

# 叶面喷施 $\text{Fe}^{2+}$ 对生菜形态和生理指标的影响

李光远<sup>1</sup>, 王风华<sup>1</sup>, 蒋燕<sup>1</sup>, 金松灿<sup>2</sup>

(1. 河南科技大学 林学院, 河南 洛阳 471003; 2. 河南省洛阳市农业局, 河南 洛阳 471000)

**摘 要:**以生菜品种“大速生”为试材, 采用基质栽培研究方法, 研究了叶面喷施不同浓度的  $\text{Fe}^{2+}$  对生菜幼苗形态和生理指标的影响。结果表明: 喷施低于 60 mg/L 的  $\text{Fe}^{2+}$  处理对生菜的株高无明显影响, 但浓度为 60 mg/L  $\text{Fe}^{2+}$  时, 就会抑制植株长高;  $\text{Fe}^{2+}$  浓度低于 45 mg/L 时, 生菜具有较多的叶片数, 浓度为 60 mg/L 则起抑制作用;  $\text{Fe}^{2+}$  处理对生菜的叶绿素 a 含量和叶绿素总含量的影响不明显, 但是 15 mg/L  $\text{Fe}^{2+}$  处理对生菜叶绿素 b 含量有促进作用, 在此处理下的叶绿素 b 含量显著高于其它各处理, 约为对照的 164%; 60 mg/L  $\text{Fe}^{2+}$  处理显著提高了生菜叶片的可溶性蛋白质含量; 虽然叶面喷施  $\text{Fe}^{2+}$  对叶片可溶性糖含量没有显著的影响, 但显著降低了叶片脯氨酸含量和过氧化物酶的活性, 且浓度越高, 抑制作用越明显。

**关键词:**生菜;  $\text{Fe}^{2+}$  处理; 叶绿素; 叶面喷施

**中图分类号:**S 636.2 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-0009(2014)24-0031-04

Fe 是植物生长所必需的微量元素之一, 参与植物光合作用和呼吸作用的电子传递, 叶绿素合成, 根瘤形成与固氮, 植物体内氧化还原等生理生化反应<sup>[1-5]</sup>。植物叶片中 Fe 的正常含量为 50~100 mg/kg, 低于 40 mg/kg 时, 可能出现缺 Fe 症状。植物缺 Fe 时, 首先表现在嫩叶上, 叶脉间的叶肉变浅黄化甚至白色, 叶脉仍保持绿色, 叶缘及叶尖干枯, 下部叶片常能保持绿色, 花、果色淡, 根系发育不正常<sup>[6]</sup>。由于土壤钙化, 全世界大约有 40% 的土壤缺铁<sup>[7]</sup>。适量施用 Fe 肥, 可以在一定程度上提高水稻、冬小麦、高羊茅等作物的产量和品质<sup>[8-10]</sup>。由于铁在石灰性土壤中很快被转化为难溶解化合物, 所以铁肥不宜直接施用于土壤, 更适宜叶面喷施。该试验在基质栽培生菜的基础上, 采用叶面喷施硫酸亚铁的方法, 研究其对生菜形态和生理指标的影响, 以期科学施肥提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试生菜品种为“大速生”。种子清洗后, 穴盘育苗, 待幼苗长出 3 片真叶时, 选择株高、叶片数、叶色接近

的植株移栽至营养钵, 移栽基质为草炭、蛭石和珍珠岩 (2:1:1), 缓苗后叶面喷施硫酸亚铁溶液 ( $\text{Fe}^{2+}$  浓度为 15、30、45、60 mg/L, 分别编号为 B、C、D、E), 以清水为对照 (A), 每隔 5 d 喷 1 次, 连续 4 次。处理结束后 10 d 调查生菜的形态指标, 并取样测定生理指标。该试验采用完全随机区组设计, 3 次重复。

### 1.2 试验方法

**1.2.1 形态指标调查** 调查的形态指标包括株高、叶片数、单株鲜重、叶片气孔数。株高的测定标准是从根茎到植株的最高处; 叶片数采用直接查数; 单株鲜重测定是取 10 棵单株称重后计算平均数; 叶片经  $\text{I}_2$ -KI 染色后在光学显微镜 100 倍下观察, 统计气孔数。

**1.2.2 生理指标测定** 生理指标测定参照张立军等<sup>[11]</sup>的方法进行, 其中叶绿素含量采用丙酮提取法测定; 可溶性蛋白质含量采用考马斯亮蓝法测定; 脯氨酸含量采用磺基水杨酸法测定; 可溶性糖含量采用蒽酮法测定; 过氧化物酶活性采用愈创木酚法测定。

### 1.3 数据分析

试验数据采用 SPSS 进行数据处理, Microsoft Excel 2003 作图, Microsoft Word 2003 作表。

## 2 结果与分析

### 2.1 叶面喷施 $\text{Fe}^{2+}$ 对生菜形态指标的影响

由表 1 可知, 随着  $\text{Fe}^{2+}$  处理浓度的增加, 生菜的株高与对照相比差异不显著, 但在 60 mg/L  $\text{Fe}^{2+}$  处理下生

**第一作者简介:**李光远(1971-), 男, 安徽灵璧人, 实验师, 研究方向为蔬菜生物学。E-mail: guangyuan.li@163.com.

**责任作者:**王风华(1972-), 女, 博士, 副教授, 现主要从事蔬菜综合技术等教学与科研工作。E-mail: fenghua123668@126.com.

**收稿日期:**2014-09-26

菜的株高却显著低于对照,说明  $\text{Fe}^{2+}$  浓度低于 60 mg/L 时对生菜的株高无明显影响,但是达到 60 mg/L 后会抑制植株长高。

随着  $\text{Fe}^{2+}$  处理浓度的增加,生菜叶片数呈现先增加后减少的趋势。在 15、30 mg/L  $\text{Fe}^{2+}$  处理下,生菜叶片数与对照组相比显著增加,之后开始下降。在 45 mg/L  $\text{Fe}^{2+}$  处理时,其叶片数与对照组差异不显著,在 60 mg/L  $\text{Fe}^{2+}$  处理下生菜叶片数与对照组相比则显著减少。由此可知,浓度低于 45 mg/L 的  $\text{Fe}^{2+}$  处理对生菜叶片数有一定的促进作用,过高则起抑制作用。

表 1 不同浓度的  $\text{Fe}^{2+}$  处理对生菜形态指标的影响

处理	株高/cm	叶片数/片	叶片气孔数/个	鲜重/g
A(CK)	7.88±0.16a	6.17±0.29c	16.17±1.04b	56.67±2.45b
B	8.00±0.05a	7.17±0.76ab	19.50±1.00a	60.92±1.87ab
C	8.02±0.09a	8.00±0.50a	20.33±1.61a	68.34±4.81a
D	7.98±0.03a	6.33±0.29bc	19.50±1.50a	65.84±2.73a
E	7.67±0.10b	5.17±0.29d	15.00±1.50b	67.25±3.69a

## 2.2 叶面喷施 $\text{Fe}^{2+}$ 对生菜叶绿素含量的影响

由图 1 可知,虽然各处理之间的叶绿素 a 含量有一定差异,但并未达到差异显著水平。因此,  $\text{Fe}^{2+}$  处理并不影响生菜叶绿素 a 含量。

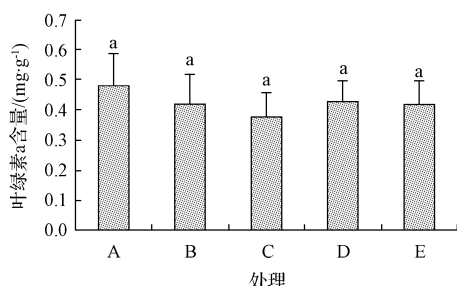


图 1 不同浓度的  $\text{Fe}^{2+}$  处理对生菜叶绿素 a 含量的影响

由图 2 可知,在  $\text{Fe}^{2+}$  处理下,叶绿素 b 含量呈先上升后下降的趋势。在 15 mg/L  $\text{Fe}^{2+}$  处理下,生菜叶绿素 b 含量急剧增加,与对照相比差异显著,是对照的 164%。随着  $\text{Fe}^{2+}$  处理浓度的增加,叶绿素 b 含量开始下降,在 30、45、60 mg/L  $\text{Fe}^{2+}$  处理下,叶绿素 b 含量与对照基本持平,但显著低于 15 mg/L  $\text{Fe}^{2+}$  处理下的叶绿素 b 含量。可见,15 mg/L  $\text{Fe}^{2+}$  处理对生菜叶绿素 b 含量有促

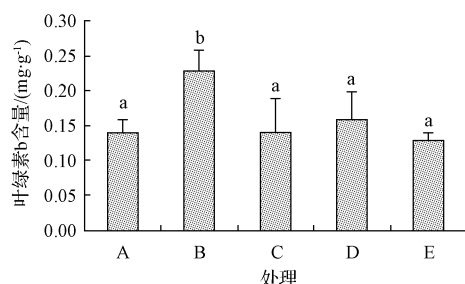


图 2 不同浓度的  $\text{Fe}^{2+}$  处理对生菜叶绿素 b 含量的影响

随着  $\text{Fe}^{2+}$  处理浓度的增加,叶片气孔数呈现先增多后减少的趋势。在 15、30、45 mg/L  $\text{Fe}^{2+}$  处理下,生菜的气孔数明显高于对照,且在 30 mg/L  $\text{Fe}^{2+}$  处理下生菜气孔数与对照相比差异最大。在 60 mg/L  $\text{Fe}^{2+}$  处理下生菜气孔数与对照组相比有所减少,但差异并不显著。由此可知,在该试验条件下,  $\text{Fe}^{2+}$  处理对叶片气孔数有一定的促进作用。

总的来看,叶面喷施  $\text{Fe}^{2+}$  可以在一定程度上提高生菜单株鲜重,其中浓度为 30 mg/L 时,促进效果最显著,比对照约提高了 20.59%。

进作用,其它各处理均未显著影响叶绿素 b 含量。

由图 3 可知,在  $\text{Fe}^{2+}$  处理下,叶绿素总含量有所波动但不明显。虽然在 15 mg/L  $\text{Fe}^{2+}$  处理下生菜叶绿素总含量与对照组相比有所增加,但仍未达到差异显著水平。随着处理浓度的增加,叶绿素总含量有下降趋势,但是各组之间差异也未达到差异显著水平。因此,  $\text{Fe}^{2+}$  处理对生菜叶绿素总含量无显著影响。

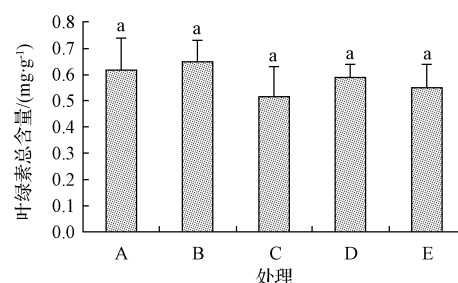


图 3 不同浓度的  $\text{Fe}^{2+}$  处理对生菜叶绿素总含量的影响

## 2.3 叶面喷施 $\text{Fe}^{2+}$ 对生菜可溶性蛋白质含量的影响

由图 4 可知,在 15、30、45 mg/L  $\text{Fe}^{2+}$  处理下,生菜的可溶性蛋白质含量虽然有所变化,但与对照之间的并未达到差异显著水平。在 60 mg/L  $\text{Fe}^{2+}$  处理下生菜的

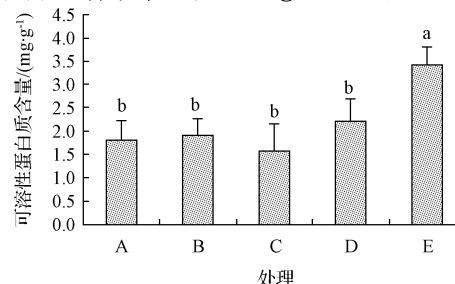


图 4 不同浓度的  $\text{Fe}^{2+}$  处理对生菜可溶性蛋白质含量的影响

可溶性蛋白质含量与对照组相比显著增加,约为对照的1.88倍。可见,60 mg/L  $\text{Fe}^{2+}$  处理对生菜可溶性蛋白质含量有显著的促进作用。

#### 2.4 叶面喷施 $\text{Fe}^{2+}$ 对生菜叶片可溶性糖含量的影响

由图5可知,叶面喷施  $\text{Fe}^{2+}$  处理对生菜可溶性糖含量影响不明显。

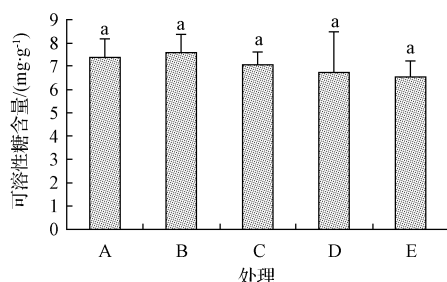


图5 不同浓度的  $\text{Fe}^{2+}$  处理对生菜可溶性糖含量的影响

#### 2.5 叶面喷施 $\text{Fe}^{2+}$ 对生菜脯氨酸含量的影响

由图6可知,各个浓度的  $\text{Fe}^{2+}$  处理下,生菜叶片的脯氨酸含量与对照组相比明显降低,且随着  $\text{Fe}^{2+}$  浓度的增大,脯氨酸含量呈下降趋势。在15 mg/L  $\text{Fe}^{2+}$  处理下脯氨酸含量约为对照的57%,在30、45、60 mg/L  $\text{Fe}^{2+}$  处理下,其脯氨酸含量分别为对照的36%、37%、31%;它们与对照和15 mg/L  $\text{Fe}^{2+}$  处理之间均达到差异显著水平。但30、45、60 mg/L  $\text{Fe}^{2+}$  处理之间差异不显著。说明  $\text{Fe}^{2+}$  处理能抑制生菜叶片脯氨酸的生成,且在该试验的浓度范围内,浓度越高,作用越明显。

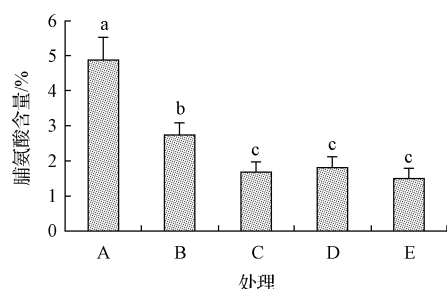


图6 不同浓度的  $\text{Fe}^{2+}$  处理对生菜脯氨酸含量的影响

#### 2.6 叶面喷施 $\text{Fe}^{2+}$ 对生菜过氧化物酶活性的影响

由图7可知,在  $\text{Fe}^{2+}$  处理下,生菜过氧化物酶活性与对照组相比明显下降,这表明  $\text{Fe}^{2+}$  处理对过氧化物酶活性有抑制作用。在15、30 mg/L  $\text{Fe}^{2+}$  处理下,过氧化物酶活性下降,但与对照差异不显著,在45、60 mg/L  $\text{Fe}^{2+}$  处理下,过氧化物酶活性明显下降,且差异显著,在60 mg/L  $\text{Fe}^{2+}$  处理下过氧化物酶活性抑制作用最明显,与各处理均差异十分显著。表明  $\text{Fe}^{2+}$  处理对过氧化物酶活性有一定抑制作用,在60 mg/L  $\text{Fe}^{2+}$  处理下,抑制

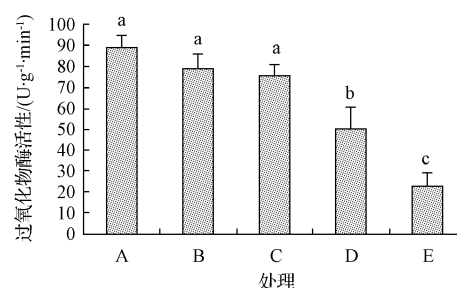


图7 不同浓度的  $\text{Fe}^{2+}$  处理对生菜过氧化物酶活性的影响

作用最大。在该试验中,  $\text{Fe}^{2+}$  浓度越高抑制作用越大。

### 3 讨论

铁是组成某些酶和蛋白质的成分,影响光合作用中的氧化还原系统,直接参与二氧化碳还原过程<sup>[12]</sup>和碳水化合物(如可溶性糖)的制造,影响植物光合作用和物质能量转换,从而影响到植物新陈代谢。研究表明,缺铁导致植物叶绿素合成前体受阻,叶绿体结构破坏,光合速率下降,进而影响作物的产量与品质<sup>[13-14]</sup>,而铁处理能在一定程度上提高作物产量和品质<sup>[8-10]</sup>。该研究的结果显示,叶片喷施一定浓度的硫酸亚铁能在一定程度上改善生菜的株高、叶片数、气孔数,并提高单株产量,说明叶面喷施铁肥对生菜是有利的。这与前人研究相似<sup>[13-15]</sup>,同时该研究表明,叶面喷施铁虽然对可溶性糖含量没有显著影响,但是却能在一定程度上提高可溶性蛋白质的含量,这与丁飞等<sup>[16]</sup>在小白菜上的结果“缺铁胁迫抑制了小白菜的生长,降低了可溶性蛋白质的含量”相互印证,由此说明适量补充铁对于作物可溶性蛋白质含量存在积极影响。

过氧化物酶是活性氧的清除剂,与生物体的胁迫状态密切相关<sup>[17]</sup>,王运强等<sup>[18]</sup>的结果显示,铁浓度的增大促进过氧化物酶(POD)活性的升高,并且随着处理时间的延长而上升。该研究结果却显示,铁处理下生菜的POD活性降低,二者存在显著差异,造成这种差异的原因可能是植物对缺铁和低铁胁迫的适应,缺铁加重了植物衰老,一般在衰老组织中POD的活性强。补充铁之后植物逐渐回到正常状态,因而POD活性逐渐降低,回到正常水平。这一推测正好与脯氨酸的变化吻合,该研究研究中脯氨酸含量也是随着  $\text{Fe}^{2+}$  浓度的增加呈下降趋势,而脯氨酸也是植物衰老和受胁迫的指标之一,说明缺铁和低铁确实对生菜造成了一定的胁迫。

铁虽然不是叶绿素的组成成分,但它是叶绿素合成的必需元素,对叶绿素合成酶的活化起重要作用<sup>[19]</sup>。叶绿素是植物进行光合作用的色素,叶绿素含量高低在一定程度上反映了光合作用水平。王运强等<sup>[18]</sup>以甜瓜为

材料,研究了铁胁迫对甜瓜幼苗光合作用及生理特性的影响,结果表明,随着铁浓度的增加,叶绿素含量呈现先升高后降低的趋势,但是总体差异不大。迟光宇等<sup>[20]</sup>的结果表明,随培养液中  $\text{Fe}^{2+}$  浓度的升高,水稻体内 Fe 含量逐渐增加,但是叶绿素浓度降低。该试验的结果表明, $\text{Fe}^{2+}$  处理对生菜的叶绿素总含量和叶绿素 a 含量无显著影响,但却影响叶绿素 b 含量。在 15 mg/L  $\text{Fe}^{2+}$  处理下,生菜叶绿素 b 含量达到对照的 164%。该结果与王运强等<sup>[18]</sup>、迟光宇等<sup>[20]</sup>的结果存在显著差异,原因可能与材料类型、栽培方式以及铁处理浓度等有关,需要进一步深入研究。

### 参考文献

- [1] Curie C, Briat J. Iron transport and signaling in plants[J]. Ann Rev Plant Biol, 2003, 54: 183-206.
- [2] Hell R, Stephan U W. Iron uptake, trafficking and homeostasis in plants[J]. Planta, 2003, 216: 541-551.
- [3] Schmidt W. Iron solutions: acquisition strategies and signaling pathways in plants[J]. Trends Plant Sci, 2003(8): 188-193.
- [4] Thoirion S, Pascal N, Briat J. Impact of iron deficiency and iron re-supply during the early stages of vegetative development in maize (*Zea mays* L.) [J]. Plant Cell Environ, 1997, 20: 1051-1060.
- [5] 吴好,禹文雅,李奕松. 缺铁胁迫对草莓幼苗光合特性及细胞器铁含量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(4): 918-925.
- [6] 沈慧国. 土壤微量元素对植物的影响[J]. 林业科技情报, 2010, 42(4): 12-14.
- [7] 云少君,赵广华. 植物铁代谢及植物铁蛋白结构与功能研究进展[J]. 生命科学, 2012, 24(8): 809-816.
- [8] 付力成,王人民,孟杰,等. 叶面锌、铁配施对水稻产量、品质及锌铁分布的影响及其品种差异[J]. 中国农业科学, 2010, 43(24): 5009-5018.
- [9] 赵广才,常旭虹,杨玉双,等. 叶面喷施不同营养元素对冬小麦产量和品质的影响[J]. 麦类作物学报, 2011, 31(4): 689-694.
- [10] 武小钢,杨秀云,赵姣. 叶面喷施铁制剂对高羊茅养分因子的影响[J]. 草业学报, 2007, 15(1): 97-99.
- [11] 张立军,樊金娟. 植物生理学实验教程[M]. 北京:中国农业出版社, 2007.
- [12] 刘慧超,卢钦灿,肖为强. 不同形态铁肥对水培生菜生长和品质的影响[J]. 长江蔬菜(学术版), 2009, 22(3): 66-68.
- [13] Vose P B. Iron nutrition in plants; a world overview[J]. J Plant Nutr, 1982(5): 233-249.
- [14] Guerinot M L. It is elementary: Enhancing  $\text{Fe}^{3+}$  Reduction improves rice yields[J]. Proc Natl Acad Sci USA, 2007, 104(18): 7311-7312.
- [15] Naga Sivaiah K, Swain S K, Sandeep Varma V, et al. Effect of foliar application of micronutrients on growth parameters in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) [J]. Discourse Journal of Agriculture and Food Sciences, 2013, 10(1): 146-151.
- [16] 丁飞,王秀峰,史庆华,等. 缺铁胁迫对小白菜光合特性及品质的影响[J]. 山东农业科学, 2007(6): 51-53.
- [17] 李伯林,梅慧生. 燕麦叶片衰老与过氧化物酶的影响[J]. 植物学报, 1989, 15(1): 6-12.
- [18] 王运强,戴照义,郭凤领,等. 铁胁迫对甜瓜幼苗光合作用及生理特性的影响[J]. 长江蔬菜(学术版), 2010, 24(16): 43-45.
- [19] 肖家欣,齐笑笑,张绍铃. 铁胁迫对三种柑橘砧木的生长、生理特性及铁分布的影响[J]. 广西植物报, 2011, 31(1): 97-98.
- [20] 迟光宇,陈欣,史奕,等. 水稻叶片光谱对亚铁胁迫的响应[J]. 中国科学 C 辑: 生命科学, 2009, 39(4): 413-419.

## Effect of Foliage Spraying $\text{Fe}^{2+}$ on Morphological and Physiological Index of Lettuce

LI Guang-yuan<sup>1</sup>, WANG Feng-hua<sup>1</sup>, JIANG Yan<sup>1</sup>, JIN Song-can<sup>2</sup>

(1. Forestry College, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471003; 2. Henan Agricultural Bureau of Luoyang, Luoyang, Henan 471000)

**Abstract:** Taking ‘Dasusheng’ lettuce as test materials, the effects of spraying  $\text{Fe}^{2+}$  on lettuce seedlings were studied using matrix cultivation. The results showed that it had no effect on plant height when the concentration was lower than 60 mg/L, and it inhibited the growth as the concentration was up to 60 mg/L. Lettuce had more leaves when the concentration was lower than 45 mg/L, and it showed restriction effect under 60 mg/L.  $\text{Fe}^{2+}$  had no significant influences on contents of chlorophyll a and total chlorophyll, but it increased the chlorophyll b content when the  $\text{Fe}^{2+}$  concentration was 15 mg/L. The chlorophyll b content under the treatment of 15 mg/L  $\text{Fe}^{2+}$  was about 164% of the control. The soluble protein content was the highest when spraying with 60 mg/L  $\text{Fe}^{2+}$ .  $\text{Fe}^{2+}$  did not influence the content of soluble sugar, however it decreased the content of proline (Pro) and the activity of peroxidase (POD), the higher concentration, the lower Pro content and POD activity, respectively.

**Keywords:** lettuce;  $\text{Fe}^{2+}$  treatment; chlorophyll; foliage spraying