

网络出版时间:2013-12-25 13:19

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.01.013

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.01.013.html>

土壤施锌和叶面喷锌对风沙土玉米 Zn 吸收与积累的影响

李 辛,李志洪,孙建华,郭志顶,辛士颖,殷程程

(吉林农业大学 资源与环境学院,吉林 长春 130118)

【摘 要】 【目的】研究土施和叶面喷施锌肥条件下玉米吸收、积累锌的规律,旨在为科学调控玉米锌营养状况、提高玉米籽粒锌含量提供理论依据。【方法】2011 年在吉林风沙土地区采用大田试验,研究了土施锌肥(0 kg/hm²(S₀),3.4 kg/hm²(S_{3.4}),6.8 kg/hm²(S_{6.8}),10.2 kg/hm²(S_{10.2}))和叶面喷施锌肥(0 kg/hm²(F₀),2.25 kg/hm²(F))共计 7 个处理(S₀F₀(对照)、S_{3.4}F₀、S_{6.8}F₀、S_{10.2}F₀、S₀F、S_{3.4}F、S_{6.8}F)对玉米各生育期植株锌含量、籽粒锌含量、籽粒产量和地上部分生物量以及锌肥利用率、Zn 吸收总量和 Zn 吸收速率的影响。【结果】玉米植株中 Zn 的含量随着土施锌肥量的增加而增大,苗期较 S₀F₀ 处理增加了 2.7~8.5 倍,其他生育期增加幅度有所降低;与 S₀F₀ 处理相比,S_{3.4}F₀、S_{6.8}F₀、S_{10.2}F₀ 可以使玉米增产 9.7%~37.7%,地上部分生物量增加 6.2%~20.4%,玉米 Zn 吸收总量增加 21.5%~81.9%。土施+叶面喷施锌肥处理比单独土施锌肥增产 5.5%~17.0%,生物量增加 18.5%~30.8%。【结论】土施+叶面喷施锌肥可以明显提高玉米籽粒锌含量和籽粒产量。

【关键词】 玉米;锌肥;风沙土;籽粒锌含量;锌吸收总量

【中图分类号】 S143.7⁺2;S513.062

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2014)01-0144-07

Effect of soil application and foliar spray of Zn fertilizer on Zinc absorption and accumulation of maize in sandy soil

LI Xin, LI Zhi-hong, SUN Jian-hua, GUO Zhi-ding, XIN Shi-ying, YIN Cheng-cheng

(College of Resources and Environment, Jilin Agricultural University, Changchun, Jilin 130118, China)

Abstract: 【Objective】 Zinc absorption and accumulation of maize in sandy soil through soil application and foliar spray of Zinc fertilizer was investigated to better regulate the nutritional status of Zinc and improve the Zinc concentration in maize grains. 【Method】 Field experiments in sandy soil were conducted in Jilin in 2011 to study the effects of Zn fertilizer (7 treatments: soil application (0 kg/hm²(S₀), 3.4 kg/hm²(S_{3.4}), 6.8 kg/hm²(S_{6.8}), 10.2 kg/hm²(S_{10.2})) and foliar spray (3 mg/g ZnSO₄, 0 kg/hm²(F₀), 2.25 kg/hm²(F))) on plants of maize during different growth periods, Zinc concentration in grains, grains yield, aboveground biomass, Zn utilization efficiency, Zn total absorption amount and Zn absorption rate. 【Result】 Zinc concentrations in maize plants increased as the increase of Zn amount by soil application and foliar spray. During the seedling stage, Zn concentrations increased by 2.7~8.5 times compared with S₀F₀, while other growth periods had less increase rates. Compared to S₀F₀ treatment, treatments S_{3.4}F₀, S_{6.8}F₀, and S_{10.2}F₀ increased maize yield by 9.7%~37.7%, increased aboveground biomass by 6.2%~20.4% and in-

【收稿日期】 2013-02-27

【基金项目】 国际锌协(IZA)资助项目(Zinc Nutrient Initiative MD-86)

【作者简介】 李 辛(1987-),男,吉林长春人,在读硕士,主要从事植物养分高效利用与土壤 GIS 应用研究。

E-mail:lixin43617706@sina.com

【通信作者】 李志洪(1957-),男,吉林长春人,教授,博士生导师,主要从事土壤养分高效利用、精准农业、GIS 农业应用研究。

E-mail:lizhihong21@163.com

creased Zinc absorption by 21.5%—81.9%. In addition, combination of soil application and foliar spray increased maize yield by 5.5%—17.0% and increased aboveground biomass by 18.5%—30.8%, compared to solo use of soil application or foliar spray. 【Conclusion】 The foliar spray and soil application of Zn fertilizer significantly increased Zinc concentrations and yield of maize grains.

Key words: maize; Zinc fertilizer; sandy soil; Zn concentration in corn grain; Zn accumulation in up-ground organs

锌是生物必需的微量元素,在植物生长发育及新陈代谢中的作用是其他营养元素不可替代的^[1]。锌也是生物体内许多酶类的重要组成成分,参与呼吸、氧化还原反应以及核蛋白、植物生长素的合成等重要代谢过程。缺锌会使作物失绿、丛生、不分蘖、生育延迟,并最终导致减产^[2];降低动物生产率和免疫力^[3];儿童患矮小症,厌食症,发育不良等^[4]。据 WHO 调查表明,我国近 1/3 的人口面临着缺锌引起的健康问题^[4],缺锌已成为影响人体健康的主要因素之一^[5]。据统计,我国城市的 0~6 岁儿童缺锌比例为 39%^[6],有些地区该比例甚至高达 60%^[7]。

研究表明,在缺锌土壤上施用锌肥是供给作物锌素及提高作物籽粒锌含量最直接有效的途径之一,已在土耳其、印度等国取得了显著成效^[8]。在我国,长期定位试验结果表明,长期施用锌肥能改善粮食作物锌营养状况,同时锌在土壤中有明显的累积^[9]。锌肥对小麦氮产量和品质均有一定的影响,喷施锌肥可提高小麦沉淀值、湿面筋、吸水量和稳定时间^[10],还可以增加小麦抗旱性^[11]。在东北锌水平较低的黑土地地区,土施锌肥在水稻和大豆生产中也有显著的增产效果^[12-13]。

吉林省耕地总面积为 553.78 万 hm^2 ,其中沙土占 8%,大约是黑土面积的 1/4^[14];同时吉林省也是中国玉米主产区,玉米产量占全省粮食总产量的 70%以上,占全国玉米总产量的 15%左右,其中 65%~70%的玉米都用作饲料,是畜牧业赖以发展的重要基础^[15]。近年来在玉米生产中,随着施用 NPK 肥料掺混锌肥及叶面喷施锌肥,玉米缺锌症已较少出现,一般缺锌情况下,土施锌肥在 20~30 kg/hm^2 时即可改善玉米缺锌症状^[16]。但目前关于土施锌肥对玉米植株、籽粒锌含量和累积影响的报道较少。本试验主要研究了在风沙土地地区土施和叶面喷施锌肥对玉米植株及籽粒吸收累积锌的影响,以探明玉米植株锌吸收关键时期,为科学调控玉米锌营养状况、提高玉米籽粒锌含量以及为养殖业提供高锌饲料提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试验于 2011 年在吉林省梨树县四棵镇乡付家街村进行。供试土壤为风沙土,试验区耕层土壤理化性质为:有机质 4.7 g/kg ,碱解氮 50.55 mg/kg ,速效磷 29.22 mg/kg ,速效钾 69 mg/kg ,有效锌 (DTPA-Zn) 1.02 mg/kg ,pH 5.75。供试玉米品种为稷农 11 号,购自吉林省梨树县农业推广站。

1.2 试验设计

田间试验共设 7 个处理,分别为 S_0F_0 、 $S_{3.4}F_0$ 、 $S_{6.8}F_0$ 、 $S_{10.2}F_0$ 、 S_0F 、 $S_{3.4}F$ 、 $S_{6.8}F$,其中 S_0 、 $S_{3.4}$ 、 $S_{6.8}$ 、 $S_{10.2}$ 表示土施纯 Zn 量分别为 0, 3.4, 6.8, 10.2 kg/hm^2 , F_0 表示不喷施 Zn 肥, F 表示喷施 Zn 肥, S_0F_0 为对照。

土施锌肥以 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 的形式进行,在播种时以基肥方式与 NPK 肥一起施入土壤中并进行耕翻。叶面喷施锌肥为 3 mg/g ZnSO_4 溶液,一共喷施 3 次,分别在苗期、拔节期、吐丝期,喷锌时使玉米植株所有叶片全部湿润但不形成水滴滚落。3 次叶面喷施纯 Zn 量分别为 0.375, 0.75 和 1.125 kg/hm^2 ,总计 2.25 kg/hm^2 。

底肥中的氮肥为尿素,磷肥为磷酸二铵,钾肥为硫酸钾,所有小区 N、 P_2O_5 、 K_2O 施用量一致,分别为 60, 90 和 75 kg/hm^2 ,以基肥方式施入土壤,在拔节期追施氮肥 120 kg/hm^2 。试验采用随机区组设计,4 次重复,小区面积 40 m^2 。

供试玉米 05-09 播种,密度为 6 万株/ hm^2 。分别于 06-10(苗期,播种后 32 d)、06-30(拔节期,播种后 52 d)、07-28(吐丝期,播种后 80 d)、08-27(灌浆期,播种后 110 d)、09-27(成熟期,播种后 141 d)取植株地上部分样本,每个小区随机取 3 株,风干、粉碎,用于测定 Zn 含量,成熟期每小区选取 10 m^2 测产,并取籽粒样本。

1.3 测定项目及方法

植株和籽粒锌含量采用 $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{O}_2$ 微波消煮,电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-AES)

测定^[17]。

$\text{Zn 吸收总量} = \text{玉米植株 Zn 含量} \times (\text{玉米地上部分生物量} - \text{玉米产量}) + \text{玉米籽粒 Zn 含量} \times \text{玉米产量}$
 $\text{Zn 吸收速率} = (\text{玉米 Zn 吸收总量} - \text{玉米前一时期 Zn 吸收总量}) \div (\text{玉米播种时间} - \text{玉米前一时期播种时间})$
 $\text{土施 Zn 肥利用率} = (\text{玉米 Zn 吸收总量} - \text{对照玉米 Zn 吸收总量}) \div \text{土施 Zn 肥量} \times 100\%$ 。

1.4 数据处理与分析

试验数据采用 Excel2010 和 DPS9.50 进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 土施锌肥对各生育期玉米植株锌含量的影响

从图 1 可以看出,在各生育期,随着土施锌肥量的增加,玉米植株中锌含量总体呈增加趋势。在苗期, S_0F_0 处理玉米植株锌含量为 13.8 mg/kg, $S_{3.4}F_0$ 、 $S_{6.8}F_0$ 和 $S_{10.2}F_0$ 处理玉米植株锌含量分别比 S_0F_0 处理提高了 2.7、5.5 和 8.5 倍。至拔节期,随着玉米营养吸收、积累速度逐渐增加,营养生长速度加快,玉米植株体中的养分含量也发生明显变化。在拔节期, S_0F_0 处理玉米植株锌含量为 14.2 mg/kg, $S_{3.4}F_0$ 、 $S_{6.8}F_0$ 和 $S_{10.2}F_0$ 处理玉米植株锌含量分别比 S_0F_0 处理提高了 7.6、14.0 和 28.1 mg/kg。在吐丝期,玉米对养分的吸收和积累的增长速度达到了最高,植株的生长速度和养分含量处于明显的增加趋势。吐丝期 S_0F_0 处理玉米植株锌

含量为 7.4 mg/kg, $S_{3.4}F_0$ 、 $S_{6.8}F_0$ 和 $S_{10.2}F_0$ 分别比 S_0F_0 处理增加了 4.8、8.4 和 19.9 mg/kg。灌浆期玉米对养分的吸收和积累的增长速度相对于吐丝期趋于平稳,由营养生长转变为生殖生长。在灌浆期, S_0F_0 处理玉米植株锌含量为 10.3 mg/kg, $S_{3.4}F_0$ 、 $S_{6.8}F_0$ 和 $S_{10.2}F_0$ 处理分别比 S_0F_0 处理提高了 2.5、4.8、11.4 mg/kg。成熟期玉米中各器官趋于成熟,停止对养分的吸收,植株中的养分转移到了籽粒中,锌含量比前几个时期明显下降。

由图 1 还可知,在苗期玉米植株 Zn 含量最高,随着玉米的生长,植株中的锌含量逐渐降低,至成熟期时植株中锌含量降到最低。

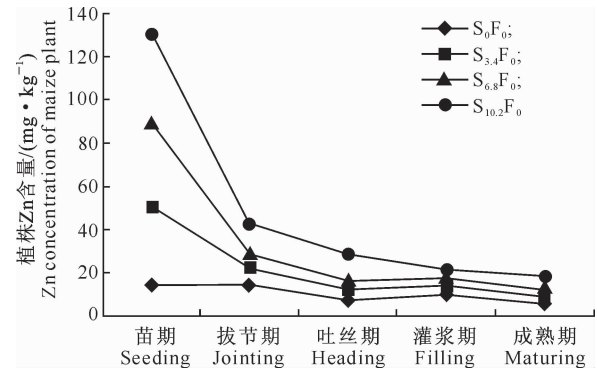


图 1 土施锌肥对不同生育期玉米植株锌含量的影响
Fig.1 Effects of soil application of Zn fertilizer on Zinc concentration of maize plants in different growth stages

2.2 土施和喷施锌肥对玉米籽粒锌含量的影响

土施和喷施锌肥对玉米籽粒中锌含量的影响见图 2。

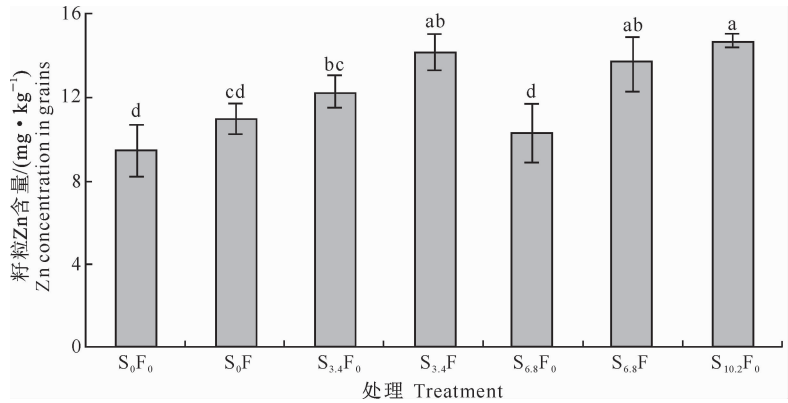


图 2 土施和喷施锌肥对玉米籽粒中锌含量的影响
图柱上标不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。图 3、4 同

Fig.2 Effects of soil application and foliar spray of Zn fertilizer on Zn concentration in grains of maize
Different lowercase letters mean significant difference ($P < 0.05$). The same for Fig. 3 and Fig. 4

从图 2 可以看出,玉米籽粒锌含量随着土施锌肥量的增加而增大, S_0F_0 处理玉米籽粒锌含量为 9.4 mg/kg, $S_{3.4}F_0$ 、 $S_{6.8}F_0$ 和 $S_{10.2}F_0$ 处理的籽粒锌

含量分别为 11.0、12.1 和 14.1 mg/kg,分别较 S_0F_0 处理提高了 1.6、2.7 和 4.7 mg/kg。土施+喷施锌肥的 S_0F 、 $S_{3.4}F$ 和 $S_{6.8}F$ 处理玉米籽粒锌含量分别

为 10.3,13.6 和 14.7 mg/kg,分别较 S_0F_0 处理提高了 0.9,4.2 和 5.3 mg/kg,其中 $S_{3.4}F$ 处理较 $S_{3.4}F_0$ 处理提高了 2.6 mg/kg, $S_{6.8}F$ 处理较 $S_{6.8}F_0$ 处理也提高了 2.6 mg/kg。土施锌肥和叶面喷施锌肥都能提高玉米籽粒中的锌含量,不同施锌方式对玉米籽粒锌含量的影响为:土施+喷施锌肥>喷施锌肥>土施锌肥>对照,这与曹玉贤等^[18]对冬小麦土壤锌肥和叶面喷施锌肥后籽粒锌含量的研究结果一致,说明土施+喷施锌肥能提高籽粒中锌含量。

2.3 土施和喷施锌肥对玉米籽粒产量和地上部分生物量的影响

由图 3 可以看出,在土施锌肥的处理中,玉米籽粒产量随着土施锌肥量的增加而增大,其中 S_0F_0 处

理玉米籽粒产量为 4 801 kg/hm², $S_{3.4}F_0$ 、 $S_{6.8}F_0$ 和 $S_{10.2}F_0$ 处理籽粒产量分别为 5 270,5 600 和 6 611 kg/hm²,较 S_0F_0 处理分别增产 9.7%,16.6%和 37.7%。在土施+喷施锌肥的处理中,玉米籽粒产量随着喷施量的增加而增大, S_0F 、 $S_{3.4}F$ 和 $S_{6.8}F$ 处理籽粒产量分别为 5 030,5 562 和 6 552 kg/hm²,其中 S_0F 处理较 S_0F_0 处理增产了 4.7%; $S_{3.4}F$ 处理较 S_0F_0 处理增产了 15.6%,较 $S_{3.4}F_0$ 处理增产 5.5%; $S_{6.8}F$ 处理较 S_0F_0 处理增产 36.5%,较 $S_{6.8}F_0$ 处理增产 17.0%。所以不同施锌方式对玉米籽粒的增产效果表现为:土施+喷施锌肥>土施锌肥>喷施锌肥>对照,说明土施+喷施锌肥能明显提高玉米籽粒产量。

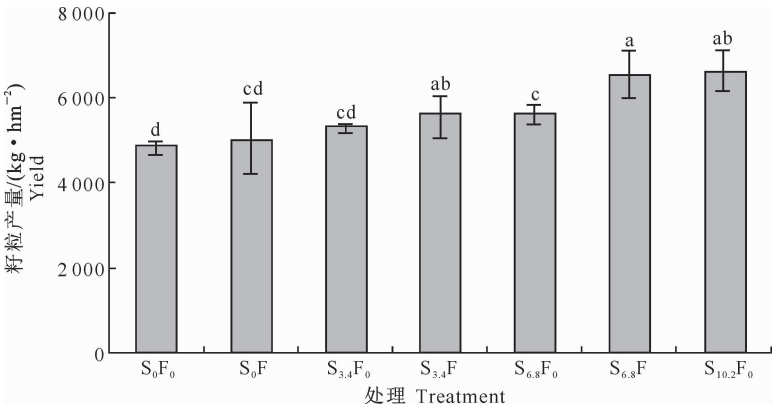


图 3 土施和喷施锌肥对玉米籽粒产量的影响

Fig. 3 Effects of soil application and foliar spray of Zn fertilizer on yield of maize

由图 4 可以看出,在土施锌肥的处理中,玉米地上部分生物量随着土施锌肥量的增加而增大,其中 S_0F_0 处理玉米地上部分生物量为 11.3 t/hm², $S_{3.4}F_0$ 、 $S_{6.8}F_0$ 和 $S_{10.2}F_0$ 处理玉米地上部分生物量分别为 12.0,13.0 和 13.6 t/hm²,较 S_0F_0 处理分别增加 0.7,1.7 和 2.3 t/hm²。在土施+喷施锌肥处理中,玉米地上部分生物量也随着土施锌肥量的增

加呈先增后减趋势, S_0F 、 $S_{3.4}F$ 和 $S_{6.8}F$ 处理玉米地上部分生物量分别为 14.5,15.7 和 15.4 t/hm²,其中 S_0F 处理较 S_0F_0 处理增加 3.2 t/hm²; $S_{3.4}F$ 处理较 S_0F_0 处理增加 4.4 t/hm²,较 $S_{3.4}F_0$ 处理增加 3.7 t/hm²; $S_{6.8}F$ 处理较 S_0F_0 处理增加 4.1 t/hm²,较 $S_{6.8}F_0$ 处理增加 2.4 t/hm²,说明土施+叶面喷施锌肥能明显提高玉米地上部分生物量。

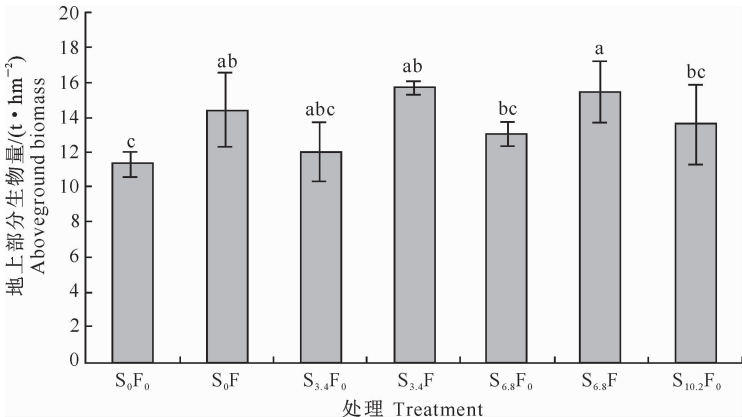


图 4 土施和喷施锌肥对玉米地上部分生物量的影响

Fig. 4 Effects of soil application and foliar spray of Zn fertilizer on aboveground biomass

2.4 土施锌肥对玉米锌肥利用率、Zn 吸收总量及 Zn 吸收速率的影响

经计算可知, $S_{3.4}F_0$ 、 $S_{6.8}F_0$ 和 $S_{10.2}F_0$ 3 个处理的 Zn 肥利用率分别为 2.26%、2.55%和 2.25%,且与土施 Zn 肥量无显著关系。由图 5 可以看出,在同一处理中,Zn 吸收总量随着生育期的推进而增加,

且玉米 Zn 吸收总量在拔节期—吐丝期增幅较大, S_0F_0 、 $S_{3.4}F_0$ 、 $S_{6.8}F_0$ 和 $S_{10.2}F_0$ 在拔节期—吐丝期吸收的 Zn 总量分别占其相应处理 Zn 吸收量的 28.7%、46.0%、43.4%和 64.7%。在同一生育阶段,玉米 Zn 吸收总量随着土施锌肥量的增加而增大。

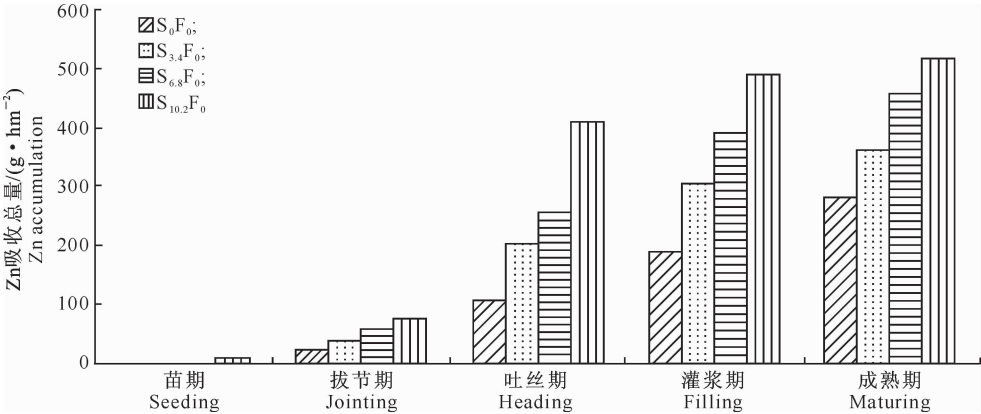


图 5 土施锌肥对不同生育期玉米 Zn 吸收总量的影响

Fig. 5 Effects of soil application of Zn fertilizer on Zn accumulation of maize in different growth stages

由图 6 可以看出,随着生育期推进,同一处理玉米地上部分的 Zn 吸收速率总体呈先上升后下降的趋势,其中拔节期—吐丝期 Zn 吸收速率最高,其次为苗期—拔节期和吐丝期—灌浆期 Zn 吸收速率,灌浆

期—收获期最低。其中 $S_{10.2}F_0$ 处理在拔节期—吐丝期 Zn 吸收速率最快,是其他生育阶段的 3.4~163.7 倍。

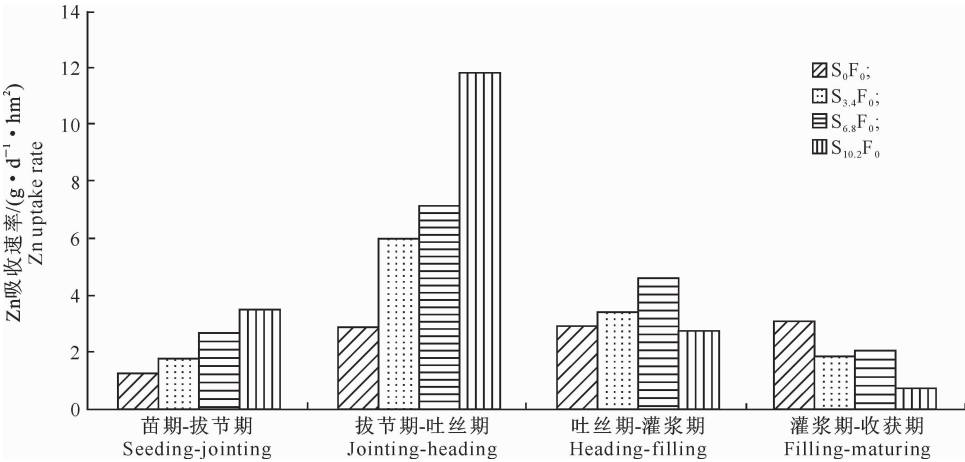


图 6 土施锌肥对不同生育期玉米地上部分锌吸收速率的影响

Fig. 6 Effects of soil application of Zn fertilizer on Zn uptake rate in aboveground organs of maize in different growth stages

3 结论与讨论

以往的研究多集中在缺 Zn 土壤施用锌肥的增产效果上^[19],结果表明,适当的供 Zn 能显著提高玉米的产量和品质^[20];施锌肥可以增加玉米产量,提高玉米籽粒和植株 Zn 含量^[21];叶面喷 Zn 能够明显提高小麦籽粒中锌含量^[22]。杨克军等^[23]研究表明,寒地盐碱土适量施 Zn,可以有效促进玉米植株生

长,增加干物质积累,提高玉米产量,Zn 肥最佳施用量为 30 kg/hm²;韩金玲等^[24]研究了旱地施用锌肥对冬小麦干物质积累及产量的影响,结果表明,低量施锌(11.25 kg/hm²)和中量施锌(22.5 kg/hm²)均能显著提高冬小麦的产量。

在本研究中,随着土施锌肥量的增加,玉米在各生育阶段(苗期、拔节期、吐丝期、灌浆期、成熟期)植株和籽粒 Zn 含量明显增加,说明即使土壤不是严

重缺锌,土施锌肥可增加玉米籽粒中的 Zn 含量,从而改善玉米作为食品原料的品质;此外,玉米秸秆中 Zn 含量的增加,可以提高以秸秆为粗饲料动物的锌摄入量。玉米苗期植株 Zn 含量最高,随着玉米生育期的推进,植株中 Zn 含量逐渐降低,这与其他营养元素在植物体中的含量分布规律相一致^[25]。本研究中,S_{3.4}F 和 S_{6.8}F 处理的玉米籽粒 Zn 含量较 S_{3.4}F₀ 和 S_{6.8}F₀ 处理均提高了 2.6 mg/kg,说明叶面喷施锌肥也是提高玉米籽粒锌含量的有效方法。

本研究中,玉米籽粒产量与土施锌肥量有关,在土施锌肥量最高条件(10.2 kg/hm²)下,其增产效果较明显,较 S₀F₀ 处理增产 37.7%。在土施 Zn 肥量相同时,叶面喷施 Zn 肥能明显提高玉米籽粒产量和地上部分生物量,说明土施 Zn 肥时,喷施 Zn 肥也可以增加玉米籽粒产量,但提高的幅度都不是很大;而土施+叶面喷施锌肥较 S₀F₀ 的增产效果较为明显,土施锌肥 3.4 和 6.8 kg/hm² 且喷施锌肥的处理 S_{3.4}F 和 S_{6.8}F 较 S₀F₀ 增产达 15.6% 和 36.5%,说明土施+叶面喷施锌肥对提高玉米籽粒产量有更好的效果。Zn 是植物生长所必需的元素,其可加快植物生长,促进植物成熟,使植株生长加速,增加植物干物质积累的时间^[26]。植株中 Zn 含量对叶绿素含量有很大影响^[27],这是因为适宜 Zn 含量可以提高作物的光合作用,从而增加群体光合产物积累,促进秆壮穗大,最终使产量和生物量增加^[16]。

有研究表明,玉米 Zn 肥利用率为 2.2%~3.5%^[28]。本研究中 S_{3.4}F₀、S_{6.8}F₀ 和 S_{10.2}F₀ 处理的 Zn 肥利用率分别为 2.26%、2.55%和 2.25%,与前人所报道的差异不大。在同一施锌水平下,玉米 Zn 吸收总量随玉米生育期推进而增加;在同一生育期,玉米 Zn 吸收总量随着土施 Zn 肥量的增加而增大。玉米拔节期—吐丝期,S_{10.2}F₀ 处理玉米锌吸收速率较 S₀F₀ 处理有显著提高,说明此阶段施用锌肥可明显提高玉米植株锌吸收速率。

[参考文献]

[1] Hotz C,Brown K H. Assessment of the risk of zinc deficiency in populations and options for its control [J]. Food Nutr Bull, 2005,25:94-203.

[2] Gibson R S. Zinc:The missing link in combating micronutrient malnutrition in developing countries [J]. Proc Nutr Soc,2006, 65:51-60.

[3] Prasad A S. Zinc:Mechanisms of host defense [J]. Nutr,2007, 137:1345-1349.

[4] Cakmak I. Enrichment of fertilizers with zinc: An excellent investment for humanity and crop production in India [J]. J Trace Elem Med Biol,2009,23:281-289.

[5] 马振江,周米平,扬金. 锌肥增产作用及其施用技术 [J]. 农业与技术,1995(5):16-19.

Ma Z J,Zhou M P,Yang J. Effect of zinc fertilizer and its application [J]. Agriculture & Technology, 1995(5):16-19. (in Chinese)

[6] 张喜军. 386 例儿童缺钙缺锌的治疗与分析 [J]. 中国妇幼保健,2011,26(35):5650-5651.

Zhang X J. Treatment and analysis of 386 cases of children with zinc deficiency calcium deficiency [J]. Maternal and Child Health Care of China,2011,26(35):5650-5651. (in Chinese)

[7] 翟静,李海波,张赛,等. 长春地区 1290 例儿童血锌检测结果分析 [J]. 中国妇幼保健,2007,22(34):4937.

Zhai J,Li H B,Zhang S,et al. The testing results of 1290 cases of children blood zinc in Changchun area [J]. Maternal and Child Health Care of China,2007,22(34):4937. (in Chinese)

[8] Zou C Q,Zhang Y Q,Rashid A,et al. Biofortification of wheat with zinc through zinc fertilization in seven countries [J]. Plant Soil,2012,361:119-130.

[9] 魏孝荣,郝明德,张春霞. 黄土高原地区连续施锌条件下土壤锌的形态及有效性 [J]. 中国农业科学,2005,38(7):1386-1393.

Wei X R,Hao M D,Zhang C X. Zinc fractions and availability in the soil of the Loess Plateau after long-term continuous application of zinc fertilizer [J]. Scientia Agricultura Sinica,2005, 38(7):1386-1393. (in Chinese)

[10] 王立河,王喜枝,刘松涛,等. 砂壤质潮土钾肥施用方式及与锌、硼配施对强筋小麦产量及品质的影响 [J]. 河南农业科学,2007(9):21-23.

Wang L H,Wang X Z,Liu S T,et al. Effects of combined use of K,Zn and B fertilization on yield and quality of high gluten wheat in sandy and loamy Chaotu soil [J]. Journal of Henan Agricultural Sciences,2007(9):21-23. (in Chinese)

[11] 杨晴,李彦生,王文颇,等. 旱地施用锌肥对冬小麦旗叶光合及衰老特性的影响 [J]. 麦类作物学报,2011,31(1):133-138.

Yang Q,Li Y S,Wang W P,et al. Influence of zinc fertilizer on the photosynthetic and senescent characteristic of flag leaf of winter wheat on dry land [J]. Journal of Triticeae Crops, 2011,31(1):133-188. (in Chinese)

[12] 张宇. 锌对寒地水稻返青、产量与品质的影响 [D]. 哈尔滨:东北农业大学,2012.

Zhang Y. Effect of zinc on turning green,yield and quality of rice in cold area [D]. Harbin:Northeast Agricultural University,2012. (in Chinese)

[13] 马红敏. 硫酸锌对大豆生长发育及产量、品质的影响 [D]. 黑龙江大庆:黑龙江八一农垦大学,2008.

Ma H M. The effect of ZnSO₄ · 7H₂O on growth,yield and quality of soybean [D]. Daqing, Heilongjiang: Heilongjiang Bayi Agricultural University,2008. (in Chinese)

[14] 石元亮,孙毅,许林书,等. 东北沙地与生态建设 [M]. 北京:科学出版社,2004:189-193.

- Shi Y L, Sun Y, Xu L S, et al. The northeast China sandy land and ecological construction [M]. Beijing: Science Press, 2004: 189-193. (in Chinese)
- [15] 龚魁杰, 许金芳, 吴建军. 中国玉米食品加工业的现状与发展对策 [J]. 粮食科技与经济, 2003(3): 43-44.
Gong K J, Xu J F, Wu J J. The corn food processing industry in China situation and development strategy [J]. Grain Science and Technology and Economy, 2003(3): 43-44. (in Chinese)
- [16] 蔡鑫鑫. 寒地春玉米锌效率品种间差异及锌对玉米产量品质的影响 [D]. 黑龙江大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2010.
Cai X X. Zinc efficiency in different spring maize varieties and the effects of zinc on yield and quality in cold region [D]. Daqing, Heilongjiang: Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2010. (in Chinese)
- [17] 诸堃, 王君, 李刚. 微波消解-ICP-AES测定植物样品中多种微量元素 [J]. 光谱实验室, 2009, 26(5): 1168-1171.
Zhu K, Wang J, Li G. Determination of trace elements in plant samples by ICP-AES with microwave digestion [J]. Chinese Journal of Spectroscopy Laboratory, 2009, 26(5): 1168-1171. (in Chinese)
- [18] 曹玉贤, 田霄鸿, 杨习文, 等. 土施和喷施锌肥对冬小麦子粒锌含量及生物有效性的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(6): 1394-1401.
Cao Y X, Tian X H, Yang X W, et al. Effects of soil and foliar applications of Zn on winter wheat grain Zn concentration and bioavailability [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2010, 16(6): 1394-1401. (in Chinese)
- [19] 彭琳, 彭祥林, 余存祖, 等. 黄土地区土壤中锌的含量分布、锌肥肥效及其有效施用条件 [J]. 土壤学报, 1983, 20(4): 361-371.
Peng L, Peng X L, Yu C Z, et al. Zinc concentration in soils of loessal region, effect of zinc fertilizer and effective conditions for its application [J]. Acta Pedologica Sinica, 1983, 20(4): 361-371. (in Chinese)
- [20] 李芳贤, 王金林, 李玉兰, 等. 锌对夏玉米生长发育及产量影响的研究 [J]. 玉米科学, 1999, 7(1): 72-76.
Li F X, Wang J L, Li Y L, et al. Studies on influence of zinc to the summer corn growth, development and yield [J]. Journal of Maize Sciences, 1999, 7(1): 72-76. (in Chinese)
- [21] 孙建华, 李志洪, 李辛, 等. 高量土施锌肥对玉米 Zn 吸收和积累及产量的影响研究 [J]. 水土保持学报, 2012, 8(4): 212-215.
Sun J H, Li Z H, Li X, et al. Influence of high-application of zinc fertilizers on absorption and accumulation of Zn concentration and maize yield [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2012, 8(4): 212-215. (in Chinese)
- [22] 张晓, 卜冬宁, 李瑞奇, 等. 叶面喷施微肥对冬小麦产量和品质的影响 [J]. 麦类作物学报, 2012, 32(4): 747-749.
Zhang X, Bu D N, Li R Q, et al. Effects of foliar spraying microelement fertilizers on yield and quality of winter wheat [J]. Journal of Triticeae Crops, 2012, 32(4): 747-749. (in Chinese)
- [23] 杨克军, 王庆祥, 田在军, 等. 锌对寒地盐碱土玉米生长发育及产量的影响 [J]. 玉米科学, 2009, 17(1): 120-123.
Yang K J, Wang Q X, Tian Z J, et al. Effect of zinc fertilizer on growth, development and yield of maize in saline-alkaline soil in cold region [J]. Journal of Maize Sciences, 2009, 17(1): 120-123. (in Chinese)
- [24] 韩金玲, 杨晴, 周印富, 等. 旱地施用锌肥对冬小麦干物质积累和产量的影响 [J]. 麦类作物学报, 2010, 30(2): 358-361.
Han J L, Yang Q, Zhou Y F, et al. Effect of zinc fertilizer on the accumulation of dry matter and yield of winter wheat in dry land [J]. Journal of Triticeae Crops, 2010, 30(2): 358-361. (in Chinese)
- [25] 陆景陵. 植物营养学 [M]. 2 版. 北京: 中国农业大学出版社, 2003: 12-59.
Lu J L. Plant nutrition [M]. 2nd ed. Beijing: China Agricultural University Press, 2003: 12-59. (in Chinese)
- [26] 郝明德, 魏孝荣, 党延辉. 旱地小麦长期施用锌肥的增产作用及土壤肥效 [J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(3): 377-380.
Hao M D, Wei X R, Dang T H. Effect of long-term applying zinc fertilizer on wheat yield and zinc absorption by wheat in dry land [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2003, 9(3): 377-380. (in Chinese)
- [27] 魏孝荣, 郝明德, 邱莉萍, 等. 干旱条件下锌肥对玉米生长和光合色素的影响 [J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2004, 32(9): 111-114.
Wei X R, Hao M D, Qiu L P, et al. Effect s of zinc fertilizer on maize growth and photosynthetic pigments under drought condition [J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition, 2004, 32(9): 111-114. (in Chinese)
- [28] 李楠, 刘淑霞, 宋建国, 等. 玉米施用锌、磷及有机肥的肥效研究 [J]. 贵州农业科学, 2001, 29(3): 14-18.
Li N, Liu S X, Song J G, et al. Effect of zinc, phosphate and organic fertilizer on growth and yield of maize [J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2001, 29(3): 14-18. (in Chinese)