

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2022)04-0314-08

DOI: 10.19918/j.cnki.1672-3635.2022.04.004

土壤肥料

铁锌配施对马铃薯植株性状和营养品质的影响

李丰先^{1,2}, 罗磊^{1,2}, 李亚杰^{1,2}, 姚彦红^{1,2}, 董爱云^{1,2}, 刘惠霞^{1,2},
牛彩萍^{1,2}, 范奕^{1,2}, 张海杰^{1,2}, 李德明^{1,2*}

(1. 甘肃省定西市农业科学研究院, 甘肃 定西 743000; 2. 甘肃省马铃薯工程技术研究中心, 甘肃 定西 743000)

摘要: 以中早熟品种‘费乌瑞它’和中晚熟品种‘定薯6号’为研究材料, 分别在现蕾期、开花期和块茎膨大期对叶面喷施 FeSO_4 (0.2%)、 ZnSO_4 (0.2%)和 FeSO_4 (0.2%) + ZnSO_4 (0.2%), 以清水为对照, 研究喷施不同种类微量元素对马铃薯植株性状和块茎品质的影响。‘定薯6号’和‘费乌瑞它’的生育期延长, 株高和茎粗与对照相比, 均有不同幅度的增加。维生素C含量、淀粉含量、粗蛋白含量、干物质含量较对照增加, 还原糖含量下降。2个参试品种的单株产量和商品薯率与对照相比, 均有所增加, ‘定薯6号’和‘费乌瑞它’的单株产量分别较对照增加了2.8%~16.0%、3.4%~11.1%。喷施铁、锌促进了马铃薯的生长, 提升了品质, 提高了单株产量和商品薯率。

关键词: 植株特性; 营养品质; 铁; 锌; 产量

Effects of Combined Application of Iron and Zinc on Potato Plant Characteristics and Nutrient Quality

LI Fengxian^{1,2}, LUO Lei^{1,2}, LI Yajie^{1,2}, YAO Yanhong^{1,2}, DONG Aiyun^{1,2}, LIU Huixia^{1,2},

NIU Caiping^{1,2}, FAN Yi^{1,2}, ZHANG Haijie^{1,2}, LI Deming^{1,2*}

(1. Dingxi Academy of Agricultural Sciences, Dingxi, Gansu 743000, China;

2. Gansu Engineering Research Center for Potato, Dingxi, Gansu 743000, China)

Abstract: FeSO_4 (0.2%), ZnSO_4 (0.2%) or FeSO_4 (0.2%) + ZnSO_4 (0.2%) were sprayed on the leaves of mid-early maturing variety 'Favorita' and mid-late maturing variety 'Dingshu 6' at budding, flowering and tuber bulking, respectively, using water as control, to study the effects of spraying Fe and (or) Zn on potato plant characteristics and nutrition quality. The growth duration of 'Dingshu 6' and 'Favorita' was prolonged, and the plant height and stem diameter were increased to some extent compared with the control. Compared with the control, the contents of vitamin C, starch, crude protein and dry matter were increased, while the content of reducing sugar was decreased. The yield per plant and marketable tuber percentage of the tested varieties were also increased. The yield per plant of 'Dingshu 6' and 'Favorita' were increased by 2.8%-16.0% and 3.4%-11.1%, respectively, compared with the control. Spraying iron and zinc may promote potato growth, improve quality, and increase yield per plant and marketable tuber percentage.

Key Words: plant characteristic; quality; iron; zinc; yield

收稿日期: 2022-07-18

基金项目: 财政部和农业农村部国家马铃薯产业技术体系(CARS-09); 联合国世界粮食计划署甘肃富锌马铃薯小农户试点项目子项目 I (WFGSP-1); 甘肃省寒旱农业项目(GNKJ-2020-1); 甘肃省重大专项(GZGG-2021-5); 定西市科技计划资助(DX2022BZ39)。

作者简介: 李丰先(1984-), 女, 硕士, 高级农艺师, 主要从事马铃薯育种及栽培推广方面的研究。

*通信作者(Corresponding author): 李德明, 推广研究员, 主要从事马铃薯育种及栽培推广工作, E-mail: dxlideming@163.com。

“隐性饥饿”中Fe、Zn等微量元素缺乏症,已成为困扰居民的首要营养不良问题^[1,2]。Fe、Zn等微量元素不仅对人体健康发育有重要作用,而且会产生直接调控作用。若饮食中长期缺铁会引起人体尤其是婴幼儿和孕产妇缺铁性贫血,从而影响机体的免疫系统^[3,4]。铁元素作为植物需求量较大的微量元素直接或间接地参与光合作用、呼吸作用、固氮作用、激素合成等重要的生命活动^[5-9]。长期缺锌会导致人体出现失明、发育慢、智力低等症状^[10]。作物缺锌,会出现叶片脉间失绿或白化症状,疏导组织发育受抑制,机械组织不发达^[11,12]。

马铃薯作为全国第四大粮食作物,甘肃省定西市第二大粮食作物,营养齐全,被誉为人类的“第二面包”和“地下苹果”^[13,14]。定西市作为全国乃至全世界马铃薯最佳适种区之一,种植历史悠久,自从马铃薯主粮化战略实施以来,种植面积逐年增加。相对其他地区而言,定西市具有无霜期短、昼夜温差大、降水集中在7和8月等特点,正好与马铃薯生长规律相吻合,为马铃薯的生长发育提供了有利条件^[15-17]。

甘肃省西部种植区的土壤类型大多数为石灰性土壤,由于石灰性土壤中铁、锌等微量元素有效性低,生产的马铃薯铁和锌含量低,严重影响了马铃薯的品质和产量^[18-20]。外源喷施锌和铁对提升作物品质和产量的研究较多^[21-24],但关于铁锌配施对提升马铃薯的营养品质及块茎中微量元素含量的报道较少。为此,本试验在智能日光温室采用马铃薯不同生育期喷施铁、铁锌配施和锌的方法,通过分析不同熟性马铃薯植株特性、品质和产量等指标,总结了提高不同熟性马铃薯营养品质和产量的喷施方式,最终提升马铃薯块茎中微量元素水平,改善居民的微量元素营养,为今后富铁和锌马铃薯的大面积推广提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为中晚熟品种‘定薯6号’和中早熟品种‘费乌瑞它’,‘定薯6号’由定西市农业科学

研究院提供,‘费乌瑞它’由定西百泉马铃薯有限公司提供。

1.2 试验方法

试验在智能日光温室进行,用植物控根器(40 cm × 70 cm)种植,每盆1株,每个处理10盆,3次重复。为了确定喷施铁锌的适宜浓度,用‘新大坪’‘定薯4号’‘青薯9号’‘陇薯10号’和‘冀张薯12号’5个品种为材料,分别采用0(CK)、0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5%溶液进行预试验。通过测定品质和产量,分析得到喷施0.2% FeSO₄,品种间各生长指标的差异最明显,因此选为最佳浓度。分别在现蕾期、开花期和块茎膨大期3个生育时期对叶面喷施FeSO₄(0.2%)、ZnSO₄(0.2%)和FeSO₄(0.2%)ZnSO₄(0.2%)配施,以喷清水为对照,每个处理(10盆)喷施2 L(表1)。试验土壤为黑土+基质。其中,碱解氮241 mg/kg,有效磷12.2 mg/kg,速效钾148 mg/kg,有机质86.0 g/kg,全盐量0.13%,有效锌7.16 mg/kg,有效铁212 mg/kg, pH 6.44。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 生育期

出苗期: 50%的植株出苗的日期。

现蕾期: 50%的植株现蕾的日期。

开花期: 50%的植株开花的日期。

块茎膨大期: 开花盛期的日期。

成熟期: 50%的植株叶片变黄的日期^[25]。

1.3.2 农艺性状

于盛花期用直尺测量株高,游标卡尺测量茎粗^[25]。

1.3.3 叶绿素含量

用叶绿素测定仪(SPAD-502Plus)测定叶绿素含量。

1.3.4 单株结薯数和单株产量

收获时采用单株单收,分别计单株块茎数、产量,并计算商品薯率^[25]。

1.3.5 品质

维生素C、淀粉、还原糖、粗蛋白、干物质含量分别采用荧光法、旋光法、直接滴定法、凯氏定氮法、直接干燥法测定^[26-30]。

1.3.6 块茎铁、锌含量

块茎铁、锌含量采用火焰原子吸收光谱法测定^[31,32]。

1.4 数据分析

试验数据用 Excel 2003 分析并作图, 采用 SPSS 20.0 统计软件进行方差分析。

表 1 试验处理

Table 1 Experimental treatment

品种 Variety	代号 Code	处理 Treatment			品种 Variety	代号 Code	处理 Treatment		
		现蕾期 Budding	开花期 Flowering	膨大期 Bulking			现蕾期 Budding	开花期 Flowering	膨大期 Bulking
定薯6号 Dingshu 6	P ₁ A ₁	+Fe			费乌瑞它 Favorita	P ₂ A ₁	+Fe		
	P ₁ A ₂	+Fe, Zn				P ₂ A ₂	+Fe, Zn		
	P ₁ A ₃	+Zn				P ₂ A ₃	+Zn		
	P ₁ B ₁		+Fe			P ₂ B ₁		+Fe	
	P ₁ B ₂		+Fe, Zn			P ₂ B ₂		+Fe, Zn	
	P ₁ B ₃		+Zn			P ₂ B ₃		+Zn	
	P ₁ C ₁			+Fe		P ₂ C ₁			+Fe
	P ₁ C ₂			+Fe, Zn		P ₂ C ₂			+Fe, Zn
	P ₁ C ₃			+Zn		P ₂ C ₃			+Zn
	P ₁ CK	喷清水	喷清水	喷清水		P ₂ CK	喷清水	喷清水	喷清水

2 结果与分析

2.1 不同处理对马铃薯生育期的影响

在不同生育时期喷施铁锌延长了马铃薯生育

期。‘定薯6号’的生育期延长了2~11 d, ‘费乌瑞它’的生育期延长了2~10 d。中早熟品种‘费乌瑞它’和中晚熟品种‘定薯6号’均在开花期铁锌配施后, 生育期延长的时间最长, 分别延长了10和11 d(表2)。

表 2 不同处理对马铃薯生育期的影响

Table 2 Effects of different treatments on potato growth period

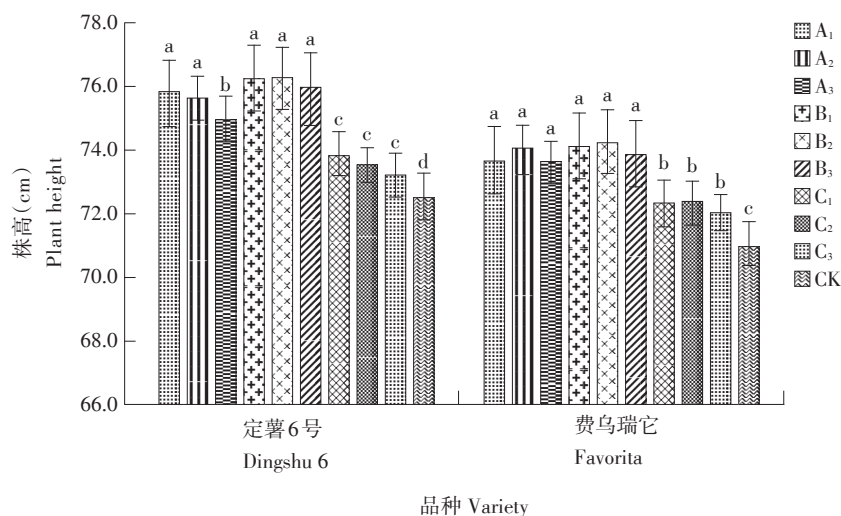
处理 Treatment	出苗期(D/M) Emergence	现蕾期(D/M) Budding	开花期(D/M) Flowering	膨大期(D/M) Bulking	成熟期(D/M) Maturity	生育期(d) Growth duration
P ₁ A ₁	02/05	24/05	15/06	16/07	08/09	129
P ₁ A ₂	02/05	24/05	16/06	18/07	09/09	130
P ₁ A ₃	02/05	24/05	14/06	14/07	06/09	127
P ₁ B ₁	02/05	24/05	12/06	14/07	06/09	127
P ₁ B ₂	02/05	24/05	12/06	16/07	12/09	133
P ₁ B ₃	02/05	24/05	12/06	12/07	04/09	125
P ₁ C ₁	02/05	24/05	12/06	10/07	05/09	126
P ₁ C ₂	02/05	24/05	12/06	10/07	07/09	128
P ₁ C ₃	02/05	24/05	12/06	10/07	03/09	124
P ₁ CK	02/05	24/05	12/06	10/07	01/09	122
P ₂ A ₁	26/04	12/05	05/06	01/07	27/07	92
P ₂ A ₂	26/04	12/05	07/06	30/06	25/07	90
P ₂ A ₃	26/04	12/05	04/06	28/06	24/07	89
P ₂ B ₁	26/04	12/05	02/06	30/06	24/07	89
P ₂ B ₂	26/04	12/05	02/06	30/06	28/07	93
P ₂ B ₃	26/04	12/05	02/06	28/06	22/07	87
P ₂ C ₁	26/04	12/05	02/06	26/06	21/07	86
P ₂ C ₂	26/04	12/05	02/06	26/06	23/07	88
P ₂ C ₃	26/04	12/05	02/06	26/06	20/07	85
P ₂ CK	26/04	12/05	02/06	26/06	18/07	83

2.2 不同处理对马铃薯株高和茎粗的影响

铁锌单施或配施可促进马铃薯植株的生长, 株高与对照相比, 都有不同程度的增加。‘定薯6号’各处理的株高较对照增加了1.0%~5.1%, 且在0.05水平上达显著水平($P < 0.05$)。处理A₁、A₂与A₃间有显著性差异($P < 0.05$), B₁、B₂、B₃处理间, C₁、C₂、C₃处理间没有显著性差异($P > 0.05$),

但是与对照之间差异达到了显著性水平。‘费乌瑞它’在喷施铁锌后, 整体与‘定薯6号’的变化趋势相似, 株高与对照相比, 增加了1.8%~5.6% (图1)。

铁锌配施可增加马铃薯的茎粗, 在开花期喷施铁锌, 茎粗增加的最多, 现蕾期喷施次之, 块茎膨大期喷施铁锌对马铃薯的茎粗影响最小(图2)。



注: 误差线代表标准差。不同字母表示各处理间差异显著($P < 0.05$), Duncan's法。下同。

Note: Error bars represent standard deviation. Different letters indicate significant differences between treatments ($P < 0.05$) using Duncan's multiple range test method. The same below.

图1 不同处理对马铃薯株高的影响

Figure 1 Effect of different treatments on potato plant height

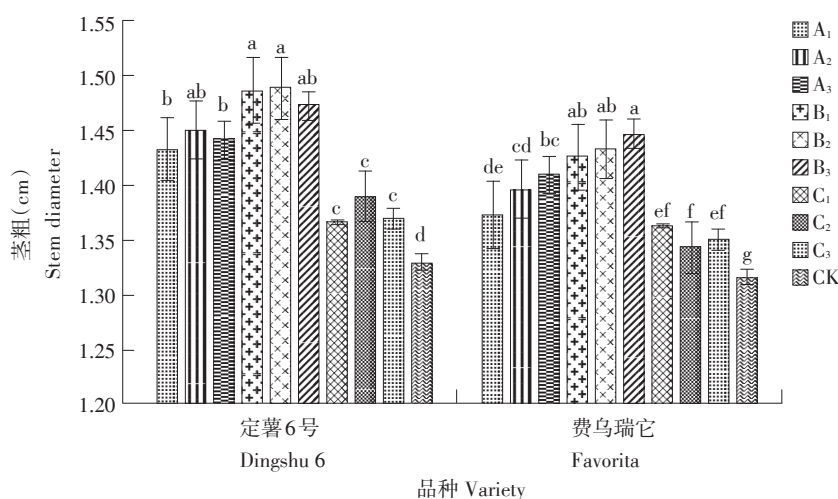


图2 不同处理对马铃薯茎粗的影响

Figure 2 Effect of different treatments on potato stem diameter

2.3 不同处理对马铃薯营养品质的影响

‘定薯6号’维生素C含量在整个生育期各处理较CK显著增加($P < 0.05$), 在现蕾期喷施铁与铁、锌配施之间差异达到了显著性水平, 与喷施锌处理间差异不显著; 各处理维生素C含量在开花期达到了最高, 处理间无显著性差异($P > 0.05$)。现蕾期喷施铁和锌, 淀粉含量各处理与对照间无显著性差异, 与其他处理间的差异达到了显著性水平($P < 0.05$)。在喷施铁锌后还原糖含量都有所

下降, 较对照下降了4.7%~13.3%, 大多数处理间差异不显著($P > 0.05$)。喷施铁锌后粗蛋白含量都有所增加, 较对照增加了4.4%~17.2%, 现蕾期、开花期和块茎膨大期喷施铁锌各处理间差异没有达到显著性水平($P > 0.05$)。喷施铁锌后干物质含量都有所增加, 但只有开花期喷施铁锌处理间有显著性差异。‘费乌瑞它’各品质指标间变化趋势与‘定薯6号’基本一致, 但是增加或下降的幅度相对‘定薯6号’小(表3)。

表3 不同处理对马铃薯块茎营养品质的影响

Table 3 Effects of different treatments on nutrient quality of potato tubers

处理 Treatment	维生素C(mg/100 g) Vitamin C		淀粉(%) Starch		还原糖(g/100 g) Reducing sugar		粗蛋白(g/100 g) Crude protein		干物质(g/100 g) Dry matter	
	平均值 Average	较对照 增加(%) Increased compared to control	平均值 Average	较对照 增加(%) Increased compared to control	平均值 Average	较对照 减小(%) Decreased compared to control	平均值 Average	较对照 增加(%) Increased compared to control	平均值 Average	较对照 增加(%) Increased compared to control
P ₁ A ₁	17.9 ± 0.08 f	2.7	21.60 ± 0.02 e	1.1	0.143 ± 0.00 ab	4.7	3.02 ± 0.04 e	4.4	29.50 ± 0.08 de	1.0
P ₁ A ₂	18.3 ± 0.05 de	5.4	22.20 ± 0.04 d	3.5	0.137 ± 0.01 bcd	8.7	3.10 ± 0.08 cde	7.2	29.63 ± 0.05 d	1.5
P ₁ A ₃	18.1 ± 0.09 ef	4.0	21.60 ± 0.19 e	1.0	0.142 ± 0.01 bcd	5.3	3.07 ± 0.01 de	6.3	29.57 ± 0.09 de	1.3
P ₁ B ₁	19.4 ± 0.36 a	11.5	23.10 ± 0.13 b	8.1	0.133 ± 0.01 cd	11.3	3.31 ± 0.07 ab	14.5	31.30 ± 0.36 c	7.2
P ₁ B ₂	19.7 ± 0.21 a	13.2	23.90 ± 0.19 a	11.7	0.130 ± 0.00 d	13.3	3.39 ± 0.10 a	17.2	32.87 ± 0.21 a	12.6
P ₁ B ₃	19.5 ± 0.29 a	12.1	23.60 ± 0.04 a	10.1	0.132 ± 0.01 cd	12.0	3.36 ± 0.04 a	16.4	31.90 ± 0.29 b	9.2
P ₁ C ₁	18.6 ± 0.05 cd	6.7	22.60 ± 0.16 c	5.7	0.138 ± 0.01 bcd	8.0	3.12 ± 0.01 cde	8.0	29.67 ± 0.05 d	1.6
P ₁ C ₂	19.0 ± 0.05 b	9.2	23.00 ± 0.51 bc	7.4	0.137 ± 0.00 bcd	8.7	3.21 ± 0.03 bc	11.2	29.87 ± 0.05 d	2.3
P ₁ C ₃	18.7 ± 0.05 bc	7.7	22.80 ± 0.10 bc	6.3	0.141 ± 0.01 bcd	6.0	3.14 ± 0.01 c	8.8	29.77 ± 0.05 d	1.9
P ₁ CK	17.4 ± 0.09 g	—	21.42 ± 0.02 e	—	0.150 ± 0.01 a	—	2.89 ± 0.04 f	—	29.23 ± 0.09 e	—
P ₂ A ₁	13.4 ± 0.05 ef	1.0	13.23 ± 0.05 f	2.3	0.254 ± 0.01 a	0.8	1.65 ± 0.02 ef	1.9	17.47 ± 0.05 g	0.6
P ₂ A ₂	13.6 ± 0.09 de	2.0	13.43 ± 0.05 f	2.8	0.251 ± 0.01 a	1.8	1.69 ± 0.03 e	4.3	17.73 ± 0.09 ef	2.1
P ₂ A ₃	13.5 ± 0.05 de	1.8	13.37 ± 0.05 f	2.3	0.251 ± 0.01 a	1.8	1.68 ± 0.03 e	3.5	17.67 ± 0.05 f	1.7
P ₂ B ₁	14.1 ± 0.05 b	6.0	14.03 ± 0.09 bc	7.4	0.231 ± 0.01 bc	9.9	1.82 ± 0.01 bc	12.3	18.23 ± 0.05 c	5.0
P ₂ B ₂	14.5 ± 0.05 a	8.8	14.43 ± 0.05 a	10.4	0.223 ± 0.01 bc	12.8	1.87 ± 0.01 a	15.6	18.63 ± 0.05 a	7.3
P ₂ B ₃	14.3 ± 0.05 a	7.8	14.23 ± 0.05 b	8.4	0.231 ± 0.01 bc	9.6	1.84 ± 0.01 ab	13.4	18.47 ± 0.05 b	6.3
P ₂ C ₁	13.7 ± 0.05 d	2.8	13.63 ± 0.05 e	4.1	0.235 ± 0.01 b	8.2	1.75 ± 0.02 d	7.8	17.83 ± 0.05 e	2.7
P ₂ C ₂	13.9 ± 0.09 bc	4.8	14.03 ± 0.05 c	6.6	0.218 ± 0.01 c	14.7	1.79 ± 0.02 cd	10.3	17.97 ± 0.09 d	3.4
P ₂ C ₃	13.9 ± 0.05 c	4.3	13.77 ± 0.05 d	5.3	0.221 ± 0.01 bc	13.5	1.75 ± 0.01 d	7.8	17.73 ± 0.05 ef	2.1
P ₂ CK	13.3 ± 0.05 f	—	13.07 ± 0.05 g	—	0.256 ± 0.01 a	—	1.62 ± 0.01 f	—	17.37 ± 0.05 g	—

注: 不同字母表示各处理间差异显著($P < 0.05$), Duncan's法。下同。

Note: Different letters indicate significant differences between treatments ($P < 0.05$) using Duncan's multiple range test method. The same below.

2.4 不同处理对马铃薯产量的影响

在不同生育时期喷施铁锌, 增加了马铃薯单株结薯数、产量和商品薯率。各处理对‘定薯6号’和‘费乌瑞它’的单株结薯数、产量和商品薯率影

响差异显著($P < 0.05$)。喷施铁锌后, ‘定薯6号’单株产量与对照相比, 增加了2.8%~16.0%, 各处理与对照间有显著性差异($P < 0.05$), 在开花期铁锌配施和喷锌处理产量达到了最大, 与其他

处理间有显著性差异($P < 0.05$); 在开花期与块茎膨大期喷施铁、锌, 对马铃薯商品薯率的影响不显著, 但与现蕾期喷施铁、锌对商品薯率的影响达到了显著水平($P < 0.05$)。‘费乌瑞它’喷施铁、锌后与对照相比, 对单株结薯数的影响不显著

(P_2A_3 、 P_2B_1 、 P_2B_2 、 P_2C_2 除外); 单株产量与对照相比, 增加了3.4%~11.1%, 各处理能够显著提高马铃薯的单株产量, 与喷清水处理间差异显著; 商品薯率处理间差异显著, 且喷清水对照与喷施铁、锌处理间差异达到了显著性水平(表4)。

表4 不同处理对马铃薯产量的影响

Table 4 Effects of different treatments on potato yield

处理 Treatment	单株结薯数(No.) Tuber number per plant		单株产量(g) Yield per plant		商品薯率(%) Marketable tuber percentage	
	平均值	较对照增加(%)	平均值	较对照增加(%)	平均值	较对照增加(%)
	Average	Increased compared to control	Average	Increased compared to control	Average	Increased compared to control
P_1A_1	6.3 ± 0.47 cd	18.8	643.5 ± 8.1 e	2.8	81.2 ± 1.36 c	6.8
P_1A_2	6.3 ± 0.47 cd	18.8	664.5 ± 3.3 d	6.2	84.7 ± 1.28 b	11.4
P_1A_3	6.7 ± 0.47 bc	25.1	657.7 ± 4.6 d	5.1	84.3 ± 1.92 b	11.0
P_1B_1	7.7 ± 0.47 ab	43.8	707.6 ± 2.9 b	13.1	90.9 ± 0.29 a	19.6
P_1B_2	8.7 ± 0.47 a	62.6	726.2 ± 6.4 a	16.0	92.0 ± 0.59 a	21.1
P_1B_3	7.7 ± 0.47 ab	43.8	724.2 ± 1.9 a	15.7	91.6 ± 0.76 a	20.5
P_1C_1	7.0 ± 0.82 bc	31.3	691.7 ± 5.7 c	10.5	89.8 ± 1.07 a	18.2
P_1C_2	6.7 ± 0.47 bc	25.1	709.9 ± 4.1 b	13.4	91.4 ± 0.40 a	20.2
P_1C_3	7.0 ± 0.82 bc	31.3	700.7 ± 6.8 bc	12.0	91.2 ± 0.45 a	20.0
P_1CK	5.3 ± 0.47 d	—	625.8 ± 2.8 f	—	76.0 ± 1.56 d	—
P_2A_1	5.3 ± 0.47 cd	14.2	480.8 ± 3.0 c	3.4	79.5 ± 1.55 c	7.0
P_2A_2	5.7 ± 0.47 bcd	21.3	487.8 ± 2.7 c	4.9	82.4 ± 0.68 bc	10.9
P_2A_3	6.7 ± 0.47 abc	42.8	514.4 ± 5.5 a	10.7	87.6 ± 1.84 a	17.9
P_2B_1	7.0 ± 0.82 ab	49.9	509.5 ± 2.2 ab	9.6	87.9 ± 0.94 a	18.3
P_2B_2	6.3 ± 0.94 abc	35.6	513.1 ± 3.7 a	10.4	88.7 ± 1.33 a	19.3
P_2B_3	5.7 ± 0.47 bcd	21.3	489.3 ± 2.4 c	5.3	81.7 ± 0.58 bc	9.9
P_2C_1	6.0 ± 0.82 abcd	28.5	502.4 ± 3.7 b	8.1	83.5 ± 2.50 b	12.4
P_2C_2	7.3 ± 0.47 a	57.0	516.3 ± 7.4 a	11.1	89.0 ± 0.40 a	19.8
P_2C_3	6.0 ± 0.82 abcd	28.5	509.4 ± 3.1 ab	9.6	88.6 ± 0.95 a	19.2
P_2CK	4.7 ± 0.47 d	—	464.8 ± 1.6 d	—	74.3 ± 1.69 d	—

2.5 不同处理对马铃薯块茎铁、锌含量的影响

在马铃薯不同生育期喷施铁显著的提高了马铃薯块茎中铁元素的含量(‘定薯6号’现蕾期除外), 喷施锌显著的提高了块茎中锌元素的含量(‘费乌瑞它’现蕾期除外), 铁锌配施既提高了铁元素含量也提高了锌元素含量(‘定薯6号’现蕾期铁含量除外, ‘费乌瑞它’现蕾期锌含量除外)。中晚熟品种‘定薯6号’和中早熟品种‘费乌瑞它’的变化趋势基本一致, ‘定薯6号’相对‘费乌瑞它’生育期较长, 铁和锌含量增加的幅度也较大。‘定薯6号’喷施铁、锌块茎中铁含量较对照增加了1.8%~16.8%, 锌含量增加了3.5%~22.8%, ‘费乌瑞它’喷施铁、

锌块茎中铁含量较对照增加了1.8%~16.2%, 锌含量较对照增加了0.8%~19.5%(表5)。

3 讨 论

铁和锌是植物在生长过程中需要的微量元素, 铁是铁硫蛋白等酶的组成成分, 在光合和呼吸2个代谢中起到氧化还原作用^[33], 也是固氮酶的组成成分, 具有固氮作用^[4,5]。锌是已知59种酶的构成成分, 在光合、呼吸、蛋白质合成、激素合成中起重要作用^[34]。铁和锌不同程度的参与调控植物生长发育内源激素合成^[5,35]。本研究结果表明喷施铁、锌、铁锌配施后, ‘定薯6号’和‘费乌瑞它’的生育

表5 不同处理对马铃薯块茎铁锌含量的影响

Table 5 Effects of different treatments on iron and zinc contents in potato tubers

处理 Treatment	铁(mg/kg) Iron		锌(mg/kg) Zinc	
	平均值	较对照增加(%)	平均值	较对照增加(%)
	Average	Increased compared to control	Average	Increased compared to control
P ₁ A ₁	15.47 ± 0.12 bc	4.0	3.93 ± 0.05 cd	3.5
P ₁ A ₂	15.67 ± 0.45 bc	5.4	4.10 ± 0.08 c	7.9
P ₁ A ₃	15.13 ± 0.46 c	1.8	4.07 ± 0.05 c	7.0
P ₁ B ₁	16.47 ± 0.45 ab	10.7	3.97 ± 0.09 cd	4.4
P ₁ B ₂	16.73 ± 0.26 a	12.5	4.43 ± 0.09 b	16.7
P ₁ B ₃	15.27 ± 0.62 c	2.7	4.30 ± 0.14 b	13.2
P ₁ C ₁	16.93 ± 0.54 a	13.9	4.07 ± 0.05 c	7.0
P ₁ C ₂	17.37 ± 0.57 a	16.8	4.67 ± 0.09 a	22.8
P ₁ C ₃	15.33 ± 0.65 c	3.1	4.63 ± 0.05 a	21.9
P ₁ CK	14.87 ± 0.41 c	—	3.80 ± 0.08 d	—
P ₂ A ₁	13.73 ± 0.09 d	3.8	3.60 ± 0.08 cd	0.8
P ₂ A ₂	13.83 ± 0.25 d	4.6	3.70 ± 0.08 bcd	3.6
P ₂ A ₃	13.47 ± 0.05 de	1.8	3.63 ± 0.05 cd	1.8
P ₂ B ₁	14.37 ± 0.17 c	8.6	3.67 ± 0.05 cd	2.7
P ₂ B ₂	14.63 ± 0.31 bc	10.6	3.87 ± 0.05 b	8.3
P ₂ B ₃	13.53 ± 0.25 de	2.3	3.77 ± 0.05 bc	5.5
P ₂ C ₁	14.93 ± 0.12 b	12.9	3.73 ± 0.05 bcd	4.6
P ₂ C ₂	15.37 ± 0.25 a	16.2	4.27 ± 0.17 a	19.5
P ₂ C ₃	13.63 ± 0.12 de	3.0	4.13 ± 0.09 a	15.8
P ₂ CK	13.23 ± 0.12 e	—	3.57 ± 0.05 d	—

期延长,株高和茎粗增加,促进了作物的生长发育,延缓了马铃薯茎叶的衰老,增加了茎叶的干物质积累,最终增加了马铃薯产量。这与罗磊等^[35]、代燕青等^[36]研究结果一致。

中国石灰性土壤缺铁较严重,多种作物因缺铁造成产量、品质下降^[18-20]。喷施不同种类的微肥,可提高马铃薯单株产量、增加株高,改善马铃薯营养品质和提高产量^[37-40]。本研究结果表明,喷施铁、锌和铁锌配施后,既降低了还原糖含量,提高了维生素C、淀粉、粗蛋白和干物质含量,改善了马铃薯的营养品质,同时提高了马铃薯单株结薯数、单株产量和商品薯率,使马铃薯的营养价值和经济价值最大化。

为了提升作物营养元素水平,一般通过生物强化的方式来增加马铃薯块茎中铁锌含量^[2]。本试验结果表明,不同生育时期喷施铁、锌均能提高马铃薯块茎中铁和锌的含量,铁锌配施相对于单独喷铁或锌,可以更好地促进铁锌吸收,二者之

间有相互促进吸收的作用,这可能与锌、铁共用转运蛋白有关。

[参 考 文 献]

- [1] 刘正辉,刘大钧.小麦铁锌营养品质研究进展[J].麦类作物学报,2007,27(1):172-175.
- [2] 赵贵宾,朱永永,熊春蓉,等.甘肃省马铃薯铁锌生物强化研究进展[J].中国马铃薯,2019,33(4):243-248.
- [3] Hurrell R F. Iron biofortified potatoes: every little bit helps [J]. The Journal of Nutrition, 2020, 150(12): 3051-3052.
- [4] 冯密,王平,李振轮.新型叶面肥对葡萄叶片叶绿素及果实品质的影响[J].中国南方果树,2016,45(4):132-134.
- [5] 于会丽,司鹏,乔宪生,等.喷施不同铁肥对草莓铁养分吸收和品质的影响[J].中国土壤与肥料,2016(5):73-78.
- [6] 牛晓琳,梁军,马文凤,等.树干注射铁肥对金丝小枣产量及品质的影响[J].中国土壤与肥料,2018(3):155-160.
- [7] 章艺,刘鹏,宋金敏,等.水稻根尖铁的积累及附着形态研究[J].

- 中国生态农业学报, 2009, 17(5): 929-932.
- [8] 常正尧, 王健美, 齐冰, 等. 水稻缺铁胁迫条件下根部形态及电镜观察 [J]. 阜阳师范学院学报: 自然科学版, 2008(3): 30-34.
- [9] 左元梅, 李晓林, 王秋杰, 等. 玉米、小麦与花生间作改善花生铁营养机制的探讨 [J]. 生态学报, 1998(5): 43-49.
- [10] Cakmak I, Kutman U B. Agronomic biofortification of cereals with zinc: A review [J]. European Journal of Soil Science, 2018, 69(1): 172-180.
- [11] 诸天铎, 刘新保, 李春花, 等. 锌素营养对作物叶片解剖结构的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 1995, 1(1): 24-29.
- [12] 袁明, 王小菁, 钱前, 等. 2010年中国植物科学若干领域重要研究进展 [J]. 植物学报, 2011, 46(3): 233-275.
- [13] 赵辉, 乔光华, 祁晓慧, 等. 内蒙古马铃薯生产的比较优势研究 [J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30(2): 128-132.
- [14] 马振勇, 杜虎林, 刘荣国, 等. 施锌肥对马铃薯干物质积累、生理特性及块茎营养品质的影响 [J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31(1): 148-153.
- [15] 孙小龙, 延明, 张春红, 等. 不同锌肥对旱作马铃薯植株锌的吸收、积累与分配的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2015, 33(3): 72-78.
- [16] 席旭东, 李效文, 姬丽君. 缓控释肥不同施用量和施用方式对旱作区全膜马铃薯生长及产量的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2016, 34(5): 193-197.
- [17] 赵永萍, 潘丽娟. 甘肃省定西市安定区马铃薯产业发展现状及对策 [J]. 中国马铃薯, 2019, 33(3): 189-192.
- [18] 仇志军, 高祥照, 汤松, 等. 石灰性土壤地区富锌马铃薯锌肥施用技术 [J]. 中国农技推广, 2020, 36(12): 50-52.
- [19] 税杨, 夏清, 陈杰, 等. 叶面锌肥对紫粒小麦产量及品质的影响 [J]. 麦类作物学报, 2022, 42(4): 1-8.
- [20] 路强, 王艳, 李梅兰, 等. 叶面施铁对胡萝卜产量和品质的影响 [J]. 蔬菜, 2020(11): 7-12.
- [21] 鲁春艳, 陈晓艳, 郭改改, 等. 秋季叶面喷肥对红地球葡萄生长及果实品质的影响 [J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2016, 44(2): 137-143.
- [22] 李艳, 贾袭伟, 李欣苗, 等. 螯合铁肥对当归生长及产量品质的影响 [J]. 中国野生植物资源, 2021, 40(3): 47-51.
- [23] 王延明. 锌肥用量及施用方法对马铃薯产量形成及营养品质的影响 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2014.
- [24] 马振勇, 杜虎林, 刘荣国, 等. 施锌肥对旱作马铃薯植株锌含量及块茎品质的影响 [J]. 华北农学报, 2017, 32(1): 201-207.
- [25] 张永成, 田丰. 马铃薯试验研究方法 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007: 116-118.
- [26] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.86—2016 食品安全国家标准 食品中抗坏血酸的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [27] 国家标准局. NY/T 11—1985 谷物籽粒粗淀粉测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1985.
- [28] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.7—2016 食品安全国家标准 食品中还原糖的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [29] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.5—2016 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [30] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.3—2016 食品安全国家标准 食品中水分的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [31] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.90—2016 食品安全国家标准 食品中铁的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [32] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.14—2017 食品安全国家标准 食品中锌的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [33] 索海翠, 王丽, 李成晨, 等. 叶面施锌对马铃薯叶片光合特性、超微结构及产量的影响 [J]. 热带作物学报, 2021, 42(7): 1963-1970.
- [34] 张莉, 任媛媛, 张岁岐. 锌缺乏对植物生长发育的影响 [J]. 现代农业研究, 2020, 26(5): 54-55.
- [35] 罗磊, 李亚杰, 黄凯, 等. 不同增施微肥方式对马铃薯块茎产量和 Zn、Fe 含量的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2017, 35(2): 152-156, 206.
- [36] 代燕青, 贾小霞, 杨维俊, 等. 锌肥施用对马铃薯品质和产量的影响 [J]. 土壤与作物, 2021, 10(2): 230-236.
- [37] 张丽, 古超峰, 王锐. 叶面补铁对贺兰山东麓酿酒葡萄生理调节及品质提升的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2021(6): 233-238.
- [38] 刘新稳, 孙亮庆, 张丽娟, 等. 不同施锌量对马铃薯植株锌的吸收、积累及薯块产量的影响 [J]. 江西农业学报, 2018, 30(6): 35-38.
- [39] 侯叔音. 不同锌肥对旱作马铃薯产量形成及锌素吸收和积累的影响 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2013.
- [40] 杜平, 赵竹青, 宋波涛, 等. 马铃薯锌营养特性及锌生物强化技术研究进展 [J]. 华中农业大学学报, 2021, 40(4): 36-43.