

施硫对高油、高淀粉玉米品质的影响及生理生化特性

刘开昌, 李爱芹

(山东省农业科学院, 山东 济南 250100)

摘要: 施硫后显著提高了产量, 改善了品质。施硫 $22.5 \text{ kg/hm}^2(\text{S}_1)$ 能使子粒含油率和蛋白质含量分别比对照提高 9.05% 和 6.88%, 淀粉含量有降低的趋势。施硫 22.5 kg/hm^2 时, 叶面积、叶绿素含量和光合速率显著提高, 叶片硝酸还原酶活性和氮积累量增加, 有利于蛋白质和油分的合成。施硫后叶片可溶性糖有增加的趋势, 但茎鞘中可溶性糖含量降低。施硫 22.5 kg/hm^2 时, 子粒淀粉磷酸化酶和蔗糖合成酶活性升高, 但当施硫量增至 90 kg/hm^2 时, 其活性显著降低。

关键词: 硫肥; 玉米; 品质; 生理生化

中图分类号: S513.062

文献标识码: A

随着玉米品种结构的调整, 高油、高淀粉等优质专用玉米以其多用途、高效益而倍受人们青睐, 探讨其优质高产栽培技术可为高效生产、加工提供科学依据。硫是蛋白质的组成成分, 与作物营养品质密切相关。玉米是需硫量较大的作物, 有关玉米硫肥的生理效应及其与产量的关系已有报道, 但硫与玉米品质的关系研究较少。本研究选择高油、高淀粉和普通三种类型玉米, 系统探讨施硫对产量、品质的影响及其生理特性, 以期为优质专用玉米的合理施肥和加工利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料与试验设计

试验在山东农业大学实习农场和校内温室分别进行。选用高油 1 号作为高油玉米的代表品种, 其子粒含油率 8% 左右, 以长单 26 作为高淀粉玉米的代表品种, 同时以普通玉米掖单 13 为对照, 进行对比研究。盆栽土壤有机质含量为 0.928%, 全氮含量为 0.082%, 碱解氮 $69.83 \mu\text{g/g}$, 速效磷 $39.00 \mu\text{g/g}$ 。选用规格为高 30 cm、内径为 25 cm 的盆进行磷肥用量的盆栽试验。装盆之前掺入少量洗净河沙, 以降低土壤中的养分基数。试验选用 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 作为硫肥, 以尿素平衡氮, 试验分设 3 个处理: S_{CK} 、 S_1 、 S_2 , 硫肥用量分别为 0、22.5 和 90 kg/hm^2 , 每个处理种 15 盆,

磷钾肥全部底施, 氮肥用量的 60% 用于底施, 40% 大喇叭口期追施。每盆留苗 1 株, 定量浇水, 生育期间进行良好管理。

1.2 测定方法

1.2.1 生理测定

叶片光合速率用美国产 LI-6200 便携式光合测定系统测定。叶绿素含量按 Arnon 法测定, 80% 丙酮浸提, UV-160A 比色测定; 叶片硝酸还原酶活性 (NRA) 按活体法测定; 叶片中 ATP 含量按李立人、顾俭本法, 用沸蒸馏水浸提, 采用荧光素酶法 FG-300 型发光光度计测定。

以下各种酶的处理、提取均按照下列步骤: 取用液氮处理过的子粒, 准确称取 1 000 g → 置于冰浴预冷过的研钵中 → 加入 5 mL 预冷的提取液 → 迅速研成匀浆 → 4 层纱布过滤 → 于 $12\,000 \text{ r/min}$ 冷冻离心 15 min, 上清液即为酶提取液。

A: ATPase 活性按陈季楚等法, 提取介质为 0.1 mol/L tris-maleate buffer pH=6.5, 1% PVP(w/v)。测定时分别吸取 0.1 mL 30 mmol/L ATP 溶液和 0.8 mL 0.1 mol/L 的 tris-maleate buffer pH=6.3, 在 37°C 恒温箱内保温 10 min, 加入 0.2 mL 酶液反应 30 min 后, 加入 1 mL 5% 的 TCA 终止反应, 在 $4\,000 \text{ r/min}$ 离心 10 min 后, 取上清液进行无机磷测定。以反应前加 1 mL 5% 的 TCA 为对照, 以单位鲜重在单位时间内形成的无机磷的量作为酶活性单位。

B: 淀粉磷酸化酶按陈冬兰法, 提取介质同 ATPase 的提取液。活性测定时分别吸取 0.7 mL 0.1 mol/L tris-maleate buffer (pH=6.3, 内含 1 mmol/L

收稿日期: 2003-10-23

作者简介: 刘开昌(1971-), 男, 山东省农科院助研, 从事高产栽培和育种研究。 Tel: 0531-3179266

NaF),0.1 mL 5%的可溶性淀粉溶液和 0.1 mL 酶液,在 37℃培养箱内保温 5 min 后,加入 0.1 mL 的 0.1 mmol/L 的 G-1-P 开始反应,10 min 后加入 1 mL 5%的 TCA 终止反应,然后 4 000 r/min 离心 10 min 后取上清液,用钼锑抗法测磷,对照不加 G-1-P,改为 0.1 mL 的 0.1 mmol/L tris-maleate buffer。以单粒玉米在单位时间内形成的无机磷作为酶活性单位。

C:蔗糖酶按邵承斌法测定,以 0.05 mol/L 的醋酸缓冲液(pH=5.4)提取,DNS 显色法测定。

1.2.2 养分测定

植株中全氮采用浓 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮,用凯氏定氮法测氮,土壤速效氮用扩散皿法测定,土壤速效磷用 pH=8.5 的 NaHCO₃ 浸提,钼锑抗比色法测定。

1.2.3 品质分析

淀粉含量采用双波长法。蛋白质含量采用半微量凯氏定氮法,蛋白质组分含量采用累进提取法提取,半微量凯氏定氮法测定。含油率采用索氏提取法提取,油重法测定。

2 结果与分析

2.1 施硫对不同品质类型玉米产量和品质的影响

施用硫肥后,各品种产量均显著高于对照(S_{ck}),处理之间以 S₁ 增产较为显著,而 S₂ 比 S₁ 增加幅度各品种间不一致,高油 1 号产量增加达到显著水平,长单 26 和掖单 13 产量略有升高,但增加不显著(表 1)。

表 1 不同施硫量对玉米产量和品质的影响

品 种	处 理	产 量 (g/株)	含 油 率 (%)	淀 粉 含 量 (%)	蛋 白 质 含 量 (%)
高油 1 号	S _{ck}	70.70	C	6.48	Bc
	S ₁	93.32	B	7.32	Ab
	S ₂	113.72	A	7.93	Aa
长单 26	S _{ck}	83.49	Bb	3.62	Bc
	S ₁	109.69	Aa	3.92	Ab
	S ₂	113.88	Aa	4.12	Aa
掖单 13	S _{ck}	87.38	Bb	3.89	Bc
	S ₁	106.10	Aa	4.68	Ab
	S ₂	113.72	Aa	4.94	Aa

注:大写字母表示差异达极显著水平(P<0.01),小写字母表示差异达显著水平(P<0.05)。下表同。

施硫显著影响了子粒品质。各品种子粒含油率均表现为 S₂>S₁>S_{ck}。S₁ 处理子粒含油率比对照(S_{ck})平均提高 9.05%,S₂ 处理比 S₁ 处理提高 6.36%,说明施硫有利于油分的积累。品种间以高油 1 号和掖单 13 提高幅度较大,长单 26 提高幅度较小。施入硫肥后各品种子粒中淀粉含量总体表现为 S_{ck}> S₁>S₂,而子粒蛋白质含量显著提高,各品种均表现为 S₂>S₁>S_{ck}

(表 1)。品种间高油 1 号、掖单 13、长单 26 的 S₁ 比 S_{ck} 分别提高 8.54%、6.32%和 5.79%,平均为 6.88%;S₂ 比 S₁ 分别提高 6.16%、5.27%和 3.53%,平均 4.98%,说明 S₂ 处理虽有提高,但施肥效益降低。

2.2 施硫对不同品质类型玉米叶片生理特性的影响

2.2.1 叶面积、叶绿素含量和单叶光合速率

与 S_{ck} 相比,S₁、S₂ 均显著增加了植株的叶面积(表 2)。S₁ 与 S₂ 相比,不同品种之间反应不同,高油 1 号叶面积显著提高,掖单 13 和长单 26 叶面积增加不显著。硫是叶绿素的重要组成成分,施硫后叶片叶绿素含量显著增加,但 S₁ 与 S₂ 的差异不显著,说明适量施硫可增加功能叶片中叶绿素。施用硫肥后各品种玉米功能叶片光合速率都明显提高,均表现为 S₂>S₁>S_{ck},各品种之间施硫后叶片光合速率以高油 1 号和掖单 13 提高幅度较大,而长单 26 叶片光合速率提高幅度则较小,各处理之间 S₁ 比 S_{ck} 提高幅度大于 S₂ 比 S_{ck} 的提高幅度,说明随着施硫量的增加,硫肥的效益降低。

表 2 施硫水平对不同类型玉米叶面积、叶绿素含量和光合速率的影响

项 目	处 理	高油 1 号	长单 26	掖单 13
叶 面 积 (cm ²)	S _{ck}	4 713.17	Bc	3 511.75
	S ₁	5 016.70	Ab	4 703.93
	S ₂	5 260.87	Aa	4 688.19
叶 绿 素 含 量 (mg/dm ²)	S _{ck}	2.82	Bb	1.65
	S ₁	4.04	Aa	2.25
	S ₂	4.45	Aa	3.25
光 合 速 率 (μmol/m ² ·s)	S _{ck}	23.69	Bc	22.55
	S ₁	29.74	Ab	28.15
	S ₂	32.91	Aa	29.48

2.2.2 对功能叶片硝酸还原酶活性(NRA)和氮素积累的影响

施硫能显著提高功能叶片的硝酸还原酶活性,各品种玉米叶片 NRA 均表现为 S₂>S₁>S_{ck}。硝酸还原酶(NR)是氮代谢的关键酶之一,NR 活性的提高说明施硫促进了玉米氮代谢活性。相关分析表明,不同硫肥处理蛋白质含量与硝酸还原酶活性呈显著的正相关(r=0.963 7**),硝酸还原酶活性活力的提高可能是施硫提高子粒蛋白质含量的原因之一。

硫与氮代谢关系非常密切,不施硫肥(S_{ck})时,各品种植株 N 积累量低,施用硫肥(S₁)后,植株 N 吸收量显著提高,继续增加硫肥用量(S₂ 水平),植株吸收量稍有增加,但增加幅度不大。各品种之间不同施硫水平下植株 N 吸收积累量均表现为高油 1 号>掖单 13>长单 26。

2.2.3 对植株可溶性糖含量和 ATPase 活性的影响

由表 3 中看出,施硫后各品种玉米叶片中可溶性糖含量表现为 $S_2>S_1>S_{ck}$,而茎鞘则表现为 $S_{ck}>S_1>S_2$ 。表明不施硫肥处理叶片中可溶性糖含量较低,施硫肥后显著提高,这可能与其光合性能的提高有关。而茎鞘作为临时贮藏器官,低硫处理中可溶性糖在茎鞘中滞留,使向子粒中运输的同化物减少,施入硫肥后,促进了糖的运输。各品种之间以高油 1 号叶片可溶性糖含量较高,其它 2 个品种则差异不显著(灌浆期)。

施入硫肥后各品种功能叶片 ATPase 活性均表现为 $S_1>S_{ck}>S_2$,这表明施入适量硫肥后 ATPase 活性明显增加。但随着过量施硫,ATPase 活性反而下降。

表 3 不同施硫水平对玉米可溶性糖含量的影响 %						
处理	高油 1 号		长单 26		掖单 13	
	叶片	茎鞘	叶片	茎鞘	叶片	茎鞘
S_{ck}	6.05	22.55	5.76	18.69	4.29	20.99
S_1	8.10	20.27	6.72	18.01	6.08	18.51
S_2	8.24	20.55	6.76	17.26	6.80	17.12

2.3 施硫对子粒中酶活性的影响

2.3.1 对子粒淀粉磷酸化酶活性的影响

淀粉磷酸化酶是子粒淀粉合成的关键酶之一。与对照 S_{ck} 相比,施硫后子粒淀粉磷酸化酶活性显著提高;但随着施硫量的增加,子粒淀粉磷酸化酶活性又有所下降。施入 S_1 后,各品种子粒淀粉磷酸化酶活性提高幅度不同,以长单 26 提高幅度较大,掖单 13 次之,高油 1 号变化不大;施硫量为 S_2 时,除高油 1 号子粒淀粉磷酸化酶活性略有上升外,其它 2 个品种均下降。

2.3.2 对子粒蔗糖酶活性的影响

施硫后显著提高了蔗糖酶活性,各类型玉米子粒蔗糖酶活性 $S_2、S_1$ 均高于 S_{ck} , S_2 与 S_1 相比,子粒蔗糖酶活性对施硫量反应不一致,掖单 13、长单 26 表现为 $S_2<S_1$,而高油 1 号则表现为 $S_2>S_1$ 。

3 结论与讨论

硫是蛋白质的组成成分之一,与作物营养品质密切相关。本研究表明,不施硫肥时,各品种玉米子粒中蛋白质含量、含油率较低,而淀粉含量相对较高,每公顷施 22.5 kg 硫时,各品种的子粒蛋白质含量、子粒含油率显著提高,分别比对照提高 6.88%和 9.05%,而淀粉含量有降低的趋势;当施硫量增至 90 kg/hm²(S_2)时,各品种的子粒蛋白质含量、子粒含油率仍有提高,但提高幅度减小。

产量和品质的变化与植株生理特性的变化密切相关。本试验发现,从施硫后植株的生理特性变化看:施硫 22.5 kg/hm² 时,叶面积、叶绿素含量和光合速率显著提高,叶片硝酸还原酶活性和氮积累量增加,有利于蛋白质和油分的合成。进一步增加施硫量,上述生理指标的增加幅度减小,表现硫肥的效率和效益均降低。施硫后叶片可溶性糖有增加的趋势,但茎鞘中可溶性糖含量降低。施硫 22.5 kg/hm² 时,子粒淀粉磷酸化酶和蔗糖合成酶活性升高,但当施硫量增至 90 kg/hm² 时,其活性显著降低。

研究还发现,施硫 22.5 kg/hm² 时,叶片 ATPase 活性增加,施硫量增至 90 kg/hm²(S_2)时,ATPase 活性显著降低(低于对照),这可能是因为随施硫量的增加,叶片含硫量与含磷量均增加,叶片细胞内由于磷和硫的积累使 pH 值下降,ATPase 活性下降(ATPase 活性的最低 pH=6.5),其机理尚需进一步研究证实。

参考文献:

[1] 何照范. 粮油品质分析[M]. 北京:科学出版社,1986. 76-115 .
[2] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分析方法[M]. 北京:科学出版社,1983. 45-82 .
[3] 李玉颖. 作物对硫营养的反应[J]. 世界农业,1993,(1):45-46 .
[4] 崔彦宏. 高产夏玉米硫的吸收与再分配的研究[J]. 玉米科学, 1993,(1)1:48-52 .
[5] 王庆仁. 硫肥对双低油菜产量与品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报,1996,2(1):57-67 .
[6] 刘开昌,等. 高油、高淀粉玉米需硫特性及施硫对其产量、品质的影响[J]. 西北植物学报,2002,(1) .
[7] 上海植物生理学会. 植物生理学实验手册[M]. 上海:上海科技出版社,1985. 115,150 .
[8] Aulakh M S,等. 氮硫肥对芥菜的产量、营养物质含量和品质的影响[J]. J. Agric. Sci. Camb.,1980,94:545-549 .
[9] James W Friedrich and Larry E. Schrader. Sulfur deprivation and nitrogen metabolism in maize seedlings[J]. Plant Physiol., 1978, (61): 900-903 .
[10] Anne H.Datko, et al. Sulfur-containing compounds in lemna perpusilla grown at a range of sulfate concentration[J]. Plant Physiol., 1978, (62): 629-635 .
[11] Allaway W H and Thompson J F. Sulfur in the nutrition of plants and animals. Soil Science, 1966, 101(4): 240-241 .
[12] Moller D S and Donooso G. Relation between the sulfur/nitrogen ratio and the protein value of diets. J. Sci. Food Agr., 1963, 14: 345-349 .
[13] John Ingle, Beitz D, Hageman R H. Changes in composition during development and maturation of maize seeds[J]. Plant Physiology, 1974, 835-839 .
[14] Douglas C. Doehlert, Distribution of enzyme activities within the developing maize (*Zea mays*) kernel in relation to starch, oil and protein accumulation[J]. Physiologia Plantarum, 1990, 78: 560-567 .