

doi:10.7668/hbxb.2014.06.034

锌肥施用量及方式对夏玉米籽粒淀粉含量和产量的影响

甘万祥,高巍,刘红恩,王巧燕,赵鹏

(河南农业大学 资源与环境学院,河南 郑州 450002)

摘要:为了探明不同土壤类型和生态气候条件下夏玉米的适宜锌肥施用量及方式,2013年6-9月,在浚县、禹州和偃师分别布置田间小区试验,研究不同土壤类型和生态气候条件下锌肥施用量及方式对夏玉米籽粒淀粉含量及产量的影响。结果表明,适量的锌肥能增加夏玉米大喇叭口期、吐丝期和灌浆期叶片中可溶性糖含量、籽粒淀粉含量和籽粒产量。总体上,浚县、禹州和偃师3个研究区域夏玉米叶片中可溶性糖含量均以锌肥施用量30 kg/hm²最好;等量锌肥施用量条件下,土施处理优于土施+喷施处理。浚县、禹州和偃师夏玉米籽粒淀粉含量分别在土施锌肥15,30,30 kg/hm²时达到最大值;等量锌肥施用量条件下,土施处理优于土施+喷施处理。浚县、禹州和偃师夏玉米地上部分干物质质量分别在土施锌肥15 kg/hm²+2次各喷施锌肥7.5 kg/hm²、土施锌肥30 kg/hm²和土施锌肥15 kg/hm²处理时达到最大值;土施+喷施锌肥能增加浚县夏玉米地上部分干物质质量,而在不同锌肥水平下禹州和偃师夏玉米地上部分干物质质量呈现不同变化规律。浚县、禹州和偃师的夏玉米籽粒产量分别达到最大值的锌肥施用量与夏玉米地上部分干物质质量相同;与浚县比较,土施锌肥对禹州和偃师夏玉米的增产作用较大。

关键词:锌肥;土施;喷施;籽粒产量;可溶性糖;淀粉;地上部分干物质

中图分类号:S143.7;S513 文献标识码:A 文章编号:1000-7091(2014)06-0202-06

Effects of Different Ways of Applying Zinc Fertilizer and the Amount of Zinc Fertilizer on the Content of Starch in Summer Maize and Yield of Summer Maize

GAN Wan-xiang, GAO Wei, LIU Hong-en, WANG Qiao-yan, ZHAO Peng

(College of Resource and Environmental, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: There were many researches about the effect of zinc on the soluble sugar in the leaf, starch in the grain and grain yield of summer maize. But the research which was set up at three locations with different soil types and ecological conditions was too little. So we decorated a field plot test at Xunxian, Yuzhou and Yanshi for the research of zinc fertilizer application pattern the influence on grain starch content and the yield of summer maize under different soil types and ecological conditions. Six treatments were set up in the experiments. They were Zn0, Zn15, Zn30, Zn45, xZn15 and yZn30. The results showed that; the right amount of zinc fertilizer can increase the content of soluble sugar in the leaf and starch in the grain and grain yield of summer maize. The appropriate amount of zinc fertilizer was different among Xunxian, Yuzhou and Yanshi when the amount of the soluble sugar in the leaf of summer corn reached the maximum. Overall, the best amount of zinc fertilizer was 30 kg/ha when corn leaf soluble sugar content reached the maximum for Yuzhou, Xunxian and Yanshi. For increasing the amount of the soluble sugar in the leaf of summer maize, Soil zinc fertilizer was better than Soil + Spary zinc fertilizer when the amount of zinc fertilizer was same. The content of starch in the grain of summer maize reached the maximum when the treatment was Zn15, Zn30, Zn30 in Xunxian, Yuzhou, Yanshi. For increasing the content of starch in the grain of summer maize, Soil zinc fertilizer was better than Soil + Spary zinc fertilizer at the same amount of zinc fertilizer. The dry

收稿日期:2014-10-05

基金项目:河南省省院合作项目(12210600047)

作者简介:甘万祥(1989-),男,河南正阳人,在读硕士,主要从事植物营养研究。

通讯作者:赵鹏(1967-),男,河南滑县人,教授,博士,主要从事植物营养研究。

matter yield of summer maize achieve maximum when the treatment was soil zinc fertilizer 15 kg/ha + twice each spraying zinc weight 7.5 kg/ha, soil zinc fertilizer 30 kg/ha and soil zinc fertilizer 15 kg/ha for Xunxian, Yuzhou and Yanshi. Soil + Spary zinc fertilizer can gain dry matter of Xunxian summer corn, but the change of ground dry matter of summer maize was differernt between the different amount of zinc fertilizer for Yuzhou and Xunxian. The amount of zinc fertilizer when the grain yield of summer maize reached the maximum value was the same as the dry matter yield of maize achieve maximum value for Xunxian, Yuzhou and Yanshi. When the amount of zinc fertilizer was same, the effect of Soil + Spray zinc fertilizer on the grain yield of summer corn in Yanshi and Yuzhou was better than Xunxian.

Key words: Zinc fertilizer; Soil application; Foliar spraying; Grain yield; Soluble sugar; Starch; Ground dry matter

锌是植物和人体必需的微量元素, 锌的重要性日益受到重视^[1-2]。世界范围内的土壤缺锌现象十分普遍^[3], 我国有 40% 的土壤缺锌^[4], 特别是华北地区石灰性土壤缺锌现象十分普遍^[5]。在发展中国家, 缺锌已成为影响人体健康的第五大因素^[6]。玉米对缺锌敏感^[7], 缺锌时玉米的光合速率下降、生长发育受阻、产量和品质降低^[8-10]。在生产中, 施用锌肥是提高玉米产量和品质的重要措施, 但有关锌肥适宜的用量及施用方式未有一致结论。王孝忠等^[11]的研究表明, 在施用锌肥 20 ~ 30 kg/hm² 时, 玉米增产率最大。周伟^[12]研究表明, 施用锌肥可以提高两季作物产量, 不同施锌方法作物的增产效果不同, 其中土施增产率明显高于叶面喷施和拌种处理, 是最好的施锌方法。但也有学者认为叶面喷施锌肥的锌利用效率远高于土施^[13]。另有学者在石灰性土壤上研究不同的锌肥施用方法对作物锌吸收的影响, 发现锌肥与堆肥和家畜粪便混合施用

更能提高作物对锌的吸收^[14]。在不同锌肥用量及施用方式下夏玉米产量变化方面, 国内报道大多集中在同一土壤类型条件下, 而同时在 3 种生态气候类型条件下研究不同锌肥施用量及方式对夏玉米产量影响的报道较少^[15-16]。为此, 在河南省北部(豫北)浚县、中部(豫中)禹州和西部(豫西)偃师 3 个不同的生态类型区分别布置田间试验, 研究不同的锌肥施用量及方式对夏玉米籽粒淀粉含量和产量的影响, 以期对河南省不同地区夏玉米合理施用锌肥、提高夏玉米产量提供指导。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

本试验于 2013 年 6 - 9 月分别在豫北浚县(114°32'E, 34°40'N)、豫中禹州(113°33'E, 33°59'N)和豫西偃师(112°26'E, 34°27'N) 3 个地点进行。试验地点土壤物理性质如表 1。

表 1 供试土壤的基本性质

Tab. 1 Properties of tested soil

地点 Location	土壤类型 Soil type	有机质 /(g/kg) Organic matter	碱解氮 /(mg/kg) Available N	速效磷 /(mg/kg) Available P	速效钾 /(mg/kg) Available K	有效锌 /(mg/kg) Available zinc	pH
禹州 Yuzhou	黄土质褐土	20.7	21.0	5.12	180.00	0.38	7.62
浚县 Xunxian	黏壤质潮土	18.3	28.0	2.57	206.67	0.50	7.33
偃师 Yanshi	壤质潮土	26.2	32.7	8.22	523.33	0.84	7.21

注: 土层深度为 0 ~ 20 cm。

Note: Soil layer is 0 ~ 20 cm.

1.2 试验设计

供试夏玉米品种为浚单 29。试验共 6 个处理, 分别设置 4 个锌肥 ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 水平和 2 种施锌方式, 即: Zn0 (不施锌)、Zn15 (土施锌肥 15 kg/hm²)、Zn30 (土施锌肥 30 kg/hm²)、Zn45 (土施锌肥 45 kg/hm²)、xZn15 (土施锌肥 7.5 kg/hm² + 播种后 45 d 喷施锌肥 7.5 kg/hm²)、yZn30 (土施锌肥 15 kg/hm² + 播种后 45, 58 d 均喷施锌肥 7.5 kg/hm²)。土施锌肥日期为夏玉米播种后 24 d, 锌肥喷施浓度为 0.3%, 详细实施日期见表 2。每个处

理重复 3 次, 共 18 个小区, 禹州和偃师小区长 8 m、宽 4 m, 小区面积为 32 m²; 浚县小区长 6 m、宽 3.6 m, 小区面积 21.6 m², 各区组处理随机排列。

各小区均施用磷肥 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 75 kg/hm²、钾肥 KCl 90 kg/hm²、氮肥 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 240 kg/hm²。钾肥和磷肥在夏玉米拔节期结合浇水开沟施入, 氮肥分别在拔节期和大喇叭口期等量浇水开沟施入。夏玉米种植密度 67 500 株/hm², 株距 25 cm, 行距 60 cm。

表 2 试验具体实施日期

Tab. 2 Specific implementation date of test

地点 Location	播种日期 /(月-日) Sowing date	施肥日期/(月-日) Application date			采样日期/(月-日) Sampling date			收获日期 /(月-日) Harvest date
		土施 Basal application	第 1 次喷施 First spraying	第 2 次喷施 Second spraying	大喇叭口期 Shooting stage	吐丝期 Large bell stage	灌浆期 Filling stage	
浚县 Xunxian	06-14	07-06	07-29	08-11	08-06	08-18	08-29	09-25
禹州 Yuzhou	06-06	06-30	07-23	08-05	07-30	08-12	08-24	09-18
偃师 Yanshi	06-07	07-01	07-24	08-06	08-01	08-13	08-25	09-19

1.3 测定项目及方法

于夏玉米大喇叭口期采取最新完全展开叶、吐丝期和灌浆期采取穗位叶,采用硫酸蒽酮比色法测定夏玉米叶片中可溶性糖含量。于成熟期采集地上部分样品,然后在 105 ℃ 下杀青 30 min,在 80 ℃ 下烘至恒重,称量干质量。成熟期籽粒淀粉含量采用硫酸蒽酮比色法测定。每小区内随机收获 20 穗测定穗长、穗粒数、千粒质量、籽粒产量。

1.5 数据处理

采用 Excel 2003 和 SPSS19.0 软件对试验数据进行统计分析,采用 LSD 法进行各处理间的多重比较。

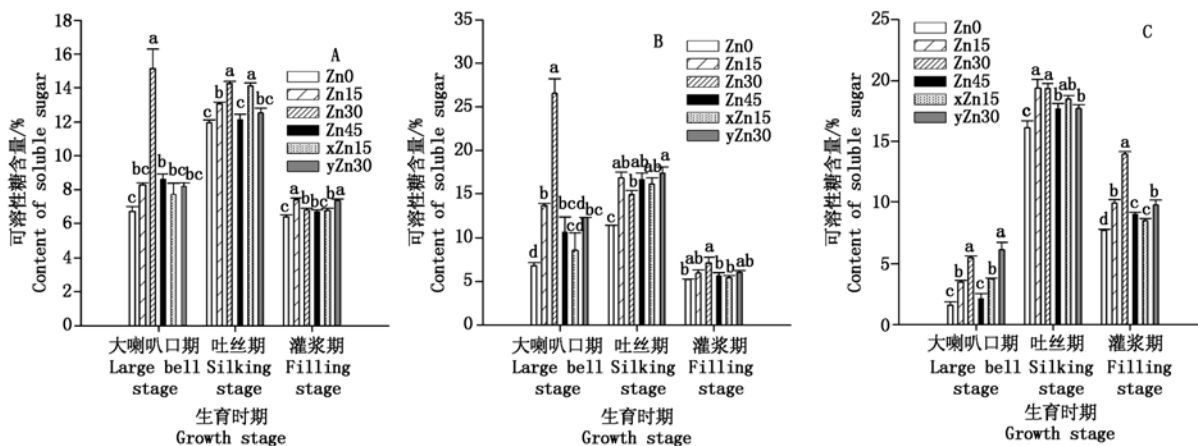
2 结果与分析

2.1 锌肥施用量及方式对夏玉米叶片可溶性糖含量的影响

可溶性糖是玉米叶片的主要光合产物,为淀粉合成的底物。叶片可溶性糖含量高低与籽粒淀粉的积累有密切关系^[17]。如图 1 所示,施用锌肥能增加夏玉米大喇叭口期、吐丝期和灌浆期叶片中可溶性糖含量。在浚县,大喇叭口期、吐丝期和灌浆期夏玉米叶中可溶性糖含量分别以 Zn30、Zn30 和 Zn15 处

理最大;在禹州,上述时期夏玉米叶中可溶性糖含量分别以 Zn30、yZn30 和 Zn30 处理最大;在偃师,上述时期夏玉米叶片中可溶性糖含量分别以 yZn30、Zn15、Zn30 处理最大。

同一地点施用等量锌肥时,浚县和禹州夏玉米大喇叭口期叶片中可溶性糖含量土施+喷施处理低于土施处理,而偃师土施+喷施处理高于土施处理。因为玉米对磷和锌的吸收存在拮抗作用^[18],偃师土壤速效磷含量较高,抑制了玉米根系从土壤中吸收锌。在施用等量锌肥时,偃师夏玉米吐丝期叶片中可溶性糖含量土施处理均大于土施+喷施处理;而浚县夏玉米吐丝期叶片中可溶性糖含量 Zn15 处理小于 xZn15 处理,Zn30 处理大于 yZn30 处理;禹州地区夏玉米吐丝期叶中可溶性糖含量 Zn15 处理大于 xZn15 处理,Zn30 处理小于 yZn30 处理。施用锌肥 15 kg/hm² 时,同一地点夏玉米灌浆期叶片中可溶性糖含量土施+喷施处理均低于土施处理;施用锌肥 30 kg/hm² 时,偃师和禹州夏玉米灌浆期叶片中可溶性糖含量土施+喷施处理低于土施处理,而浚县土施+喷施处理高于土施处理。综上,总体上 3 个研究区域均以锌肥施用量 30 kg/hm² 最好,尤其是土施处理。



A. 浚县, B. 禹州, C. 偃师; 不同小写字母表示各处理平均值在 $P < 0.05$ 水平上差异显著, 数据为 3 个数据的平均值, 图 2~3 同。

A. Xunxian, B. Yuzhou, C. Yanshi; Different lowercase letters indicate the process mean significant difference at $P < 0.05$ level, data are averages of three datas. The same as Tab. 2-3.

图 1 锌肥对玉米叶片中可溶性糖含量的影响

Fig. 1 Effect of zinc fertilizer on the soluble sugar of the leaves of maize

2.2 锌肥施用量及方式对夏玉米籽粒淀粉含量的影响

淀粉是玉米籽粒的主要成分,一般占玉米籽粒重量的 70% 左右。籽粒淀粉含量的高低直接影响玉米的产量和品质^[19]。从图 2 可以看出,施用适量的锌肥能增加夏玉米籽粒淀粉含量。夏玉米籽粒淀粉含量随锌肥施用量的增加先增加后降低。浚县、禹州和偃师夏玉米籽粒淀粉含量分别以 Zn15、Zn30 和 Zn30 处理最大。这和前面夏玉米灌浆期叶片中可溶性糖含量变化趋势一致。3 个地点 Zn45 处理夏玉米籽粒淀粉含量均最低。说明过量施用锌肥会抑制夏玉米籽粒淀粉含量的提高。同一地点施用等量的锌肥,夏玉米籽粒淀粉含量土施 + 喷施处理低于土施处理。

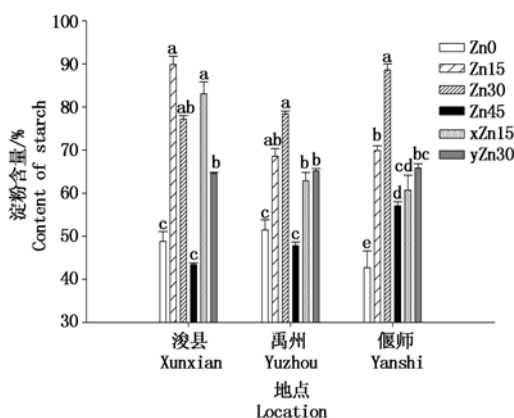


图 2 锌肥对玉米籽粒中淀粉含量的影响

Fig. 2 Effect of zinc fertilizer on starch in the grain of maize

2.3 锌肥施用量及方式对夏玉米地上部分干物质质量的影响

干物质是产量形成的物质基础^[20]。由图 3 可以看出,与不施用锌肥处理相比,施用锌肥能显著增加浚县、禹州和偃师夏玉米地上部分干物质质量。总体上,夏玉米地上部分干物质质量随锌肥施用量的增加先增加后降低。浚县、禹州和偃师夏玉米地上部分干物质质量分别以 yZn30、Zn30 和 Zn15 处理最大。施用锌肥 15 kg/hm² 时,浚县和禹州夏玉米地上部分干物质质量土施 + 喷施处理高于土施处理,而偃师土施 + 喷施处理低于土施处理;施用锌肥 30 kg/hm² 时,浚县和偃师夏玉米地上部分干物质质量土施 + 喷施处理高于土施处理,而禹州土施 + 喷施处理低于土施处理。土施 + 喷施锌肥能增加浚县夏玉米地上部分干物质质量,而在不同锌肥水平下禹州和偃师夏玉米地上部分干物质质量呈现不同变化规律。

2.4 锌肥施用量及方式对夏玉米产量及其构成因子的影响

由表 3 可以看出,施用锌肥显著提高了夏玉米

籽粒产量,且夏玉米籽粒产量随着锌肥施用量的增加先增加后降低。浚县、禹州和偃师的夏玉米籽粒产量分别以 yZn30、Zn30、Zn15 处理最大,这与夏玉米地上部分干物质质量变化趋势一致,分别较不施锌肥处理提高 16.68%, 14.37%, 8.33%。从产量构成来看,籽粒产量达到最大时,浚县夏玉米穗粒数和穗长达到最大;禹州千粒质量、穗粒数和穗长均达到最大;偃师穗粒数和穗长达到最大,千粒质量较大。说明施用锌肥主要提高了浚县夏玉米的穗粒数和穗长,禹州和偃师夏玉米的千粒质量、穗粒数和穗长,进而提高夏玉米产量。

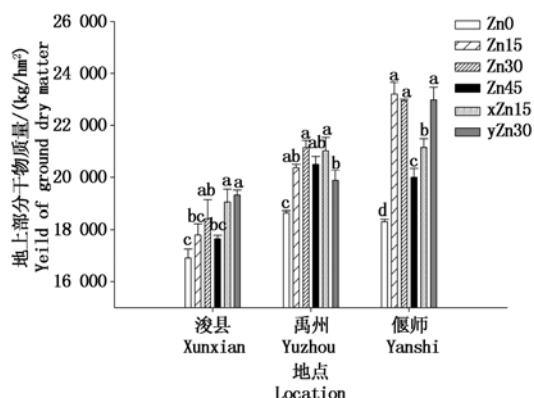


图 3 锌肥对夏玉米地上部分干物质质量的影响

Fig. 3 Effect of zinc fertilizer on ground dry matter of maize

同一地点施用等量锌肥,禹州和偃师夏玉米籽粒产量土施 + 喷施低于土施处理。施用锌肥 15 kg/hm² 时,浚县夏玉米籽粒产量土施 + 喷施处理高于土施处理,差异不显著;而施用锌肥 30 kg/hm² 时,土施 + 喷施处理高于土施处理。施用等量锌肥时,禹州和偃师夏玉米穗粒数、穗长和千粒质量均为土施 + 喷施处理低于土施处理;而浚县穗粒数和穗长均为土施 + 喷施处理高于土施处理,千粒质量土施 + 喷施处理低于土施处理。

综上,在增加夏玉米籽粒产量方面,浚县、禹州和偃师最佳锌肥施用量及方式分别为土施锌肥 15 kg/hm² + 2 次各喷施锌肥 7.5 kg/hm²、土施锌肥 30 kg/hm² 和土施锌肥 15 kg/hm²。施用等量锌肥时,土施方式更能增加禹州和偃师夏玉米籽粒产量。在施用锌肥 30 kg/hm² 时,土施 + 喷施对浚县夏玉米籽粒产量增加较大。

3 讨论

3.1 施用锌肥对夏玉米叶片中可溶性糖含量和籽粒淀粉含量的影响

可溶性糖是叶片光合同化物,是玉米籽粒产量的主要来源^[21-23]。施用锌肥能增强玉米叶片的光

表 3 夏玉米产量及产量构成因素

Tab.3 Summer maize yield and yield factors

地点 Location	处理 Treatment	千粒质量/g Weight of thousand-grain	穗粒数/粒 Grain numbers per spike	穗长/cm Spike length	籽粒产量/(kg/hm ²) Economic yield
浚县 Xunxian	Zn0	273.34 ± 1.7d	511.16 ± 0.3b	15.12 ± 0.1c	9 895.50 ± 64.3d
	Zn15	292.55 ± 1.0b	570.27 ± 0.1a	16.15 ± 0.3a	10 701.50 ± 27.2c
	Zn30	320.77 ± 1.6a	584.19 ± 0.1a	16.55 ± 0.3a	11 205.00 ± 30.9b
	Zn45	295.93 ± 4.7b	557.39 ± 0.0a	15.42 ± 0.4b	10 860.75 ± 6.7c
	xZn15	283.85 ± 0.2c	581.91 ± 0.5a	16.23 ± 0.2a	10 716.75 ± 80.5c
禹州 Yuzhou	yZn30	289.31 ± 8.1bc	591.23 ± 0.6a	16.68 ± 0.1a	11 545.88 ± 64.1a
	Zn0	278.21 ± 1.7b	566.86 ± 10.6d	15.47 ± 0.4c	10 550.25 ± 47.2e
	Zn15	281.41 ± 0.8b	599.77 ± 5.3bc	16.46 ± 0.0b	11 765.25 ± 6.7b
	Zn30	292.46 ± 0.8a	648.06 ± 7.3a	17.17 ± 0.4a	12 066.75 ± 70.9a
	Zn45	284.41 ± 1.8ab	602.83 ± 7.0bc	16.25 ± 0.2b	11 562.75 ± 74.2c
偃师 Yanshi	xZn15	246.53 ± 3.8c	589.02 ± 7.3c	16.12 ± 0.3b	11 373.75 ± 66.4d
	yZn30	287.35 ± 1.0ab	604.15 ± 7.5b	16.46 ± 0.3b	11 589.75 ± 60.7c
	Zn0	271.63 ± 0.3c	579.43 ± 4.3d	16.13 ± 0.2b	10 620.00 ± 38.9e
	Zn15	284.14 ± 2.8a	645.83 ± 7.4a	17.37 ± 0.1a	11 505.38 ± 43.8a
	Zn30	284.21 ± 1.2a	629.06 ± 2.3b	17.06 ± 0.2a	11 316.38 ± 23.6bc
	Zn45	273.68 ± 0.7c	635.40 ± 12.ab	16.91 ± 0.8a	11 179.13 ± 41.9d
	xZn15	278.09 ± 0.5b	598.05 ± 8.8c	17.15 ± 0.4a	11 367.00 ± 94.5b
	yZn30	273.09 ± 0.8c	612.07 ± 4.3c	16.83 ± 0.1ab	11 238.75 ± 67.5cd

注:同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。

Note: The different small letters after the data within the same column mean significant difference($P < 0.05$).

合作用^[24-25],进而提高玉米叶片中可溶性糖含量。本试验发现,施用锌肥能增加夏玉米大喇叭口期、吐丝期和灌浆期叶片中可溶性糖含量,且不同生态气候类型条件下锌肥适宜施用量不同。浚县、禹州和偃师夏玉米大喇叭口期叶中可溶性糖含量均在施用锌肥 30 kg/hm² 时达到最大值,但偃师施用方式以土施+喷施处理为优。在吐丝期和灌浆期则无明显规律,这需要进行进一步的试验研究。同一地点施用等量锌肥时,土施+喷施锌肥处理仅能增加偃师夏玉米大喇叭口期叶片中可溶性糖含量。究其原因,可能是因为偃师土壤速效磷含量较禹州和浚县高,夏玉米对磷和锌的吸收存在拮抗作用^[18]。孙继等^[26]的研究认为,灌浆期间叶片可溶性糖含量与籽粒直链淀粉含量、支链淀粉含量和总淀粉含量均呈显著或极显著正相关。本试验表明,夏玉米籽粒淀粉含量与灌浆期叶片中可溶性糖含量在同一锌肥水平处理时达到最大,说明两者具有相关性。南丽丽等^[27]的研究得出,施用锌肥能增加苜蓿籽粒淀粉含量。本试验表明,施用锌肥能增加夏玉米籽粒中淀粉含量,且同一锌肥水平时,土施锌肥较土施+喷施锌肥增加夏玉米籽粒淀粉含量的效果好。这和徐振江等^[28]在水稻上的研究试验结果相反。

3.2 施用锌肥对夏玉米地上部分干物质和籽粒产量的影响

康利允等^[29]的研究表明,施用锌肥能增加夏玉米干物质质量。本研究结果表明,施用锌肥能增加夏

玉米地上部分干物质质量,豫北浚县、豫中禹州和豫西偃师夏玉米地上部分干物质质量分别以 yZn30、Zn30 和 Zn15 处理最大。

施用锌肥能增加夏玉米的籽粒产量^[30-32]。本研究发现,施用锌肥能增加浚县、禹州和偃师夏玉米籽粒产量,3 个地区籽粒产量分别以 yZn30、Zn30 和 Zn15 处理最大,这与夏玉米地上部分干物质质量变化趋势一致,分别较不施锌肥处理提高 16.68%, 14.37% 和 8.33%。这是因为一方面锌肥肥效与土壤供锌能力有关。偃师土壤有效锌含量最高,禹州有效锌含量最低;另一方面,土壤有机质含量越高,越利于玉米对锌的吸收^[18]。浚县土壤有机质含量较低,锌易被固定。施用等量锌肥时,土施+喷施锌肥处理更能增加浚县夏玉米籽粒产量。

综上,施用锌肥可提高夏玉米籽粒产量。在本试验条件下,豫北浚县、豫中禹州和豫西偃师,夏玉米籽粒产量达到最高的施锌肥模式及用量分别为土施锌肥 15 kg/hm²+2 次各喷施锌肥 7.5 kg/hm²、土施锌肥 30 kg/hm² 和土施锌肥 15 kg/hm²。

参考文献:

- [1] 徐晓燕,杨肖娥,杨玉爱. 锌在植物中的形态及生理作用机理研究进展[J]. 广东微量元素科学, 1999, 6(11): 1-6.
- [2] 胡明芳,文启凯,田长彦. 作物锌素营养研究进展与展望[J]. 新疆农业科学, 1997, 5(1): 214-216.
- [3] 孙桂芳,杨光穗. 土壤-植物系统中锌的研究进展[J].

- 华南热带农业大学学报, 2002, 8(2): 22-30.
- [4] 王人民, 杨肖娥, 杨玉爱. 水稻耐低锌基因型的生长发育和若干生理特性研究[J]. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(3): 284-293.
- [5] 刘 铮. 中国土壤微量元素[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1996: 177-203.
- [6] Anthony R, Patrick V, Thomson P, *et al.* The world health report 2002-Reducing risks, promoting healthy life[R]. Geneva: World Health Organization, 2002: 162-163.
- [7] 高 质, 林 葆, 周 卫. 锌素营养对春玉米内源激素与氧自由基代谢的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(4): 424-428.
- [8] 毛 晖. 锌肥与水分对旱地缺锌区玉米生长及品质的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013.
- [9] 韩 冰, 郑克宽. 镁锌硼锰元素对烤烟产量及质量影响的研究[J]. 内蒙古农牧学院学报, 1999, 20(1): 72-73.
- [10] 李 延, 秦遂初. 锌对水稻生理代谢的影响及潜在性的缺锌诊断[J]. 福建农业大学学报, 1999(1): 56.
- [11] 王孝忠, 田 娣, 邹春琴. 锌肥不同施用方式及施用量对我国主要粮食作物增产效果的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(4): 998-1004.
- [12] 周 伟. 不同施锌方法对小麦含锌量及产量影响的研究[J]. 生态农业研究, 1995, 3(1): 34-38.
- [13] 李孟华, 王朝辉, 王建伟, 等. 低锌旱地施锌方式对小麦产量和锌利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(6): 1346-1355.
- [14] Singh A P, Sakal R, Singh B P, *et al.* Relative effectiveness of various types and methods of zinc application on rice and maize crops grown in calcareous soil[J]. Plant and Soil, 1983, 73(3): 315-322.
- [15] 刘智龙. 土施和叶面喷锌对玉米锌吸收和分布的影响研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2012.
- [16] 李 辛. 锌肥施用方式对玉米锌吸收积累的影响[D]. 长春: 吉林农业大学, 2013.
- [17] 刘晓冰, 李文雄, 张志学. 春小麦籽粒灌浆过程中淀粉和蛋白质积累规律的初步研究[J]. 作物学报, 1996, 22(6): 736-740.
- [18] 李 楠, 刘淑霞, 刘 伟, 等. 黑土、黑钙土锌肥的有效施用及其与玉米产量的关系[J]. 吉林农业大学学报, 2001, 23(2): 68-72.
- [19] 张保仁, 董树亨, 胡昌浩, 等. 高温对玉米籽粒淀粉合成及产量的影响[J]. 作物学报, 2007, 33(1): 38-42.
- [20] 黄智鸿, 王思远, 包 岩, 等. 超高产玉米品种干物质积累与分配特点的研究[J]. 玉米科学, 2007, 15(3): 95-98.
- [21] Simmons S R, Jones R J. Contributions of pre-silking assimilate to grain yield in maize [J]. Crop Science, 1985, 25: 1004-1006.
- [22] Hashemi A M, Herbert S J, Putnam D H. Yield response of corn to crowding stress [J]. Agronomy Journal, 2005, 97(3): 839-846.
- [23] 申加祥, 宁堂原, 李增嘉, 等. 不同熟期玉米套作夏玉米可溶性糖含量与产量形成[J]. 玉米科学, 2004, 12(2): 65-68.
- [24] 张福锁. 缺锌对苹果苗光合作用的影响[J]. 北京农业大学学报, 1991, 17(4): 30-31.
- [25] 魏孝荣, 郝明德, 张春霞, 等. 土壤干旱条件下外源锌、锰对夏玉米光合特性的影响[J]. 作物学报, 2005, 31(8): 1101-1104.
- [26] 孙 继, 顾万荣, 赵东旭, 等. 不同株型玉米灌浆期穗位叶可溶性糖含量和子粒淀粉积累关系的研究[J]. 作物杂志, 2012(2): 80-83.
- [27] 南丽丽, 师尚礼, 陈建纲, 等. 硼锌配施对苜蓿矿质元素和碳水化合物含量的影响[J]. 中国草地学报, 2013, 35(1): 23-25, 54.
- [28] 徐振江, 肖立中, 刘 洪, 等. 锌与不同营养元素配施对香稻营养品质和产量的影响[J]. 广东农业科学, 2012, 39(1): 21-24.
- [29] 康利允, 马政华, 李红英, 等. 氮锌配施对玉米干物质积累及产量效应的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2011, 34(1): 34-38.
- [30] 张中星, 程 滨. 锌锰硼肥配合施用对玉米的增产效果[J]. 山西农业科学, 1994, 22(1): 40-43.
- [31] 汪 洪, 刘新保, 褚天铎, 等. 锌肥对作物产量、子粒锌及土壤有效锌含量的后效[J]. 土壤肥料, 2003, 3(1): 3-6, 9.
- [32] 杨利华, 郭丽敏, 傅万鑫. 施锌对玉米氮磷钾肥料利用率、产量及籽粒品质的影响[J]. 中国生态农业学报, 2003, 11(2): 41-43.