

高产夏玉米施用硫肥对矿质元素吸收影响的研究

刘存辉¹, 董树亭², 胡昌浩²

(1. 山东省种子管理总站, 济南 250100; 2. 山东农业大学农学院, 泰安 271018)

[摘要] 每公顷基施: 0(CK)、36.3(S_1)、413.85(S_2) kg 硫时, 玉米每公顷产量分别为 9 784.5、10 639.5、11 322 kg, 处理分别比对照增产 8.73% 和 15.71%, 并提高了果穗长度, 增加了穗行数、行粒数, 对千粒重影响不大。单株对氮、磷、钾、锰、锌、镁的吸收量表现为 $S_2 > S_1 > CK$ 。施入 $(NH_4)_2SO_4$ 后, 0~20 cm、21~40 cm、41~60 cm 土层的 pH 值降低, 收获后有所回升, 各处理各土层的 pH 值均表现为 $CK > S_1 > S_2$ 。施入硫肥后, 0~60 cm 土层全氮含量降低, 速效钾的含量提高, 0~20 cm 土层中的速效磷含量有所提高, 21~40 cm 土层变化不大, 41~60 cm 土层中的速效磷含量降低。

[关键词] 夏玉米; 硫肥; 矿质元素; 吸收

[中图分类号] S 513.062

[文献标识码] A

Effects of Sulfur Application in High Yield Summer Maize

LIU Cun-hui¹, DONG Shu-ting², HU Chang-hao²

(1. Head Station of Shandong Seed Management, Jinan 250100;

2. Dept. of Agronomy, Shandong Agri. Univ., Taian 271018, China)

Abstract: 0(CK)、36.3(S_1) and 413.85(S_2) Kg of sulphur applied per hectare. In field experiment, the yield got 9 784.5, 10 639.5 and 11 322 Kg per hectare, respectively. S_1 and S_2 treatments gave 1.087 3 and 1.157 1 times grain yield of CK. The application of sulphur increased ear length, rows ear⁻¹, grains row⁻¹ and grains ear⁻¹. But, S produced little increasment of grain weight. N, P, K, Mn, Zn, Mg absorption in a plant as well as Fe, Mn, Zn content in function leaves increased with amount of sulphur applicated. Application of $(NH_4)_2SO_4$ decreased pH in soil layer of 0~20 cm, 21~40 cm and 41~60 cm in spit of slightly raise of it. At harvesting, sulphur fertilizer induced content of total N and raise content of active K in 0~60 cm soil layer. Sulphur fertilizer slightly enhance content of active P in 0~20 cm soil layers, little variation in 21~40 cm soil layers and slightly decrease in 41~60 cm soil layer.

Key words: Summer maize; Sulphur; Mineral element; Absorption

硫在植物生理代谢中起着重要作用, 植物对硫的需要量与磷相近, 但农业上硫的施用量远不如磷, 由于作物吸收消耗的硫得不到及时补充, 从而导致土壤缺硫。当前, 世界 6 大洲 72 个国家, 都曾有过缺硫报道^[8]; 刘崇群^[8]报道, 中国南方 10 省 864 县 6 700 个土样中, 缺硫样品占 26.5%, 吴荣贵^[13]等对北方 671 个土样分析发现, 30.3% 土壤缺硫, 21.9%

土壤潜在缺硫。硫日益成为限制作物产量进一步提高的障碍因子。研究证明, 在低产水平 (7 500 kg/hm² 以下), 硫肥对玉米产量的提高具有促进作用^[1~12]。在 9 750 kg/hm² 以上高产条件下, 夏玉米施用硫肥对土壤影响及其机理尚未见报道。

1 材料和方法

1.1 试验材料

试验于 1995 年在山东农业大学农场进行, 大田土壤肥力状况 (表 1)。

试验品种 DR3112, 种植密度为 82 500 株/hm², 每处理重复 3 次, 小区面积 33.3 m², 随机区组排列。

[收稿日期] 2002-01-10

[作者简介] 刘存辉 (1970 -), 男, 1993 年毕业于山东农业大学农学系, 1996 年于本校农学系获农学硕士学位。现在山东省种子管理总站从事农作物新品种区试、审定工作。

以(NH₄)₂SO₄ 作为硫源,共设 3 个处理,公顷施硫量分别为 0(CK)、36.3(S₁)、413.85(S₂)Kg。在拔节、大口、开花、灌浆、乳熟、成熟期取样,105℃ 杀青,80℃ 烘干至恒重称样,并保留样品进行氮、磷、钾、铁、镁、

锌等养分含量测定。分别在播种前、施入硫肥后 35 天以及收获后测定各处理 0~20 cm、21~40 cm、41~60 cm 土层的全氮、速效磷、速效钾含量及各土层 pH 值。收获时考种测产。

表 1 大田土壤肥力状况

土层深度(cm)	有机质(%)	全氮(%)	速效氮(μg/g)	速效磷(μg/g)	速效钾(μg/g)	有效硫(μg/g)
0~20	1.470	0.125	90.05	70.34	124.8	19.20
21~40	1.062	0.087	62.82	37.93	72.6	13.25
41~60	0.693	0.057	44.89	-	47.8	10.21

1.2 测定方法

1.2.1 全氮 用半微量凯氏法。

1.2.2 磷、钾、镁、锰、锌 用 HNO₃-HClO₄ 提取^[4], 钾、锌用 AAS 法测定,其余用 ICP 测定。

2 结果与分析

2.1 不同硫肥水平对子粒产量及其构成因素的影响

不同的硫肥水平 CK、S₁、S₂ 处理的夏玉米子粒单产分别为 9 784.5、10 639.5、11 322 kg/hm², S₁、S₂ 处理分别比 CK 增产 8.73% 和 15.71%, S₂ 处理比 CK 增产达显著水平, S₁、S₂ 处理间差异不显著。S₁、S₂ 处理的果穗的穗长、穗行数、行粒数都高于对照,穗粒数显著高于对照,而千粒重差异不显著。各处理的经济系数表现为: S₂ > S₁ > CK。

表 2 不同硫肥水平对夏玉米子粒产量及其构成的影响

处 理	穗长(cm)	穗粗(cm)	穗行数	行粒数	穗粒数	千粒重(g)	产量(kg/hm ²)	经济系数(%)
CK	14.97 ± 0.84	5.13 ± 0.24	15.77 ± 0.95	28.73 ± 2.25	453.12Bb	302.88Aa	9 784.5Bb	50.41Ab
S ₁	15.62 ± 0.64	5.11 ± 0.15	16.73 ± 1.05	31.13 ± 1.05	520.86Aa	289.26Aa	10 639.5Abab	50.89Aa
S ₂	16.23 ± 0.93	5.31 ± 0.15	16.53 ± 0.80	31.50 ± 0.88	520.70Aa	312.44Aa	11 322.0Aa	51.03Aa

2.2 对 N、P、K、Mn、Zn、Mg 的吸收量的影响

由图 1、2、3、4、5、6、可以看出,各处理对 N、P、K、Mn、Zn、Mg 的吸收量表现出相同的趋势,总吸收量均表现为: S₂ > S₁ > CK。

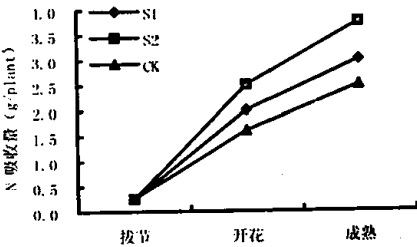


图 1 不同硫肥水平对夏玉米 N 吸收量的影响

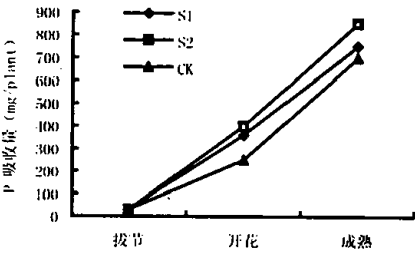


图 2 不同硫肥水平对夏玉米 P 吸收量的影响

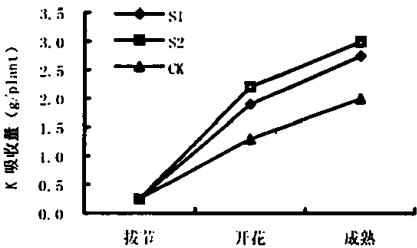


图 3 不同硫肥水平对夏玉米 K 吸收量的影响

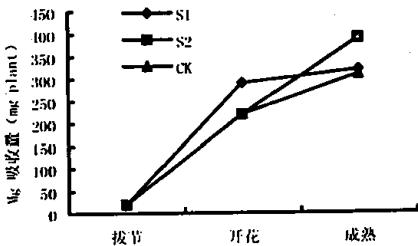


图 4 不同硫肥水平对夏玉米 Mg 吸收量的影响

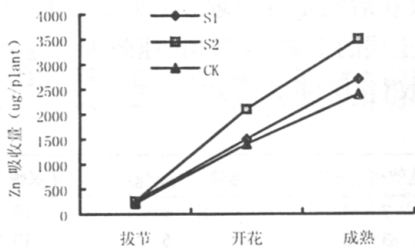


图 5 不同硫肥水平对夏玉米 Zn 吸收量的影响

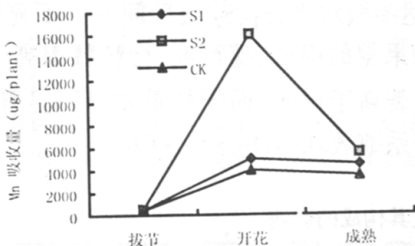


图 6 不同硫肥水平对夏玉米 Mn 吸收量的影响

2.3 对叶片 Fe、Mn、Zn 含量的影响

由表 3 可以看出,在整个生育期,施硫后提高了功能叶片中 Fe、Mn、Zn 的含量。S₁ 处理叶片的 Fe、Mn、Zn 含量提高幅度小于 S₂ 处理,这可能与不同硫肥用量对土壤影响程度不同所致。

表 3 不同 S 肥水平对夏玉米功能叶片的 Fe、Mn、Zn 含量的影响(μg/g)

项 目	拔节期	大口期	开花期	灌浆期	乳熟期	成熟期
Fe	CK 466.7	-	270.3	161.6	143.10	216.1
	S ₁ 561.4	-	468.6	166.4	204.12	268.8
	S ₂ 718.8	-	475.0	183.8	192.32	280.5
Mn	CK 85.8	55.7	57.2	51.2	84.50	45.6
	S ₁ 83.8	89.3	76.9	47.8	91.50	53.8
	S ₂ 170.8	123.2	116.5	94.1	172.70	86.7
Zn	CK 18.8	19.4	14.3	15.3	22.70	7.8
	S ₁ 23.6	20.2	16.2	15.8	25.20	11.2
	S ₂ 21.6	25.4	21.1	19.8	31.70	12.9

2.4 施用硫肥后对土壤理化性状及养分含量的影响

2.4.1 对土壤 pH 值的影响 试验采用生产中常用的(NH₄)₂SO₄ 作为硫肥的肥源,作为一种弱酸性肥料,(NH₄)₂SO₄ 施入后必定要对土壤的 pH 值产生影响。由表 4 可以看出:施入硫肥 35 天进行测定,土壤的 pH 值降低;收获后测定,土壤的 pH 值又有所回升,但在整个生育期施硫处理的 0~60 cm 土壤各土层 pH 值均不同程度的低于不施硫处理。施入硫肥 35 天后,各处理 0~20 cm 土层的 pH 值间达显著或极显著水平,21~40 cm 土层的 pH 值差异不显著,41~60 cm 土层 S₂ 处理与 S₁、CK 处理 pH 值有显著差异,S₁ 处理与 CK 差异不显著。收获后,施硫处理的 0~20 cm、41~60 cm 土层的土壤 pH 值仍显著小于 CK 处理,21~40 cm 土层各处理间差异不显著。

表 4 夏玉米施用硫肥对土壤 pH 值的影响

处 理	0~20 cm		21~40 cm		41~60 cm	
	施入 35 天	收获后	施入 35 天	收获后	施入 35 天	收获后
CK	7.00Aa	7.13Aa	7.61Aa	7.50Aa	8.15Aa	8.08Aa
S ₁	6.74Ab	6.85Ab	7.54Aa	7.49Aa	8.11Aa	7.99ABb
S ₂	6.17Bb	6.86Ab	7.46Aab	7.43Aa	7.86Ab	7.88Bc

2.4.2 夏玉米施用硫肥后对土壤全氮、速效磷、速效钾的影响

(1)全氮:由表 5 可以看出,施入硫肥 35 天以后,与 CK 相比,S₁ 处理 0~60 cm 的全氮含量有所降

低,而 S₂ 处理基本不变或略有升高。收获后,施硫处理降低了各层土壤中的全氮含量,其中 0~20 cm,41~60 cm 土层达显著水平,施硫处理间差异不显著。

表 5 夏玉米施用硫肥对土壤全氮含量的影响(%)

处 理	0~20 cm		21~40 cm		41~60 cm	
	施入 35 天	收获后	施入 35 天	收获后	施入 35 天	收获后
CK	0.151Aa	0.139Aa	0.109Aa	0.095Aa	0.105Aa	0.079Aa
S ₁	0.148Aa	0.100Ab	0.104Ab	0.092Aa	0.103Aa	0.069Ab
S ₂	0.151Aa	0.103Ab	0.110Aa	0.090Aa	0.108Aa	0.063Ab

(2)速效磷:由表 6 可以看出,施入硫肥 35 天以后,硫肥提高了 0~20 cm 土壤中速效磷的含量,表

现为 S₂ > S₁ > CK;降低了 21~40 cm、41~60 cm 土层中速效磷含量,且差异极显著。

表 6 夏玉米施用硫肥对土壤速效磷含量的影响(μg/g)

处 理	0~20 cm		21~40 cm		41~60 cm	
	施入 35 天	收获后	施入 35 天	收获后	施入 35 天	收获后
CK	46.9Aa	48.5Bb	29.9Aa	33.4Aa	9.4Aa	12.9Aa
S ₁	49.8Aa	57.7Aa	23.0Bb	32.8Aa	7.6Bc	10.1Bb
S ₂	51.5Aa	57.4Aa	24.6Bb	33.2Aa	8.0Bb	10.6Bb

由表 6 可以看出,施入硫肥 35 天以后,硫肥提高了 0~20 cm 土壤中速效磷的含量,表现为 S₂ > S₁ > CK;降低了 21~40 cm、41~60 cm 土层中速效磷含量,且差异极显著。由表 6 还可以看出,收获后,0~20 cm 土层中速效磷的含量,表现为 S₂ > S₁ > CK,且 S₁、S₂ 处理与 CK 差异达极显著水平。21~40 cm 土层速效磷含量处理间差异不大。41~60 cm 土层,CK 处理的速效磷含量显著高于 S₁、S₂ 处理。S₁、S₂

处理 0~60 cm 土壤速效磷含量无显著差异。

(3)速效钾:表 7 表明,施入硫肥 35 d 以后,0~20 cm、21~40 cm 土层 S₁ 处理土壤速效钾含量与 CK 相差不大,而 S₂ 处理 0~20 cm 土层中速效钾含量显著降低,21~40 cm 土层中速效钾含量显著升高。41~60 cm 土层的速效钾含量各处理间差异极显著,表现为 S₂ > S₁ > CK。

表 7 夏玉米施用硫肥对土壤速效钾含量的影响(μg/g)

处 理	0~20 cm		21~40 cm		41~60 cm	
	施入 35 天	收获后	施入 35 天	收获后	施入 35 天	收获后
CK	95.4Aa	88.1Aa	61.3Aa	54.3ABb	46.6Cc	49.4Bc
S ₁	96.0Aa	87.5Aa	61.4Aa	61.7ABa	49.2Bb	49.8Bb
S ₂	90.2Ab	82.1Ab	62.8Ab	64.5Aa	52.3Aa	56.1Aa

从表 7 还可以看出,收获后,S₂ 处理的 0~20 cm 土层中的速效钾含量显著低于 S₁ 与 CK 处理,而 CK 与 S₁ 处理差异不大。21~40 cm、41~60 cm 土层的速效钾含量各处理间差异极显著,表现为 S₂ > S₁ > CK。

3 结论与讨论

我们的研究发现,施硫提高了玉米植株单株的吸收量,主要是因为硫与氮因蛋白质合成相联系,土壤硫浓度升高,促进蛋白质合成同时,必然导致对氮的吸收量增大,因此在等量氮的基础上,在玉米生育后期,玉米根系吸收氮主要在 20~60 cm 土层,由于吸收量大,促进了玉米对氮利用的同时,必然导致施硫处理的 0~60 cm 各层土壤的全氮含量降低。施用硫肥虽然提高了土壤的速效磷含量,但植株对磷的吸收量也加大,前期玉米植株根系主要活动在 0~20 cm 土层,虽然施硫处理使植株对磷的吸收量也加大,但因单株对磷的吸收量较小,仍表现为提高了 0~20 cm 土层的速效磷含量,而对 21~40 cm、41~60 cm 土层影响不大,这可能是 pH 值降低,提高了土壤磷的有效性的结果。21~40 cm、41~60 cm 土层的 pH 值降低幅度较小,对磷的有效性影响小于 0~20 cm 土层,且 S₁、S₂ 处理对土壤磷的吸收量大于 CK,致使这两层土壤速效磷的含量变化不大或

有所降低。NH₄⁺ 可以转换出土壤中的 K⁺ 离子,而 NH₄⁺ 可以转换出土壤中的 K⁺ 离子,而 NH₄⁺ 又极易淋溶,因此 0~20 cm 土层转换出的 K⁺ 要远小于 21~40 cm 和 41~60 cm 土层,钾本身也易淋失,S₁、S₂ 处理对钾的吸收量大于 CK 处理,从而使 0~20 cm 土层速效钾含量降低,21~40 cm、41~60 cm 土层钾的含量升高。

施入(NH₄)₂SO₄ 后,0~60 cm 各层土壤 pH 值降低,施硫量越大,降低的幅度也越大。土壤 pH 值降低对土壤中硫的转化和吸附有促进作用。无机硫受 pH 值影响较大,如果土壤 pH 值增大,水溶性硫占无机硫比例会减少,硫矿化也与 pH 值负相关,即 pH 值越低,硫矿化越多,可见 pH 值降低有利于土壤硫的矿化,使土壤能被植物直接吸收的水溶性硫增多,有利于植物对硫的吸收。在高浓度 SO₄²⁻ 时,金属离子随 pH 值上升而吸附增强,同时,金属离子浓度上升时,溶液的 pH 值下降^[44],在我们的试验中,(NH₄)₂SO₄ 施入土壤后,提高了玉米植株中 Fe、Mn、Zn 的浓度,这主要因为 pH 值降低,土壤颗粒对 Fe、Mn、Zn 的吸附减少,提高了 Fe、Mn、Zn 的有效性,从而有利于玉米植株的吸收。Mahler^[79]等采用不同硫源在小麦上的试验表明,并不是所有硫源都提高了植株中 Fe、Mn、Zn 浓度,石膏对 Fe、Mn、Zn 在植株中含量表现为降低,也认为使用(NH₄)₂SO₄ 提高了植株

中的 Fe、Mn、Zn 浓度主要与土壤值降低有关。硫的使用还促进了玉米对 N、P、K、Fe、Mn、Zn、Mg 等矿质元素的吸收,同时也满足了氨基酸的合成需要,促进了蛋白质的合成。施入 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 后,提高了玉米植株中 Fe、Mn、Zn 的含量,这可能与 pH 值降低有关(表 6),pH 值降低,土壤对 Fe、Mn、Zn 的有效性增加,从而有利于玉米植株的吸收。Mahaler^[9]等的试验结果也表明,使用 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 提高了植株中 Fe、

Mn、Zn 含量主要与土壤 pH 降低有关。施硫量越大,pH 值降低的幅度越大,pH 值降低对土壤中硫的转化和吸收有促进作用,在低 pH 值时, SO_4^{2-} 吸附最高^[6],从而减少了 SO_4^{2-} 的淋失,提高了土壤中无机硫的含量。如果土壤 pH 值降低,水溶性硫占无机硫比例会增加^[3],有利于植株对硫的吸收,也促进了作物对其它矿质元素的吸收,使作物达到高产稳产。

表 8 夏玉米施用硫肥对土壤有效硫含量的影响($\mu\text{g/g}$)

处 理	0 ~ 20 cm		21 ~ 40 cm		41 ~ 60 cm	
	施入 35 天	收获后	施入 35 天	收获后	施入 35 天	收获后
CK	18.14Cc	10.27Bc	12.85Bb	12.40Bd	10.38Cc	8.13Cc
S ₁	30.61Bb	12.40ABb	13.75Bb	18.25Ab	14.31Bb	12.06Bb
S ₂	168.89Aa	16.00Aa	37.36Aa	20.83Aa	40.17Aa	28.37Aa

[参 考 文 献]

- [1] 尹迪信. 贵州省水稻玉米硫肥效应研究[J]. 贵州农业科学, 1996, (1): 9-142.
- [2] 刘崇群. 土壤硫素和硫肥问题[J]. 土壤学报, 1981, 18(2): 185-193.
- [3] 曲 东, 尉庆平. 陕西几种代表性土壤硫形态与土壤性质的关系[J]. 土壤通报, 1996, 27(1): 16-18.
- [4] 何承顺. 果树叶片中营养元素的盐酸煮沸提取 ICP 发射光谱分析[J]. 园艺学报, 1989, 16(1): 29-34.
- [5] 崔彦宏. 高产夏玉米硫的吸收与再分配研究[J]. 玉米科学, 1993, 1(1): 48-52.
- [6] Ajwa H A, Tabatabai. Metal-induced sulfite adsorption in plants and animals Soil Sci., 1995, 159(1): 32-42.
- [7] Buttrey S A, J P Fontenot, R B Reneau. Corn forage yield and chemical composition as influenced by sulfur fertilization Commun. Soil Sci. Plant Anal., 1987, 18 (8): 875-895.
- [8] Chongqun Liu. Soil sulphur status and sulphate fertilizer requirements in Southern China. Current and future plant nutrient sulphur requirement, availability, and commercial issues for China, Beijing, China, 1995, 1-14.
- [9] Mahler R J, R L Maples. Effects of N, P, S and B fertilization of Kentucky Bluegrass seed in northern Idaho. Commun. Soil Sci. plant Anal. 1987, 18(6): 653-673.
- [10] Rabuffetti Armando, Eugene J Kamprath. Yield, N, and S content of corn as affected by N and S fertilization on coastal plain soils. Agron. J. 1977, 69: 785-788.
- [11] Raun W R, H J Barreto. Maize grain yield response to sulphur fertilization in central America. Sulphurin Agriculture 1992, 16: 26-30.
- [12] Reneau R B, Jr Mlary. Corn response to sulfur application in coastal plain soils. Agron. J. 1983, 75: 1036-1040.

- [13] Ronggui Wu, Jin Jiyun, Liang Mingzao. Summary of the international symposium on present and future raw material and fertilizer sulphur requirements for China and recent findings from sulphur research in Northern China Current and future plant nutrient sulphur requirement, availability, and commercial issues for China, Beijing, China, 1995, 14-29.

- [14] Tabatabai M, J M Bremner. A simple turbidimetric method of determining total sulfur in plant materials. Agron. J. 1970, 62: 805-806.

- [15] Случкая Л Д. 《Агрохимия》1972. (1) 陈国安译. 硫肥. 土壤农化参考资料 1978, 6: 33-37.

联系电话: 0531-8010544 13065049760

书 讯

由西北农林科技大学专用玉米研究室硕士生导师杨引福副研究员编著的《特种玉米生产与加工》一书, 2001 年 10 月中国标准出版社出版发行。特种玉米生产与加工技术, 已经成为当今世界发展玉米生产的主要内容和农民增收的新途径。该书结合陕西及西北地区实际, 系统评述了优质蛋白玉米、高油玉米、糯玉米、甜玉米、爆裂玉米、青饲青贮玉米、陕西薏米、高淀粉玉米等特种玉米的概念、经济价值、生育特点、生产技术和品种特性, 介绍了“金棒棒”牌特种玉米系列食品规模开发的关键技术, 可作为科技人员和农村广大干部、群众开发优质特种玉米生产与加工技术的培训教材和参考书。

本书 99 千字, 定价 11.00 元

联系地址: 陕西杨凌西北农林科技大学专用玉米研究室

邮编: 712100 电话: 029-7081050 岳瑞谦