

供硫水平对花生叶片硫素含量与形态的影响

周可金^{1,2}, 雷红灵³, 肖文娜¹, 章力干¹

(1 安徽农业大学农学院, 安徽合肥 230036; 2 湖南农业大学农学院, 湖南长沙 410128;

3 湖南农业大学生物技术学院, 湖南长沙 410128)

摘要: 采用盆栽方法研究了供硫水平对花生不同叶龄叶片的硫酸盐、谷胱甘肽和蛋白态硫含量及其形态的影响。结果表明, 叶片谷胱甘肽含量随叶龄增大而减少, 硫酸盐含量却相反。当硫素供应充足时, 幼叶谷胱甘肽含量占总硫的 4.6%, 蛋白态硫含量占 91%, 其余以硫酸盐形式存在; 中龄叶及老叶的硫酸盐含量占总硫的 60%~80%, 而谷胱甘肽含量不到 1%。当硫素供应不足时, 幼叶和中龄叶含硫化合物总量减少, 尤其是硫酸盐。因此, 在缺硫时, 谷胱甘肽不是植株硫的主要来源, 且低氮加重缺硫症状发生。不同叶龄叶片对缺硫反应不同, 幼叶对缺硫反应更为敏感。

关键词: 硫素供应; 硫形态; 谷胱甘肽; 叶片; 花生

中图分类号: S565.2.062

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2008)06-1154-06

Effects of sulfur supply on sulfur content and conformation within peanut leaves

ZHOU Ke-jin^{1,2}, LEI Hong-ling³, XIAO Wen-na¹, ZHANG Li-gan¹

(1 College of Agronomy, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China; 2 College of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 3 College of Bioscience and Biotechnology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract: Greenhouse experiment was conducted to study content and conformation of sulfate (S) , glutathione , and insoluble S fraction within different aged peanut leaves. The content of glutathione decreased with the leaf aging increase , whereas an opposite trend was observed for SO_4^{2-} content. The concentration of insoluble S was similar for all leaves. With the sufficient S supply , SO_4^{2-} , glutathione , and insoluble fraction accounted for 4.4% , 4.6% and 91% of total S in the young leaf , respectively. In the middle and old leaves , 60% to 80% of total S accumulated as SO_4^{2-} , and glutathione accounted for less than 1% . The concentrations of all S-containing compounds , particularly SO_4^{2-} , decreased in the young and middle leaves without S supply. Glutathione was not a major S source for peanut during S deficiency. Low N supply aggravated the symptoms S deficiency. The different aged leaves had no-unique responses to S deficiency. Young leaves are more sensitive to S deficient than middle and old leaves.

Key words: sulfur supply ; sulfur conformation ; glutathione ; leaf ; peanut

我国缺硫土壤约占耕地面积的 30%^[1]。S 是作物生长必需养分元素之一, 其含量因作物类型不同而异, 一般十字花科、油料作物 S 含量高于 P 含量。高等植物中的 S 一般以 SO_4^{2-} 从根部吸收, 经木质部进入叶肉组织, 诱导半胱氨酸转化为甲硫氨酸或形成谷胱甘肽。叶片 SO_4^{2-} 的吸收和分配完全受其需求量控制, 正在发育的叶片含 S 量较高; 叶片伸展

后显著下降^[2]。当 S 供应充足时, 根系 SO_4^{2-} 含量维持一定水平; S 缺乏时其含量增加^[3-4]。可见, 低调节量信号是 SO_4^{2-} , 或含 S 化合物, 如谷胱甘肽^[5]。 SO_4^{2-} 和谷胱甘肽都能在韧皮部移动^[4]; 叶肉细胞液泡中 SO_4^{2-} 仅能在 S 受到胁迫时释放, 且释放很慢, 不能维持植株生长需要^[6]。当大豆幼叶缺 S 时, S 主要形成蛋白质, 低 N 能促使 SO_4^{2-} 从老叶中释

收稿日期: 2007-10-10 接受日期: 2008-05-13

基金项目: 国际植物营养研究所项目(Anhui-17); 安徽省教育厅项目(KJ2007B297)资助。

作者简介: 周可金(1965—)男, 安徽无为, 教授, 博士研究生, 主要研究作物栽培与养分管理。Tel: 0551-5786951, E-mail: zhoukejin@163.com

放^[2,7-8]。花生等油料作物对 S 反应敏感,叶片又是 S 的主要贮藏器官,叶片 S 含量高低与土壤供 S 水平关系密切,这在油菜中已得到证实,但在花生中未见报道^[9-11]。花生施 S 能促进植株对 N、S 的吸收,有利于 S 向子实运转。但施 S 如何促进 S 的吸收和分配(尤其不同叶龄叶片间的分配),以及 S 吸收后的转化形态等研究鲜见报道^[4,11]。花生施 S 一直未引起足够重视,生产上常有缺 S 症状发生,由于没有准确的诊断方法,造成花生减产^[12-13]。鉴此,通过对不同供 S 水平花生叶片的硫素含量及其形态特征和变化规律的研究,以期找到在供 S 不足时体内作为 S 素补充的化合物形态,并弄清不同叶龄叶片对缺 S 反应的敏感程度,从而为花生生产上快速而准确地诊断硫素营养丰缺和科学施肥提供理论依据。

1 材料与方法

采用温室石英砂盆栽试验。供试花生(*Arachis hypogaea*)汕油 523 为高含 S 品种。室温控制在 20℃,相对湿度 75%,光照时间 16 h。播种 7 d 后植株转移到 30 L 大容器(每容器栽 40~50 株),用营养液进行培养。培养液组成为:3 mmol/L KNO₃, 3 mmol/L Ca(NO₃)₂, 1 mmol/L NH₄H₂PO₄, 50 μmol/L KCl, 25 μmol/L H₃BO₃, 2 μmol/L MnCl₂, 2 μmol/L ZnCl₂, 0.5 μmol/L CuCl₂, 0.5 μmol/L (NH₄)₆Mo₇O₂₄, 20 μmol/L NaFeEDTA。系统 pH 用 KOH 调至 5.5 左右。

试验 1: 幼苗转移至液体培养系统。将幼苗放在 3 个不同 SO₄²⁻ 浓度(10、100、1000 μmol/L)溶液中培养。营养液每周更换一次。根据苗的大小,每隔 10 d 取 5~10 株,测定植株鲜重和叶片有关性状。取样后将叶片与茎秆分开,并将叶片用纱布包好,立即放到液 N₂ 中冷冻,经 72 h 冻干后,在真空中保存待测。叶片按由下而上的第 1 片至第 8 片分别保存(以 L1.....L8 表示)。在测定叶片干物质重量时须将冻干叶继续烘干。

试验 2: 按试验 1 的方法,将植株在营养液中预培养 20 d,营养液包含 1 mmol/L SO₄²⁻ 和 8 mmol/L NO₃⁻。然后将植株转移到以下 4 个处理的营养液中继续培养。1) 1 mmol/g SO₄²⁻ 和 8 mmol/g NO₃⁻, 即: 加 S 和高 N 处理(+S/HN); 2) 0 mmol/L SO₄²⁻ 和 8 mmol/L NO₃⁻, 即: 缺 S 和高 N 处理(-S/HN); 3) 1 mmol/L SO₄²⁻ 和 250 μmol/L NO₃⁻, 即: 加 S 和低 N 处

理(+S/LN); 4) 0 mmol/L SO₄²⁻ 和 250 μmol/L NO₃⁻, 即: 缺 S 和低 N 处理(-S/LN)。营养液 3 d 更换一次。每个处理分别在 0(试验开始时)、2、4、6、8 和 10 d 分别取样 3 株,每个植株主茎叶片分为老叶组(L1、L2)、中等叶龄叶组(根据植株大小包括 L3、L4、L5、L6)、幼叶组(L7 和 L8)。每株 3 组叶片分别放在液 N₂ 中 72 h 冻干。冻干叶片研磨成粉末状在真空容器中保存待测。

总 S 含量测定: 称 50 mg 冻干粉末用浓缩的 HNO₃ 和 HClO₄(体积比 85:15) 进行消化处理。消化后溶液用 5%(体积比) HCl 悬浮,用发射光谱仪在波长 182 nm 下测定。

硫酸盐和硝酸盐含量测定: 称取 20 mg 冻干粉末用 20 mL 90℃ 的去离子水萃取 2 h,然后用滤纸过滤。提取液的 SO₄²⁻ 浓度按 BaSO₄ 比浊法测定,NO₃⁻ 浓度按照 GB/T 5009.33 方法测定^[14]。

谷胱甘肽的测定按 Mechteld^[15] 方法进行。

蛋白态 S 的测定: 通过总 S 含量减去硫酸盐、谷胱甘肽含量而得到。

叶绿素含量测定: 采用 SPAD-502 叶绿素仪(Minolta Japan)测定。

相对生长速率(RGR): $RGR = (1/W) \times FW/dt$
其中 W 是植株重量; FW/dt 是某个阶段生长速率。

2 结果与分析

2.1 供硫对叶片生长及其 SO₄²⁻ 与谷胱甘肽含量的影响

不同培养液浓度对花生生长发育产生不同影响。当 SO₄²⁻ 浓度分别为 10、100、1000 μmol/L 时,花生芽的相对生长速率(RGR)分别为每天 0.20、0.28 和 0.31; 叶片干物质重量随 SO₄²⁻ 浓度的增加而增大(图 1)。

叶片数量也是最高浓度的处理比最低浓度处理的叶片数多 1~2 片。低浓度 SO₄²⁻(10 μmol/L) 处理培养 15 d 后,中、老叶片出现发黄症状,中等浓度 SO₄²⁻(100 μmol/L) 处理则推迟到 35 d 后才出现;而高浓度 SO₄²⁻(1000 μmol/L) 处理的花生叶片始终保持绿色。

图 2 表明,培养初期叶片(L1 和 L2) 中硫酸盐含量相似,与供 S 浓度无关。在较低的 S 浓度(10 和 100 μmol/L) 下,叶片 SO₄²⁻ 浓度随培养时间延长而

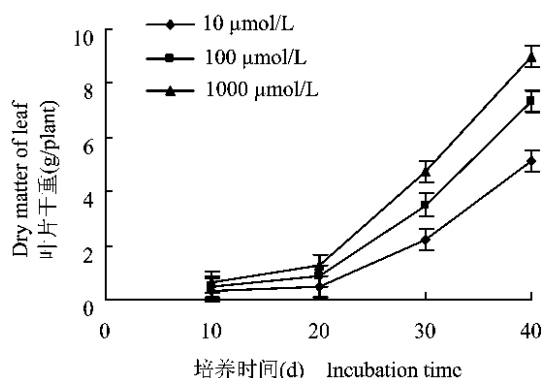


图 1 不同 SO_4^{2-} 浓度对花生叶片干物重的影响

Fig.1 Effect of SO_4^{2-} concentrations on dry matter of peanut leaves with different ages

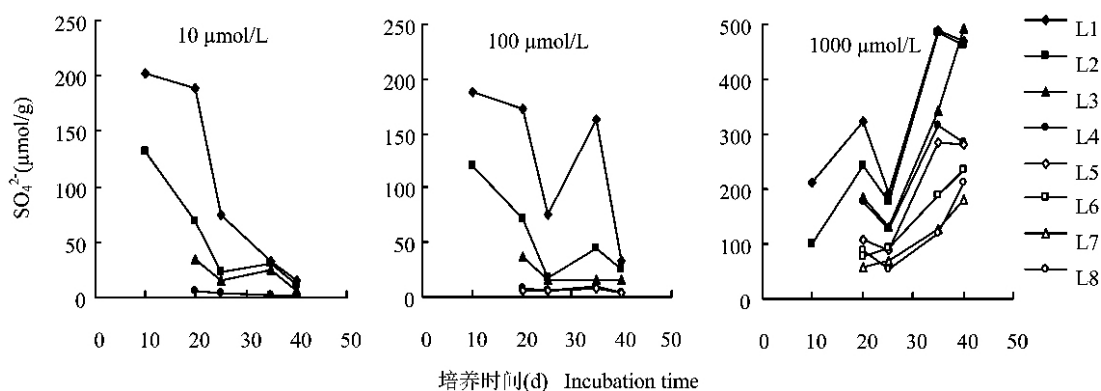


图 2 不同浓度溶液培养下不同叶龄叶片的 SO_4^{2-} 含量

Fig.2 SO_4^{2-} concentrations in leaves with different ages grown in various solutions

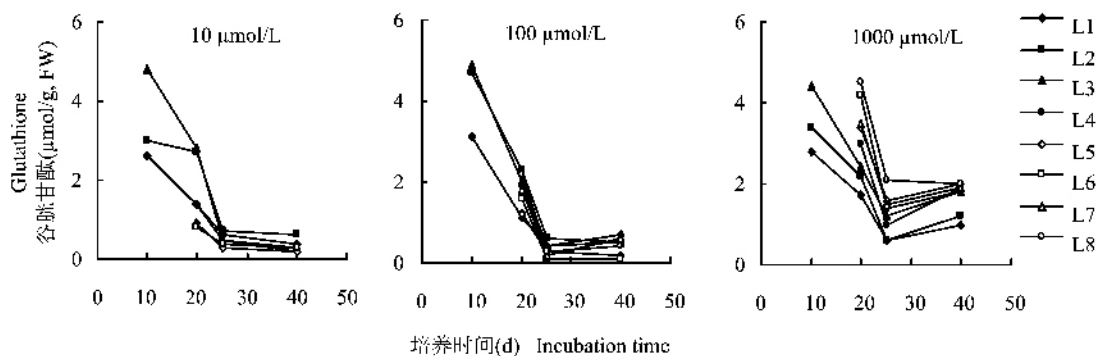


图 3 不同浓度溶液培养下不同叶龄叶片的谷胱甘肽含量

Fig.3 Glutathione concentrations in leaves with different ages grown in various solutions

2.2 硫和氮对叶片叶绿素含量和生长速率的影响

在 $1 \text{ mmol/L SO}_4^{2-}$ 和 8 mmol/L NO_3^- 溶液中生长 20 d 后, 将花生植株转移到含有高浓度 (8 mmol/L) 或低浓度 (0.25 mmol/L) NO_3^- 和加 S 或缺 S 的营养液中培养, 结果表明, 在缺 S 和高 N ($-S/HN$) 营养

液中生长的植株, 中龄叶和幼叶的叶绿素含量迅速下降 (图 4)。老叶无论在生长时间还是处理之间, 叶绿素含量没有显著变化。

逐渐降低; 后期形成的叶片 (如 L5、L6、L7、L8) SO_4^{2-} 含量更低或检测不到; 在高 S 浓度处理 ($1000 \mu\text{mol/L}$) 下, 所有叶片均积累一定浓度 SO_4^{2-} , 但以老叶 (如 L1、L2 等) 积累为主。因此, 到生长后期, 叶片 SO_4^{2-} 含量多少与供 S 水平高低有直接关系。供 S 水平较低时, 后期形成叶片 SO_4^{2-} 含量就低, 反之则高。

由图 3 可知, 三组浓度培养液中叶片的谷胱甘肽含量均随培养时间的延长而降低, 可能与叶片生长加快导致浓度稀释有关。在 SO_4^{2-} 100 或 $1000 \mu\text{mol/L}$ 处理下, 谷胱甘肽含量下降最快, 培养 25 d 就降到最低, 且以幼叶下降最多。

不同处理花生叶片的相对生长速率 (RGR) 变化 (表 1) 看出, 低 N 处理的中龄叶组和幼叶组的生长

液中生长的植株, 中龄叶和幼叶的叶绿素含量迅速下降 (图 4)。老叶无论在生长时间还是处理之间, 叶绿素含量没有显著变化。

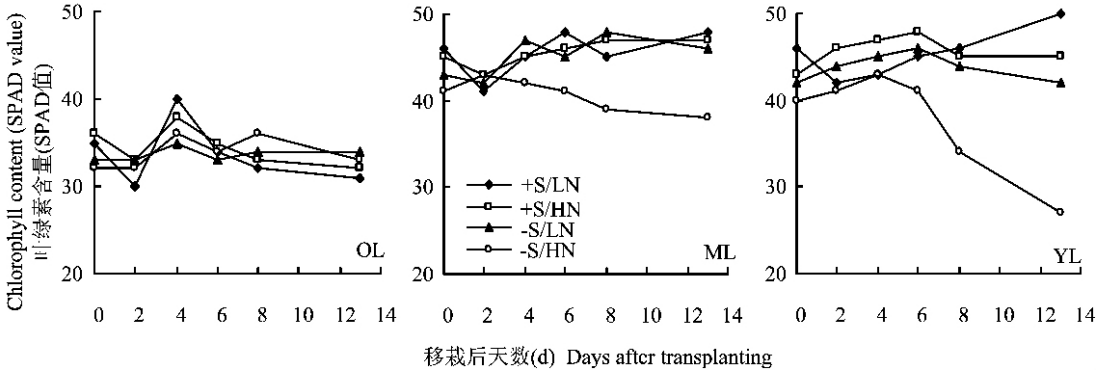


图 4 不同硫、氮浓度下花生叶片叶绿素含量的变化

Fig.4 Changes of chlorophyll readings in peanut leaves under different SO_4^{2-} and NO_3^- treatments

(OL : 老叶 Oldest leaf ; ML : 中龄叶 Middle leaf ; YL : 幼叶 Youngest leaf. 下同 The same below.)

表 1 不同氮、硫处理花生叶片的相对生长速率

Table 1 The relative growing rate(RGR) of peanut leaves with different N and S treatment

处理 Treatments	相对生长速率 RGR		
	OL	ML	YL
+ S/HN	0.010 ± 0.003	0.232 ± 0.008	0.285 ± 0.012
+ S/LN	0.002 ± 0.003	0.055 ± 0.007	0.052 ± 0.008
- S/HN	0.030 ± 0.004	0.120 ± 0.009	0.273 ± 0.007
- S/LN	0.033 ± 0.005	0.073 ± 0.007	0.018 ± 0.011

速率比高 N 处理的要低很多。在中龄叶组中, 低 N/ 缺 S 处理的叶片生长速率与低 N/ 加 S 处理相比没有降低, 而高 N 处理中的缺 S 处理的生长速率比加 S 处理的要降低 50% 左右。

2.3 硫和氮对叶片谷胱甘肽含量的影响

图 5 表明, 当从营养液中去除 SO_4^{2-} 2 天后花生中龄叶和幼叶的谷胱甘肽含量迅速降低; 但老叶差异不明显; 其中幼叶生长在高 N 溶液的谷胱甘肽含量比低 N 溶液的下降更快。在高 N 溶液中大约 8 d

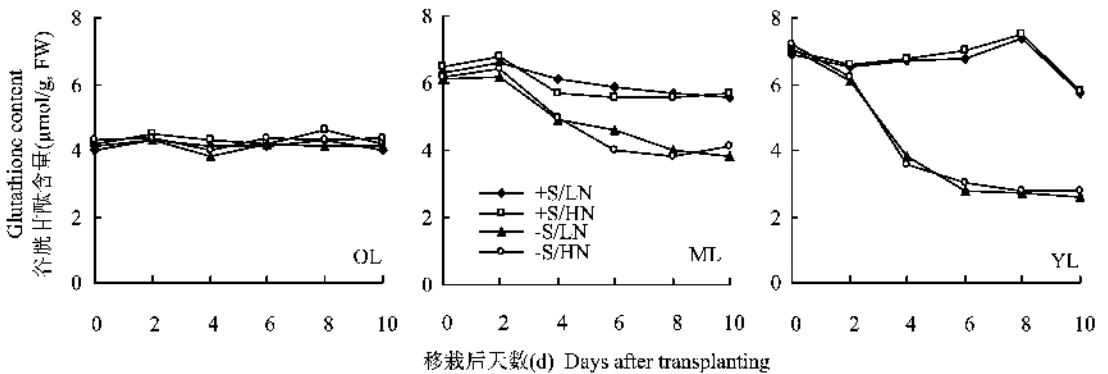


图 5 不同氮、硫处理花生叶片谷胱甘肽含量变化

Fig.5 Changes of glutathione concentrations in peanut leaves under different SO_4^{2-} and NO_3^- treatments

就达到最低, 而在低 N 中下降缓慢。在中龄叶中, 当溶液缺 S 时, 高 N 和低 N 处理的谷胱甘肽含量下降趋势一致。而幼叶的谷胱甘肽含量大约是老叶的 1.7 倍。

2.4 硫和氮对 SO_4^{2-} 和蛋白态硫的影响

试验结果(图 6)表明, 老叶、中龄叶和幼叶中 SO_4^{2-} 含量分别占总 S 含量的 70.3%、58.4% 和

27.3%。去掉 S 后所有叶片 SO_4^{2-} 含量均显著降低; 当补充 S 时, 高 N 和低 N 处理间的中龄叶和幼叶 SO_4^{2-} 含量下降差异不大。在高 N 和低 N 溶液中 4 ~ 8 d, 幼叶的 SO_4^{2-} 含量分别以每天 5.5 和 8.0 $\mu\text{mol/g}$ 的速率下降; 而同期的老叶却分别以每天 28.8 和 15.0 $\mu\text{mol/g}$ 速率下降。在中龄叶和幼叶中, SO_4^{2-} 含量以初始浓度大约每天 10% 的速度递减, 当

SO_4^{2-} 浓度降低到初始浓度 20% 以下时,其下降速率明显减慢。在高 N 处理中,老叶 SO_4^{2-} 含量开始没有明显下降,但 4 d 后,每天以 $30.2 \mu\text{mol/g}$ 的速度降低;在低 N 处理中,老叶 SO_4^{2-} 浓度从第 4 d 开始就以 $32.9 \mu\text{mol/g}$ 速度降低。

图 6 还看出,在试验初始阶段,幼叶、中龄叶及老叶的总 S 含量和 SO_4^{2-} 与谷胱甘肽之和是不同的,而蛋白态 S 的含量相似(大约相当于 $105 \mu\text{mol/g}$)。

老叶中蛋白态 S 含量保持相对稳定,4 个处理间无显著差异。在缺 S 处理中,中龄叶蛋白态 S 含量比对照显著减少,从第 4 d 起,高 N 和低 N 处理分别以每天 9.4 和 $9.5 \mu\text{mol/g}$ 的速度降低;在第 2~10 d 生长期间,缺 S 和高 N 处理的幼叶蛋白态 S 含量以每天 $9.9 \mu\text{mol/g}$ 的速度降低,而缺 S 和低 N 处理的却以每天 $7.1 \mu\text{mol/g}$ 速度降低。

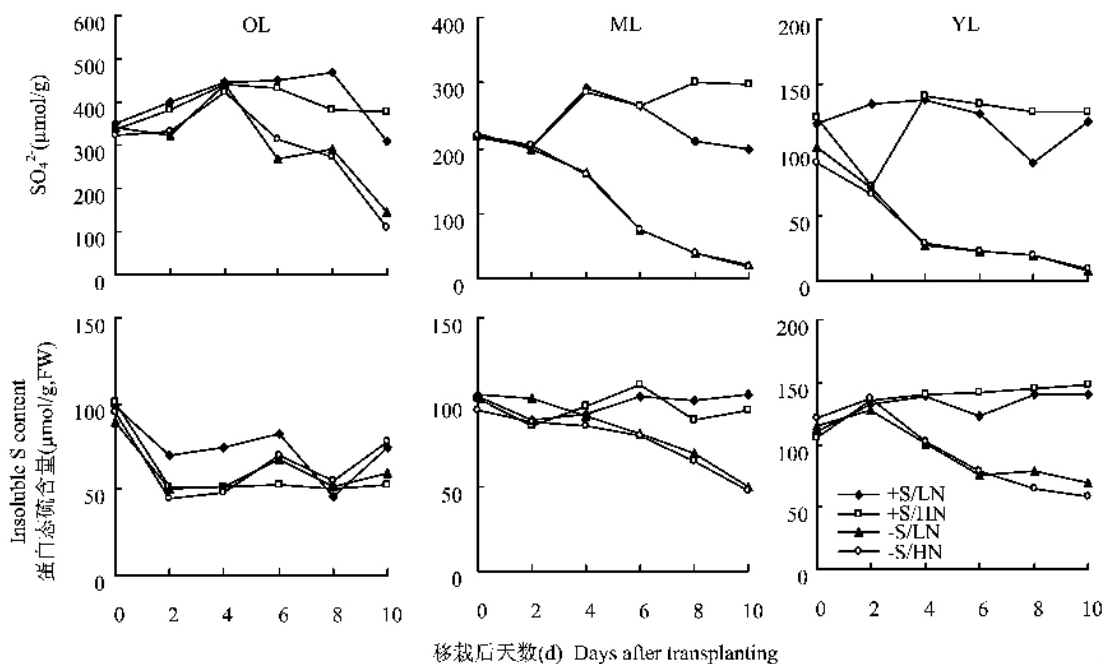


图 6 不同氮、硫处理花生叶片 SO_4^{2-} 和蛋白态硫的含量

Fig. 6 Changes of SO_4^{2-} and insoluble S content in peanut leaves under different SO_4^{2-} and NO_3^- treatments

3 讨论

不同叶龄叶片含 S 形态有明显差异。当 S 素供给充足时,幼叶大约 91% 的 S 形成蛋白态 S,4.6% 形成谷胱甘肽,只有 4.4% 形成 SO_4^{2-} ; 中龄叶和老叶中,60%~80% 的 S 是以 SO_4^{2-} 形式存在,谷胱甘肽不到 1%。据报道,尽管大豆的老叶和幼叶蒸腾速率相同,但 SO_4^{2-} 是通过蒸腾作用传递到发育叶片部位^[7]。

当外界供 S 不足时,幼叶可能将 SO_4^{2-} 与谷胱甘肽转变为蛋白态 S。有人提出谷胱甘肽在降低根系 SO_4^{2-} 浓度方面是一个调节信号,是否也是 S 在叶与叶之间转移的信号还有待研究^[16]。在缺 S 时,老叶 4 d 后就出现 SO_4^{2-} 的输出,而谷胱甘肽不变。但 Rennenberg 认为,叶片中 S 有可能是谷胱甘肽输出

的结果,谷胱甘肽是 SO_4^{2-} 的有益补充^[17]。有报道认为,暴露在 ^{35}S 中的大豆植株,成熟叶片 90% 的 S 被转移重新转变为 SO_4^{2-} ,谷胱甘肽几乎不存在^[7]。

硫的缺乏不仅取决于外界供硫水平,也取决于外界供氮水平。研究表明,低 N 能缓解 S 的缺乏,因 N 的缺乏促使老叶 SO_4^{2-} 重新分配^[8, 16]。本试验虽然不能证实花生老叶中蛋白态 S 的输出,但缺 S 和低 N 处理由于有较低的生长速率,从而表现出较少的缺 S 症状;而高 N 处理生长快,需 S 素较多,与缺 S、低 N 处理的幼叶相比,蛋白态 S 含量明显降低。在缺 S、低 N 处理中,植株 S、N 更加平衡,这种平衡是受严格调控的,这在几类植物中已有报道^[11, 18]。叶片 S 含量高低是判断土壤或植株 S 水平的重要指标^[20]。如油菜上部叶片 S 含量的临界值为 6.0 g/kg ^[19]。根据本试验结果,花生在缺 S 条

件下, S 的主要来源是 SO_4^{2-} , 而不是谷胱甘肽。高 N 比低 N 加大缺 S 症状的发生, 这是幼叶和中龄叶生长加快的缘故, 而不是老叶 SO_4^{2-} 输出的原因。不同叶龄叶片对缺 S 的反应程度存在明显差异, 正在发育的幼叶是反应 S 素缺乏症状的第一器官, 而且反应敏感。这与滕淳茜等^[9]研究结果一致, 他认为测定植株中的 SO_4^{2-} 是植物 S 诊断的一个比较理想的方法。

参 考 文 献:

- [1] 刘崇群, 曹淑卿, 陈国安. 中国南方农业中的硫[J]. 土壤学报, 1990, 27(4): 398-404.
Liu Z C, Cao S Q, Chen G A. Sulfur of the agriculture of China[J]. Acta Pedol. Sin., 1990, 27(4): 398-440.
- [2] Sunarpi, Anderson J W. Effect of sulfur nutrition on the redistribution of sulfur in vegetative soybean plants[J]. Plant Physiol., 1996, 112: 623-631.
- [3] Clarkson D T, Saker L R. Sulfate influx in wheat and barley roots becomes more sensitive to specific protei-binding reagents when plants are sulfate-deficien[J]. Planta, 1989, 178: 249-257.
- [4] Hawkesford M J, Davidian J C, Grignon C. Sulfate/proton cotransport in plasma-membrane vesicles isolated from roots of *Brassica napus* L.: increased transport in membranes isolated from sulfur-starved plants[J]. Planta, 2003, 190: 297-304.
- [5] Datko A H, Mudd S H. Sulfate uptake and its regulation in *Lemma paucicostata* Hegeln[J]. Plant Physiol., 2004, 75: 466-473.
- [6] Clarkson D T, Smith F W, Van den Berg P J. Regulation of sulfate transport in a tropical legume *Macroptilium atropurpureum*, cv. Siratro[J]. J. Exp. Bot., 1983, 34: 1463-1483.
- [7] Smith I K, Lang A L. Translocation of sulfate in soybean (*Glycine max* L. Merr.)[J]. Plant Physiol., 1998, 86: 798-802.
- [8] Sunarpi, Anderson J W. Effect of nitrogen nutrition on remobilization of protein sulfur in the leaves of vegetative soybean and associated changes in soluble sulfur metabolite[J]. Plant Physiol., 1997a, 115: 1671-1680.
- [9] 滕淳茜, 孟赐福, 吴崇书, 等. 油菜硫素营养和施硫效应的研究进展[J]. 浙江农业学报, 2004, 16(3): 172-176.
Teng C X, Meng C F, Wu Z S et al. Study progress on sulphur nutrient and the effects of application of sulphur on yield and quality of rapeseed[J]. Acta Agric. Zhejiangensis, 2004, 16(3): 172-176.
- [10] 王庆仁, 崔岩山. 不同轮作制对农田生态系统中土壤硫攫取与归还途径的研究[J]. 应用生态学报, 2003, 14(6): 935-940.
Wang Q R, Cui Y S. Pathways of soil sulfur input and output in a gro-ecosystem under different cropping rotation[J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2003, 14(6): 935-940.
- [11] 魏林根, 刘益仁, 章和珍, 等. 花生硫素营养特性的研究[J]. 江西农业学报, 2002, 14(2): 19-23.
Wei L G, Liu Y R, Zhang H Z et al. Study on characteristics of sulphur nutrition in peanut plant[J]. Acta Agric. Jiangxi, 2002, 14(2): 19-23.
- [12] 林葆, 李书田, 周卫. 土壤有效硫评价方法和临界指标的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2000, 4(4): 436-445.
Lin B, Li S T, Zhou W. Study on test methods for soil available S and critical levels of S deficiency[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2000, 4(4): 436-445.
- [13] 周可金, 汪华春, 童存泉. 油料作物硫素营养诊断与硫肥施用[J]. 安徽农学通报, 2002, 8(3): 38-39.
Zhou K J, Wang H C, Tong C Q. Sulfur nutrition diagnosis and sulfur fertilizer application in oil crops[J]. Anhui Agric. Sci. Bull., 2002, 8(3): 38-39.
- [14] GB/T 5009-1996, 食物中硝酸盐和亚硝酸盐的测定方法[S]. 1996, 33.
GB/T 5009-1996, Method for determining nitrate and subnitrate in food[S]. 1996, 33.
- [15] Mechteld M A, Blake-Kalff, Kevin R. Distribution of sulfur within oilseed rape leaves in response to sulfur deficiency during vegetative growth[J]. Plant Physiol., 1998, 118: 1337-1344.
- [16] 谢瑞芝, 董树亭, 胡昌浩. 植物硫素营养研究进展[J]. 中国农学通报, 2002, 18(2): 65-69.
Xie R Z, Dong S T, Hu C H. Study of plant sulfur nutrition[J]. Chin. Agric. Sci. Bull., 2002, 18(2): 65-69.
- [17] Rennenberg H. The fate of excess sulfur in higher plants[J]. Ann. Rev. Plant Physiol., 1984, 35: 121-153.
- [18] Barney P E, Bush L P. Interaction of nitrate and sulfate reduction in tobacco I. Influence of availability of nitrate and sulfate[J]. J. Plant Nutr., 1995, 8: 505-515.
- [19] 孟赐福, 吕晓男, 曹志洪, 等. 水稻和油菜施硫的增产效应及土壤有效硫临界指标的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(2): 218-220.
Meng C F, Lü X N, Cao Z H et al. Effect of sulfur fertilizer on the yields of rice and oil rape and the critical values of soil available sulfur[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2004, 10(2): 218-220.
- [20] 王才斌, 迟玉成, 郑亚萍, 李安东. 花生硫营养研究综述[J]. 中国油料, 1996, 18(3): 76-78.
Wang C B, Chi Y C, Zheng Y P, Li A D. Study of peanut sulfur nutrition[J]. Oil Crops Chin., 1996, 18(3): 76-78.