

王安,蒋莹,罗敏,等.叶面喷施铁肥对芋头生长发育、产量及矿质元素的影响[J].江苏农业科学,2019,47(8):139-143.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.08.031

叶面喷施铁肥对芋头生长发育、产量及矿质元素的影响

王安¹,蒋莹¹,罗敏¹,冯梦诗¹,敖雁²,吴薇¹

(1.泰州市农业科学院,江苏泰州 225300; 2.苏州健雄职业技术学院,江苏苏州 215411)

摘要:以泰兴香荷芋为材料,于 10 叶期叶面分别喷施 0.25 mol/L(T_1)、0.5 mol/L(T_2)、0.75 mol/L(T_3)和 0 mol/L(对照 T_4)的 FeSO_4 ,研究 FeSO_4 处理前后芋头株高、叶面积指数、产量等性状及不同器官矿质元素对铁肥的响应。结果表明,叶面喷施铁肥对株高的影响达到显著水平,对叶面积指数的影响未达显著水平;施铁肥后 12 叶期叶片和叶柄铁含量明显增加。其中, $T_1 \sim T_3$ 各处理叶片含铁量分别为 483.57、1 340.90、1 402.38 mg/kg, T_2 、 T_3 处理显著高于对照处理;各处理理论母芋、子孙芋产量变幅分别为 4 455.45 kg/hm²(T_2)~5 218.50 kg/hm²(T_4)、10 517.55 kg/hm²(T_2)~11 966.55 kg/hm²(T_3),差异均未达显著水平;在 T_3 处理下,子芋铁、钙、钾、镁含量均显著高于 T_4 处理;在 T_1 、 T_2 处理下,子芋的铁、钙、钾、镁含量对叶面铁肥的反应因元素种类和铁肥浓度而异。相关分析表明,子芋 Fe 含量与 Ca、Mg 含量呈极显著正相关,相关系数分别为 0.98、0.85。

关键词:芋头;叶面铁肥;矿质元素

中图分类号: S632.306 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)08-0139-05

铁(Fe)是生物体内最重要的营养元素之一,是多种蛋白质分子如血红蛋白等的重要组成成分,也是氧化还原反应酶的激活剂。铁与人类健康有着密切的关系,参与人体多种酶的活性调节,几乎所有的组织结构中都含有铁元素^[1-3]。在植物中,铁对植物生物膜的稳定性及核酸、脂质的合成都有重要的影响^[4]。铁参与植物激素合成,能够促进光合作用等,对植株的许多生理功能都有很重要的影响。缺铁会导致叶绿素不能正常形成,常出现缺绿症,首先症状表现在幼叶上,严重时,叶片呈现褐色斑点和坏死组织,并可能导致叶片死亡、脱落^[5]。植物是人类获取食物的重要来源之一,其对铁元素的吸收主要依靠植物生长所处的土壤环境,而铁是植株正常生长发育的限制性营养元素之一^[6]。土壤中的铁以 Fe^{3+} 的形式为主,在中性和碱性土壤中的溶解度极低,从而限制了植株对土壤中铁元素的有效吸收,此为植株缺铁现象之根源。铁缺乏是当今世界最为严重的缺素症之一,目前报道的提高植株铁含量的主要途径有 2 种,一是通过遗传改良或功能基因发掘,研究并改造作物品种的铁吸收、转运系统;二是通过调控作物生长的环境因子来调控作物铁吸收、转运相关基因的表达进而调控植株对铁的吸收累积^[7-9]。通过调节外在环境中的铁源量,促进作物吸收和转运铁元素相关的研究也取得了重要进展^[10]。目前,国内外相关学者对小麦、大豆、水稻等作物的研究表明,通过土壤、叶面施铁肥的方式来提高植株中铁元素的

含量,是一条可行的途径^[11-13]。常用的铁肥形式以七水硫酸亚铁($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)为主,目前生产上,施用螯合铁肥[螯合剂如乙二胺四乙酸(EDTA)]、有机复合铁肥(如木质素磺酸铁)也是提高植株铁元素含量的有效途径之一^[14]。

芋头[*Colocasia esculenta* (L.) Shott],别称芋艿,属天南星科芋属植物,主产区在非洲、中国、日本、印度、菲律宾等地^[15],近年来,随着人们膳食结构的优化,作为粮蔬兼用性的芋头得到了越来越多的消费者青睐。芋头营养丰富,含有大量的淀粉、矿物质及维生素,其中含有的黏液蛋白被人体吸收后能产生免疫球蛋白,或称抗体球蛋白,可提高机体的抵抗力^[16-18]。国外不少研究表明,芋头含铁量具有明显的基因型差异。Mergedus 等对位于墨西哥瓦努阿图群岛 96 份不同遗传背景的芋头铁含量进行了测定,铁含量最高的品种为 18.5 mg/kg,最低的为 7.1 mg/kg,差异达到 1.6 倍^[19]。芋头铁含量不仅与基因型有关,还与周围环境条件有关,Luis-González 等通过对西班牙加那利群岛 42 份不同芋头样品铁含量进行测定,发现芋头铁含量平均为 3.818 mg/kg,远低于墨西哥瓦努阿图群岛地区各芋头平均含铁量^[20]。国内对芋头研究的方向主要集中于栽培方式、氮磷钾肥对生长发育、产量调控等方面,关于铁肥对芋头生长代谢、产量形成及矿质元素积累等方面的研究尚未见报道^[21-23]。因此,本研究从叶面喷施铁肥角度分析其对芋头生长发育、产量结构及矿质元素的影响,采用不同浓度 FeSO_4 对芋头叶面喷施铁肥,以期筛选出适宜长江中下游地区芋头叶面喷施铁肥的最佳浓度,为大面积生产实践提供科学的叶面施肥技术。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2017 年在泰州市农业科学院试验基地进行,供试品种为泰兴香荷芋。前茬作物为水稻,耕作层 0~20 cm。土

收稿日期:2018-07-02

基金项目:2016 年江苏高校“青蓝工程”(中青年学术带头人);江苏省泰州市科技支撑计划(农业)项目(编号:TN201701)。

作者简介:王安(1988—),男,江苏泰州人,硕士,助理研究员,主要从事芋头品种选育、高效栽培技术研究工作。E-mail:wangan863@foxmail.com。

通信作者:吴薇,硕士,助理研究员,主要从事芋头品种选育、高效栽培技术研究工作。E-mail:379224800@qq.com。

壤养分含量如下:速效氮(N) 29.1 mg/kg,速效钾(K) 126.54 mg/kg,速效磷(P) 45.13 mg/kg,钙(Ca) 10 337.51 mg/kg,镁(Mg) 6 174 mg/kg,铜(Cu) 13.82 mg/kg,铁(Fe) 21 237 mg/kg,锰(Mn) 317.62 mg/kg,锌(Zn) 88.5 mg/kg。前茬水稻收获后冬搁闲田,芋头播期为 4 月 1 日,播种前进行机械起垄,起垄后按照 16 t/hm² 的用量施用有机肥,试验小区共 3 垄,垄宽 1.3 m,垄长 6 m,小区面积 23.4 m²,芋头播种方式为穴播,每垄种植 2 行,株距 40 cm,密度为 41 046 株/hm²,靠垄中央播种,播完覆盖黑色地膜(厚度为 0.006 mm),试验共设 4 个处理,分别为 T₁、T₂、T₃ (FeSO₄ 浓度分别为 0.25、0.50、0.75 mol/L) 和 1 个对照处理 T₄ (等量清水),共 4 个重复,重复 1 用于取样,其余重复小区用于测产,试验采用随机区组排列,于 10 叶期(7 月 21 日,芋头地下球茎膨大中期)对各小区芋头叶面喷施等量硫酸亚铁叶面肥。小区四周设保护行,施肥、浇水、病虫害防治等田间管理按照泰兴香荷芋高产优质栽培技术要求进行。

1.2 测定项目

- (1)于硫酸亚铁喷施前(8 叶期,7 月 2 日)、喷施后(12 叶期,8 月 12 日;16 叶期,9 月 7 日)取样,取长势较为一致的 3 株,分别测定其株高、叶面积指数(打孔法)、地上部鲜/干质量等农艺性状。
- (2)于成熟期(11 月 15 日)对小区母芋及子孙芋理论产量、实际产量进行测定。其中,理论产量测定方法为随机选取连续 10 株芋头,测定其质量并折算成小区理论产量,实际产量为各小区实收母芋及子孙芋产量加 10 株理论测产株产量。
- (3)采用原子吸收光谱仪^[24]测定 8 叶期、12 叶期、16 叶期的叶片、叶柄与成熟期芋头子芋中矿质元素 Fe、Ca、K、Mg

含量,3 次重复。
1.3 数据分析
采用 Excel 2007、SPSS 16.0 对数据进行统计分析,用 Duncan's 新复极差法进行显著性分析,采用 GraphPad Prism 5 进行图表制作编辑。

2 结果与分析

2.1 叶面喷施铁肥对芋头主要农艺性状的影响

表 1 为芋头株高、叶面积指数及地上部鲜质量在叶面喷施铁肥前后的主要表现。方差分析结果表明,不同处理株高在 8 叶期变幅为 51.53 cm(T₄)~58.77 cm(T₁),对应叶龄期的叶面积指数、地上部鲜质量变幅分别为 2.03(T₃)~2.64(T₁)、219.1 g(T₃)~263.75 g(T₁),各处理间均无显著差异;12 叶期,各处理在喷施铁肥后株高差异达到显著水平,其中, T₁ 处理株高最高,为 93.17 cm,显著高于 T₃、T₄ 处理的 68.90 cm 与 79.70 cm,与 T₂ 处理差异未达显著水平。16 叶期各处理株高差异亦达到显著水平,但 T₂ 处理株高最高,为 68.23 cm,仅显著高于 T₃ 处理的 42.37 cm;喷施铁肥对各处理芋头叶面积指数均无显著影响,12 叶期、16 叶期 T₁~T₃ 处理叶面积指数与对照 T₄ 差异不大;T₃ 处理地上部鲜质量在 12 叶期、16 叶期分别为 399.61、89.17 g,均显著低于其他处理,其他处理间 12 叶期、16 叶期地上部鲜质量无显著差异。上述结果表明,叶面喷施铁肥对株高有显著的影响,而对叶面积指数影响不显著。T₃ 处理株高、地上部鲜质量明显低于其他处理,表明喷施铁肥浓度太高可能会对芋头植株造成一定的毒害作用。

表 1 各处理主要农艺性状的差异性分析

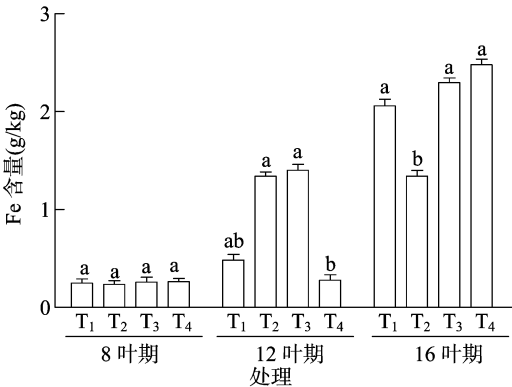
处理	株高(cm)			叶面积指数			地上部鲜质量(g)		
	8 叶期	12 叶期	16 叶期	8 叶期	12 叶期	16 叶期	8 叶期	12 叶期	16 叶期
T ₁	58.77a	93.17a	56.77ab	2.64a	2.92a	0.91a	263.75a	522.20a	140.99a
T ₂	55.70a	83.20ab	68.23a	2.19a	2.87a	0.75a	232.26a	491.96a	153.91a
T ₃	55.20a	68.90c	42.37b	2.03a	3.10a	1.00a	219.10a	399.61b	89.17b
T ₄ (CK)	51.53a	79.70bc	58.87ab	2.34a	3.08a	1.07a	227.00a	443.06a	209.18a

注:表中同列数据后标有不同小写字母的表示差异显著(P<0.05)。表 3 同。

2.2 叶面喷施铁肥对芋头铁元素含量的影响

2.2.1 叶面喷施铁肥对芋头叶片 Fe 含量的影响 8 叶期各处理芋头叶片 Fe 含量无显著差异,变幅为 237.45 mg/kg(T₂)~264.33 mg/kg(T₄);叶面喷施铁肥后,部分处理间 12 叶期、16 叶期的叶片含铁量有显著差异(图 1)。其中,T₁~T₃ 各处理 12 叶期叶片含铁量分别为 483.57、1 340.90、1 402.38 mg/kg,表明叶面含铁量与喷施铁肥浓度成正比,而 T₂、T₃ 叶片含铁量较为一致,表明在某一浓度范围内存在正比例关系,超出该浓度后,芋头叶片对铁肥的吸收能力就会显著降低;到 16 叶期,T₂ 处理叶片铁含量仅为 1 340.90 mg/kg,显著低于其他各处理,推测原因可能是喷施铁肥后,随着生育期的推进,叶片对铁元素的吸收机制不再依靠叶片从外界摄入,而是从叶柄转运铁元素。另外,随着生育期的推进,各处理叶片对铁元素的吸收、积累越来越多。

2.2.2 叶面喷施铁肥对芋头叶柄 Fe 含量的影响 图 2 表明,各处理叶柄铁含量在喷施铁肥前的 8 叶期差异不显著。



同一时期不同处理间标有不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。下图同
图1 铁肥施用前后叶片 Fe 含量的差异性比较

其中,T₁ 处理叶柄含铁量最高,为 647.51 mg/kg,叶柄含铁量最低的是 T₂ 处理,为 553.67 mg/kg;喷施铁肥后的 12 叶期,

T₁、T₂、T₃ 处理的叶柄铁含量分别为 747.82、897.41、1 021.31 mg/kg,均高于 T₄ 对照处理的 654.12 mg/kg,其中 T₂、T₃ 显著高于 T₄,表明该叶期叶柄铁含量与喷施铁肥浓度成正比;16 叶期 T₁~T₃ 各处理叶柄铁含量与 T₄ 相比,均有显

著差异,但 T₁~T₃ 之间叶柄铁含量与喷施铁肥浓度无显著相关性。随着各处理生育期的推进,叶柄对铁元素的吸收、积累越来越多。

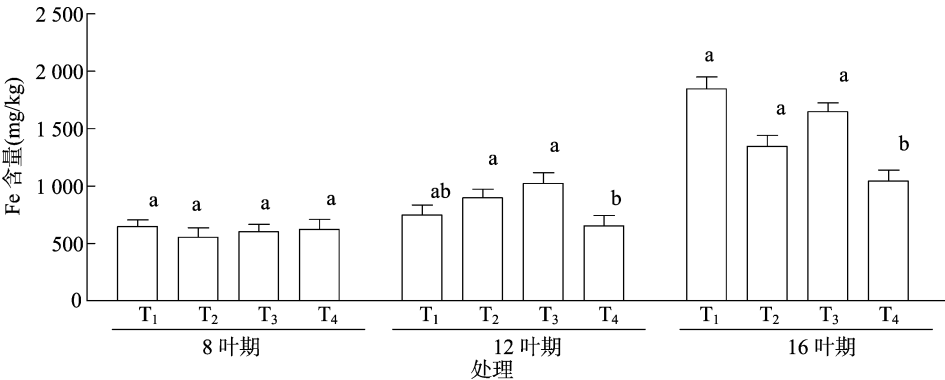


图2 铁肥施用前后叶柄 Fe 含量的差异性比较

2.2.3 各处理土壤铁含量的差异性分析 由于处理时土壤中铁含量会干扰芋头植株叶片、叶柄对叶面铁肥的吸收,为此,对各处理在不同叶龄期及成熟期土壤中铁含量进行了测定,表 2 的方差分析结果显示,8 叶期、12 叶期、16 叶期及成熟期的方差测验值 *F* 值分别为 0.937、1.323、1.017 和 0.743,对应的 *P* 值均高于 0.05,表明各处理土壤铁含量间无显著差异,进一步表明芋头叶柄、叶片中铁元素含量的差异(图 1、图 2)是由叶面喷施铁肥引起的。

表 2 各处理土壤铁含量的方差分析

叶龄	<i>F</i> 值	<i>P</i> 值
8 叶期	0.937	0.501
12 叶期	1.323	0.432
16 叶期	1.017	0.498
成熟期	0.743	0.628

2.3 叶面喷施铁肥对芋头子芋发育动态的影响

8 叶期为芋头子芋开始发育形成初期,各处理子芋鲜质量在该时期较小,鲜质量均低于 10 g/株,且处理间无显著差异;8 叶期到 16 叶期为芋头子芋快速膨大时期。各处理子芋鲜质量在 12 叶期以 T₄ 处理最高,为 98.29 g/株,最低的为 T₂ 处理的 78.4 g/株,但与其他处理间差异未达到显著水平;16 叶期子芋鲜质量以 T₃ 处理最低,仅为 119.97 g/株,显著低于其他各处理,T₂ 处理子芋鲜质量最高,为 254 g/株(图 3)。以上结果表明,芋头子芋形成与发育主要与其自身遗传机制有关,与膨大期叶面喷施铁肥无显著相关性。

2.4 叶面喷施铁肥对产量结构的影响

从产量结构构成因子分析,各处理理论母芋产量间差异不显著,均在 4 400 kg/hm² 以上,其中以 T₄ 处理最高,为 5 218.50 kg/hm²;理论子孙芋产量均超过 10 500 kg/hm²,以 T₃ 处理最高,为 11 966.55 kg/hm²;各处理母芋、子孙芋实际产量均低于相应理论产量,其中,T₃ 处理母芋实际产量为 3 034.65 kg/hm²,显著高于 T₂ 处理的 2 536.20 kg/hm²,子孙芋产量以 T₃ 处理最高,为 8 159.85 kg/hm²,显著高于 T₁、T₂ 处理,但与对照差异未达显著水平(表 3)。总体上看,多数处理间母芋、子孙芋理论产量及实际产量差异未达显著水平,表明叶面喷施铁肥对芋头产量结构影响不显著。

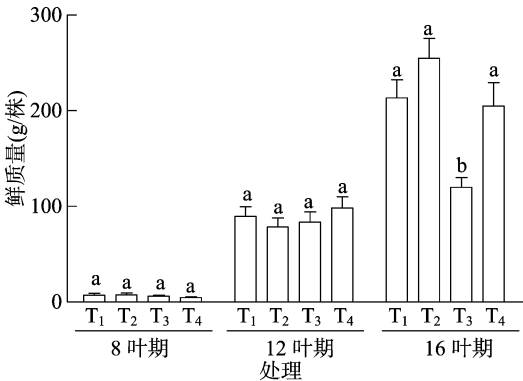


图3 铁肥施用前后子芋鲜质量的差异性分析

表 3 不同处理下芋头理论产量与实际产量

处理	理论产量(kg/hm ²)		实际产量(kg/hm ²)	
	母芋	子孙芋	母芋	子孙芋
T ₁	4 658.55a	11 770.50a	2 675.85ab	7 123.35b
T ₂	4 455.45a	10 517.55a	2 536.20b	6 600.75b
T ₃	4 700.55a	11 966.55a	3 034.65a	8 159.85a
T ₄ (CK)	5 218.50a	11 483.55a	2 855.85ab	7 383.00ab

2.5 叶面喷施铁肥对成熟期子芋矿质元素含量的影响

成熟期子芋不同矿质元素(Fe、Ca、K、Mg)含量对叶面喷施铁肥的响应不一(图 4)。其中,子芋铁元素含量以 T₂、T₄ 处理较低,分别为 646.75、733.57 mg/kg,均显著低于 T₁、T₃ 处理的 1 535.92、1 771.74 mg/kg;子芋 Ca 含量变化趋势与 Fe 元素相似,T₂、T₄ 处理子芋铁含量分别为 3 023.20、3 036.38 mg/kg,显著低于 T₁、T₄ 处理;子芋 K 含量以 T₃ 处理最高,为 14 318 mg/kg,显著高于 T₁、T₂、T₄ 处理,而后三者子芋 K 含量上无显著差异,其含量值均在 11 700 mg/kg 左右;T₁~T₄ 处理子芋 Mg 含量分别为 2 100.18、1 922.74、2 854.39、1 727.11 mg/kg,各处理间均有显著差异,表明子芋 Mg 含量对铁肥较敏感,极易受到铁肥浓度影响。

2.6 叶面喷施铁肥后子芋不同元素含量的相关性

子芋 Fe 元素含量与 Ca、K、Mg 元素含量之间存在密切关系(表 4)。具体表现为,Fe 与 Ca、Mg 以及 Mg 与 K 呈极显著正相关,Mg 与 Ca 呈显著正相关,而 K 与 Fe、Ca 之间相关性

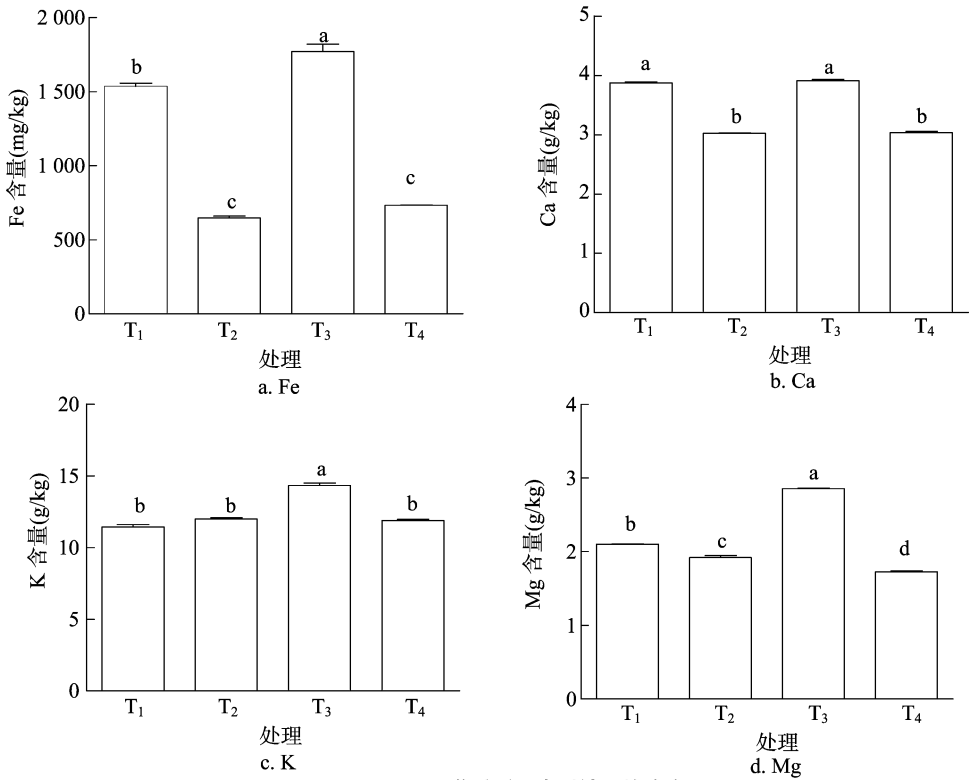


图4 子芋矿质元素对铁肥的响应

表 4 子芋不同元素含量相关性分析

元素	相关系数			
	Fe	Ca	K	Mg
Fe	1			
Ca	0.98 **	1		
K	0.56	0.45	1	
Mg	0.85 **	0.78 *	0.89 **	1

注: ** 表示相关性极显著 ($P < 0.01$), * 表示相关性显著水平 ($P < 0.05$)。

未达到显著水平,其相关系数分别为 0.56、0.45。

3 讨论

试验结果表明,12 叶期 T₁、T₂ 处理芋头植株叶面喷施铁肥与对照(T₄)处理相比,植株株高、地上部鲜质量均有升高,但铁肥浓度与株高、地上部鲜质量增减未发现显著相关性,随着铁肥浓度的增加,当浓度为 0.75 mol/L 时,芋头植株生长受到一定的抑制。从铁肥处理对芋头叶片、叶柄铁元素含量的影响可以看出,12 叶期各铁肥处理叶片、叶柄铁含量与对照相比均有显著提高,且处理浓度越高,其铁含量越高;成熟期 T₁、T₃ 处理子芋铁含量亦显著高于 T₄ 处理,成熟期 T₂ 处理子芋铁含量与对照无差别,可能原因是无机铁肥 FeSO₄ 叶面喷施是改善芋头植株缺铁的速效方法,但很难在较长时间内保持芋头叶片吸收铁的有效性^[10],这是因为叶面铁肥渗透吸收机制较为复杂,不仅取决于植物叶片内部代谢系统,还与外界光照、温度、风速环境有很大关系,光照过强、温度过高或过低、风速过大均会降低叶片对养分的吸收^[25]。但叶面喷施硫酸亚铁浓度不宜太高,过高易导致植物叶片灼烧甚至叶片脱落^[26],本试验结果表明,施用浓度以不超过 0.75 mol/L 为

宜;在产量结构方面,施铁处理(T₁ ~ T₃)的理论产量、实际产量与对照无显著差异,表明叶面喷施硫酸亚铁对芋头产量无显著影响,目前国内外在芋头作物上叶面喷施铁肥的研究尚未有报道,很多研究表明叶面喷施硫酸亚铁对小麦、水稻等地上作物具有显著的增产作用^[27-28],其可能原因在于芋头作为地下块茎类作物,铁元素的增产效应在其经过叶片转运到地下块茎部长距离多种代谢途径后不断减弱,而小麦、水稻等作物从叶片转运到籽粒所经过的代谢转运途径较短。因此,在处理间芋头产量无显著差异条件下,叶面喷施硫酸亚铁可作为外源铁肥对芋头植株进行补铁。

铁肥处理会影响芋头子芋中其他元素的含量,但不同元素对铁肥的响应不同。总体上,叶面喷施硫酸亚铁能显著提高子芋 Fe、Ca、Mg 含量,在相关性分析中发现,Fe 与 Ca、Mg 之间存在极显著正相关,即 Fe 与 Ca、Mg 之间存在相互促进的作用;T₁、T₂ 处理子芋 K 含量与 T₄ 处理无显著差异,同时, K 与 Fe 之间无显著的相关性,进一步表明子芋 K 含量与 10 叶期(膨大期)叶面喷施铁肥无相关性,其含量主要受其自身代谢相关机制影响。殷剑美等研究者亦认为,芋头植株对钾的吸收主要集中在地球茎膨大期之前,主要聚集于叶柄处,持续时间较长,之后叶柄中钾转运分配于地球茎中^[29]。本研究仅局限于膨大期叶面施肥对芋头植株生长发育及产量的影响,而叶面施肥是否对芋头生理生化、口感等指标有影响则有待更深一步研究。同时,铁在植株体内的吸收、代谢、转运作用机制十分复杂^[30]。因此,下一步应系统研究不同时期叶面施肥对芋头生理生化及其相关代谢途径的影响,并通过对芋头叶片、叶柄、地球茎等不同器官铁元素含量、转运等相关特性进一步研究,为芋头科学合理使用叶面肥提供参考依据。

参考文献:

- [1] Hall J L, Williams L E. Transition metal transporters in plants[J]. Journal of Experimental Botany, 2003, 54(393): 2601–2613.
- [2] Durand A N, Inigo S, Ritter A, et al. The arabidopsis iron – sulfur protein GRXS17 is a target of the ubiquitin E3 ligases RGLG3 and RGLG4[J]. Plant and Cell Physiology, 2016, 57(9): 1801–1813.
- [3] Gordon D T, Chao L S. Relationship of components in wheat bran and spinach to iron bioavailability in the anemic rat [J]. Journal of Nutrition, 1984, 114(3): 526–535.
- [4] Gill P R, Warren G J. An iron – antagonized fungistatic agent that is not required for iron assimilation from a fluorescent rhizosphere pseudomonad[J]. Journal of Bacteriology, 1988, 170(1): 163–170.
- [5] Marsh J R, Evans H J, Matrone G. Investigations of the role of iron in chlorophyll metabolism. II. Effect of iron deficiency on chlorophyll synthesis[J]. Plant Physiology, 1963, 38(6): 638.
- [6] Falkowski P G. The role of phytoplankton photosynthesis in global biogeochemical cycles[J]. Photosynthesis Research, 1994, 39(3): 235–258.
- [7] Chen X C, Wang W G, Yan H C, et al. Studies on iron deficiency anemia, rickets and zinc deficiency and their prevention among Chinese preschool children [J]. Progress in Food and Nutrition Science, 1992, 16(4): 263–277.
- [8] Wang Y X, Qin J F, Wu S M, et al. Study on the relation of se, Mn, Fe, Sr, Pb, Zn, Cu, and Ca to liver – cancer mortality from analysis of scalp hair[J]. Science of the Total Environment, 1990, 91: 191–198.
- [9] Vasconcelos M, Datta K, Oliva N, et al. Enhanced iron and zinc accumulation in transgenic rice with the ferritin gene [J]. Plant Science, 2003, 164(3): 371–378.
- [10] Lopez – Millan A F, Morales F Y, Abadia A, et al. Iron resupply – mediated deactivation of Fe – deficiency stress responses in roots of sugar beet [J]. Australian Journal of Plant Physiology, 2001, 28(3): 171–180.
- [11] Tayade P R, Sapkal V S, Sapkal R S, et al. A method to minimize the global warming and environmental pollution [J]. Journal of Environmental Science and Engineering, 2012, 54(2): 287–293.
- [12] Shao G, Chen M, Wang D, et al. Using iron fertilizer to control Cd accumulation in rice plants: a new promising technology[J]. Science in China Series C – life Sciences, 2008, 51(3): 245–253.
- [13] Hernandez – Apaolaza L, Garcia – Marco S, Nadal P, et al. Structure and fertilizer properties of byproducts formed in the synthesis of EDDHA[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54(12): 4355–4363.
- [14] Welch R M, Graham R D. Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective [J]. Journal of Experimental Botany, 2004, 55(396): 353–364.
- [15] Ferreres F, Gonçalves R F, Gil – Izquierdo A, et al. Further knowledge on the phenolic profile of *Colocasia esculenta* (L.) Shott [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(28): 7005–7015.
- [16] Sit N, Deka S C, Misra S. Optimization of starch isolation from taro using combination of enzymes and comparison of properties of starches isolated by enzymatic and conventional methods [J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 52(7): 4333–4341.
- [17] Amon A S, Soro R Y, Assemand E F, et al. Effect of boiling time on chemical composition and physico – functional properties of flours from taro (*Colocasia esculenta* cv. Fouè) corm grown in Cte d'Ivoire [J]. Journal of Food Science and Technology, 2014, 51(5): 855–864.
- [18] Lu T J, Lin J H, Chen J C, et al. Characteristics of taro (*Colocasia esculenta*) starches planted in different seasons and their relations to the molecular structure of starch [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56(6): 2208–2215.
- [19] Mercedis A, Kristl J, Ivancic A, et al. Variation of mineral composition in different parts of taro (*Colocasia esculenta*) corms [J]. Food Chemistry, 2015, 170: 37–46.
- [20] Luis – González G, Rubio C, Gutiérrez Á, et al. Essential and toxic metals in taros (*Colocasia esculenta*) cultivated in the Canary Islands (Spain): evaluation of content and estimate of daily intake [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2015, 187(1): 4138.
- [21] Song C F, Kun X U. Effect of nitrogen and potassium on yield and quality of taro [J]. Plant Nutrition and Fertilizing Science, 2004, 10(2): 166–167.
- [22] Miyasaka S C, Hollyer J R, Kodani L S. Mulch and compost effects on yield and corm rots of taro [J]. Field Crops Research, 2001, 71(2): 101–112.
- [23] Hartemink A E, Johnston M, O'Sullivan J N, et al. Nitrogen use efficiency of taro and sweet potato in the humid Lowlands of Papua New Guinea [J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2000, 79(2/3): 271–280.
- [24] Singh N, Kayal N, Gupta P K, et al. Monitoring the trace metals concentration in rice by flame atomic absorption spectrometer and inductively coupled plasma atomic emission spectrometer [J]. Journal of Environmental Science and Engineering, 2010, 52(1): 33–36.
- [25] Leece D R. Foliar absorption in *Prunus domestica* L. I. Nature and development of the surface wax barrier [J]. Functional Plant Biology, 1978, 5(6): 749–766.
- [26] Leonard C D. Use of dimethyl sulfoxide as a carrier for iron in nutritional foliar sprays applied to citrus [J]. Annals of the New York Academy of Sciences, 1967, 141(1): 148–158.
- [27] Yang X, Ye Z Q, Shi C H, et al. Genotypic differences in concentrations of iron, manganese, copper, and zinc in polished rice grains [J]. Journal of Plant Nutrition, 1998, 21(7): 1453–1462.
- [28] Ramzani P M, Khan W, Iqbal M, et al. Effect of different amendments on rice (*Oryza sativa* L.) growth, yield, nutrient uptake and grain quality in Ni – contaminated soil [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2016, 23(18): 18585–18595.
- [29] 殷剑美, 张培通, 王立, 等. 芋头植株养分含量和积累动态分析[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(10): 200–204.
- [30] Roberts L A, Pierson A J, Panaviene Z, et al. Yellow stripe1. Expanded roles for the maize iron – phytosiderophore transporter [J]. Plant Physiology, 2004, 135(1): 112–120.