

# 大豆硫营养<sup>\*</sup>

吴明才 肖昌珍

(中国农业科学院油料作物研究所 武汉 430062)

## 摘 要

水培矮脚早大豆研究表明:大豆生育适宜的硫量为  $0.1 \text{ m Mol. S. L}^{-1}$ ,能促进干物质积累。不同硫水平营养器官干物质分配率 (PRDM) 均是成熟期低于前期。种子中 PRDM 与硫量负相关。器官中硫含量高低依种子、叶、茎、根、荚皮顺序递减。硫有促进共生固氮功能,荚期茎部酰胺及酰胺丰度以  $0.5 \text{ m Mol. S. L}^{-1}$  处理最高。缺(低)硫处理器官酰胺与硝态氮增加。花期功能叶与非功能叶全硫量分别低于 0.12%, 0.08% 为大豆缺硫参考指标。

关键词 大豆; 硫利用率; 酰胺

豆科植物及其种子需硫量,一般高于禾谷作物<sup>[2,9]</sup>。印度 Madhya Pradesh 的黑土带 20–40% 的土壤缺硫<sup>[10]</sup>。缺硫土壤施硫增进了  $\text{N}_2$  的固定,提高大豆产量改善其品质<sup>[3,8]</sup>。沙土和碱土施硫,促进了健康根系形成,对大豆根系与微生物共生体有良好效果<sup>[11]</sup>。高温及强光胁迫大豆耗能释放气态二甲基硫<sup>[6]</sup>。缺硫大豆苹果酸脱氢酶同工酶谱有相当的稳定性的恒定性<sup>[7]</sup>。硫的氧化增进磷的吸收<sup>[10]</sup>。高硫 ( $20 \text{ m Mol}$ ) 能促进锌从大豆根部向茎部转移,并减轻高锌引起的叶片中毒症状<sup>[4]</sup>,促进叶部锌离子与肽化物的结合<sup>[5]</sup>。

世界大豆硫营养研究不多且进展慢,我国则更少<sup>[1]</sup>。近来我国南方偏远的水稻产区发现缺硫土壤。鉴于硫素生理功能,我国黄淮、长江流域大豆产区,6–8 月高温强光逆境频繁,大豆施硫应有增产改善品质效应。为此,研究大豆硫素营养有重要理论与应用意义。

## 材料和方法

供试大豆品种为矮脚早,播于消过毒的水份适中锯屑中。待胚根长至 4–5 cm 时,定植于 1200 ml 塑钵中,每钵留苗 2 株。5–10 次重复。自然光照。

水培液为荷氏液。设 0.05, 0.1, 0.5 及  $2.0 \text{ m Mol. S. L}^{-1}$  等处理。供试硫为硫酸钠。每钵加 2 滴大豆根瘤菌液。

于大豆主要生育期测各处理干物质重及植株全硫量,全硫量用  $\text{HNO}_3 - \text{HClO}_4$  消煮

\* 收稿日期 1997-09-08

This paper was received on Sep. 8, 1997.

BaSO<sub>4</sub> 比浊法 修改的 Vogels和 Vander Drift的方法测定酰胺; Ataldo 等方法测 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N

酰胺相对丰度 (%) = 酰胺 N° (酰胺 N+ NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - N)<sup>-1</sup>° 100/100

硫利用率 (SUE)= 地上干重 (克)° 全株总硫量 (克)<sup>-1</sup>

硫经济效率比 (ESER)= 子粒干重 (克)° 全株总硫量 (克)<sup>-1</sup>

硫收获指数 (SHI)% = 子粒总硫量 (克)° 全株总硫量 (克)<sup>-1</sup>° 100/100

结果与讨论

1 硫对大豆干重效应

不同硫水平对干重效应研究表明: 适宜硫量促进大豆干重 ,在 0. 05, 0. 10, 0. 50及 2. 0mMol. S. L<sup>-1</sup> 水平, 0. 1mMol. S. L<sup>-1</sup> 处理大豆器官干重高. 其分枝期 ,荚期 ,成熟期根干重较 0. 05mMol. S. L<sup>-1</sup> 处理分别增加 7. 9% , 4. 3% , 12. 5% ; 其茎部干重分别增加 18. 7% , 40. 2% , 3. 8% ; 叶部干重较之增加 2. 7% , 12. 7% , 14. 6% ; 其荚期 ,成熟期荚皮干重较之分别增加 60. 7% , 129. 5% ; 种子干重增加 10. 2% . 0. 1mMol. S. L<sup>-1</sup> 处理全株比 0. 05mMol. S. L<sup>-1</sup> 处理分枝期 ,荚期 ,成熟期分别增加 8. 8% , 17. 4% , 22. 8% , 而成熟期 0. 1mMol. S. L<sup>-1</sup> 处理营养器官及全株干重均低于 0. 5与 2. 0mMol. S. L<sup>-1</sup> 等高硫处理 , 荚皮与种子干重则比高硫处理互为高低 ,趋势不一致.

2 硫对干物质分配率的影响

不同硫水平大豆主要生育期 PRDM 研究结果如表 1

表 1 不同硫处理器官干物质分配率 (%)

Table 1 The distribution ratio of dry matter in soybean organs under different s treatment

硫浓度 (mMol. S. L <sup>-1</sup> ) Sylfur concentration	时期 Growing stage	根 Root	茎 Stem	叶 Leaves	荚皮 Pod shell	种子 Seeds
0. 05	B	17. 4	31. 8	50. 8		
	P	22. 7	22. 8	50. 9	3. 7	
	M	12. 9	14. 8	17. 2	12. 2	42. 9
0. 10	B	17. 3	34. 7	48. 0		
	P	19. 9	26. 9	48. 3	5. 0	
	M	11. 8	12. 5	16. 1	22. 8	36. 8
0. 50	B	22. 4	31. 5	46. 1		
	P	23. 5	23. 6	48. 1	4. 8	
	M	13. 2	16. 1	19. 6	20. 8	30. 3
2. 00	B	19. 0	28. 8	52. 2		
	P	21. 4	25. 7	48. 1	4. 8	
	M	13. 1	13. 1	15. 4	21. 1	37. 3

注: B(Branching)分枝期; P(Podding)荚期; M( Maturing)成熟期

从表 1 看出:各处理营养器官 PRDM 均是前期高成熟期低。根、叶与茎部结果稍有不同,即英期根、叶部 PRDM 一般稍高于分枝期。茎部则无此趋势。说明英期大豆同化物主要贮集于根、叶部。从英期起生殖器官 PRDM 迅速上升,成熟期达极大值。如 0.05, 0.10, 0.50 及 2.0 mMol. S. L<sup>-1</sup> 处理,其成熟期荚皮 PRDM 分别比英期高 8.5%, 17.8%, 16.0%, 16.3%。成熟期 4 处理种子 PRDM 最高,达 30-43%。大豆营养器官 PRDM 前期高后期低,成熟期生殖器官 PRDM 锐增的消长动态,描述出同化产物在“源”、“库”中运动轨迹,以及同化物参与器官形态建成概貌。

成熟期器官 PRDM 与介质硫量有一定之规。种子 PRDM ( $\hat{y}$ ) 与硫量 ( $x$ ) 为负相关,其方程  $\hat{y} = 37.3565 - 0.8023x$ ,  $r = -0.1423$ ; 同期茎、叶部 PRDM 与硫量负相关;荚皮与根部 PRDM 与硫量正相关。4 器官 PRDM 方程分别为  $\hat{y} = 14.4398 - 0.4752x$ ,  $r = -0.2652$ ;  $\hat{y} = 17.6508 - 0.8691x$ ,  $r = -0.4320$ ;  $\hat{y} = 18.0242 + 1.8125x$ ,  $r = 0.3477$ ;  $\hat{y} = 12.5287 + 0.3341x$ ,  $r = 0.4731$ 。成熟期根、茎、叶、荚皮及种子 PRDM 与硫量相关性说明,硫对后期根、荚皮有良好效应,对其它器官作用相对较少。

### 3 硫的分布

大豆营养器官硫 (%) 以茎部居首位。如 0.05 mMol. S. L<sup>-1</sup> 处理英期根、茎、叶及荚皮中硫量 (%) 分别为 0.152%, 0.201%, 0.164%, 0.154%; 成熟期分别为 0.142%, 0.183%, 0.142%, 0.106%。

成熟期器官中硫的百分含量与介质硫量正相关。在 0.05, 0.10, 0.50 及 2.00 mMol. S. L<sup>-1</sup> 水平,其根部硫 (%) 分别为 0.142%, 0.146%, 0.159%, 0.151%; 茎部为 0.183%, 0.154%, 0.195%, 0.203%; 在 0.05, 0.10, 0.50 mMol. S. L<sup>-1</sup> 水平,叶部硫 (%) 分别为 0.142%, 0.195%, 0.326%, ( $r = 0.9950$ )。荚皮中硫 (%) 分别为 0.106%, 0.109%, 0.213%, ( $r = 0.9976$ ); 种子硫 (%) 分别为 0.117%, 0.142%, 0.201%, ( $r = 0.9316$ )。叶部硫 (%) 以代谢活跃部分较高。缺硫处理英期功能叶硫 (%) 为 0.118%, 非功能叶为 0.082%。鼓粒期功能叶为 0.195%, 非功能叶为 0.129%。这可能是缺硫条件下,硫被从老叶调运至生命活动旺盛的顶部新叶。

大豆器官中总硫量 (mg), 通常以种子中为最,其余依次是叶、茎、根和荚皮。0.05 mMol. S. L<sup>-1</sup> 处理成熟期根、茎、叶、荚皮及种子中总硫量分别为 1.2248, 1.6026, 1.6290, 0.8596 及 3.3432 mg; 0.1 mMol. S. L<sup>-1</sup> 处理同期各器官总硫量分别为 1.4162, 1.5742, 2.5643, 2.0254, 4.2813 mg; 同期 0.50 mMol. S. L<sup>-1</sup> 处理各为 1.7808, 2.6520, 5.3953, 3.7435, 5.1506 mg; 2.0 mMol. S. L<sup>-1</sup> 处理根、茎及种子分别为 1.8309, 2.4766, 8.9614 mg。

### 4 硫的利用率

大豆硫经济利用率 ESER, 硫收获指数 SHI 及硫利用效率 SUE 等结果如表 2。

从表 2 看出,大豆对硫的同化量 ( $\hat{y}$ ) 与介质硫水平正相关,以成熟期总硫同化量相关较显著。英期、成熟期总硫同化量方程分别为  $\hat{y} = 5.5177 + 0.0556x$ ,  $r = 0.0814$ ;  $\hat{y} = 11.5954 + 5.2743x$ ,  $r = 0.8298$ 。成熟期总硫同化量 ( $x$ ) 与子粒产量 ( $\hat{y}$ ) 亦正相关,其方程  $\hat{y} = 2.5809 + 0.0310x$ ,  $r = 0.6348$ 。高硫处理较低硫处理增产,如 0.10, 0.50 及 2.0 mMol. S. L<sup>-1</sup> 处理,分别比 0.05 mMol. S. L<sup>-1</sup> 处理增产 5.5%, 2.0%, 21.1%。

表 2 大豆 ESER, SHI及 SUE  
Table 2 The ESER, SHI and SUE in soybean

硫浓度 Sulphur concentration (mMol. s. L <sup>-1</sup> )	英期硫同化量 Sulphur accumula- tion at poding (mg. s. plant <sup>-1</sup> )	成熟期总硫同化量 Sulphur accumula- tion at maturing (mg. s. plant <sup>-1</sup> )	SHI Sulphur harvest index (% )	ESER Economic sulphur efficiency rate	SUE Sulphur utilization efficiency	子粒产量 Seeds weight (g. plant <sup>-1</sup> )
0.05	4.7318	8.6590	38.6	329.7	769.9	2.8575
0.10	5.8138	11.8619	36.1	254.2	690.2	3.015
0.50	6.2027	18.7222	27.5	136.9	451.6	2.8625
2.00	5.4698	21.1127	-	-	-	3.460

大豆对硫利用率依介质硫水平升高而下降,以低硫处理利用率较高,其趋势与子粒产量变化相反。0.05mMol. S L<sup>-1</sup>处理 SHI分别比 0.10, 0.50mMol. S L<sup>-1</sup>处理高 6.9%, 40.4%; ESER分别高 29.8%, 140.9%; SUE分别高 11.5%, 70.4%。大豆供硫利用率不高,与硫不是大豆子粒主要组分或贮存物质有关,硫主要参加了非子粒器官的形态建成,故种子中硫占全株总硫量比,子粒重量与总硫量之比不高,即硫利用率不高。

5 硫与氮代谢

迄今认为酰胺是大豆根瘤菌共生固氮产物,茎、叶柄及荚皮中酰胺含量及酰胺丰度与共生固氮正相关为人们共识。器官酰胺与酰胺丰度测定结果表明:硫有增进共生固氮功能,0.10mMol. S L<sup>-1</sup>处理成熟期根部酰胺含量较 0.05mMol. S L<sup>-1</sup>处理增加 13.1%; 0.5mMol. S L<sup>-1</sup>处理根部酰胺较 0.05mMol. S L<sup>-1</sup>处理增加 26.2% 较 0.1mMol. S L<sup>-1</sup>处理增加数倍。0.5mMol. S L<sup>-1</sup>处理荚皮中酰胺亦高。英期茎部酰胺及酰胺丰度也以 0.50mMol. S L<sup>-1</sup>处理高。有时发现低硫处理酰胺在器官中过量积累,如英期 0.1mMol. S L<sup>-1</sup>处理叶部酰胺较 0.5mMol. S L<sup>-1</sup>处理高 73.9%; 0.05mMol. S L<sup>-1</sup>处理成熟期茎部酰胺较同期 0.5mMol. S L<sup>-1</sup>处理高 128.8% (表 3)。

从表 3可看出硝酸盐通常分布于根、茎等器官,在供硫量适宜时,叶、荚皮等器官中硝酸盐含量极微。唯有低(缺)硫处理叶部淀集硝酸盐。成熟期 0.05mMol. S L<sup>-1</sup>处理叶部硝酸盐达 68.3 $\mu$ mol. g<sup>-1</sup> DW。

硫一般以硫酸盐的形式为植物吸收运输,在亏缺条件下半胱氨酸、胱氨酸和谷胱甘肽等有机化合物也可以作为吸收运输的形式。硫酸盐吸收后经初步活化,形成酚类、甾、多糖及胆碱等的硫酸酯,也可能形成磺酸类,磺酸是脑硫酯(在类囊体膜中)的成分。减少或抑制硫的吸收对代谢产生多种严重影响。本试验亦发现缺硫的结瘤大豆叶部氮的积累,并指出这种氮化物是酰胺与硝态氮。据结瘤大豆在缺硫条件下硝酸还原酶活性,根瘤血红蛋白均未显著减少,非蛋白氮超常规积累,推知与大豆缺硫诱发有机氮形成速度低于共生固氮有关<sup>[12]</sup>。或因缺硫阻滞大豆蛋白质合成,减少包括蛋氨酸在内含硫氨基酸的含量 (Haghir, 1966)。

我国黄淮、长江流域,大豆花、英期气温高达 30℃左右久居不下,昼夜温差小,高温与强光相伴,大豆是否存在耗能的气相二甲基硫释放<sup>[6]</sup>? 大豆种子中蛋氨酸含量相对低,是否由大豆对其逆境长期适应的结果? 这些问题尚待今后探讨。

表 3 硫对大豆器官中酰胺 (丰度)的影响

Table 3 Influences of sulphur upon uredes and nitrate in soybean

硫浓度 Sulphur concentration (mMol. S. L <sup>-1</sup> )	生育期 Growing stage	器官 organs	酰胺 Ureides ( $\mu$ mol. g <sup>-1</sup> DW)	硝酸盐 Nitrate ( $\mu$ mol No <sub>3</sub> <sup>1-</sup> - N. g <sup>-1</sup> DW)	酰胺丰度 Relative abundance of ureides(%)
0.10	P	S	12.8	83.7	37.5
0.10	P	L	117.4	痕	
0.50	P	R	23.6	187.6	33.3
0.50	P	S	13.6	37.3	59.3
0.50	P	L	67.5	痕	
0.05	M	R	33.6	40.8	25.0
0.05	M	S	72.3	38.4	88.4
0.05	M	L	0.02	68.5	0.1
0.05	M	P. S	29.2	痕	
0.10	M	R	38.0	痕	
0.10	M	L	19.6	痕	
0.10	M	P. S	32.4	痕	
0.50	M	R	42.4	痕	
0.50	M	S	31.6	62.8	67.2
0.50	M	L	87.4	痕	
0.50	M	P. S	34.4	痕	

S(stem)茎; L(leaves)叶; R(Root)根; P. S(Pod shell)荚皮.

施硫能增加大豆产量及含硫氨基酸 我国大豆种植土壤一般不缺硫,但由于复种指数高,通常不施肥,或不平衡施肥,加之逆境频繁,在一些偏远的大豆产区可能有硫的潜在缺乏,应加强大豆硫素应用技术及应用基础研究,以适应高产优质大豆生产的需要

参 考 文 献

[1] 吴明才.大豆缺素病诊断研究,湖北农业科学,1990,(7): 13- 16

[2] Delgado J. A et al. 1995. Modeling the uptake of sulfur by crop on two alluvial soil of louisiana Soybeans Communications in Soil Science and Analysis. 26(9110): 1491- 1505

[3] Dubey S. K. et al., 1995, Effect of level and source of sulphur on Symbiotic and Biometrical Parameters of Soybean ( *Glycine max* ). Indian Journal of Agricultural Sciences. 65(2): 140- 144

[4] Fontes R. L. F, et al., 1993, Zine- binding Peptides as a function of Zn and S in Soybean Plant and Soil. 155/156, 435- 436

[5] Fontes, R. L. F, et al., 1995, Effect of Sulfur Supplu on Soybean Plant exposed to Zine toxicity, Journal of Plant Nutrition, 18(9): 1893- 1906

[6] Kanda K. et al., 1995, Effect of temperature, light and nutrient sulfur on sulfru gas emitted from rice, Soybean and Chinese Cabbage. Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 66(4): 342- 347

[7] Klisierska D. et al., 1992, Effect of mineral deficiency and length of Storage of Soybean Seeds on the isoen-

- zyme spectrum of malate dehydrogenase. *Fiziologiya na Rastenyata*. 18(2): 28– 34
- [8] Saraf C. S. 1988II , Sulphur fertilization of pulses for yield and quality (in) proceedings of Symposium on sulphur in India. New Delhi, (2): 1– 7
- [9] Shinde D. A, et al. , 1981, Effect of applied phosphate and sulphur on the utilization of the fertilizer sulphur by soybean ( *Glycine max* ) and "A" values of soil sulphur in blank soil. *Journal of Research, Jawaharlal Nehru Krishi Vidyalaya, Jabalpur*. 15(3): 98– 103
- [10] Shinde D. A. et al. , 1982, Major nutrient status of soybean ( *Glycine max* ) plant at different stages of growth as affected by phosphate and sulphur application. *Journal of Research Jawaharlal Nehru Krishi Vishwa Vidyalaya*, 16(1): 38– 45
- [11] Tondon H. L. S 1991, Sulphur Research and Agricultural production in India.

## SULPHUR NUTRITION OF SOYBEAN

Wu Mingcai Xiao Changzhen

(*Oil Crops Research Institute, CAAS, Wuhan 430062*)

### Abstract

Study of sulphur on soybean variety Aijiaozaoy by water culture showed that the suitable S application level for soybean growth and development is 0. 1Mmol S/L. It can increase the accumulation of dry matter. Under different S levels the distribution ratio of dry matter of organs in harvest stage is lower than that of the former growth stage. The order of S content in organs in seed> leaves> stems> roots> pod shells. S application can improve the function of symbiotic nitrogen fixation. The urides and relative abundance of ureides in stems at pod stage are the highest at the level of 0. 5Mmol S/L. S deficiency can increase the content of ureides and nitrate nitrogen of organs. When the S content of functional leaves and non- functional leaves at flowering stage are lower than 0. 12% and 0. 08% respectively, they can be regarded as critical index of soybean S deficiency.

**Key words** Soybean; S utilization efficiency; Ureides