

安 珍, 张茹艳, 周春涛, 等. 铁肥对马铃薯生理特性、产量及品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2022, 38(4): 931-938.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2022.04.009

铁肥对马铃薯生理特性、产量及品质的影响

安 珍, 张茹艳, 周春涛, 张卫娜, 石铭福, 康益晨, 张俊莲, 秦舒浩
(甘肃农业大学园艺学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 为探明不同类型铁肥对马铃薯生理特性、产量及品质的影响, 本研究以马铃薯品种大西洋为试验材料, 设 6 个处理: 对照 (等量清水)、T1 (36 mg/L 硫酸铁)、T2 (20 mg/L 硫酸亚铁)、T3 (15 mg/L 柠檬酸 + 36 mg/L 硫酸铁)、T4 (15 mg/L 柠檬酸 + 20 mg/L 硫酸亚铁) 和 T5 (6 mg/L 螯合铁)。在块茎成熟期, 与 CK 相比, T5 处理马铃薯株高、茎粗增幅最大。在马铃薯块茎膨大期, T5 处理叶片超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化物酶 (POD)、过氧化氢酶 (CAT) 活性较对照 (CK) 分别增加 42.06%、49.66% 和 40.41%, 丙二醛 (MDA)、脯氨酸 (Pro) 含量与 CK 相比分别降低了 16.55%、40.64%。T5 处理块茎产量最高, 为 62 537.22 kg/hm², 与 CK 相比增加 34.68%, T3 处理的块茎产量次之。此外, T5 处理马铃薯块茎的各项品质指标均优于其他处理, 淀粉、还原糖、维生素 C (Vc)、蛋白质含量分别较 CK 增加 39.35%、21.34%、24.91%、30.72%。相关分析结果表明, 马铃薯产量与株高、茎粗、SOD 活性、POD 活性、CAT 活性、小薯质量、中薯质量、中薯个数、大薯质量、大薯个数、淀粉含量、还原糖含量、Vc 含量、蛋白质含量均呈正相关。T5 处理和 T3 处理可促进马铃薯生长, 增加抗氧化酶活性, 提高产量, 改善块茎品质。综合考虑, 螯合铁肥效最佳, 柠檬酸配施硫酸铁效果次之, 本研究结果可为改善马铃薯施肥制度提供理论依据。

关键词: 马铃薯; 铁肥; 生理特性; 产量; 品质

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1000-4440(2022)04-0931-08

Effects of iron fertilizer on physiological characteristics, yield and quality of potato

AN Zhen, ZHANG Ru-yan, ZHOU Chun-tao, ZHANG Wei-na, SHI Ming-fu, KANG Yi-chen, ZHANG Jun-lian, QIN Shu-hao

(College of Horticulture, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: In order to explore the effects of different types of iron fertilizers on the physiological characteristics, yield and quality of potatoes, the potato variety Atlantic was used as the experimental material in this study, and six treatments were set up: CK (equal water), T1 (36 mg/L ferric sulfate), T2 (20 mg/L ferrous sulfate), T3 (15 mg/L citric acid + 36 mg/L ferric sulfate), T4 (15 mg/L citric acid + 20 mg/L ferrous sulfate) and T5 (6 mg/L chelated iron). At tuber maturity

stage, the plant height and stem diameter of the potato under T5 treatment were significantly higher than those under other treatments. During the tuber bulking stage, the activities of superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD) and catalase (CAT) in leaves under T5 treatment increased by 42.06%, 49.66% and 40.41% compared with CK, while the contents of malondialdehyde (MDA) and proline (Pro) decreased by 16.55% and 40.64%. The tuber yield was highest in T5 treatment, which was 62 537.22 kg/hm², increased by 34.68% compared with CK, followed

收稿日期: 2021-12-05

基金项目: 国家自然科学基金项目 (32060441); 国家重点研发计划项目 (2018YFD0200803); 马铃薯产业技术体系项目 (CARS-09-P14); 甘肃农业大学科技创新基金——公招博士科研启动基金项目 (GAU-KYQD-2020-10); 甘肃省自然科学基金项目 (21JR7RA827)

作者简介: 安 珍 (1996-), 女, 甘肃天水人, 硕士研究生, 主要从事蔬菜栽培及土壤生理生态研究。 (E-mail) 2429831522@qq.com

通讯作者: 秦舒浩, (E-mail) qinsh@gsau.edu.cn

by T3 treatment. In addition, the quality indicators of potato tubers under T5 treatment were better than those under other treatments, and the contents of starch, reducing sugar, vitamin C and protein increased by 39.35%, 21.34%, 24.91% and 30.72% compared with CK. The results of correlation analysis showed that potato yield was positively correlated with plant height, stem diameter, SOD activity, POD activity, CAT activity, weight of small tuber, weight of medium tuber, number of medium tuber, weight of large tuber, number of large tuber, starch content, reducing sugar content, vitamin C content and protein content. T5 and T3 treatments can promote potato growth, increase antioxidant enzyme activity, increase yield, and improve tuber quality. Therefore, chelated iron has the best effect, followed by citric acid combined with ferric sulfate, which can provide a theoretical basis for improving the fertilization system of potato.

Key words: potato; iron fertilizer; physiological characteristics; yield; quality

马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)是世界上第四大粮食作物^[1-2],作为甘肃地区的主要种植作物之一,在当地产业发展中具有不可替代的作用^[3]。在马铃薯生产过程中,为了完善施肥制度并实现高产,除了施入必需元素之外,还需要施入微量元素来促进马铃薯生长,适量喷施铁肥对马铃薯的生理特性、产量及品质具有促进作用^[4]。

铁元素作为一种重要的微量元素,会直接或者间接地影响植物的光合作用、呼吸作用,参与植物体内生长调节剂的合成,调控植物生长和植物体内氧化还原反应^[5]等,还与植物体内活性氧代谢^[6]及抗氧化酶系统^[7]有关。近年来,铁肥在辣椒^[8]、水稻^[9]和花生^[10]等农作物上得到广泛应用。有研究表明,叶面喷施铁肥对植物各器官具有促进作用。例如,施用螯合铁可促进小麦中大量元素、微量元素的协同作用,使其得到更充分的利用^[11];螯合铁对当归的光合作用、新陈代谢、营养物质合成具有明显的促进作用^[12];在番茄、白菜中施用铁肥,会提高其抗氧化酶活性,降低脯氨酸含量,促进作物对土壤有效养分的吸收,从而显著提高作物产量^[13-14]。在马铃薯的生产过程中,叶面喷施适量铁元素,可以促进马铃薯植株生长发育,进而提高马铃薯的产量和品质^[15],但马铃薯对微量元素不同形式铁的吸收具有一定的差异性。铁在土壤中多以 Fe^{3+} 形式存在,植物根系对其吸收利用率低,铁元素有效性不显著^[16],影响马铃薯的生理、产量及品质特性,因此需要对铁肥的配比进行细致研究。到目前为止,有关铁肥对马铃薯生理特性、产量及品质影响的研究较少,且结论尚不一致。本研究拟以马铃薯品种大西洋原原种为试验材料,探究铁肥对马铃薯生理特性、产量形成及品质的影响,筛选适合马铃薯生长的铁肥种类,以期为进一步改善马铃薯施肥技术,实现优质、高产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本试验于 2020 年 5 月 10 日至 10 月 8 日在甘肃农业大学园艺学院试验基地(36°5'20"N, 103°41'59"E)进行,该区海拔 1 530 m,年均气温 9.6 °C,无霜期 191 d,年日照时数 2 634 h,年降水量 349.8 mm,年均蒸发量 1 446.4 mm。试验区土壤为砂性灌淤土,土壤偏碱性,pH 值为 8.3,有效铁较缺乏。0~20 cm 土壤速效氮含量 20.10 mg/kg,速效磷含量 23.20 mg/kg,速效钾含量 152.42 mg/kg,有效铁含量 2.63 mg/kg。4 月 26 日整地起垄时将尿素(N 46%)、过磷酸钙(P_2O_5 16%)、硫酸钾(K_2O 52%)按质量比 N : P_2O_5 : K_2O = 2 : 1 : 2 的比例施入,其中尿素 326.10 kg/hm²,过磷酸钙 468.75 kg/hm²,硫酸钾 288.45 kg/hm²。

1.2 试验材料

马铃薯品种为大西洋原原种,由定西市农业科学研究院提供。

1.3 试验设计

依据预试验中不同类型铁肥最适质量浓度配比的筛选结果,共设计 6 个处理(表 1),其中以等量清水作为对照(CK)。采用随机区组设计,3 次重复,小区面积为 48.99 m²;马铃薯采用覆膜垄播种模式(图 1),垄高 20.00 cm,垄宽 80.00 cm,垄距 40.00 cm,每垄种植 2 行,播种深度为 15.0 cm,行距 40.0 cm,株距 40.0 cm;栽培密度为 1 hm² 5.25×10⁴ 株。于 2020 年 5 月 8 日播种,6 月 4 日(齐苗)开始处理,7 d 为 1 个周期处理 1 次,苗期到块茎形成期(植株全部开花)共处理 4 次,喷施时间为 8:00–11:00 和 16:00–18:00,以喷至叶面水滴形成并开始下滴为标准。2020 年 10 月 8 日(块茎成熟期)收获薯块。

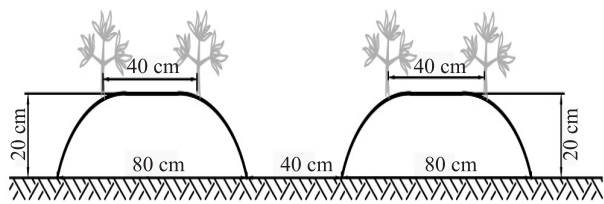


图1 马铃薯全膜垄播种植示意图
Fig.1 Schematic diagram of potato whole film ridge planting

表1 试验处理

Table 1 Experimental treatments

编号	处理
CK	等量清水
T1	36 mg/L硫酸铁
T2	20 mg/L硫酸亚铁
T3	15 mg/L柠檬酸+36 mg/L硫酸铁
T4	15 mg/L柠檬酸+20 mg/L硫酸亚铁
T5	6 mg/L螯合铁(EDTA-FeNa)

1.4 测定指标及测定方法

1.4.1 生长指标 铁肥处理后,在苗期、块茎形成期、块茎膨大期和块茎成熟期分别测定1次马铃薯的株高和茎粗。

株高:采用测量尺进行测量,沿植株茎,从子叶节到植株最高点的垂直高度;茎粗:采用游标卡尺测定,植株基部最粗处的横纵两个方向直径的平均值。

1.4.2 酶活性 本研究主要测定马铃薯块茎膨大期叶片中抗氧化酶的活性,设3次重复。超氧化物歧化酶(SOD)活性测定参见邹琦^[17]的方法,过氧化物酶(POD)活性的测定采用任雪^[18]的方法,过氧化氢酶(CAT)活性测定参见王丽等^[19]的方法,丙二醛(MDA)含量测定参见杨娜娜等^[20]的方法,脯氨酸(Pro)含量采用茆三酮比色法测定^[21]。

1.4.3 产量及产量性状 收获时,各处理随机选取10株马铃薯进行测产,并考种;按照大薯(>150 g)、中薯(50~150 g)和小薯(<50 g)的标准分析产量构成性状,记录大薯、中薯、小薯的结薯个数及质量。按小区折算1 hm²的产量,并通过进一步计算得到增产率。

1.4.4 品质 马铃薯块茎收获后于4℃条件下贮藏,采用近红外品质分析仪测定块茎中淀粉、还原

糖、维生素C(V_c)、蛋白质含量^[22],为了保证可靠性,各处理均重复测定3次。

1.5 数据处理

采用Microsoft Excel 2010进行数据整理及统计,利用SPSS 25.0进行方差分析,用Duncan's新复极差法($P<0.05$)进行多重比较,使用Origin 2018绘图。

2 结果与分析

2.1 铁肥对马铃薯植株株高和茎粗的影响

图2显示,不同类型铁肥处理对马铃薯株高和茎粗的影响不同。在块茎成熟期,与CK相比,T1、T2、T3、T4、T5处理马铃薯株高分别增加13.37%、13.83%、11.06%、10.60%和25.81%,其中T5处理马铃薯株高增幅最大,显著高于CK($P<0.05$);与CK相比,T1、T2、T3、T4、T5处理马铃薯植株茎粗分别增加18.31%、36.72%、37.10%、27.66%、42.99%,T5处理的马铃薯植株茎粗增幅最大。

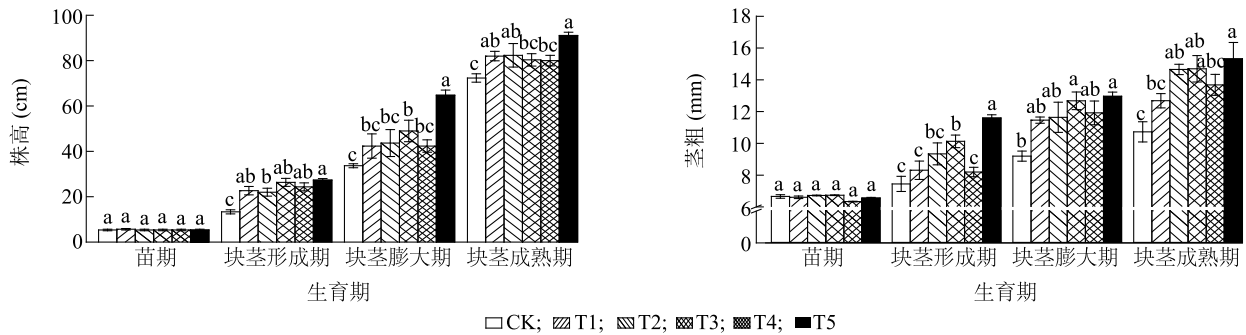
2.2 铁肥对马铃薯植株抗氧化性的影响

2.2.1 铁肥对马铃薯SOD、POD、CAT活性的影响

图3显示,在块茎膨大期,马铃薯叶面喷施铁肥后其叶片抗氧化酶(SOD、POD、CAT)活性与对照相比显著升高。其中,T5处理SOD活性较CK、T1、T2、T3、T4处理分别升高42.06%、32.26%、20.13%、6.72%、24.97%。T5处理POD活性较其他5个处理增加0.83%~49.66%。与CK相比,T1~T5处理CAT活性分别提高20.73%、13.00%、28.61%、7.60%和40.41%,除T2处理与T4处理间CAT活性差异不显著外,其他各处理间差异显著($P<0.05$)。综合考虑,本研究中6 mg/L螯合铁对抗氧化酶活性的影响最大,15 mg/L柠檬酸+36 mg/L硫酸铁次之。

2.2.2 铁肥对马铃薯植株MDA、Pro含量的影响

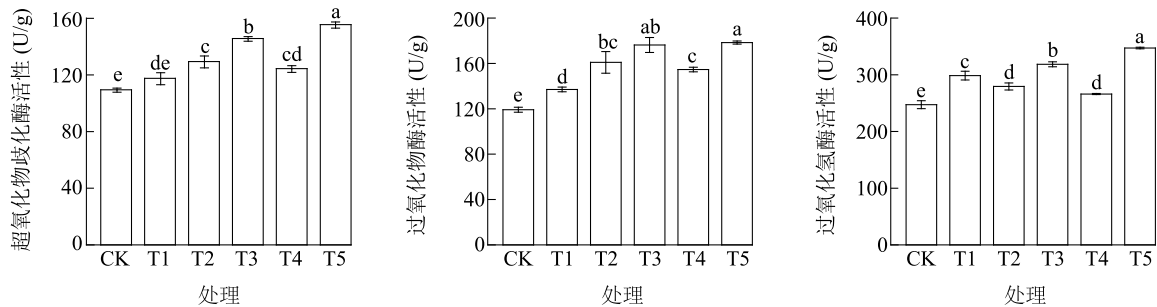
图4显示,增施铁肥后马铃薯叶片MDA、Pro含量均整体呈下降趋势。与CK相比,T1、T2、T3、T4、T5处理马铃薯叶片MDA含量分别降低7.55%、2.69%、12.46%、7.21%、16.55%,除T1处理与T4处理间MDA含量差异不显著外,其他各处理间均差异显著($P<0.05$)。T5处理Pro含量较CK、T1、T2、T3、T4处理分别降低了40.64%、30.03%、18.66%、6.22%、18.58%。综上可知,6 mg/L螯合铁和15 mg/L柠檬酸+36 mg/L硫酸铁对MDA、Pro含量的影响较大。



CK、T1、T2、T3、T4、T5 见表 1。图中同一生育期不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

图 2 铁肥对马铃薯植株株高和茎粗的影响

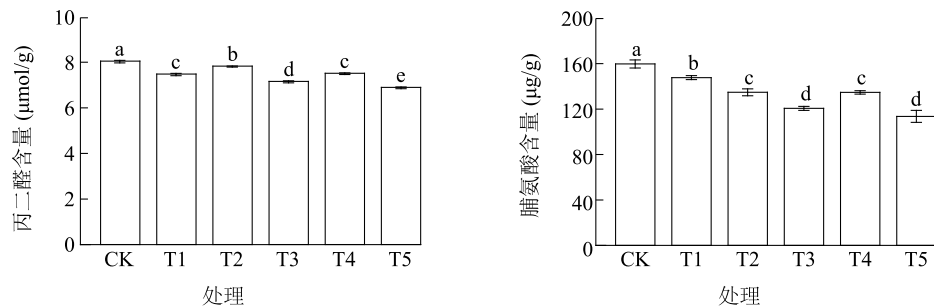
Fig.2 Effects of iron fertilizer on the potato plant height and stem diameter



CK、T1、T2、T3、T4、T5 见表 1。图中不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

图 3 铁肥对马铃薯抗氧化酶活性的影响

Fig.3 Effects of iron fertilizer on antioxidant enzyme activity of potato



CK、T1、T2、T3、T4、T5 见表 1。图中不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

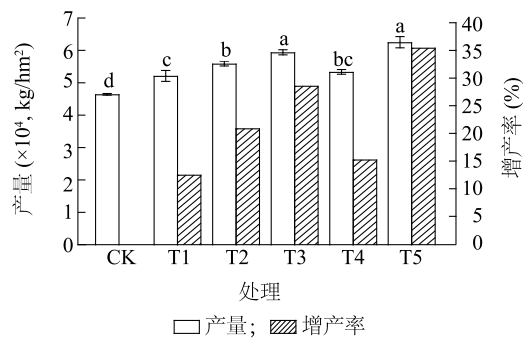
图 4 铁肥对马铃薯丙二醛、脯氨酸含量的影响

Fig.4 Effects of iron fertilizer on malondialdehyde content and proline content of potato

2.3 铁肥对马铃薯产量及产量性状的影响

2.3.1 产量 图 5 显示,5 种不同类型铁肥处理的马铃薯块茎产量均显著高于 CK ($P < 0.05$),T1、T2、T3、T4、T5 处理与 CK 相比分别增产 12.26%、20.45%、27.95%、14.95%、34.68%。其中,6 mg/L 螯合铁处理马铃薯块茎产量最高,为 62 537.22 kg/hm²,15 mg/L 柠檬酸+36 mg/L 硫酸铁处理马铃薯块茎产量次之,为 59 412.21 kg/hm²,这 2 个处理间的马铃薯块茎产量差异不显著。

2.3.2 产量性状 表 2 显示,与 CK 相比,5 种铁肥处理马铃薯大薯、中薯、小薯的质量以及结薯个数均增加。测 10 株马铃薯的结薯质量,T1、T2、T3、T4、T5 处理与 CK 相比,大薯质量增加 9.77%~48.86%,中薯质量增加 10.40%~40.53%,小薯质量增加 2.72%~21.09%。测 10 株马铃薯的结薯个数,T1、T2、T3、T4、T5 处理与 CK 相比,大薯个数增加 15.00%~55.06%,中薯个数增加 21.87%~48.42%,小薯个数增加 6.27%~26.78%。



CK、T1、T2、T3、T4、T5 见表 1。图中不同小写字母表示不同处理间产量差异显著($P<0.05$)。

图 5 铁肥对马铃薯产量的影响

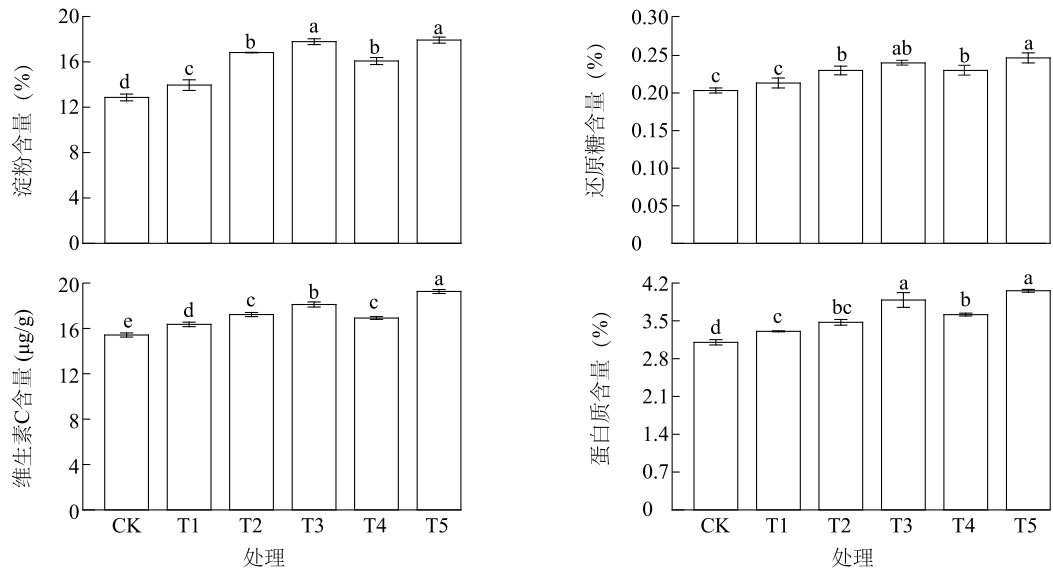
Fig.5 Effects of iron fertilizer on potato yield

表 2 各处理的马铃薯结薯性比较

Table 2 Comparison of potato nodule properties among different treatments

处理	小薯		中薯		大薯	
	质量(g)	结薯个数	质量(g)	结薯个数	质量(g)	结薯个数
CK	1.47±0.02d	37.33±1.45c	3.75±0.19c	42.67±1.45c	3.07±0.05d	13.33±0.33d
T1	1.55±0.01cd	43.33±1.20ab	4.19±0.18bc	53.00±2.08b	3.82±0.09c	15.33±0.67cd
T2	1.58±0.01bc	44.33±2.33ab	4.50±0.14b	55.33±1.20b	3.37±0.20d	16.33±0.88c
T3	1.66±0.05b	41.33±1.33bc	5.06±0.17a	61.67±1.20a	4.31±0.17ab	19.33±0.66ab
T4	1.51±0.03cd	47.33±0.33a	4.14±0.07bc	52.00±2.08b	3.95±0.15bc	18.67±0.66bc
T5	1.78±0.01a	39.67±1.45bc	5.27±0.11a	63.33±1.76a	4.57±0.10a	20.67±0.88a

CK、T1、T2、T3、T4、T5 见表 1。同列数据后不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)。



CK、T1、T2、T3、T4、T5 见表 1。图中不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)。

图 6 铁肥对马铃薯品质的影响

Fig.6 Effects of iron fertilizer on potato quality

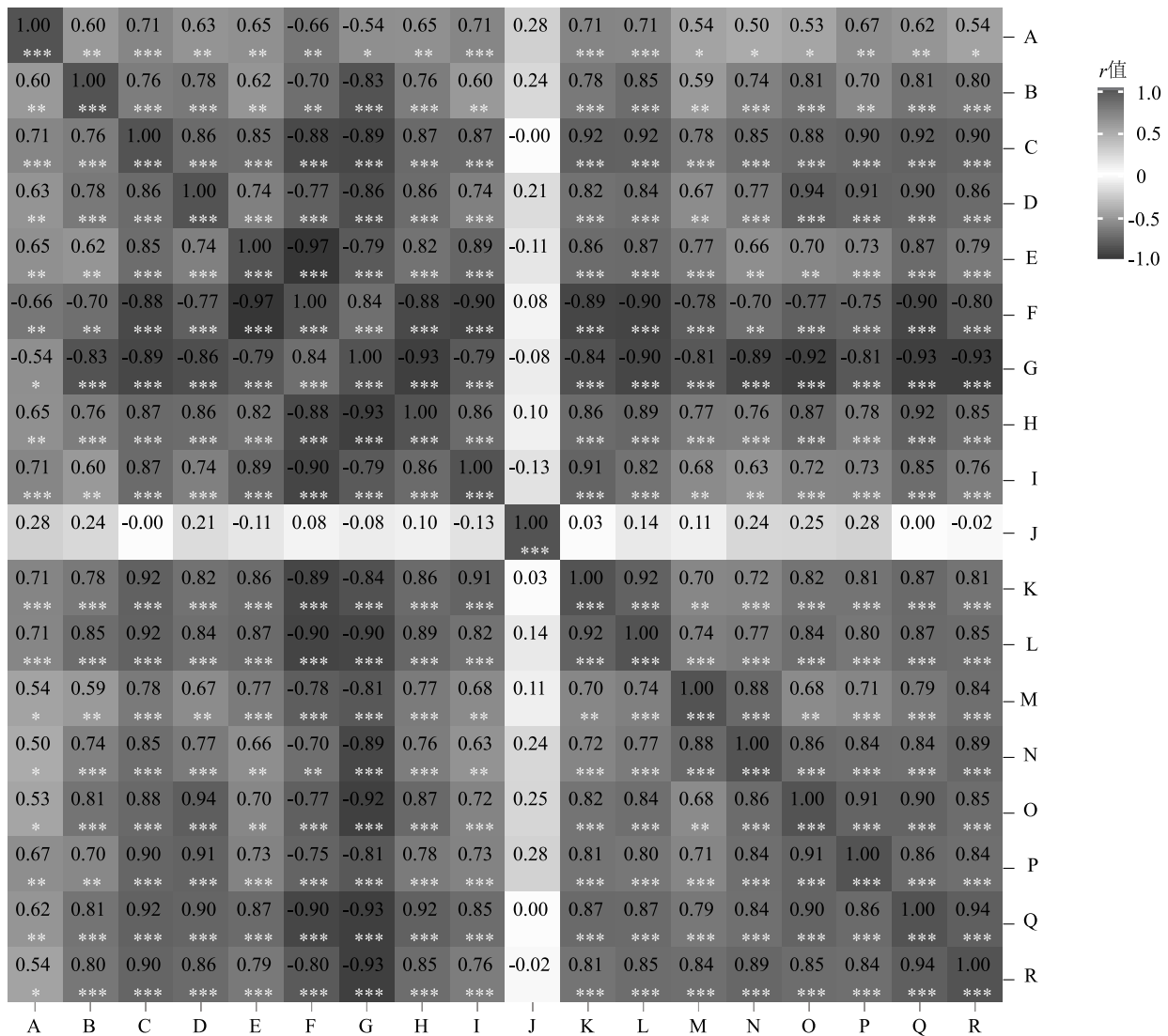
2.4 铁肥对马铃薯品质的影响

图 6 显示,与 CK 相比,不同铁肥处理均可提高马铃薯中淀粉、还原糖、V_C、蛋白质含量。与 CK 相比,T1~T5 处理马铃薯块茎淀粉含量分别增加 8.45%、30.77%、38.23%、24.96%、39.35%,T3 处理与 T5 处理间淀粉含量差异不显著。与 CK 相比,T1~T5 处理马铃薯块茎还原糖含量分别增加 4.92%、13.13%、18.05%、13.13%和 21.34%。与 CK 相比,T1~T5 处理马铃薯块茎 V_C 含量增加了 6.08%~24.91%,其中 T5 处理马铃薯块茎 V_C 含量最高,为 19.26 μg/g;T3 处理次之,为 18.11 μg/g。T1~T5 处理马铃薯块茎蛋白质含量较 CK 分别增加 6.55%、11.92%、25.24%、16.54%、30.72%。

2.5 马铃薯生理特性、产量、产量性状及品质的相关性和聚类分析结果

图 7 显示,马铃薯产量与株高、茎粗、*SOD* 活性、*POD* 活性、*CAT* 活性、小薯质量、中薯质量、中薯个数、大薯质量、大薯个数、淀粉含量、还原糖含量、 V_c 含量、蛋白质含量均呈极显著正相关,相关性由大到小依次为: V_c 含量 ($r = 0.92^{***}$) > 中薯个数 ($r = 0.89^{***}$) > *SOD* 活性 ($r = 0.87^{***}$) = 淀粉含量 ($r = 0.87^{***}$) > *POD* 活性 ($r = 0.86^{***}$) = 中薯质量 ($r =$

0.86^{***}) = 小薯质量 ($r = 0.86^{***}$) > 蛋白质含量 ($r = 0.85^{***}$) > *CAT* 活性 ($r = 0.82^{***}$) > 还原糖含量 ($r = 0.78^{***}$) > 大薯质量 ($r = 0.77^{***}$) > 茎粗 ($r = 0.76^{***}$) = 大薯个数 ($r = 0.76^{***}$) > 株高 ($r = 0.65^{**}$)。小薯个数与产量以及其他指标的相关性都不高。产量与 MDA 含量、Pro 含量呈极显著负相关,其中,产量与 Pro 含量的负相关性最高 ($r = -0.93^{***}$)。



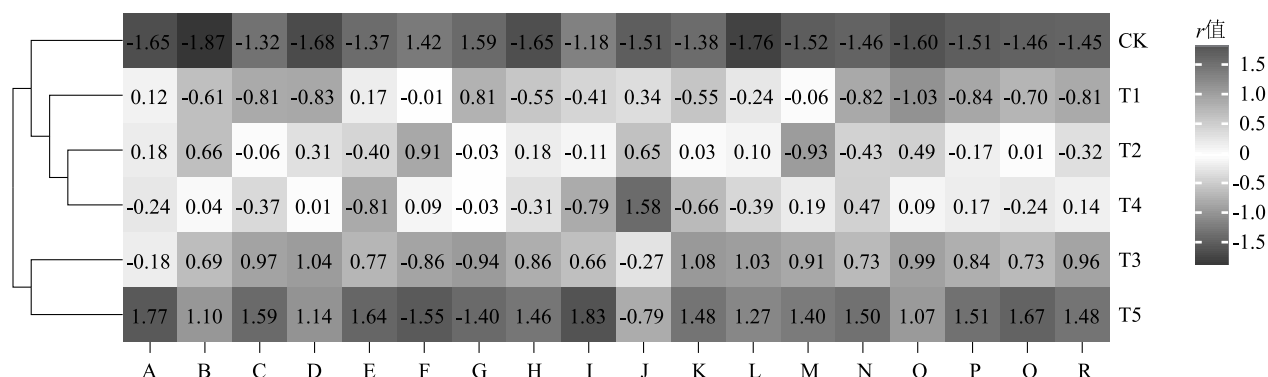
*: 0.05 水平显著相关; **: 0.01 水平显著相关; ***: 0.001 水平显著相关。 r : 相关系数。A: 株高; B: 茎粗; C: 超氧化物歧化酶活性; D: 过氧化物酶活性; E: 过氧化氢酶活性; F: 丙二醛含量; G: 脯氨酸含量; H: 产量; I: 小薯质量; J: 小薯个数; K: 中薯质量; L: 中薯个数; M: 大薯质量; N: 大薯个数; O: 淀粉含量; P: 还原糖含量; Q: 维生素 C 含量; R: 蛋白质含量。

图 7 马铃薯生理特性、产量、产量性状及品质的相关性

Fig.7 Correlation of potato physiological characteristics, yield, yield traits and quality

根据不同指标间的差异,对各处理进行聚类分析,图 8 显示,可将所有处理分为两大类,分别是 CK

与 T1 处理、T2 处理、T4 处理为一类,T3 处理与 T5 处理为一类。



CK、T1、T2、T3、T4、T5 见表 1。 r :均一化参数。A:株高;B:茎粗;C:超氧化物歧化酶活性;D:过氧化物酶活性;E:过氧化氢酶活性;F:丙二醛含量;G:脯氨酸含量;H:产量;I:小薯质量;J:小薯个数;K:中薯质量;L:中薯个数;M:大薯质量;N:大薯个数;O:淀粉含量;P:还原糖含量;Q:维生素 C 含量;R:蛋白质含量。

图 8 马铃薯生理特性、产量、产量性状及品质的聚类结果

Fig.8 The clustering results of potato physiological characteristics, yield, yield traits and quality

3 讨论

铁在植物生长发育过程中发挥重要作用^[23-27]。本研究结果表明,叶面喷施不同类型的铁肥均可促进马铃薯植株的生长,增加马铃薯叶片中抗氧化酶(*SOD*、*POD*、*CAT*)活性,降低 MDA 含量和 Pro 含量,并对马铃薯产量和品质产生一定影响。

株高和茎粗是作物生长量的基本指标,在实际栽培过程中,常以株高和茎粗的变化来衡量各种技术措施的效果,具有重要的参考意义^[28]。喷施铁肥可以促进马铃薯的生长发育,从而为生育后期马铃薯产量形成以及淀粉、还原糖、 V_C 、蛋白质的积累提供充足的营养^[29]。在本研究中,喷施 6 mg/L 螯合铁最有利于马铃薯植株生长。

在一定范围内,抗氧化酶活性的增加会延缓植株的衰老^[30],提高植株的抗逆性^[31],从而提高马铃薯产量,改善块茎品质。本研究发现,在马铃薯块茎膨大期,叶面喷施铁肥会改变马铃薯抗氧化酶系统,增加叶片中 *SOD*、*POD*、*CAT* 活性,降低 MDA 含量和 Pro 含量。在不同处理中,6 mg/L 螯合铁处理对马铃薯抗氧化系统影响最大。

施肥是提高马铃薯产量及增加经济效益的重要措施^[32]。前人的研究结果^[33-34]表明,叶面喷施铁肥可以提高小麦产量且以螯合铁的处理效果最佳,这与本研究结果一致。淀粉、还原糖、 V_C 和蛋白质是衡量马铃薯品质的几个重要指标,铁肥在马铃薯品

质形成过程中发挥着重要作用,参与植物呼吸作用及多种物质代谢过程,并通过酶的作用对植物碳、氮代谢等产生广泛影响^[35]。在本研究中,不同铁肥处理均能够增加马铃薯块茎中淀粉、还原糖、 V_C 、蛋白质含量,其中 6 mg/L 螯合铁处理影响最大,15 mg/L 柠檬酸+36 mg/L 硫酸铁处理次之。螯合铁肥的施肥成本较高,因此在实际生产过程中,若以经济效益为原则,建议喷施柠檬酸和硫酸铁混合而成的络合物,其肥效与螯合铁相近,既可达到增产、提高品质的效果,又可降低经济成本。

4 结论

增施铁肥均可促进马铃薯生长,提高叶片中 *SOD*、*POD*、*CAT* 活性,降低 MDA、Pro 含量,提高马铃薯产量和品质。综上,叶面喷施 6 mg/L 螯合铁处理或 15 mg/L 柠檬酸+36 mg/L 硫酸铁处理可作为马铃薯优质高产的施肥技术体系之一。

参考文献:

- [1] QIN S, YEBOAH S, CAO L, et.al. Breaking continuous potato cropping with legumes improves soil microbial communities, enzyme activities and tuber yield[J]. PLoS One, 2017, 12 (5): e0175934.
- [2] 张淑敏, 宁堂原, 刘 振, 等. 不同类型地膜覆盖的抑草与水热效应及其对马铃薯产量和品质的影响[J]. 作物学报, 2017, 43 (4): 571-580.
- [3] 范立春, 孙 磊, 王丽华, 等. 不同施肥量配合纳米碳肥料增效

- 剂对马铃薯产量和品质的影响[J].中国土壤与肥料, 2021(4): 208-212.
- [4] 何梓彬. 外源锌、铁、磷叶片喷施对有色稻籽粒矿质营养及其生物有效性的影响[D]. 福州: 福建农林大学, 2020.
- [5] 汪丹丹, 李海超, 盛浩, 等. 叶面喷施铁和镁微肥对玉米幼苗碳代谢及生长的影响[J]. 西北农学报, 2017, 26(2): 192-200.
- [6] 汪洪, 金继运. 铁、镁、锌营养胁迫对植物体内活性氧代谢影响机制[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(5): 738-744.
- [7] RUI M, MA C, HAO Y, et al. Iron oxide nanoparticles as a potential iron fertilizer for peanut (*Arachis hypogaea*) [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2016, 7:815.
- [8] 梁怡, 卢明, 姚智, 等. 钙镁辣椒配方肥对辣椒生产及品质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2021(1): 109-116.
- [9] 郝兴顺, 姜雨含, 吴玉红, 等. 汉中地区籼稻锌、铁、锰营养基因型差异及叶面喷锌对籽粒锌含量的影响[J]. 中国稻米, 2019, 25(4): 74-77.
- [10] 顾博文, 杨劲峰, 鲁晓玲, 等. 连续施用生物炭对花生不同生育时期叶绿素荧光特性的影响[J]. 中国农业科学, 2021, 54(21): 4552-4561.
- [11] 马兴华, 于振文, 梁晓芳, 等. 施氮量和底追比例对小麦氮素吸收利用及籽粒产量和蛋白质含量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(2): 150-155.
- [12] 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.
- [13] 吴兆男. 滴灌条件下不同水肥组合对温室番茄产量、品质及其生理特性的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2019.
- [14] 冯密, 向书迪, 黄雪娇, 等. 叶面补铁对喀斯特土壤小白菜生长、土壤养分及微生物的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2020(5): 220-226.
- [15] 李凯, 张国辉, 郭志乾, 等. 叶面喷施铁锌锰微肥对马铃薯生长、品质与产量的影响[J]. 作物研究, 2018, 32(1): 28-30, 34.
- [16] YUAN Z, VANBRIESEN J M. The formation of intermediates in EDTA and NT a biodegradation [J]. *Environmental Engineering Science*, 2006, 23(3): 533-544.
- [17] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2007: 159-165.
- [18] 任雪. 切割方式及烹饪环节对马铃薯维生素和抗氧化活性的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2020.
- [19] 王丽, 王万兴, 索海翠, 等. 马铃薯块茎酶促褐变及与相关生理指标的关系[J]. 园艺学报, 2019, 46(8): 1519-1530.
- [20] 杨娜娜, 吴娜, 刘吉利, 等. 间作模式对马铃薯叶片保护酶活性及产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2019, 37(6): 138-144.
- [21] 魏婷, 罗辰瑶, 李红, 等. 外源茉莉酸甲酯对番茄幼苗生长及镉抗性的影响[J]. 陕西科技大学学报, 2021, 39(4): 15-20.
- [22] 梁玲玲. 不同化肥减施技术对马铃薯产量、养分累积及品质的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2020.
- [23] 周春涛, 张茹艳, 石铭福, 等. 铁肥形态对马铃薯块茎内源激素、产量及品质的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2022, 50(4): 42-49.
- [24] 邢宇俊, 陈黎明, 孟东峰, 等. 0.02%二氢卟吩铁可溶粉剂在烟草上的应用效果[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(24): 91-94.
- [25] 龙光霞. 铁、锰对广西宿根甘蔗幼苗黄化的影响[J]. 南方农业学报, 2020, 51(8): 1939-1945.
- [26] 覃英, 韦江璐, 陈炯宇, 等. 影响甘蔗内生菌团泛菌 XD20 生长和促生特性的因子分析[J]. 南方农业学报, 2020, 51(4): 781-789.
- [27] 梁芳, 刘冰, 檀小辉, 等. 红花玉蕊新梢发育过程中矿质元素含量的时空变化特性[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(21): 133-139.
- [28] 石铭福. 不同类型肥料追施对马铃薯生长特征、产量构成及品质的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2018.
- [29] 廖佳丽, 徐福利, 赵世伟. 宁南山区施肥对马铃薯生长发育、产量及品质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2009(4): 48-52.
- [30] 赵明, 周宝元, 马玮, 等. 粮食作物生产系统定量调控理论与技术模式[J]. 作物学报, 2019, 45(4): 485-498.
- [31] 宋佳承, 王天, 闫士朋, 等. 不同种植模式对土壤质量及马铃薯生长的影响[J]. 土壤学报, 2020, 57(2): 490-499.
- [32] RENS L R, ZOTARELLI L, CANTLIFFE D J, et al. Biomass accumulation, marketable yield, and quality of Atlantic potato in response to nitrogen [J]. *Agronomy Journal*, 2015, 107(3): 931-942.
- [33] BOROWSKI E, MICHALEK S. The effect of foliar fertilization of French bean with iron salts and urea on some physiological processes in plants relative to iron uptake and translocation in leaves [J]. *Acta Scientiarum Polonorum-Hortorum Cultus*, 2011, 10(2): 183-193.
- [34] 兴荣荣, 马丽娅·马木提, 张保军, 等. 锌铁微肥对冬小麦籽粒产量及其微量元素含量的影响[J]. 麦类作物学报, 2018, 38(12): 1490-1495.
- [35] GOURKHEDE P H, PATIL V D, ADKINE S A. Effect of foliar feeding of gluconate and EDTA chelated plant nutrients on yield chlorophyll content and nitrate reductase enzyme of Bt cotton under rainfed ecosystem of marathawada [J]. *International Research Journal of Pure and Applied Chemistry*, 2020, 21(10): 41-49.

(责任编辑: 王妮)