

不同增施微肥方式对马铃薯块茎产量和 Zn、Fe 含量的影响

罗 磊, 李亚杰, 黄 凯, 姚彦红, 王 娟, 李德明
(定西市农业科学研究院, 甘肃 定西 743000)

摘 要: 本研究的目的在于揭示土施和喷施两种增施微肥方式对马铃薯块茎产量和 Zn、Fe 含量的影响。试验选取定薯 1 号为试材, 进行田间试验, 设 13 个处理, 依次为: 硫酸锌、硫酸亚铁、硫酸锰分别作基肥施入 (D1、D2、D3), 在现蕾期、开花期和块茎膨大期喷施 0.2% 水溶液 (A1、A2、A3、B1、B2、B3、C1、C2、C3), 不喷施为对照 (CK)。结果表明: 增施微肥能使株高降低 0.9~3.9 cm, 茎粗增粗 0.02~0.13 cm, 单株结薯数增加 0.13~0.86 个, 也能使单株产量增加 0.002~0.18 kg, 平均单薯重增加 7.48~12.04 g, 使生育期延长 1~8 d, 在现蕾期、开花期、块茎膨大期喷施硫酸锌和现蕾期喷施硫酸锰能使产量增加 18.4%~25.7%; 现蕾期喷施硫酸锌可提高块茎 Zn 含量 (提高 2.2 mg·kg⁻¹), 而在现蕾期喷施硫酸锌、硫酸亚铁、硫酸锰, 开花期喷施硫酸亚铁, 硫酸锰作基肥施入可提高块茎 Fe 含量 (提高 2.0~9.0 mg·kg⁻¹)。

关键词: 马铃薯; 增施微肥; 产量; Zn、Fe 含量
中图分类号: S143.7 **文献标志码:** A

Influences of different application methods of micronutrient fertilizers to yield and content of zinc and iron in potato

LUO Lei, LI Ya-jie, HUANG Kai, YAO Yan-hong, WANG Juan, LI De-ming
(Dingxi Academy of Agricultural Sciences, Dingxi, Gansu 743000, China)

Abstract: With the purpose to analyze the influences of two different application methods (soil application and spraying) of micronutrient fertilizers to tuber yield and content of zinc and iron in potato, using Dingshu 1 as test material, a field experiment was conducted with 13 treatments, i.e., zinc sulfate, ferrous sulfate and manganese sulfate as base fertilizer (D1, D2 and D3), spraying with 0.2% aqueous solution in budding period, flowering period and tuber expanding period (A1, A2, A3, B1, B2, B3, C1, C2 and C3), and no application as control (CK). The results showed that the application of micronutrient fertilizers reduced plant height by 0.9~3.9 cm, increased stem diameter by 0.02~0.13 cm, increased tuber number per plant by 0.13~0.86, increased yield per plant by 0.002~0.18 kg, increased average tuber weight by 7.48~12.04 g, and extended growth duration by 1~8 days. The production could be increased by 18.4%~25.7% by spraying zinc sulfate in budding period, flowering period and tuber expanding period and spraying manganese sulfate in budding period. Spraying zinc sulfate in budding period could improve zinc content in tubers by 2.2 mg·kg⁻¹, while spraying zinc sulfate, ferrous sulfate, manganese sulfate in budding period, spraying ferrous sulfate in flowering period, and applying manganese sulfate as base fertilizer could increase iron content by 2.0~9.0 mg·kg⁻¹.

Keywords: potato; micronutrient fertilizer; yield; content of zinc and iron

Zn、Fe 是作物和人体生长发育所必需的微量营养元素^[1]。人体微量元素的缺乏是由许多原因造成的。有证据表明, 全球粮食系统不能给人类足够的营养均衡的食品^[2], 以至带来了“隐形饥饿”, 即微量元素的缺乏^[3], 微量元素营养不良会严重损害人们健康, 甚至危及到下一代, 给国家造成沉重的经济负

收稿日期: 2015-12-09
基金项目: 国家现代农业产业技术体系专项资金 (CARS-10-ES27); 国家农业科技成果转化资金项目 (2014GB2G100146)
作者简介: 罗 磊 (1977—), 男, 本科, 副研究员, 主要从事马铃薯育种和栽培推广。E-mail: dxluolei56998@163.com。
通信作者: 李德明, 男, 推广研究员, 主要从事马铃薯育种和栽培推广。E-mail: dxlideming@163.com。

担^[4],而马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)作为世界第四大粮食作物,产量高,营养丰富,其块茎含有丰富的淀粉、蛋白质、糖类、脂肪、矿物质盐类、粗纤维和各种维生素,是中国北方尤其是西北地区广大农村人口的重要食物来源,与老百姓的营养和身体健康息息相关。因此,提高马铃薯产量和块茎中微量元素营养具有十分重要的意义。

Haberland^[5]研究结果表明在马铃薯生育过程中需要多种微肥的适量施入。合理的农艺措施是提高块茎产量和 Zn、Fe 含量最有效的途径之一^[6-23]。目前,农艺措施主要包括培育产量高且块茎富含 Zn、Fe 元素的品种和施用多种微肥和氮磷钾肥料,前者通过育种手段提高块茎产量和 Zn、Fe 含量,但周期长,且需要持续投入大量时间和资源;而施用微肥和氮磷钾肥料则能快速提高块茎产量和 Zn、Fe 含量。本研究通过田间试验,分析不同增施微肥方式(土施和喷施)下块茎产量和 Zn、Fe 含量的变化,旨在结合甘肃省马铃薯主产区土壤的 Zn、Fe 供应能力,探讨提高马铃薯块茎产量和 Zn、Fe 含量的最有效方法,为旱作栽培条件下提高马铃薯块茎产量和营养品质提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2014 年 5 月—10 月在定西市农业科学研究院作物育种基地进行,土壤类型为黄绵土,0~20 cm 土层含有机质 10.8 g·kg⁻¹,碱解氮 59 mg·kg⁻¹,有效磷 21.29 mg·kg⁻¹,速效钾 115.09 mg·kg⁻¹,有效锌 0.52 mg·kg⁻¹,有效铁 6.13 mg·kg⁻¹,土壤 pH 值为 7.6。施用 900 kg·hm⁻²(N:180 kg·hm⁻²;P:39.3 kg·hm⁻²;K:74.7 kg·hm⁻²)稳定性复合肥(总养分≥40%,N-P₂O₅-K₂O,20-10-10,施可丰化工股份有限公司)。供试马铃薯品种为定薯 1 号(定西市农业科学研究院选育)。试验用微肥为硫酸锌(ZnSO₄·7H₂O)、硫酸亚铁(FeSO₄·7H₂O)、硫酸锰(MnSO₄·H₂O)(纯度≥99%,天津市凯信化学工业有限公司)等。

1.2 试验方法

1.2.1 微肥施用方法 喷施时,将上述各种微肥按 0.2% 的水溶液(按化合物的含量计算)配制成液肥,分别在马铃薯现蕾期、开花期和块茎膨大期,喷施在马铃薯植株叶面,喷施前不添加表面活性剂;作基肥是在常规肥料中每 hm² 增加 15 kg 微肥,一次性施入。

1.2.2 试验设计 试验在 5 月 1 日播种期按小区将 3 种微肥作基肥施入 Zn 3.40 kg·hm⁻²、Fe 3.02 kg

·hm⁻²、Mn 4.88 kg·hm⁻²(分别用 D1、D2、D3 表示),现蕾期喷 Zn、现蕾期喷 Fe、现蕾期喷 Mn、开花期喷 Zn、开花期喷 Fe、开花期喷 Mn、块茎膨大期喷 Zn、块茎膨大期喷 Fe、块茎膨大期喷 Mn(分别用 A1、A2、A3、B1、B2、B3、C1、C2、C3 表示),根据孙小龙^[6]、刘福刚等^[7]、谭宗九等^[8]、马光怒等^[9]的研究硫酸锌和硫酸亚铁液肥喷施浓度在 0.2%、硫酸锰液肥喷施浓度 0.05%~0.50% 能够促进马铃薯根系生长发育,为产量的增加奠定基础,浓度过高将会起到抑制的作用,因此在 3 个时期每个小区微肥用量为 Zn 1.21 kg·hm⁻²、Fe 1.11 kg·hm⁻²、Mn 1.09 kg·hm⁻²,以不喷施作为对照(CK),共 13 个处理,设 3 次重复,小区面积 19.95 m²,5 行区,行长 5.7 m,行距 70 cm,株距 30 cm,穴播种植 100 株为一小区。喷施时间选在 17:30 以后晴朗无风天气进行,并且喷后 12 h 内无降雨,以叶片正反两面全部湿润无下滴为宜。各处理生长期间管理措施保持一致。

1.2.3 测定指标与方法 在 9 月 15 日用直尺和游标卡尺测定马铃薯株高(土壤表面到主茎第一花序分支处的高度,每个小区随机抽查 20 株测量株高,求平均值),茎粗(茎基部最粗处纵横二向直径^[24],每个小区随机抽查 20 株测量茎粗,求平均值)。成熟期按小区单收记产。用 HNO₃-H₂O₂ 消煮,原子吸收分光光度法测定 Zn、Fe 含量(干样测定)。

1.2.4 数据处理 对产量及农艺性状、各项微量元素含量等数据均采用方差分析法,显著性分析用新复极差法(SSR 法)进行统计分析,对各项数据用 Excel 制表。

2 结果与分析

2.1 不同增施微肥处理对马铃薯主要农艺性状的影响

从表 1 可见,增施微肥能不同程度的降低株高(降低 0.9~3.9 cm),增加茎粗(增粗 0.02~0.13 cm)、增加单株结薯数(增加 0.13~0.86 个),也能增加单株产量(增加 0.002~0.18 kg)和平均单薯重(增加 7.48~12.04 g)。处理 D1、D2、D3 较 CK 株高差异不显著,其他处理都较 CK 株高差异显著;处理 B1、B2 和 B3 茎粗最粗,达 1.48 cm,与处理 A1 茎粗无显著差异,与 CK 茎粗差异显著;处理 A1、A3、B1、C1 单株结薯数、单株产量、平均单薯重都与 CK 单株结薯数、单株产量、平均单薯重差异显著,说明硫酸锌、硫酸亚铁和硫酸锰作基肥施入对降低马铃薯株高效果不明显,在开花期喷施硫酸锌、硫酸亚铁和硫酸锰,使主茎增粗明显,现蕾期、开花期、块茎膨大期

喷施硫酸锌和现蕾期喷施硫酸锰能明显增加单株结薯数、单株产量、平均单薯重。

表 1 不同增施微肥处理主要农艺性状的差异

Table 1 Main agronomic traits of potato under different micronutrient fertilizer treatments					
处理 Treatment	株高 Plant height /cm	主茎粗 Main stem diameter /cm	单株结薯数 Tuber numberper plant	单株产量 Yield per plant /kg	平均单薯重 Tuber weight /g
A1	75.4c	1.43ab	6.86a	0.878a	127.99a
A2	75.6c	1.41b	6.15c	0.603c	98.05c
A3	76.5bc	1.37b	6.88a	0.866a	125.87a
B1	74.1d	1.48a	6.70a	0.827a	123.43ab
B2	74.2d	1.48a	6.32b	0.690b	109.18bc
B3	75.2c	1.48a	6.18c	0.679b	109.87bc
C1	75.8c	1.40b	6.76a	0.848a	125.44a
C2	75.6c	1.41b	6.46b	0.709b	109.75bc
C3	76.3bc	1.40b	6.16c	0.660b	107.14bc
D1	77.3ab	1.39b	6.21c	0.648b	104.35c
D2	77.1ab	1.38b	6.48b	0.700b	108.02bc
D3	77.1ab	1.40b	6.49b	0.715b	110.17bc
CK	78.2a	1.35c	6.02c	0.698b	115.95b

注:数值后小写字母表示 5% 的差异显著水平。下同。
Note: The small letters mean significant difference at 5% , the same below.

2.2 不同增施微肥处理下马铃薯生育期的变化

从表 2 可见,所有增施微肥处理与对照相比生育期延长了 1~8 天,其中 A1 处理生育期最长,说明

增施微肥对马铃薯的生育期有明显的影响,增施微肥后马铃薯成熟期推迟,生育期延长。

表 2 不同增施微肥处理下马铃薯生育期变化

Table 2 Variation of growth period of potato under different micronutrient fertilizer treatments						
处理 Treatment	出苗期 Emergence (M - d)	现蕾期 Budding (M - d)	开花期 Flowering (M - d)	块茎膨大期 Tuber expanding (M - d)	成熟期 Maturity (M - d)	生育期 Growth duration /d
A1	05 - 31	06 - 24	07 - 11	08 - 06	10 - 13	135
A2	05 - 31	06 - 24	07 - 19	08 - 22	10 - 06	128
A3	05 - 31	06 - 24	07 - 10	08 - 06	10 - 10	132
B1	05 - 31	06 - 24	07 - 17	08 - 09	10 - 12	134
B2	05 - 31	06 - 24	07 - 17	08 - 20	10 - 07	129
B3	05 - 31	06 - 24	07 - 17	08 - 20	10 - 07	129
C1	05 - 31	06 - 24	07 - 17	08 - 16	10 - 11	133
C2	05 - 31	06 - 24	07 - 17	08 - 16	10 - 07	129
C3	05 - 31	06 - 24	07 - 17	08 - 16	10 - 06	128
D1	05 - 31	06 - 22	07 - 19	08 - 20	10 - 08	130
D2	05 - 31	06 - 23	07 - 15	08 - 16	10 - 08	130
D3	05 - 31	06 - 22	07 - 16	08 - 12	10 - 09	131
CK	05 - 31	06 - 24	07 - 17	08 - 16	10 - 05	127
平均数 Average						130.38
标准差 SD						2.47
变异系数 CV/%						1.89

2.3 不同增施微肥处理对马铃薯产量的影响

从表 3 可见,各处理产量由高到低依次为 A1 > A3 > C1 > B1 > D3 > C2 > CK > D2 > B2 > B3 > C3 > D1

> A2,产量最高的处理 A1(44.03 t·hm⁻²)与产量最低处理 A2(30.24 t·hm⁻²)相差 13.79 t·hm⁻²。处理 A1、A3、C1 和 B1 较 CK 和其他处理差异显著,处理

A2 较 CK 差异显著,处理 D3、C2、D2、B2、B3、C3 和 D1 较 CK 差异不显著。说明现蕾期、开花期、块茎

膨大期喷施硫酸锌和现蕾期喷施硫酸锰能明显增加产量。

表 3 不同处理间产量差异
Table 3 Production differences under different spraying

处理 Treatment	产量 Yield					5% 显著水平 Significance at 0.05
	I	II	III	平均值 Average /(kg·19.95 m ⁻²)	单产 Yield per unit area /(t·hm ⁻²)	
A1	92.64	80.18	90.59	87.80	44.03	a
A3	83.27	99.04	77.38	86.56	43.41	a
C1	76.84	90.31	87.35	84.83	42.54	a
B1	74.39	88.65	84.92	82.65	41.45	a
D3	70.95	71.18	72.27	71.47	35.84	b
C2	70.50	65.44	76.83	70.92	35.57	b
CK	69.57	67.52	72.41	69.83	35.02	b
D2	69.92	70.67	68.73	69.77	34.99	b
B2	68.77	71.83	66.31	68.97	34.59	b
B3	66.25	66.36	70.95	67.85	34.02	b
C3	67.76	63.18	67.02	65.99	33.09	b
D1	69.55	61.36	63.42	64.78	32.49	b
A2	60.66	60.34	59.92	60.31	30.24	c

2.4 不同增施微肥对马铃薯块茎 Zn、Fe 含量的影响

从表 4 可见,处理 A1 块茎 Zn 含量最高,达 14.2 mg·kg⁻¹,处理 D3 块茎 Zn 含量最低,为 9.2 mg·kg⁻¹,处理 D2、B3、B2、C2 和 D3 较 CK(12.0 mg·kg⁻¹)差异显著,处理 A1、C1、A2、A3、C3、B1 和 D1 较 CK 差异不显著;处理 A3 块茎 Fe 含量最高,达 30.0 mg·kg⁻¹,其次为 A1(28.0 mg·kg⁻¹)、B2(24.0 mg·

kg⁻¹)、A2 和 D3(23.0 mg·kg⁻¹),处理 B3 和 C3 块茎 Fe 含量最低,为 17.0 mg·kg⁻¹,处理 A3、A1、B2、B3 和 C3 较 CK(21.0 mg·kg⁻¹)差异显著,处理 A2、D3、C1、C2、D1、B1 和 D2 较 CK 差异不显著;说明现蕾期喷施硫酸锌可提高块茎 Zn 含量,现蕾期喷施硫酸锌、硫酸亚铁、硫酸锰,开花期喷施硫酸亚铁和硫酸锰作基肥施入可提高块茎 Fe 含量。

表 4 不同增施微肥块茎 Zn、Fe 含量差异
Table 4 Contents of zinc and Fe in potato tubers under different micronutrient fertilizer treatments

处理 Treatment	处理方式 Treatments	元素 Element	
		Zn/(mg·kg ⁻¹)	Fe/(mg·kg ⁻¹)
A1	现蕾期喷 Zn Zinc sprayed in budding period	14.2a	28.0a
A2	现蕾期喷 Fe Iron sprayed in budding period	12.3a	23.0bc
A3	现蕾期喷 Mn Manganese sprayed in budding period	12.1a	30.0a
B1	开花期喷 Zn Zinc sprayed in flowering period	12.0a	19.0cd
B2	开花期喷 Fe Iron sprayed in flowering period	11.0b	24.0b
B3	开花期喷 Mn Manganese sprayed in flowering period	11.2b	17.0d
C1	块茎膨大期喷 Zn Zinc sprayed in tuber expanding period	12.5a	22.0bc
C2	块茎膨大期喷 Fe Iron sprayed in tuber expanding period	11.0b	20.0c
C3	块茎膨大期喷 Mn Manganese sprayed in tuber expanding period	12.1a	17.0d
D1	土施 Zn Zinc fertilizer applied in soil	12.0a	20.0c
D2	土施 Fe Iron fertilizer applied in soil	11.8b	19.0cd
D3	土施 Mn Manganese fertilizer applied in soil	9.2c	23.0bc
CK	不喷施 No micronutrient fertilizer	12.0a	21.0c

注:块茎 Zn、Fe 含量以干基计算。Note: The contents of Zinc and Fe were based on dry weight.

3 讨论与结论

WHO(世界卫生组织)资料表明,缺铁缺锌是人类最普遍的微量元素营养缺乏症^[25],本研究通过土施和喷施两种方式为提高马铃薯块茎产量和 Zn、Fe 含量提供一定的技术支撑,有其必要的研究意义。有研究表明,通过土施锌肥能增加小麦籽粒锌含量^[26-27];也有报道认为土施锌肥无法达到改善人体健康的要求^[28];吕慧峰等^[17]研究结果表明在巫溪地区土施锌锰肥可提高马铃薯产量,在城口地区土施锌肥对提高产量效果明显,而施用锰肥则减产;本实验中土施硫酸锰使产量略有增加,而其他土施处理则减产,土施硫酸锰显著提高块茎 Fe 含量,而其他土施处理 Zn、Fe 含量都减少。土施措施很难提高马铃薯块茎产量和 Zn、Fe 含量,可能是因为微肥施入土壤后受土壤的 pH 值、质地、温湿度、供给微量元素强度及耕作制度和轮作方式的影响使其有效性大大降低。

杜长玉^[10]、王海泉^[16]等研究显示喷施微肥能促使马铃薯植株矮化,主茎增粗,生长健壮,提高 N、P、K 的吸收量,增加光合面积,提高光合强度,增加有机物的积累,使块茎膨大,显著提高产量;刘福刚等^[7]研究认为喷施 0.2% 硫酸锌能增强马铃薯根系活力,提高块茎数量和产量;许正辉等^[13]研究表明开花期喷施 0.05% 硫酸亚铁能使植株矮化,主茎增粗,提高产量;马光怒等^[9]研究表明喷施 0.05% ~ 0.50% 硫酸锰可促进马铃薯根系发育,提高根系活力和吸收能力;贾景丽等^[21]研究表明用 0.05% ~ 0.15% 硫酸锰浸种能促使马铃薯生长发育,显著提高产量;本试验结果显示,10 个喷施处理均能使植株矮化,主茎增粗,单株结薯数增加,生育期延长,除处理 A2 较 CK 产量显著减产,其他处理较 CK 增产或差异不显著。因为喷施微肥的种类、浓度、喷施时期和气候、土壤条件及供试材料的不同而造成作物生长和产量的差异,但是喷施微肥总体上还是有利于增加马铃薯块茎的产量。

Gupta^[28]的研究结果表明,叶面喷施微量元素未能增加谷物籽粒中铁元素的含量;Yilmaz 等^[27]报道叶面喷施锌肥增加了小麦籽粒锌含量;由本实验可看出增施微肥对马铃薯块茎 Zn、Fe 含量的影响复杂,这与孙小龙^[6]研究相似;候叔音^[23]研究认为成熟期使用锌肥处理的马铃薯块茎的 Zn 积累显著高于对照,而本试验结果显示,在马铃薯现蕾期喷施硫酸锌可提高块茎 Zn 含量,成熟期喷施硫酸锌效果较对照不显著,在现蕾期喷施硫酸锌、硫酸亚铁、硫酸

锰可有效提高块茎 Fe 含量。不同研究者的试验结论不尽相同,可能是因为在测定 Zn、Fe 含量时受取样的方法、组织类型、器官部位、薯块年龄和品种影响^[29],同时也受到锌铁微量元素在马铃薯块茎中的积累与分配规律的影响^[30]。

本试验得出,土施微肥对增加马铃薯块茎产量和 Zn、Fe 含量效果不大,而在马铃薯现蕾期喷施浓度为 0.2% 硫酸锌,能使植株茎节间缩短,株高降低,主茎增粗,生长健壮,避免倒伏造成的荫蔽,改良行间通气性和透光性,减少病害发生几率,保持茎叶健康,增加光合面积,提高光合强度和根系活力,加速土壤 N、P、K 的吸收,使光合产物和土壤养分向块茎转移,促进块茎迅速膨大,而成熟期延后,生育期延长能积累更多的有机物质,从而达到提高块茎产量和 Zn、Fe 含量的目的。

参 考 文 献:

- [1] 石荣丽,邹春琴,张福锁.籽粒铁锌营养与人体健康研究进展[J].广东微量元素科学,2006,13(7):1-8.
- [2] McGuire J. Addressing micronutrient malnutrition[J]. SCN News, 1993,9:1-10.
- [3] Welch R M, Graham R D. A new paradigm for world agriculture: meeting human needs productive, sustainable, nutritious[J]. Field Crop Research,1999,60:1-10.
- [4] 杨习文,田霄鸿,陆欣春,等.喷施锌肥对小麦籽粒铁铜锰营养的影响[J].干旱地区农业研究,2010,28(6):95-102.
- [5] Haberland R. Do potatoes need trace element fertilizer? Brauchen Kartoffeln eine Mikronahrst of dun gung? [J]. Kartoffelbau,2000,51:260-264.
- [6] 孙小龙.不同锌肥及锌、铁配施对旱作马铃薯产量和营养品质及其形成规律的影响[D].兰州:甘肃农业大学,2014.
- [7] 刘福刚,马光怒,廉 华.硫酸锌叶喷处理对马铃薯产量的影响[J].安徽农学通报,2011,17(13):56-60.
- [8] 谭宗九,丁亚明,李济寰.马铃薯高效栽培技术[M].北京:金盾出版社,2007.
- [9] 马光怒,廉 华,林晓影,等.硫酸锰叶面喷施对马铃薯根系生长的影响[J].吉林农业,2010,(7):44-45.
- [10] 杜长玉,高明旭,刘全贵.不同微肥在马铃薯上应用的效果研究[J].马铃薯杂志,1999,13(2):141-144.
- [11] 郭志平,李升林.马铃薯叶面喷施磷酸二氢钾增产效果的研究[J].中国马铃薯,2002,16(3):143-144.
- [12] 高德武,张 海,王 洋,等.稀土微肥在马铃薯上的应用效果[J].农业与技术,2014,34(7):89.
- [13] 许正辉,王惠霞,童应萍,等.新型微肥在马铃薯上应用试验初报[J].青海农林科技,2006,(3):9-10.
- [14] 赵贵宾,陈祖敬.几种叶面肥喷施马铃薯效果的对比试验[J].中国马铃薯,2001,15(2):106-108.
- [15] 孟赐福,傅庆林,丁晋林,等.微量元素对马铃薯产量和品质的影响[J].马铃薯杂志,1992,6(2):99-101.

