

施用启动肥对土壤特性、玉米生长及产量的影响

吕小凡¹, 赵海蓓¹, 白如霄², 张新疆¹, 刘玲慧¹, 危常州^{1*}

(1. 石河子大学农学院农业资源与环境系, 新疆 石河子 832003;

2. 新疆生产建设兵团第九师农业科学研究所, 新疆 塔城 834600)

摘要: 研究了滴灌条件下施用启动肥对石灰性土壤特性和玉米产量的影响。供试玉米品种为新玉 109 号, 在全生育期等磷量下, 设置了启动肥不同用量 [$0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (CF, 对照)、 $45 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (SF3.0)、 $90 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (SF6.0)、 $135 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (SF9.0)] 的田间试验, 研究启动肥施用量对土壤特性、玉米产量及经济效益的影响, 确定合理的启动肥施用量。结果表明: (1) 启动肥施用 3 d 后在距滴头 5 cm 处 0 ~ 10 cm 土层中土壤有效磷平均增加了 $9.20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 土壤有效锌平均增加了 $0.28 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。(2) 施用启动肥能够促进玉米根系生长, 显著提高玉米侧根数、平均直径、总表面积及总体积。(3) 与对照相比, 启动肥对玉米增产显著, 施启动肥处理玉米产量最高为 $22731.9 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 增产率 15.99%, 收益从 $15474.9 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2}$ 增长至 $20028.3 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2}$, SF3.0、SF6.0 和 SF9.0 处理较 CF 处理收益分别增加了 4.1%、29.4% 和 9.4%, 产投比从 2.19 提高到了 2.54。综合产量和经济效益分析得出 SF6.0 处理效果最好, 即启动肥中的 P_2O_5 合理施用量在 $35 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 较为适宜。

关键词: 启动肥; 玉米; 产量; 土壤特性

玉米是我国种植范围最广、用途最多、总产量最高的作物, 2018 年总面积达 0.42 亿 hm^2 , 总产量突破 2.57 亿 t, 成为我国种植面积和总产量双第一的粮食作物, 在保障国家粮食安全中发挥着重要的作用^[1-2]。施肥是促进作物增产的重要途径, 目前新疆玉米农田平均施磷量约为 $190 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 而磷肥利用率为 25%^[3], 施肥量高, 而肥料利用率较低。农业部提出到 2020 年实现我国化肥用量“零增长”, 因此, 探索玉米生产中高效、科学施肥, 是当前玉米生产中的重要科学问题, 也是重要的技术难题。

启动肥是指在作物播种或种子出苗前施用的少量肥料, 类似于种肥, 但是不与种子接触, 而是施用在种子侧下方 5 ~ 6 cm 处。施用启动肥促进早期玉米生长是美国一些地区常见做法, 具体是将含 N、P 或 N、P、K (有时还可添加其他营养成分) 的固体或液体混合物施用于玉米种子附近或种子沟中^[4]。启动肥养分种类一般以磷为主, 主要原理

是玉米的磷素临界营养期在三叶期左右, 此期玉米对磷素的需求强烈, 而春季土壤温度低, 土壤磷有效性低, 磷在土壤中的迁移能力弱, 不能满足玉米对磷素的需求^[5-8]。施用启动肥就是为了满足这个阶段的磷素营养需求。Vetsch 等^[9]研究发现与等量 (或更高量) 常规撒施相同肥料相比, 启动肥显著增加早期玉米的生物量和株高。另有一些研究表明, 与不施启动肥相比, 启动肥处理不仅增加了植株对磷的吸收, 促进苗期生长, 而且提高了玉米产量, 肥料效率高于基肥或者追肥^[4, 10]。由于本试验中施入的启动肥是酸性的, 酸性可能会有活化碱性土壤上有效锌的作用, 而且塔城地区土壤有效锌含量比较低, 仅为 $0.42 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ^[11], 本试验地块上测得有效锌含量为 $0.46 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 是缺锌地块, 因此研究启动肥对土壤有效锌含量的影响是有必要的。前人对启动肥增产效应的研究主要集中在启动肥对作物养分供应与增产作用上, 而关于启动肥在玉米上的施用量及启动肥对土壤养分有效性的影响研究不多。

新疆地区玉米种植基本采用滴灌技术, 早春时节“倒春寒”现象普遍。本研究通过滴灌把一种液体启动肥施用在玉米行间, 研究滴灌条件下启动肥的增产作用和合理用量, 解决春寒季节玉米生长缓慢、肥料利用率低等问题, 以期对滴灌春玉米生

收稿日期: 2019-12-25; 录用日期: 2020-03-27

基金项目: 国家重点研发计划 (2017YFD0201808); 新疆兵团区域创新引导计划 (2018BB020)。

作者简介: 吕小凡 (1992-), 女, 甘肃定西人, 硕士, 研究方向为新型肥料与现代施肥技术。E-mail: 2802944596@qq.com。

通讯作者: 危常州, E-mail: changzhouwei@126.com。

产区“减肥增效、化肥零增长”提供一种新的施肥策略。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2019年4月中旬在新疆生产建设兵团第九师农业科学研究所试验基地(83° 29' E, 46° 31' N)进行。试验地位于自治区的西北部、伊犁哈萨克自治州的中部,属于中温带干旱和半干旱气候区,年平均降水量142 ~ 295 mm,无霜期150 ~ 180 d,年均日照2832 ~ 3006 h,气候条件有利于玉米生长。供试土壤为棕钙土,质地为壤土,前茬作物为玉米,其理化性质如下:有机质29.21 g·kg⁻¹、碱解氮91.94 mg·kg⁻¹、有效磷45.53 mg·kg⁻¹、速效钾317.32 mg·kg⁻¹、有效锌0.46 mg·kg⁻¹、pH值8.26。

1.2 试验材料

供试玉米品种为新玉109号。启动肥是本实验室自制的一种酸性液体肥料,主要成分为尿素硝铵溶液、液体磷酸、硫酸钾、水溶性腐殖酸及小分子有机酸。肥料养分含量N-P₂O₅-K₂O=7-39-5, pH 1.97,密度1.38 g·cm⁻³。

1.3 试验设计

试验为田间小区试验,于2019年4月13日播种,设置4个处理:1)农户常规施肥对照,秋翻时施基肥磷酸二铵225.0 kg·hm⁻²,记作CF;2)

启动肥用量1:秋季不施基肥,播种后随出苗水滴施启动肥45.0 kg·hm⁻²,记作SF3.0;3)启动肥用量2:秋季不施基肥,播种后随出苗水滴施启动肥90.0 kg·hm⁻²,记作SF6.0;4)启动肥用量3:秋季不施基肥,播种后随出苗水滴施启动肥135.0 kg·hm⁻²,记作SF9.0。试验采用完全随机设计,3次重复,小区面积为55.8 m²(6.0 m×9.3 m)。因滴施不同用量启动肥造成土壤N、P₂O₅、K₂O养分投入量差异,在玉米拔节期浇“一水”时(6月13日)用尿素、滴灌磷酸二铵和硫酸钾补齐差异,以后各次施肥量完全相同,即各启动肥处理全生育期采用等氮、磷、钾投入。CF处理养分总投入量为施N 391 kg·hm⁻²、P₂O₅ 164 kg·hm⁻²、K₂O 78 kg·hm⁻²,3个SF处理养分总投入量均为施N 340 kg·hm⁻²、P₂O₅ 114 kg·hm⁻²、K₂O 78 kg·hm⁻²,灌水施肥设计见表1。采用宽窄行机械覆膜播种种植模式,行距为40 cm+60 cm,株距为17 cm,理论株数11.8×10⁴株·hm⁻²。玉米播种完成后(4月14日)将启动肥溶解在施肥罐中随水滴入玉米窄行间。滴灌带距离种子行25 cm,启动肥按照清水-肥+水-清水的模式以滴灌(225 m³·hm⁻²)方式施入,水分湿润深度20 ~ 30 cm,水平距离12 ~ 18 cm,检测土壤中养分含量,以距离种子水平距离10 cm、垂直距离10 cm处养分含量最高。其他田间管理方法各处理间保持一致。

表1 灌水施肥设计

时间 (月－ 日)	灌水		施肥量 (kg · hm ⁻²)											
	次数	用量 (m ³ · hm ⁻²)	CF			SF3.0			SF6.0			SF9.0		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
—	基肥	—	41.0	103.0										
04-14	启动肥	225				3.2	17.6	2.3	6.3	35.1	4.5	9.5	52.7	6.8
06-13	一水	675	45.2	20.5	39.0	45.2	34.7	13.3	42.2	17.2	11.2	39.2		8.8
06-28	二水	675	45.2	20.5		55.2	10.2	7.8	55.2	10.2	7.8	55.2	10.2	7.8
07-08	三水	675	80.2	20.0		82.5	15.5	15.6	82.5	15.5	15.6	82.5	15.5	15.6
07-21	四水	675	69.0			77.5	15.0	15.6	77.5	15.0	15.6	77.5	15.0	15.6
07-30	五水	675	55.2		39.0	40.1	10.5	15.6	40.1	10.5	15.6	40.1	10.5	15.6
08-20	六水	675	55.2			36.3	10.5	7.8	36.3	10.5	7.8	36.3	10.5	7.8
09-02	七水	675												
合计		4950	391.0	164.0	78.0	340.0	114.0	78.0	340.0	114.0	78.0	340.0	114.0	78.0

1.4 测定项目及方法

1.4.1 土壤样品

启动肥施入后的第3、6、9 d在距滴灌带滴头水平距离0、5、10 cm处对不同深度土层土壤(0~10、10~20、20~30 cm)进行取样测定(取5点混合)。

土壤有效磷: 用pH=8.5的 $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ NaHCO}_3$ 浸提剂提取, 钼锑抗比色法测定。

土壤有效锌: 用pH=7.3的 $0.005 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ DTPA浸提剂提取, 原子吸收分光光度法测定。

土壤理化性质参照鲍士旦^[12]的方法测定。

1.4.2 植株样品

玉米幼苗根系发育特征: 分别于玉米出苗后的第6、12、18 d对玉米植株地上部、地下部样品进行采集, 利用WinRHIZO根系分析系统对其根系指标进行测定。

生物学产量: 每次取植株样后, 分不同器官烘干至恒重称重, 测定生物量。

产量和产量结构: 在玉米成熟后, 各处理随机选取 6.67 m^2 玉米进行测产, 测定项目包括有效穗数、穗行数、行粒数和千粒重, 并计算理论产量。

经济效益: 根据当年当地肥料及玉米价格计算。

1.5 数据分析

采用Excel 2010对数据进行处理和绘图, 采用

SPSS 19.0对数据进行方差分析, 不同处理间比较采用Duncan法进行检验($P<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 施用启动肥对土壤有效磷含量的影响

由表2可知, 启动肥对土壤有效磷有明显影响。1) 垂直方向: 同一滴头位置下, 各处理有效磷在0~10、10~20及20~30 cm土层深度上均表现为SF9.0>SF6.0>SF3.0>CF, 如在距滴头5 cm垂直方向0~10 cm土层, SF3.0、SF6.0和SF9.0处理土壤有效磷含量较CF处理分别提高3.29%、28.16%和31.42%。说明启动肥施用量越大, 土壤有效磷浓度增加越多; 同一滴头位置下, 各处理有效磷在不同土层深度上均表现为0~10>10~20>20~30 cm, 以距滴头水平距离5 cm为例, 从0~10 cm到20~30 cm土层间, CF、SF3.0、SF6.0和SF9.0处理土壤有效磷含量降幅分别为24.46%、15.80%、13.33%和14.07%。说明随着启动肥用量增加, 深层土壤有效磷含量增加量较大。2) 水平方向: 在同一土层深度下, 各处理土壤有效磷含量在不同水平距离下均表现为0>5>10 cm, 土壤有效磷含量在水平距离上各启动肥处理显著高于CF对照, 但SF6.0与SF9.0处理随着水平距离增加而趋于显著。

表2 施肥3 d后启动肥对土壤有效磷含量的影响

($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

处理	土层深度 (cm)	距滴头水平距离 (cm)		
		0	5	10
CF	0 ~ 10	46.72d, a	43.90b, b	39.54b, c
SF3.0		52.17c, a	45.34b, b	40.78b, c
SF6.0		58.67b, a	56.27a, a	48.69a, b
SF9.0		68.04a, a	57.70a, b	49.44a, c
CF	10 ~ 20	44.11c, a	41.39b, a	36.30d, b
SF3.0		47.81c, a	41.96b, b	38.65c, b
SF6.0		51.08b, a	48.77a, a	44.94b, a
SF9.0		56.68a, a	49.00a, b	46.78a, b
CF	20 ~ 30	36.80b, a	33.50c, a	32.15c, a
SF3.0		42.11b, a	38.73b, ab	35.16b, b
SF6.0		45.93ab, a	44.43ac, a	40.08a, a
SF9.0		50.85a, a	48.58a, a	40.83a, b

注: 同列逗号前面不同小写字母表示同一土层深度上 $P<0.05$; 同行逗号后面不同小写字母表示水平距离上 $P<0.05$ 。

综上可知, 施用启动肥提高了土壤有效磷含量, 其规律是距离滴头越远(水平和垂直), 效果越小; 从各启动肥处理对土壤有效磷的影响结果来

看, 施用量越高有效磷含量越高, 但随着距离滴头位置的增大启动肥量的优势趋于不显著。

2.2 施用启动肥对土壤锌有效性的影响

图 1 是施用启动肥 3、6、9 d 后, 距滴头 0 cm 处不同土层深度上土壤有效锌含量。施肥 3 d 后, 0 ~ 10 cm 土层中, SF3.0、SF6.0 和 SF9.0 处理较 CF 处理土壤有效锌含量均显著增加, 分别较 CF 提高了 27.59%、34.48% 和 48.28%; 10 ~ 20 和 20 ~ 30 cm 土层中有效锌含量均表现为 SF9.0>SF6.0>SF3.0>CF, 且 3 个启动肥处理间差异均不显著, 但在 20~30 cm 土层中 SF9.0 处理的有效锌含量显著高于 CF 处理。

施肥 6 d 后, 在各土层深度上, SF6.0 和 SF9.0 处理土壤有效锌含量显著高于 CF 和 SF3.0, 但 SF3.0 和 CF 没有显著性差异。施肥 9 d 后, 在各土层深度上, 有效锌含量也均表现为 SF9.0>SF6.0>SF3.0>CF, 但各处理间无显著性差异。

综上表明, 启动肥对土壤有效锌的影响主要在 0 ~ 10 cm 土层中, 且启动肥施用量越高, 土壤中有效锌增加持续时效越长。

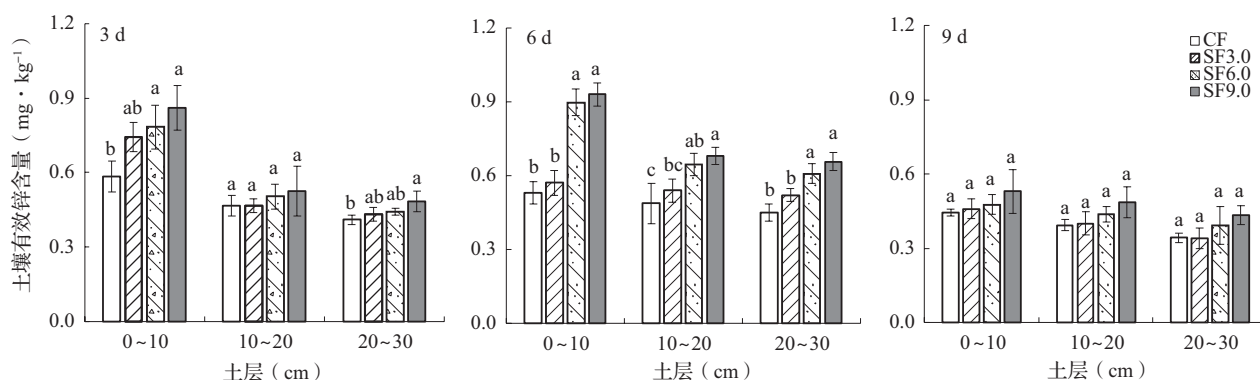


图 1 不同土壤深度有效锌含量随时间的变化

注: 同一土层深度中不同小写字母表示处理间差异达 $P<0.05$ 显著水平。

2.3 启动肥对玉米幼苗根系发育特征的影响

由表 3 可知, 施用启动肥可以明显促进玉米幼苗根系的生长。出苗后第 6 d, 玉米二级根数、根系平均直径、总表面积和总体积均在 SF6.0 和 SF9.0 处理下显著高于 CF 和 SF3.0, 且各指标分别在 CF 和 SF3.0 间, SF6.0 和 SF9.0 间无显著性差异。出苗后第 12 d 和第 18 d, 玉米二级根数、根系平均直径、

总表面积和总体积均在 SF3.0、SF6.0 和 SF9.0 处理下显著高于 CF, 且各指标在 SF6.0 和 SF9.0 间无显著性差异。综上表明, 启动肥可以促进玉米根系生长。在玉米出苗后 6 d, SF6.0 和 SF9.0 的效果优于 SF3.0, 随着玉米的生长 SF3.0 也可以对玉米根系表现出一定的促进作用, 但是 SF6.0 和 SF9.0 在促进玉米根系生长方面没有显著性差异。

表 3 启动肥处理玉米根系指标随出苗天数变化

处理	出苗天数 (d)	二级根数	平均直径 (mm)	总表面积 (cm^2)	总体积 (cm^3)
CF	6	$6.80 \pm 0.98\text{b}$	$0.68 \pm 0.08\text{b}$	$23.82 \pm 0.86\text{b}$	$0.43 \pm 0.02\text{b}$
SF3.0		$7.20 \pm 0.98\text{b}$	$0.72 \pm 0.01\text{b}$	$26.58 \pm 0.71\text{b}$	$0.52 \pm 0.02\text{b}$
SF6.0		$8.40 \pm 1.02\text{a}$	$0.77 \pm 0.01\text{a}$	$30.61 \pm 1.64\text{a}$	$0.59 \pm 0.04\text{a}$
SF9.0		$8.60 \pm 1.36\text{a}$	$0.80 \pm 0.03\text{a}$	$31.62 \pm 2.46\text{a}$	$0.63 \pm 0.04\text{a}$
CF	12	$11.30 \pm 0.93\text{b}$	$0.70 \pm 0.08\text{b}$	$46.80 \pm 0.98\text{c}$	$0.79 \pm 0.01\text{c}$
SF3.0		$11.80 \pm 0.91\text{a}$	$0.82 \pm 0.02\text{a}$	$50.84 \pm 1.53\text{b}$	$0.95 \pm 0.12\text{b}$
SF6.0		$13.10 \pm 0.75\text{a}$	$0.84 \pm 0.02\text{a}$	$53.68 \pm 2.09\text{a}$	$1.12 \pm 0.06\text{a}$
SF9.0		$12.80 \pm 0.89\text{a}$	$0.84 \pm 0.03\text{a}$	$55.71 \pm 1.43\text{a}$	$1.15 \pm 0.06\text{a}$
CF	18	$14.66 \pm 0.95\text{c}$	$0.80 \pm 0.04\text{b}$	$50.80 \pm 1.08\text{c}$	$0.98 \pm 0.08\text{b}$
SF3.0		$15.19 \pm 0.88\text{b}$	$1.08 \pm 0.01\text{a}$	$52.77 \pm 1.43\text{b}$	$1.05 \pm 0.02\text{b}$
SF6.0		$17.80 \pm 0.75\text{a}$	$1.06 \pm 0.02\text{a}$	$55.06 \pm 2.00\text{ab}$	$1.37 \pm 0.05\text{a}$
SF9.0		$17.43 \pm 1.08\text{a}$	$1.06 \pm 0.02\text{a}$	$57.11 \pm 1.29\text{a}$	$1.36 \pm 0.06\text{a}$

注: 同列不同小写字母表示相同出苗天数中处理间差异达 $P<0.05$ 显著水平。

2.4 启动肥对玉米干物质积累量的影响

由图2可知,在出苗后第6 d, SF6.0处理干物质积累量显著高于其他处理;在出苗后12 d, SF3.0、SF6.0和SF9.0分别比CF处理提高了17.39%、30.43%和26.08%;出苗后18 d, SF6.0和SF9.0处理干物质积累量显著高于CF和SF3.0处理,但SF6.0和SF9.0处理干物质积累量差异不显著。

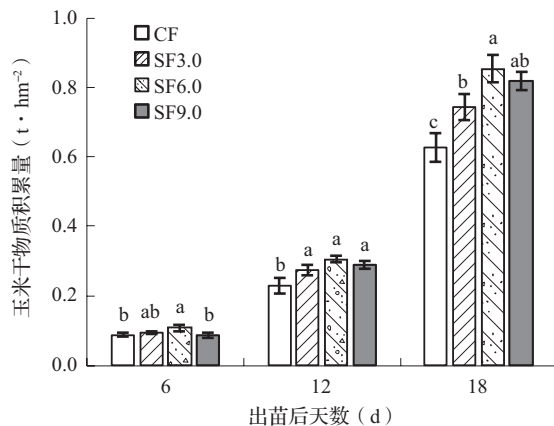


图2 启动肥对玉米干物质积累量的影响

注:相同出苗天数中不同小写字母表示处理间差异达 $P < 0.05$ 显著水平。

2.5 施用启动肥对玉米产量及经济效益的影响

由表4可知,施用启动肥能显著提高玉米产量及磷肥偏生产力。与CF处理相比, SF3.0、SF6.0和SF9.0处理分别增产123.3、3133.0和1309.9 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,增产率分别是0.63%、15.99%和6.68%,其中SF6.0处理产量显著高于SF9.0。从产量构成来看, SF3.0和SF6.0有效穗数显著高于CF,且SF9.0和CF无显著性差异;各处理间穗行数无显著差异; SF6.0和SF9.0千粒重显著高于CF和SF3.0,其中SF6.0处理千粒重最高,达520.9 g,相较CF处理千粒重增加35.0 g。SF6.0处理的增产率和磷素偏生产力最高,磷素偏生产力在SF6.0下较SF3.0、SF9.0处理分别增加15.21%、8.71%。

由表5可知, SF9.0较其他处理肥料投入和成本投入最高,其中SF3.0肥料投入和成本投入低于CF, SF6.0肥料投入和成本投入与CF大体一致。但施用启动肥提高了玉米经济效益, SF6.0处理纯收入较CF增加4553.4元· hm^{-2} ,增收率达29.4%,产投比较CF增加了15.98%。SF3.0和SF9.0处理较CF处理玉米生产效益也有不同程度的提高,但增收率均低于SF6.0。

表4 玉米产量及产量构成因素

处理	有效穗数 (穗· hm^{-2})	穗行数 (行)	行粒数 (粒)	千粒重 (g)	理论产量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	较CF增产率 (%)	磷肥偏生产力 ($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
CF	96000.0b	13.1a	39.4ab	485.9b	19598.9b	—	119.5
SF3.0	99000.0a	13.3a	37.0b	487.3b	19722.2b	0.6	173.0
SF6.0	99495.0a	13.4a	39.5a	520.9a	22731.9a	16.0	199.4
SF9.0	96990.0ab	13.1a	38.4ab	519.6a	20908.5b	6.7	183.40

注:籽粒含水率为14%;同列不同小写字母表示差异达 $P < 0.05$ 显著水平。

表5 经济效益分析

处理	肥料投入 (元· hm^{-2})	其他投入 (元· hm^{-2})	成本 (元· hm^{-2})	产值 (元· hm^{-2})	纯收入 (元· hm^{-2})	增收率 (%)	产投比
CF	3343.5	9600.0	12943.5	28418.4	15474.9	—	2.2
SF3.0	2884.5	9600.0	12484.5	28597.2	16112.7	4.1	2.3
SF6.0	3333.0	9600.0	12933.0	32961.3	20028.3	29.4	2.5
SF9.0	3784.5	9600.0	13384.5	30317.3	16932.8	9.4	2.3

注:产值=玉米籽粒产量×当年玉米市场价格;产投比=产值/成本;成本=施氮量×价格+施磷量×价格+施钾量×价格+施启动肥量×价格+播种价格+整地价格+玉米种子价格×播种量+农药用量×价格;纯收入=产值-成本。其中尿素1.60元· kg^{-1} ,磷酸二铵3.50元· kg^{-1} ,硫酸钾3.50元· kg^{-1} ,启动肥8.00元· kg^{-1} ,2019年玉米(14%籽粒含水量)市场价格为1.45元· kg^{-1} 。

3 讨论

磷易被土壤固定,在各种作物必需营养元素中其移动性最差,移动距离通常在 $3 \sim 5 \text{ cm}$ [13-15],不同磷源、施肥方式均可能影响磷在土壤中的移动性。本试验发现,3个启动肥处理在 $0 \sim 10 \text{ cm}$ 土层上有效磷含量均大于 CF 处理,其平均值相比 CF 处理提高 17.06%,说明施用启动肥提高了土壤中有效磷的含量。本试验还发现,启动肥不同用量处理对土壤有效磷和有效锌含量的显著性差异均表现在 $0 \sim 10 \text{ cm}$ 土层中,随着土层深度增加,启动肥施用量的优势逐渐减弱,主要体现在 $10 \sim 20$ 和 $20 \sim 30 \text{ cm}$ 土层中 SF6.0 与 SF9.0 处理间的差异上,说明施启动肥 $90 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 已经能够表现出优化效果。有报道认为,液体磷肥在土壤中的迁移距离大于固体磷肥 [15],本试验结果表明,施用启动肥不仅 $0 \sim 10 \text{ cm}$ 深度土壤有效磷含量增加,而且 $10 \sim 20 \text{ cm}$ 土壤有效磷含量也有显著增加,显示液体的启动肥磷在土壤中迁移距离较远,能达到玉米幼苗根系所在深度并被吸收。根系是作物营养成分及水分吸收的主要器官,早期建成的根系是玉米后期加速生长、形成较大生物量和产量的关键基础之一。本试验结果表明,施用启动肥对玉米幼苗根系生长的促进作用显著(表3),出苗 10 d 后,3个启动肥的平均侧根数较 CF 处理多 1.26 根, SF6.0 和 SF9.0 处理促进玉米根系生长指标差异不显著,说明启动肥施用量为 $90 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时促根作用已达最佳。本试验结果还表明,3个启动肥处理均提高了玉米苗期生物量和产量,较 CF 处理苗期生物量提高了 17.39% ~ 30.43%,产量提高了 0.61% ~ 15.99%,其中以 SF6.0 处理 ($90 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) 的提高作用最为显著,表明施用启动肥能够促进玉米苗期生长,提高玉米产量,以启动肥施用量 $90 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 效果最好,增产增收效果最佳,这也与 Szulc [16] 研究结果一致。综上所述,施用启动肥不仅有利于磷素在土壤中的迁移,而且启动肥的酸性间接提高了土壤中微量元素锌有效性,进而促进根系的生长,提高了生物量,最终使产量增加。本试验采用的启动肥 P_2O_5 含量为 39%,因此启动肥的适宜磷用量为 $90 \times 0.39 = 35.1 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

启动肥在玉米上的增产作用十分明显,是因为其自身含有作物生长所需的大量营养元素尤其是 P

素,且出苗时水滴施及时供应了玉米苗期对磷素的临界需求;启动肥中还含有腐殖酸和小分子有机酸,能够促进根系生长,活化土壤。但有关启动肥对玉米增产的机理,还需进一步研究。

4 结论

采用滴灌结合出苗水施入启动肥是一种经济、方便的施肥方法。启动肥提高了 $0 \sim 10 \text{ cm}$ 土层有效磷含量,其酸性也短期提高了土壤微量元素锌有效性,玉米产量增加,当施肥量达到 $90 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时表现最佳。从经济效益来看,施肥量为 $45 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,经济效益较施肥量为 $135 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时低 820.1 元,但产投比相同;施肥 $90 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,经济效益最大,产投比最高。综合产量和经济效益分析,合理的启动肥施用量控制在 P_2O_5 $35 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 较为适宜,增产效果显著,经济效益最佳。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国统计局. 中国统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2018.
- [2] 岳克, 马雪, 宋晓, 等. 新型氮肥及施氮量对玉米产量和氮素吸收利用的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2018 (4): 75-81.
- [3] 张皓禹. 新疆滴灌玉米磷肥优化施肥技术研究 [D]. 石河子: 石河子大学, 2019.
- [4] Kaiser D E, Mallarino A P, Bermudez M. Corn grain yield, early growth, and early nutrient uptake as affected by broadcast and in-furrow starter fertilization [J]. Agronomy Journal, 2005, 97 (2): 620-626.
- [5] Mascagni H J, Boquet D J. Starter fertilizer and planting date effects on corn rotated with cotton [J]. Agronomy Journal, 1996, 88 (6): 975-982.
- [6] Cromley S M, Wiebold W J, Scharf P C, et al. Hybrid and planting date effects on corn response to starter fertilizer [J]. Plant Health Progress, 2006, 5 (1): 1-7.
- [7] 王树禹, 李文阁. 低温条件下玉米对磷素吸收的研究 [J]. 核农学报, 1991 (1): 7-12.
- [8] 迟凤琴, 苏俊, 高中超. 氮磷钾配施对青贮玉米生物产量和营养品质的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2007 (6): 42-45.
- [9] Vetsch J A, Randall G W. Corn production as affected by tillage system and starter fertilizer [J]. Agronomy Journal, 2002, 94 (3): 532.
- [10] Bermudez M, Mallarino A P. Yield and early growth responses to starter fertilizer in no-till corn assessed with precision agriculture technologies [J]. Agronomy Journal, 2002, 94: 1024-1033.
- [11] 胡艳红. 不同配方施肥对塔城市氮磷钾利用率及产量的影响研究 [D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2015.
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析 (第3版) [M]. 北京: 中国农业出

- 版社, 2000.
- [13] 王静, 叶壮, 褚贵新. 水磷一体化对磷素有效性及磷肥利用率的影响 [J]. 中国生态农业学报, 2015, 23 (11): 1377–1383.
- [14] Holloway R E, Bertrand I, Frischke A J, et al. Improving fertiliser efficiency on calcareous and alkaline soils with fluid sources of P, N and Zn [J]. Plant and Soil, 2001, 236 (2): 209–219.
- [15] 褚贵新, 李明发, 危常州, 等. 固体磷肥和液体磷肥对石灰性土壤不同形态无机磷及磷肥肥效影响的研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15 (2): 358–365.
- [16] Szulc P. Starter fertilization of maize as a method to improve the efficiency of nutrieny application [J]. Polish Journal of Natural Sciences, 2017, 32 (9): 615–636.

Effect of starter fertilizer on yield, growth and soil characteristics of maize

LÜ Xiao-fan¹, ZHAO Hai-bei¹, BAI Ru-xiao², ZHANG Xin-jiang¹, LIU ling-hui¹, WEI Chang-zhou^{*} (1. Department of Agricultural Resources and Environment, College of Agriculture, Shihezi University, Shihezi Xinjiang 832003; 2. Institute of Agricultural Sciences, Ninth Division, Xinjiang Production and Construction Corps, Tacheng Xinjiang 834600)

Abstract: This paper studied effects of start fertilizer on drip irrigated maize growth, yield and soil characteristic in calcareous soil. The maize varieties is ‘Xin yu 109’ (*Zea Mays* L. Xinyu 109), four starter fertilizer levels [$0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (CF), $45 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (SF3.0), $90 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (SF6.0), $135 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (SF9.0)] were conducted in a field experiment but keep total P application identical in the whole growth stage of maize, aimed to analyze the effects of application amount of start fertilizer on soil fertility, yield and economic benefits of maize, the reasonable application amount of start fertilizer was determined. The results showed that: (1) After three days of starter fertilizer application, the available P increased by $9.20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ on average, and the available Zn increased by $0.28 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ on average in $0 \sim 10 \text{ cm}$ soil layer and 5 cm away from the dripper. (2) Application of start fertilizer promoted the growth of maize root system, significantly improved the number of maize node roots, average diameter of root, and total surface area, total volume of root. (3) Compared with CF, the starter fertilizer increased the yield of maize significantly, the highest maize yield of the starter fertilizer treatment was $22731.9 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, and the yield increase rate was 15.99%. The net income increased from $15474.9 \text{ yuan} \cdot \text{hm}^{-2}$ to $20028.3 \text{ yuan} \cdot \text{hm}^{-2}$. The income of SF3.0, SF6.0 and SF9.0 increased by 4.1%, 29.4% and 9.4% respectively, and the out/input ratio increased from 2.19 to 2.54. SF6.0 showed best performance in yield and profit in all the four treatments. The reasonable application amount of starter P_2O_5 is $35 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$.

Key words: starter fertilizer; maize; yield; soil characteristics