

葛晋金,孙晓娜,张丽平,等. 缺钾对香蕉光合特性和矿质元素含量的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(4):105-109.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.04.018

# 缺钾对香蕉光合特性和矿质元素含量的影响

葛晋金<sup>1,3</sup>, 孙晓娜<sup>1</sup>, 张丽平<sup>1,2</sup>, 盛 鸥<sup>2</sup>, 周高峰<sup>1</sup>

(1. 赣南师范大学生命科学学院/国家脐橙工程技术研究中心, 江西赣州 341000; 2. 广东省农业科学院果树研究所, 广东广州 510640;

3. 南京农业大学生命科学学院, 江苏南京 210095)

**摘要:**钾是高等植物生长发育必需的矿质营养元素,香蕉对钾的需求量远远高于其他作物。为研究缺钾对香蕉幼苗的生长、光合特性和矿质营养状况的影响,本研究以香蕉幼苗为试验材料,利用水培法进行缺钾处理。结果表明,缺钾胁迫处理 90 d 后,香蕉幼苗的生长受到了显著的抑制作用,株高、茎粗和叶面积均显著低于对照。通过对其叶片进行光合特性分析,发现在缺钾条件下,叶片净光合速率( $P_n$ )、气孔导度( $G_s$ )、胞间二氧化碳浓度( $C_i$ )和蒸腾速率( $T_r$ )均受到显著抑制。通过进一步对矿质营养进行分析显示,缺钾培养主要促进了 Mg 的吸收,而抑制了 K 的吸收,并且表明可能是因为缺乏钾素而使叶片中光合作用相关的矿质元素的含量下降,导致叶片光合性能的减弱。因此可以得知,钾元素的缺乏会使与香蕉叶片光合作用相关的矿质营养元素含量下降,进一步阻碍光合特性的正常进行,最终抑制了香蕉的正常生长发育。本研究的结果为香蕉生产中钾肥的科学合理施用提供了初步理论依据。

**关键词:**香蕉;缺钾;植株形态;矿质营养;光合特性

**中图分类号:**S668.101

**文献标志码:**A

**文章编号:**1002-1302(2022)04-0105-05

作为植物生长中不可缺少的元素,钾被公认为农作物的“品质元素”。然而缺钾或低钾在农业生产中较为常见,严重制约了农作物的品质提升<sup>[1-2]</sup>。前人研究表明,不同植物缺钾的症状相似而不相同<sup>[1-2]</sup>,缺钾会影响植物纤维素等细胞壁组分的合成,减少木质素的产生,导致茎的坚韧性产生变化,使其无法挺立,容易倾斜;抑制蛋白质的合成,不利于进行氮代谢,易造成腐胺累积,叶片部分坏死。钾可被二次利用,所以老叶会优先于新叶先表现出异常,其特征表现为初始阶段叶片边缘有黄化现象,随后黄化范围向叶内扩散,同时叶缘处转变为褐色,叶片上形成褐色斑点。发生病害处和健康区域存在明显的分界,特别是当氮含量充足时,健康部位为绿色,而病部表现出焦枯且为赤褐色,两者有明显的差别。状况严重时还会导致叶肉细胞损坏继而使叶片从叶柄上掉落,根系不发达且短小,缺少活力,加速衰老。

虽然钾不属于香蕉体内的有机物质,但它直接

或间接地参与了香蕉的所有生命活动,是香蕉生长成熟阶段必不可少的重要营养元素。香蕉是需钾作物中的典例,它的吸钾量远超其他作物,其吸钾量甚至可达 70 kg/hm<sup>2</sup>,是水稻的 6 倍以上。据相关试验资料可知,香蕉需钾量尤其多,这在其他作物中是很少见的。钾对香蕉的营养作用主要有加速生长、提高产量、改良品质、增强抗寒等。目前针对香蕉缺钾后矿质元素含量以及光合特性的影响的研究并不多。刘芳等试验得出,缺钾会影响香蕉中肥料三要素的均衡,它各个部位中的氮和钾的含量均减少,同样在根系中对磷的吸取量也为下降趋势,相反在缺钾条件下的地上部、根系和植株中, N/K、P/K 明显上升,地上部和整株植株 N/P 出现明显的降低,根系 N/P 明显上升<sup>[3]</sup>。因此,相较于形态特征,缺钾对香蕉在矿质营养元素方面的吸收效果上有更为明显的影响。杨苞梅等研究发现,适量增施 K 肥能够使香蕉的长势更加旺盛,有利于促进叶片光合作用的正常进行,同时也可通过相关机制确保防止叶片早衰<sup>[4]</sup>。为了更进一步了解香蕉对缺钾的响应机制,本试验研究了缺钾对香蕉叶片光合特性和矿质元素含量的影响。试验结果能为田间香蕉科学合理施用钾肥提供初步理论依据。

收稿日期:2021-06-10

基金项目:国家自然科学基金(编号:31960573)。

作者简介:葛晋金(1998—),女,浙江金华人,硕士研究生,主要从事园艺植物矿质营养生理研究。E-mail:gkklking@163.com。

通信作者:周高峰,博士,副教授,主要从事园艺植物矿质营养生理与栽培研究。E-mail:zhougaofeng428@163.com。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料与处理

试验地点位于国家脐橙工程技术研究中心基地温室,于 2020 年 3 月上旬开始至 7 月中旬结束。以香蕉(*Musa acuminat* L.)组培幼苗为材料,由广东省农业科学院果树研究所提供。选取长势相似的香蕉幼苗,用清水洗净根系上的杂物,以确保试验的准确度。植物材料的培养方法为水培,每盆培养 1 棵。以 Hoagland 和 Aron 营养液配方为主要依据并做适当的修改。营养液养分配方:磷酸二氢铵 57.5 mg/L,乙二胺四乙酸二钠亚铁 39 mg/L,硝酸钾 303.5 mg/L,七水硫酸镁 246.5 mg/L,四水硝酸钙 472.5 mg/L。温室的温度控制在 24 ~ 32 ℃,相对湿度为 50% ~ 60%。每间隔 5 d 更换 1 次营养液,并保证通风 10 min/h。试验设置 1 个缺钾处理和 1 个对照。缺钾处理将硝酸钾换成硝酸钠(与处理组所施用的营养液相比)。对照和处理组各种植 15 株,共 30 株。试验持续约 110 d。

### 1.2 取样及测定方法

取样之前,先测定香蕉叶片的光合特性,检测仪器选择便携式光合测定系统(LI-6400XT,LI-COR,United States)。使用光合仪同步检测叶片净光合速率( $P_n$ )、蒸腾速率( $T_r$ )、胞间二氧化碳浓度( $C_i$ )及气孔导度( $G_s$ )等参数,试验完成后对数据进行记录。分别从缺钾处理组和对照组中每盆随机选取 3 张成熟叶片,等到 LI-6400XT 的体系平稳时,在每张香蕉叶的叶脉一侧读取 5 个各参数值,求平均值。再使用佳能(Canon)EOS 6D(W)数码单反相机,对各株香蕉进行拍摄记录。本次试验对香蕉光合特性的测定次数为 1 次,重复 5 次。

经过 90 d 处理后(即取样时间为 12 月),缺钾处理以及对照各有 5 次重复,总计 10 株,以便后续进行生长指标以及矿质营养含量的测定。用超纯水清洗所有试验样本,将每株香蕉都分为根、茎和叶 3 个部分。分别借助软尺以及游标卡尺测量每株香蕉的植株高度和茎粗,并明确数出其须根数和叶片数。然后对照和缺钾处理的植株每株同样选取 3 张叶片(最好与采样前选择的叶片一致),用于植株叶片长宽比的测定,此处测定需要借助坐标纸。

待取样和测定生长指标以及光合特性的数据完成之后,便可使用超纯水冲洗,等水分蒸发之后称量各部分质量(此外为鲜质量)。接着置于 70 ℃

烘箱中烘干称取干质量,之后进行磨样处理。将植株各部分样品存放在自封袋中以便后续分析矿质元素含量。各样品大概称取 0.20 g,先将样品置于电弧炉上焦化直到没有黑色烟状物出现为止,之后转移至马弗炉,在 500 ℃的高温下进行灰化处理,持续时间为 6 h。随后进行硝化处理,使用移液枪加入 10 mL 5% 的  $\text{HNO}_3$ ,使用电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS, Agilent 7900, United States)对矿质营养元素的含量进行测定。

### 1.3 数据处理与统计分析

本研究图中所出现的各组数据均代表了 15 个单独植株(重复)的平均值。所有数据采用 SAS 8.1 软件进行不同处理之间的差异显著性分析,显著水平为  $P < 0.05$ 。数据处理完成后,使用 SigmaPlot 14.5 软件进行作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 缺钾对香蕉植株叶、茎和根形态的影响

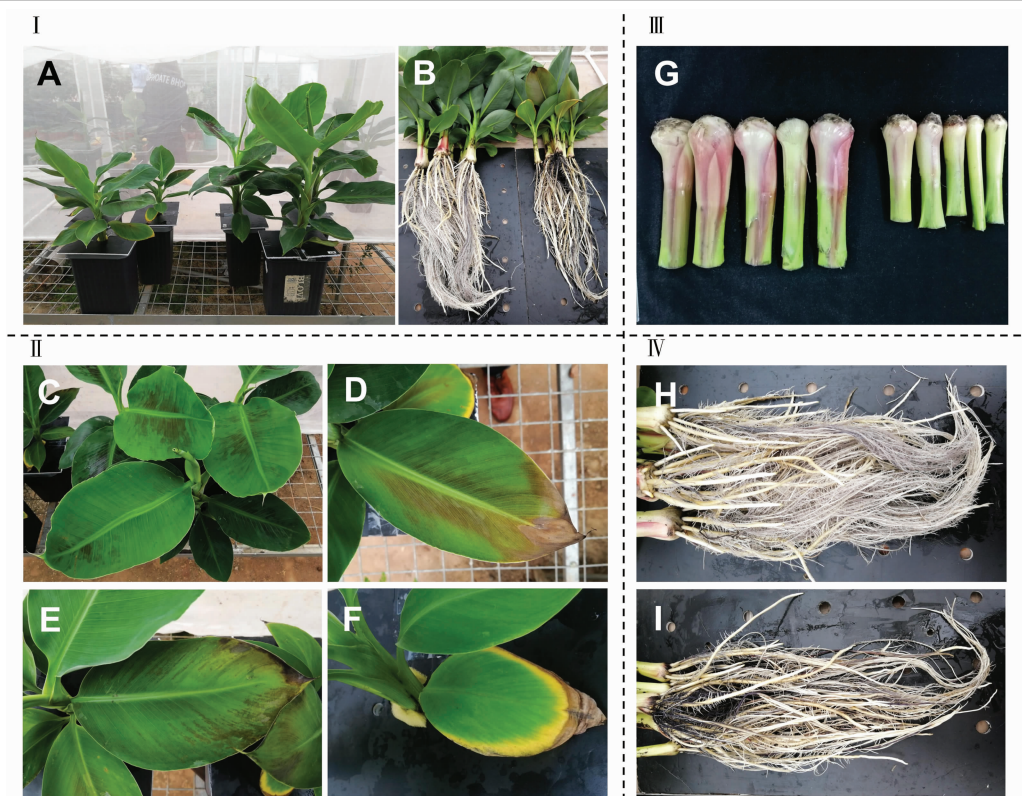
如图 1 所示,香蕉叶片在经过 3 个月左右的缺钾之后,在形态上发生了明显的变化。针对叶片,可以明显观察到缺钾培养的叶片相比对照的更小,生长受到抑制,叶片从边缘逐渐呈现焦枯症状且开始变黄,最老叶先出现橙黄色失绿。新叶无法直立,位于较上方的叶片变软,下垂,且和假茎之间所呈的角度较大。在缺钾条件下,香蕉的茎也更细短,茎秆软弱易折。而且根系长势不佳,须根数明显减少,根系顶部表现出发黑症状。前人已有研究表明,香蕉作为典型的需钾作物,在缺钾条件下会对其形态以及生理生化方面产生不良影响,不利于香蕉的生长发育<sup>[5-6]</sup>。

### 2.2 缺钾对香蕉生长的影响

如图 2 所示,在缺钾条件下,香蕉幼苗植株的高度、茎粗和叶面积均有显著变化。如图 2-A 所示,香蕉在缺钾条件下株高显著降低,降低幅度达 37.5%。如图 2-B 所示,缺钾使得香蕉的茎粗明显减小,降低幅度达 33.3%。如图 2-C 所示,香蕉在缺钾条件下叶面积显著降低,降低幅度达 56.5%。

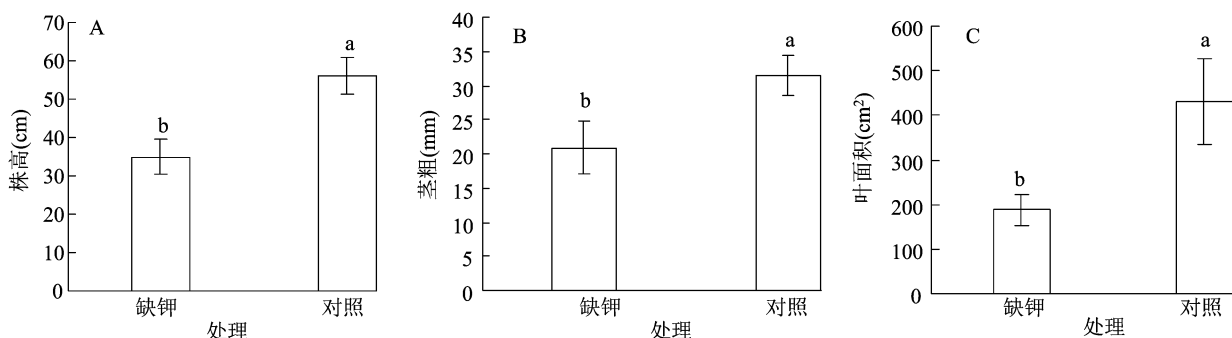
### 2.3 缺钾对香蕉叶片光合特性的影响

如图 3 所示,与对照相比较,缺钾处理后的香蕉叶片净光合速率、气孔导度、蒸腾速率和胞间二氧化碳浓度都有遭受明显的抑制。如图 3-A 所示,香蕉在缺钾条件下净光合速率显著降低,降低幅度达 66.7%。如图 3-B 所示,缺钾使得香蕉的气孔



I (整体)A: 左边缺钾, 右边对照; B: 左边对照, 右边缺钾。II (叶)C: 对照; D~F: 缺钾。  
III (茎)G: 左边对照, 右边缺钾。IV (根)H: 对照; I: 缺钾

图1 缺钾处理 90 d 后香蕉叶、茎和根部形态



柱上不同小写字母表示处理间差异显著( $P < 0.05$ )。下图同  
图2 缺钾对香蕉幼苗株高(A)、茎粗(B)和叶面积(C)的影响

导度明显减小,降幅可达 92.8%。如图 3 - C 所示,对于缺钾处理的香蕉胞间二氧化碳浓度,虽然降低幅度没有前两者明显,但也比正常条件降低了 19.4%。如图 3 - D 所示,缺钾致使香蕉的蒸腾速率也呈现明显的下降趋势,降低幅度为 77.3%。

#### 2.4 缺钾对香蕉矿质元素含量的影响

如图 4 所示,在缺钾处理后香蕉各个部分的矿质元素含量均表现出不同水平的差异。如图 4 - A 所示,与对照相比,缺钾条件下 P 含量在根中呈现明显上升,但叶、茎中 P 的含量则没有发生很大变化。如图 4 - B 所示, K 含量在叶、茎和根中呈现出

的规律与 Mg 相反,在缺钾情况下, K 含量在叶、茎和根中均明显降低。如图 4 - C 所示,在缺钾情况下, Ca 含量在叶以及根中均无明显差异,而在茎中则明显降低。如图 4 - D 所示, Mg 含量在缺钾条件下在叶、茎、根中均表现为显著的上升趋势。如图 4 - G 所示,从微量元素方面上看,不论是否缺钾, B 含量在叶、茎和根中均无明显差异。如图 4 - F 所示,缺钾只使 Mn 在根中的含量显著降低,在叶和茎中无显著差异。如图 4 - E 所示, Fe 与 B 也表现为相同规律,与对照相比,缺钾并不会造成其含量在叶、茎和根中显著变化。如图 4 - H 所示,缺钾不会

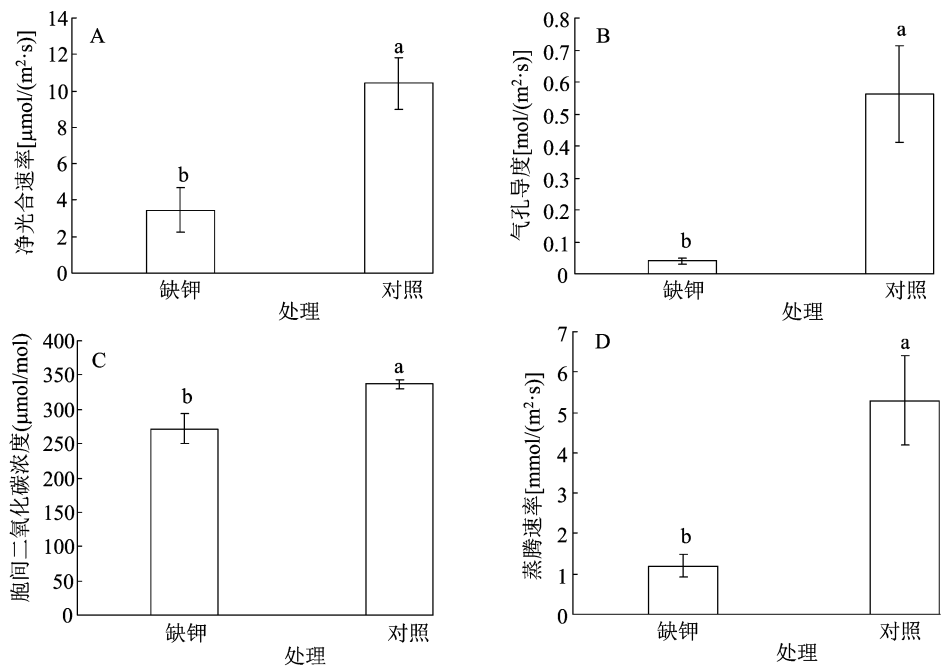


图3 缺钾对香蕉幼苗光合特性的影响

显著影响叶和茎对 Zn 的吸收,但在根中会使 Zn 含量上升。如图 4-I 所示,在缺钾条件下,Cu 含量在三者中均表现出不同的情况,在叶中无明显变化,在茎中表现为显著上升,在根中表现为显著下降。

3 讨论与结论

众所周知,香蕉作为一种喜钾作物,钾是香蕉需求量最大的营养元素,也是香蕉最重要的品质元

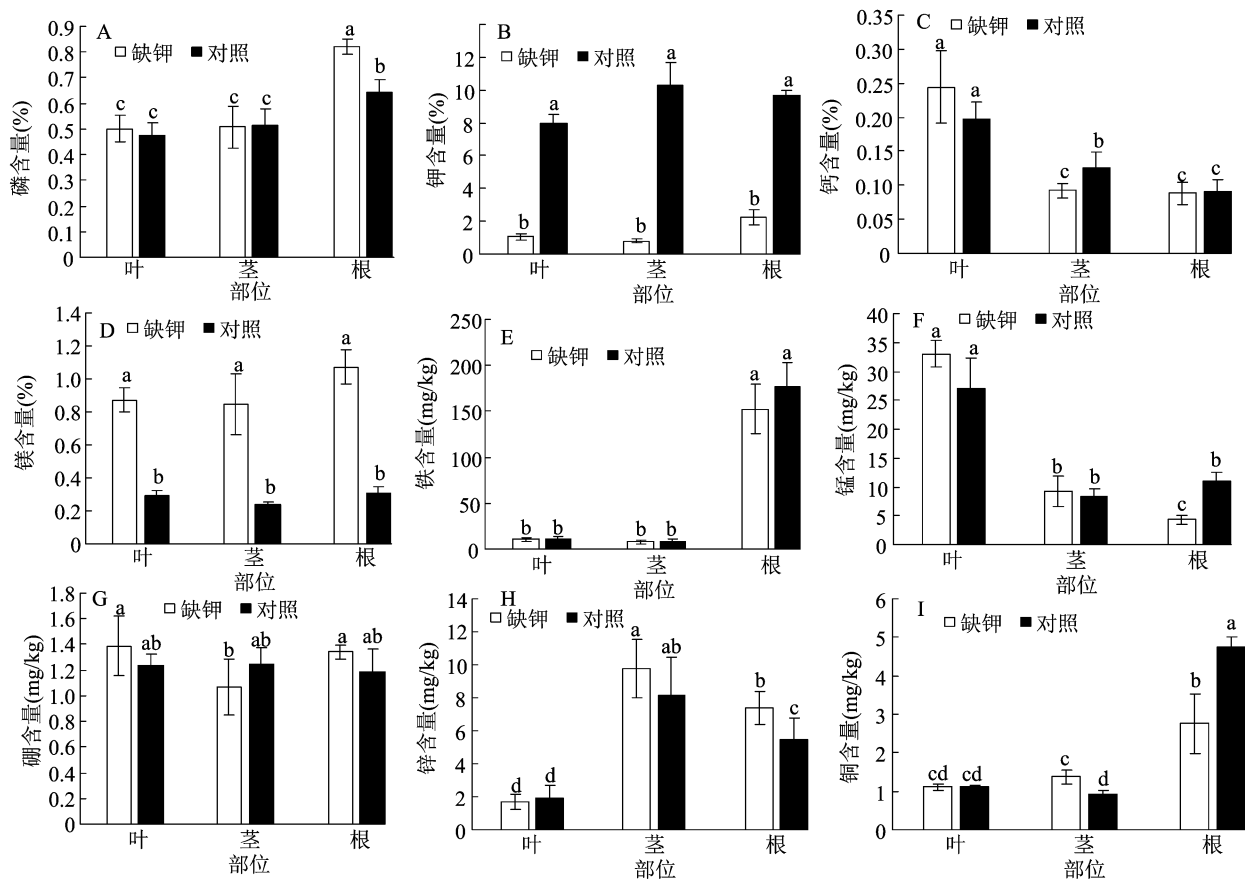


图4 缺钾对香蕉幼苗各部位矿质元素含量的影响

素,对香蕉的生长发育至关重要。虽然土壤施钾量在常规施钾量上下浮动,的情况下,香蕉也可以生长,但长时间生长在这种施钾量较少的土壤中,是不利于香蕉的生长的。本研究结果表明,缺钾对香蕉株高、茎粗、叶面积有显著的抑制作用。

为了深入探究缺钾抑制香蕉生长发育的原因,本试验对叶片光合特性进行了分析。试验结果显示,香蕉幼苗的叶片光合特性在缺钾条件下明显受到了抑制,其中叶片的净光合速率在缺钾条件下下降了 66.7%。当植物光合性能的发挥遇到阻碍时,会使其正常的生长发育受到抑制,所以本试验中香蕉幼苗生长受到抑制的重要原因可以判定为是降低了其叶片的光合性能。那么香蕉幼苗叶片光合性能下降的原因又是什么呢?相关香蕉缺钾的研究文献较少,但是可以从其他植物上找到相同规律。如缺钾会降低水稻叶片的光饱和点,非光化学淬灭(NPQ)显著上升,对光合特性产生不良影响<sup>[7]</sup>。在其他物种如油菜<sup>[8]</sup>、金盏花<sup>[9]</sup>等上也有相关的报道。然而目前为止,还未有报道表明钾元素对植物的光合性能有着直接的影响,但是本试验在对矿质元素含量测定时发现,香蕉叶片中 Mg 和 K 等元素的含量与对照相比发生了显著变化,而 P、Ca、B 等的含量则并没有受到显著抑制。Mg 作为叶绿体构造中的关键组分,参与合成叶绿素等物质,所以对于光合作用必不可少。同时,Mg 作为关键元素也参与叶绿素 a 的合成。色素在光能的接收、传递以及转变中起着重要的作用,这些均与光反应有着必要的联系。缺镁使光反应受到抑制后,暗反应的进行也会有所减缓,从而使得光合作用下降。叶绿素 a 和叶绿素 b 都可以接收光照,可是通常只有少许处于激发状态的叶绿素 a 分子才能将其转变为电能。缺镁时,叶绿素的形成过程会受到破坏。 $K^{+}$ 作为光合作用所必需的辅酶或调节因子可以调节气孔开闭,还可以促进光合产物的转化和运输。已有研究表明,钾在调控约束叶片净光合速率的因素(气孔导度、叶肉导度和生理生化限制)中起着非常关键的作用<sup>[10-12]</sup>。另外有研究表明,植物叶片中 P、B 等元素的含量下降同样能够使作物叶片光合特性和叶绿素含量受到影响<sup>[13-14]</sup>。所以,在缺钾条件下,香蕉叶片的光合特性受到抑制或许是由于叶片中 Mg、K 等与光合作用相关的元素含量降低引起的。

综上所述,本试验结果显示缺钾会阻碍香蕉幼苗的正常生长发育,关键是因为缺钾会使叶片光合

特性的正常进行受到阻碍,而这又是由于与叶片光合作用有关矿质营养元素的含量下降造成的。所以,在栽培香蕉时要注意保持钾元素的用量适当,种植于缺钾的土壤上时应先改良土壤。其次可以选择在稍缺钾条件下也可以较好生长的香蕉品种。香蕉的根系活力较强,长势旺盛但是往往散布于较浅的土层,生长需要较多的肥料,且对化肥的感知度非常敏锐。增施氮肥有利于提早香蕉开花的时间,能够使产量有明显的增加;而钾肥则是生成假茎、叶纤维的重要组分。香蕉对肥料三要素的需求量表现为  $K > N > P$ ,氮、磷、钾之比为 1.00 : 0.25 : 3.50。除此之外,还要保证其余环境条件适宜。

#### 参考文献:

- [1] Römheld V, Kirkby E A. Research on potassium in agriculture: needs and prospects[J]. Plant and Soil, 2010, 335(1/2): 155 - 180.
- [2] Zöb C, Senbayram M, Peiter E. Potassium in agriculture: Status and perspectives[J]. Journal of Plant Physiology, 2014, 171(9): 656 - 669.
- [3] 刘芳, 林李华, 张立丹, 等. 缺钾对香蕉苗期地上部、根系生长及氮磷钾吸收的影响[J]. 华南农业大学学报, 2018, 39(2): 47 - 53.
- [4] 杨苞梅, 李进权, 姚丽贤, 等. 钾钙镁营养对香蕉产量、品质及贮藏性的影响[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(2): 290 - 294.
- [5] 蒋雪林. 香蕉的钾素营养及诊断[J]. 广西热作科技, 1997(1): 8 - 11.
- [6] 王丽霞, 林妃, 苏璐, 等. 香蕉钾素营养及其施用技术研究综述[J]. 安徽农学通报, 2019, 25(20): 101 - 105.
- [7] 彭海欢. 缺钾对水稻叶片光合特性、抗氧化酶的影响及其诱导早衰机制的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2006: 38 - 39.
- [8] 潘勇辉, 陆志峰, 鲁剑巍, 等. 缺钾对越冬期油菜光合特性和叶绿体超微结构的影响[J]. 中国油料作物学报, 2015, 37(5): 688 - 693.
- [9] 赵永平, 钟娇娇, 朱亚, 等. 不同供钾水平对金盏花光合特性和根系形态形成的影响[J]. 西南农业学报, 2017, 30(6): 1304 - 1308.
- [10] 陆志峰, 鲁剑巍, 潘勇辉, 等. 钾素调控植物光合作用的生理机制[J]. 植物生理学报, 2016, 52(12): 1773 - 1784.
- [11] 夏乐. 缺钾对作物光合作用的影响及其机理[J]. 农业科技与装备, 2016(9): 5 - 6.
- [12] 密扬, 陈剑秋, 王瑞霞, 等. 不同施钾量对淀粉型甘薯光合特性、淀粉含量及产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(12): 68 - 74.
- [13] 袁继存, 赵德英, 徐锴, 等. 不同供磷水平对富士苹果光合及叶绿素荧光特性的影响[J]. 中国南方果树, 2017, 46(6): 112 - 114.
- [14] Han S, Chen L S, Jiang H X, et al. Boron deficiency decreases growth and photosynthesis, and increases starch and hexoses in leaves of citrus seedlings[J]. Journal of Plant Physiology, 2008, 165(13): 1331 - 1341.