 3)。



图中的不同字母表示处理间差异达到0.05显著水平。

图2 硫缺乏条件下苏薯16和苏薯11地上部和地下部的生物量

Fig.2 The above-ground and underground biomass of Sushu16 and Sushu11 under sulfur deficiency condition



图中的不同字母表示处理间差异达到0.05显著水平。

图3 硫缺乏条件下苏薯16和苏薯11叶片的叶绿素含量和净光合速率

Fig.3 The leaf chlorophyll contents and net photosynthetic rates of Sushu16 and Sushu11 under sulfur deficiency condition

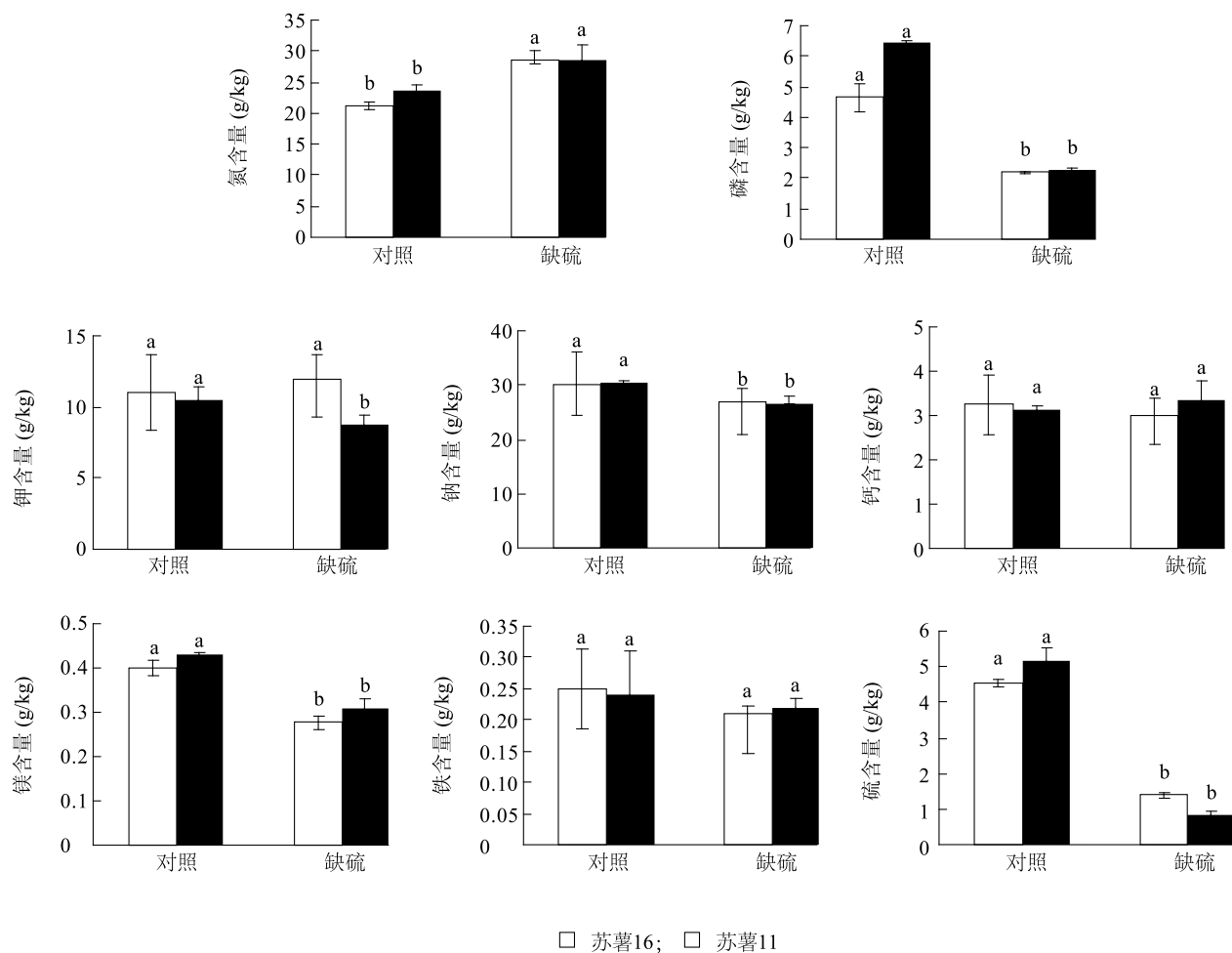
2.4 硫缺乏对苏薯16和苏薯11根部矿质养分含量的影响

矿质养分是植物正常生长发育所必需的,主要包括大量元素氮(N)、磷(P)、钾(K),中量元素钙(Ca)、镁(Mg)、硫(S)和微量元素铁(Fe)、锰(Mn)、铜(Cu)、锌(Zn)、硼(B)、钼(Mo)、氯(Cl)等^[11]。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,还与该元素影响其他营养元素的吸收间接相关。缺硫处理的苏薯16和苏薯11根部氮含量均显著高于对照($P < 0.05$),而根部磷含量均显著低于对照($P < 0.05$);缺硫处理的苏薯16根部钾含量与对照相比差异未达到显著水平($P > 0.05$),而苏薯11根部钾含量显著低于对照($P < 0.05$);缺硫处理的苏薯16和苏薯11根部钠含量均显著低于对照($P < 0.05$);缺硫处理的苏薯16和苏薯11根部钙和铁含量与对照相比差异均

未达到显著水平($P > 0.05$);缺硫处理的苏薯16和苏薯11根部镁和硫含量均显著低于对照($P < 0.05$)(图4)。

2.5 硫缺乏对苏薯16和苏薯11叶片矿质元素含量的影响

硫缺乏同样也会影响具有重要功能的叶片中矿质元素的含量,进而影响植株生长发育。缺硫处理的苏薯16叶片氮含量与对照相比差异不显著($P > 0.05$),而苏薯11的叶片氮含量则显著低于对照;缺硫处理的苏薯16和苏薯11叶片磷含量均显著低于对照($P < 0.05$);缺硫处理的苏薯16叶片钾含量显著高于对照($P < 0.05$),苏薯11叶片钾含量则显著低于对照($P < 0.05$);缺硫处理的苏薯16和苏薯11叶片钠、钙和镁含量与对照相比差异均不显著($P > 0.05$);缺硫处理的苏薯16和苏薯11叶片铁含量均显著高于对照($P < 0.05$),而镁含量均显著低于对照($P < 0.05$)(图5)。



图中的不同字母表示处理间差异达到0.05显著水平。

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

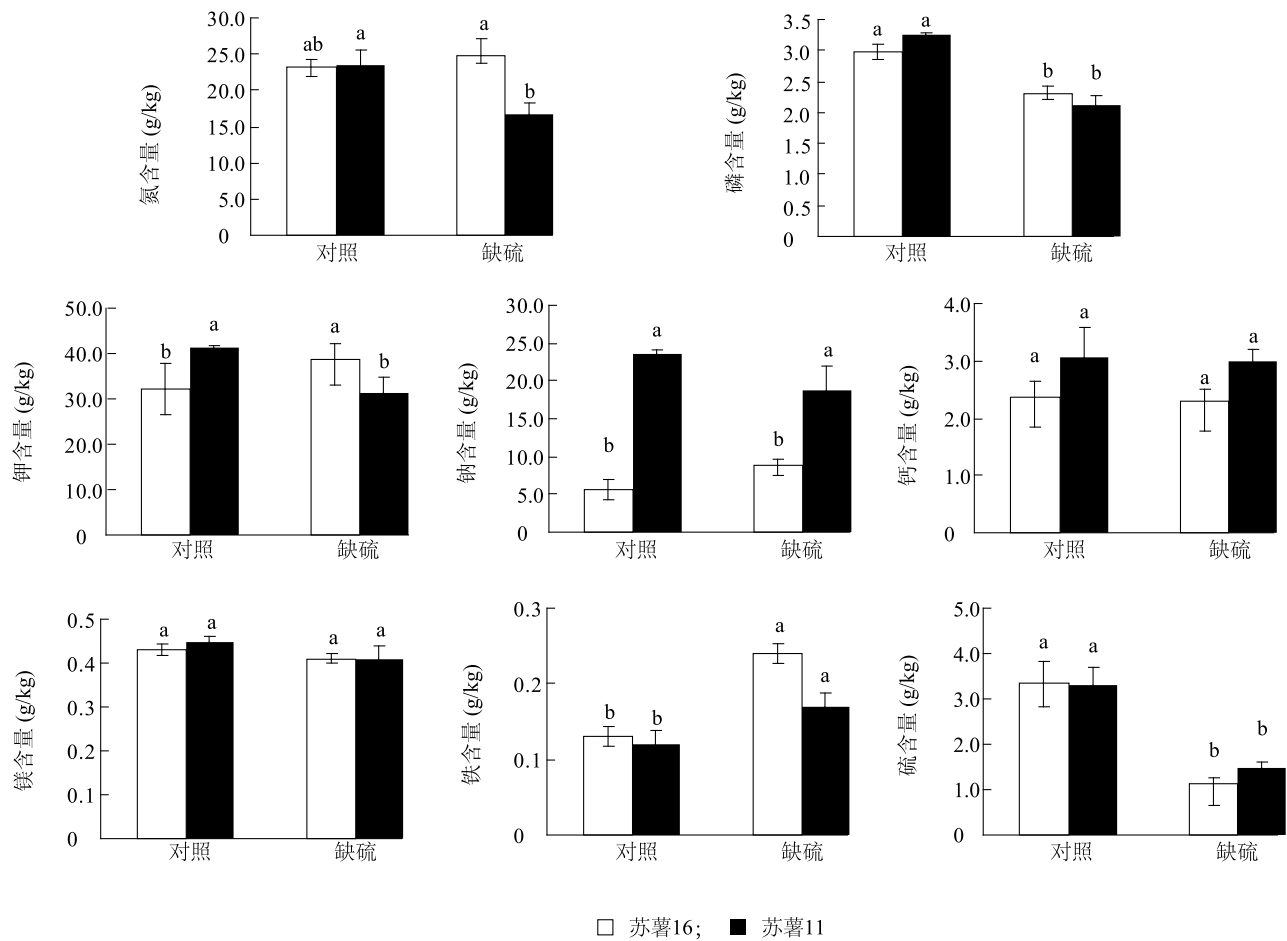
Fig.4 The contents of N, P, K, Na, Ca, Mg, Fe and S in the roots of Sushu16 and Sushu11 under sulfur deficiency condition

3 讨论

3.1 缺硫对不同甘薯品种生长的影响

缺硫时蛋白质的合成受阻,叶绿素含量也会降低,从而影响作物产量及品质。缺硫已成为农业生产中作物产量进一步提高的限制因素之一^[12-13]。本研究结果表明缺硫条件下甘薯品种苏薯16和苏薯11的叶绿素含量和净光合速率显著降低。陈屏昭等认为缺硫脐橙植株的光合能力降低,可能是叶绿体发育不全或特性功能蛋白质含量不足所致^[14]。可以推断缺硫处理的甘薯叶片叶绿素含量下降,会进一步影响甘薯的光合作用;苏薯11叶绿素含量和净光合速率的降低幅度都比苏薯16大。缺硫导致苏薯16表现出来的显著症状为,新叶失绿、变小;苏

薯11缺硫的显著症状表现为新叶失绿、新叶也比较宽大、部分老叶也失绿。李贵宝认为硫移动性小,较难从老组织向幼嫩组织运转,缺硫时由于蛋白质、叶绿素的合成受阻,叶片褪绿或黄化,与缺氮症状有些相似,但缺硫症状首先在幼叶出现,这一点与缺氮症状不同^[15]。缺硫时苏薯11的老叶部分也失绿,原因可能是苏薯11与苏薯16甘薯相比,对缺硫更加敏感,更早出现新叶失绿现象,当新叶变老叶时,出现老叶失绿现象。另外发现,苏薯16有膨根现象,苏薯11却没有,原因可能与苏薯16的老叶没有失绿,叶绿素含量较高和光合速率较强,导致苏薯16叶部向根部输送的光合产物比苏薯11多有关,从生物量上看,苏薯16无论地上部还是根部的生物量都显著高于苏薯11。



图中的不同字母表示处理间差异达到0.05显著水平。

图5 硫缺乏条件下苏薯16和苏薯11叶片氮、磷、钾、钠、钙、镁、铁、硫含量

Fig.5 The contents of N, P, K, Na, Ca, Mg, Fe and S in the leaves of Sushu16 and Sushu11 under sulfur deficiency condition

3.2 缺硫对不同甘薯品种矿质元素吸收的影响

在改善植物对主要营养元素的吸收方面,硫也发挥着重要作用^[16]。李娟等对硫营养与水稻地上部和根部氮、磷、钾含量的关系进行了研究,结果表明缺硫处理与施硫处理相比,水稻地上部和根部的氮、磷、钾含量都升高,硫含量都降低^[17]。本研究结果表明,缺硫处理与对照相比,苏薯16和苏薯11地上部和根部的氮含量均升高,磷、硫含量均下降,苏薯16地上部和根部钾含量升高,苏薯11地上部和根部钾含量下降。Terry认为缺硫胁迫会阻碍氮代谢及蛋白质的合成,引起植株体内氮中间产物(硝态氮、氨基态氮等)的积累^[18]。Rajesh等研究了桑树苗嫩叶中硫与磷、钾含量关系,认为缺硫处理与对照相比,会降低磷的含量,增加钾的含量^[19],这与本

研究的结论相同;另外Rajesh等的研究结果还表明缺硫处理的桑树苗嫩叶中钙、镁含量增加,铁含量略微减少。本研究中苏薯16和苏薯11在缺硫条件下地上部钙、镁含量无明显变化,铁含量显著升高,与Rajesh等的研究结论不相同,可能与甘薯和桑树物种不同有关。关于钠含量的报道很少,钠不是植物的必须营养元素,但在调节钾钠比上起着重要的作用。在缺硫条件下,苏薯16、苏薯11地上部和根部的钾含量下降,钠含量随之下降,苏薯11地上部的钠含量随钾含量升高而升高。

参考文献:

- [1] ADAMS S N. The effect of sodium and potassium fertilizer on the mineral composition of sugar beet[J]. Agrie Sci, 1961, 56:383-388.

- [2] BISWAS D R, ALI S A, KHERA M S. Response of gobhisarson to niteogen and sulphur[J]. J Soil Sci, 1995, 43:220-222.
- [3] 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.
- [4] 丁凡,余韩开宗,刘丽芳,等. 甘薯新品种绵南薯 10 号的选育及栽培技术[J]. 江苏农业科学,2014,42(5):107-108.
- [5] 李强,马代夫,李秀英,等. 鲜食及紫薯淀粉加工甘薯新品种徐紫薯 4 号的选育与栽培要点[J]. 江苏农业科学,2014,42(9):86-87.
- [6] FIRON N, LABONTE D, VILLORDON A, et al. The sweetpotato. chapter3. Botany and physiology: storage root formation and development[M]. Berlin: Springer Science+Business Media B. V. 2009:13-26.
- [7] HCWITT E J. Sand and water culture mothods used in the study of plant nutrition[M]. London: Eastern Press, 1966:187-198.
- [8] 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.
- [9] 林琼,李娟,陈子聪,等. 缺硫胁迫对水稻叶绿素荧光动力学的影响[J]. 福建农业学报,2007,22(4):397-400.
- [10] 李合生. 硫素营养及硫肥施用[J]. 湖北农业科学,1979,1(2):34-37.
- [11] 慕康国,赵秀琴,李健强,等. 矿质营养与植物病害关系研究进展[J]. 中国农业大学学报,2005,5(1):84-90.
- [12] RAY R W, SPODER K M. Sulfur nutrition of maize in four region of Malawi[J]. Agro J, 2000, 92: 649-656.
- [13] 刘存辉,董树亭,胡昌浩. 硫素营养对高产玉米施用效应的研究[J]. 山东农业大学学报:自然科学版, 2001, 32(1): 11-16.
- [14] 陈屏昭,王磊. 缺硫对脐橙叶片光特性和叶绿素荧光参数的影响[J]. 生态学杂志,2006,25(5):503-506.
- [15] 李贵宝. 几种蔬菜作物的硫缺乏症与防治[J]. 蔬菜,1997,1(2):23.
- [16] 刘存辉,董树亭,胡昌浩. 硫在作物增产中的作用研究进展[J]. 山东农业大学学报, 1998, 29(1): 121-124.
- [17] 李娟,林琼,陈子聪,等. 不同供硫水平对水稻生长和养分吸收的影响[J]. 中国农学通报,2006,22(11):214-217.
- [18] TERRY N. Effects of sulfur on the photosynthesis of intact leaves and isolated chloroplasts of sugar beets[J]. Plant Physiol, 1976, 57:477-479.
- [19] RAJESH K T, PRAVEEN K, PARMA N S. Morphology and oxidative physiology of sulphur-deficient mulberry plants [J]. Environmental and Experimental Botany, 2010, 68: 301-308.

(责任编辑:张震林)