

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.

缺钾对香蕉苗期地上部、根系生长及氮磷钾吸收的影响

刘 芳, 林李华, 张立丹, 樊小林
(华南农业大学 资源环境学院, 广东 广州 510642)

摘要:【目的】明确香蕉苗缺钾的表型症状, 探讨缺钾和恢复供钾对香蕉苗生长及氮磷钾营养平衡的影响, 为香蕉苗营养诊断和平衡施肥提供依据。【方法】通过石英砂培养试验, 以正常的完全营养液为对照, 观察记录香蕉苗缺钾的表型症状及出现时间, 对比研究缺钾和缺钾后恢复供钾条件下香蕉苗的地上部和根系的生物量、根系形态参数、氮磷钾吸收等变化。【结果】缺钾的表型症状为: 老叶发黄, 中部叶片主叶脉先呈现橙黄色, 并逐渐向叶缘蔓延, 然后部分叶片叶缘出现近椭圆形小枯斑, 叶柄呈现浅红褐色, 缺钾严重时, 橙黄色叶片近叶脉处的叶肉发黑, 进而干枯死亡, 枯叶呈褐色, 完全展开的新叶不挺立, 上部叶片柔弱、下披。缺钾显著抑制香蕉苗生长, 缺钾处理较正常处理的地上部和根系生物量降低了 31% 和 39%, 其根长、根表面积和根体积减少了 30%、31% 和 34%, 且细根减幅大于中根。缺钾同时改变了香蕉苗氮磷钾平衡, 其地上部、根系和全株的氮含量分别增加了 19%、21% 和 19%, 磷含量分别增加了 40%、12% 和 38%, 钾含量分别降低了 73%、56% 和 72%, 氮、钾吸收量降低, 根系的磷吸收量降低; 缺钾处理的地上部、根系和全株的 N/K、P/K 显著升高, 地上部和全株 N/P 显著降低, 根系 N/P 显著升高。缺钾后恢复供钾, 香蕉苗缺钾表型症状消失, 但香蕉苗的生物量以及氮、磷、钾含量和吸收量不能同步恢复, 香蕉苗生物量仍低于正常处理, 各部位的氮含量、根系的磷、钾含量仍高于正常处理, 地上部和全株的钾含量和吸收量也未增加至正常水平。供钾后地上部和全株的磷吸收量显著降低, 且低于正常处理。【结论】缺钾对香蕉苗营养状况的影响显著大于对表型性状的影响, 营养状况的恢复滞后于表型性状的恢复, 香蕉苗施肥要针对其营养特性施用。

关键词: 缺钾; 香蕉苗; 地上部; 根系; 氮磷钾平衡
中图分类号: S668.1 文献标识码: A 文章编号: 1001-411X(2018)02-0047-07

Effects of potassium deficiency on growth and N, P and K balance of banana shoots and roots

LIU Fang, LIN Lihua, ZHANG Lidan, FAN Xiaolin
(College of Natural Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: 【Objective】To make clear morphological symptoms of potassium (K) deficiency in banana seedlings, discuss the effects of K deficiency and K resupply on growth and nitrogen (N), phosphorous (P), K balance of banana seedlings and provide a basis for nutrition diagnosis and blanced fertilization of banana seedlings. 【Method】Through quartz sand culture experiment, complete nutrient solution cultivation was marked as the control treatment to observe morphological characteristics and appearance time of K-deficient symptoms. K deficiency and K deficiency-resupply treatments were conducted to study the changes of biomass,

收稿日期: 2017-06-20 优先出版日期: 2018-01-17
优先出版网址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1110.S.20180117.1559.018.html>
作者简介: 刘 芳 (1978—), 女, 助理研究员, 硕士, E-mail: liufang-7578@scau.edu.cn; 通信作者: 樊小林 (1958—), 男, 教授, 博士, E-mail: xlfan@scau.edu.cn
基金项目: 国家重点研发计划 (2017YFD0200701); 国家现代农业产业技术体系建设专项 (CARS-32); “十二五”国家科技支撑计划 (2011BAD11B04); 国家自然科学基金 (30871594, 31071857)

root morphological parameters and N, P, K uptake of banana seedlings. 【Result】 The K-deficient symptoms were old leaves chlorosis, successive orange-yellowing of main veins and margins of middle leaves, small oval spots in leaf margins and reddish brown petioles. When the seedlings were in severe K deficiency, mesophylls near the veins of orange-yellow leaves were blackening and dried to death, the dead leaves were brown, fully expanding new leaves were not erect, and the upper leaves were soft and drooping. K deficiency significantly inhibited the growth of banana seedlings. Compared with CK, the biomass of shoots and roots in K deficiency treatment decreased by 31% and 39% respectively, the length, surface area and volume of roots decreased by 30%, 31% and 34% respectively, and the decrease ranges of fine roots were more than that of middle roots. K deficiency also changed N, P, K balance of banana seedlings. Compared with CK, N contents of shoots, roots and whole plants in K-deficient treatment increased by 19%, 21% and 19% respectively, P contents increased by 40%, 12% and 38% respectively, K contents decreased by 73%, 56% and 72% respectively, N and K uptake decreased, P uptake of roots decreased, N/K and P/K ratios in shoots, roots and whole plants increased significantly, N/P ratio in shoots and whole plants decreased significantly, and N/P ratio in roots increased significantly. After resupplying K in K deficiency treatment, the K-deficient morphological symptoms of banana seedlings disappeared, but the biomass, N, P and K contents and uptakes of banana seedlings could not recover simultaneously. The biomass of banana seedlings was still lower than that of CK, and N contents of shoots, roots and whole plants and P, K contents of roots were higher than those of CK. K contents and uptakes of shoots and whole plants did not increase to normal levels. P uptakes of shoots and whole plants decreased significantly and was lower than that of CK. 【Conclusion】 The effects of K deficiency on nutrition status of banana seedlings are significantly greater than that of phenotypic characteristics, and the recovery of nutrition status lags behind phenotypic characters. Banana seedling fertilization should apply to its nutritional characteristics.

Key words: potassium deficiency; banana seedling; shoot; root; N, P and K balance

香蕉是典型的嗜钾作物^[1-2]。钾肥对香蕉生长和结果有明显的促进作用^[3],可以加快生长速率,促进果实发育,提早成熟,提高产量和品质,增强抗逆性等,钾素对假茎的增粗起主要作用^[4],钾和钙、镁肥适量配施,即香蕉体内的养分平衡能有效促进香蕉果实的生长发育,减少贮藏过程中的重量损失,提高香蕉果实的耐贮藏性^[5]。香蕉各器官吸收氮磷钾比例(N:P₂O₅:K₂O)依次为根系 1.00:0.14:4.14,球茎 1.00:0.12:2.40,假茎 1.00:0.20:4.68,叶片 1.00:0.20:4.68。单株香蕉氮、磷、钾总吸收量分别为 109.1、11.1 和 311.9 g^[6],由此可见,香蕉对钾的吸收量远高于其他元素。同时,香蕉吸钾量远大于一般作物,每生产 1 000 kg 香蕉果实,则需吸收 30 kg 的 K₂O,相当于水稻或玉米吸钾量的 5~7 倍^[7]。

我国香蕉主要生长在热带亚热带地区,土壤母质缺钾、土壤供钾能力较低,加之蕉农不合理施肥,香蕉氮多、钾缺的现象比较普遍。广东高州市 65% 蕉农^[8]、中山市民众镇 69% 蕉园^[9]施钾量低于香蕉钾素需求量。广东雷州市田间试验表明,香蕉缺钾对产量及种植效益的影响大于缺磷和缺氮,与氮磷钾处理相比较,缺钾、缺氮和缺磷处理的种植

效益分别下降 46.5%、17.9% 和 45.7%^[10]。非洲肯尼亚中部^[11]、乌干达^[12]香蕉产量低的主要限制因子是土壤有效养分特别是钾素不足。李丰年等^[13]描述了香蕉钾元素缺乏或过量情况下表现的症状;Freitas 等^[14]研究发现,缺钾后香蕉叶片中钾含量降低,并出现明显的缺钾症状,同时黄叶病发病率增加。但是,缺钾对香蕉根系生长、对香蕉养分吸收利用与养分平衡影响的研究鲜见报道。本文通过砂培试验,系统研究了香蕉缺钾的典型表型症状及缺钾和缺钾后恢复钾营养供应对香蕉生长、根系参数、氮、磷、钾吸收利用及其在体内平衡的影响,以期香蕉营养诊断和平衡施肥提供指导。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验为单因素 3 水平试验,共 3 个处理,分别为正常供钾(对照)、缺钾和缺钾后恢复供钾(简称缺钾恢复),3 个处理浇灌的营养液不同,前两者分别为改良的 Hoagland 完全营养液、缺钾营养液,缺钾恢复处理先浇灌缺钾营养液,当植株出现缺钾症状后再浇灌完全营养液。单株为 1 个重复,正常处

理 90 个重复, 缺钾处理 33 个重复, 缺钾恢复处理 15 个重复。改良的完全营养液配方是在 Hoagland 营养液配方基础上, 根据香蕉的营养特性将 $m(\text{N}):m(\text{K}_2\text{O})$ 调整为 1:2, 改良的 Hoagland 营养液配方及试验处理见表 1。

表 1 改良的 Hoagland 营养液配方¹⁾

Tab. 1 Chemical composition of improved Hoagland nutrient solution

化合物	c/($\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$)	
	正常	缺钾
KNO ₃	6 000	
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	4 000	4 000
NH ₄ H ₂ PO ₄	2 000	2 000
MgSO ₄ ·7H ₂ O	1 000	1 000
NH ₄ NO ₃		3 000
KCl	50	
NaCl		50
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ ·4H ₂ O	0.071	0.071
EDTA-Na·Fe	50	50
MnSO ₄ ·H ₂ O	2	2
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	2	2
CuSO ₄ ·5H ₂ O	0.5	0.5
H ₃ BO ₃	25	25

1)表中为1个剂量浓度的营养液配方

1.2 栽培方法

采用石英砂培养试验。石英砂经稀盐酸浸泡、自来水多次冲洗、晾干后装盆, 每盆装石英砂 1.2 kg。香蕉苗为巴西香蕉组培苗, 筛选茎高约 17 cm、茎粗约 12 mm, 具有 6 片绿叶的香蕉苗, 清洗后移入钵中, 第 1 周缓苗, 只浇灌纯水, 于 4 月 28 日进行试验处理。7 月 7 日缺钾恢复处理开始浇灌完全营养液, 8 月 28 日缺钾恢复处理香蕉苗无明显缺钾症状, 收获取样, 次年 1 月 13 日, 缺钾处理香蕉苗接近死亡, 试验结束。

试验期间, 根据香蕉苗的生长情况浇灌营养液, 平时浇灌纯水以补充水分。小苗阶段每周每株浇灌 100 mL 1 个剂量浓度的改良 Hoagland 营养液 (浇灌量以不渗漏出盆钵为标准, 下同); 中苗阶段每周每株浇灌 200 mL 2 倍剂量浓度的改良 Hoagland 营养液; 大苗阶段每周每株浇灌 200 mL 3 倍剂量浓度的改良 Hoagland 营养液。同时, 注意对温室适时增减光照; 加强香蕉苗的病虫害管理, 确保香蕉苗健康生长。

1.3 样品采集及测定

从 5 月 4 日开始, 每天观察并记录缺钾症状。
<http://xuebao.scau.edu.cn>

于 8 月 25 日, 每个处理选择代表性的 5 株香蕉苗收获取样, 分为地上部和根系称量鲜质量, 分别烘干至恒质量, 再称干质量, 粉碎, 消化测定氮、磷、钾含量。根系烘干前先扫描测定根系参数。

根系参数用根系分析软件 WinRHIZO 测定, 分别测定平均直径以及不同直径范围根系 (0~0.20、0.20~0.45 和>0.45 mm, 分别称为细根、中根和粗根) 的长度、表面积和体积。氮、磷、钾含量测定: 采用浓 H₂SO₄-H₂O₂ 消化, 连续自动分析仪测定氮含量, SMARTCHEM 200 全自动化学分析仪测定磷含量, 火焰光度法测定钾含量。

1.4 数据处理

采用 Office2007 软件进行数据处理, SPSS 13.0 软件进行数据统计分析。

2 结果与分析

2.1 香蕉苗缺钾的表型症状

缺钾处理 40 d 后, 香蕉苗即出现缺钾症状, 典型症状表现为老叶发黄, 中部叶片主叶脉先呈现橙黄色, 并逐渐向叶缘蔓延, 叶柄呈现浅红褐色, 部分叶片在近叶尖的叶缘有一行密集的 2 mm 的近椭圆形枯斑。缺钾严重时, 橙黄色叶片近叶脉处的叶肉发黑, 并逐渐干枯死亡, 连同叶柄一起干枯, 成为褐色的枯叶。完全展开的新叶不挺立, 上部叶片柔弱、下披, 与假茎的夹角变大, 几乎与地面平行。香蕉苗植株生长缓慢, 抽叶速度、假茎高度和茎粗增长变缓。缺钾特别严重时, 新抽叶片小, 叶片的死亡速度加快, 枯叶数急剧增加。香蕉苗缺钾的症状随着缺钾时间的延长而加剧 (表 2)。

表 2 香蕉苗缺钾典型症状及时间表

Tab. 2 Typical characteristics and appearance time of K-deficient symptoms in banana seedlings

$t_{\text{缺钾}}/\text{d}$	缺钾症状
40	老叶开始发黄; 中部叶片橙黄化, 从主脉开始向叶缘蔓延, 叶缘现一行密集的椭圆形小枯斑
50	抽叶速度变慢, 株高生长缓慢
60	叶片近叶脉处的叶肉发黑; 上部叶片疲软
80	叶片死亡速度加快, 枯叶数急剧增加
200	植株只有3片绿叶, 生长几乎停滞
260	植株接近死亡

2.2 缺钾对香蕉苗生长的影响

2.2.1 缺钾对香蕉苗生物量的影响 表 3 为各处理香蕉苗的干生物量。结果表明, 缺钾严重影响香蕉苗的干物质积累, 其地上部、根系及全株的每株

生物量显著小于正常处理, 分别较正常处理减少了 31%、39% 和 32%。即使恢复供钾, 尽管在短期内叶片缺钾症状可以消失, 但每株生物量达不到正常处理的水平。然而, 缺钾恢复处理较缺钾处理地上部和全株的干生物量显著增加。

表 3 缺钾对香蕉苗每株干生物量的影响¹⁾
Tab. 3 Effects of K deficiency on banana seedling dry biomass

处理	m/g		
	地上部	根	全株
正常	22.52±0.21a	2.92±0.12a	25.44±0.25a
缺钾	15.50±0.86c	1.79±0.22b	17.22±1.02c
缺钾恢复	17.98±0.75b	1.89±0.15b	19.88±0.89b

1)同列数据后凡是具有一个相同小写字母者表示处理间差异不显著($P>0.05$, Duncan's 法)

2.2.2 缺钾对香蕉苗根系形态参数的影响 表 4 和表 5 为缺钾及其缺钾恢复对香蕉苗根系形态参

数的影响。由表 4 可见, 缺钾抑制了香蕉苗根系的生长, 表现为每株根长、根表面积和根体积显著低于正常处理, 依次降低了 30%、31% 和 34%, 可见缺钾后香蕉苗根系吸收养分的面积明显减小, 限制了香蕉苗对养分的吸收利用。缺钾后浇灌完全营养液, 根系生长逐渐恢复, 根系各形态参数(根体积除外) 均可恢复到正常处理的水平, 表明缺钾后重新浇灌完全营养液能明显促进根系伸长和新根发育, 香蕉苗根系吸收养分的面积和能力得到恢复。研究结果(表 5) 还表明, 香蕉苗的根系以直径 0~0.2 mm 的细根为主, 此部分细根占总根长的 96.9%~97.1%。缺钾后, 细根、中根和粗根生长均受到抑制, 其中, 根长较正常处理分别减少了 29.6%、17.7% 和 88.6%, 表面积分别减少了 27.0%、23.1% 和 89.5%, 体积分别减少了 30.8%、29.3% 和 90.4%。且根长、表面积和体积较正常处理显著降低。

表 4 缺钾对香蕉苗根系形态参数的影响¹⁾
Tab. 4 Effects of K deficiency on morphological parameters of banana seedling roots

处理	每株根长/cm	每株根表面积/cm ²	平均根直径/mm	每株根体积/cm ³
正常	15 675.2±1 391.9a	2 507.9±202.1a	0.510±0.011a	32.88±2.43a
缺钾	11 034.3±492.8b	1 724.1±62.5b	0.498±0.004a	21.70±0.62c
缺钾恢复	13 285.6±1 190.9ab	2 110.8±123.4ab	0.509±0.021a	27.45±1.13b

1)同列数据后凡是具有一个相同小写字母者表示处理间差异不显著($P>0.05$, Duncan's 法)

表 5 缺钾对香蕉苗不同直径根系形态参数的影响¹⁾
Tab. 5 Effects of K deficiency on morphological parameters of banana seedling roots with different diameter

处理	每株根长/cm			每株根表面积/cm ²			每株根体积/cm ³		
	细根	中根	粗根	细根	中根	粗根	细根	中根	粗根
正常	15 212.1±1 361.9a	371.5±25.5a	72.3±3.3a	1 721.8±155.1a	346.5±22.7a	128.6±5.2a	28.6±3.0a	27.2±1.7a	18.9±0.6a
缺钾	10 709.8±482.8b	305.8±11.2b	8.2±0.4c	1 256.6±42.8b	266.5±11.5b	13.6±0.6c	19.8±0.5c	19.2±1.0b	1.8±0.1c
缺钾恢复	12 875.0±1 210.2a	366.7±25.1a	28.6±4.8b	1 480.6±110.4b	343.4±23.3a	48.8±9.4b	23.2±1.5b	26.8±1.7a	6.8±1.5b

1)同列数据后凡是具有一个相同小写字母者表示处理间差异不显著($P>0.05$, Duncan's 法)

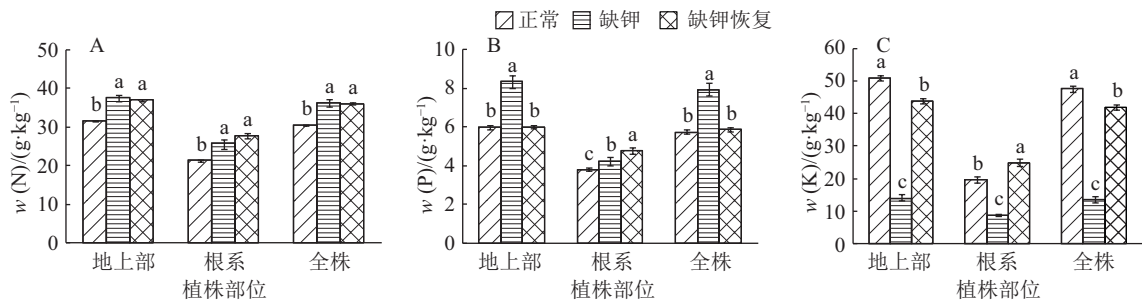
2.3 缺钾对氮、磷、钾吸收利用的影响

2.3.1 缺钾对氮、磷、钾含量的影响 香蕉苗各部位氮、磷、钾含量见图 1。缺钾处理的香蕉苗地上部、根系和全株的氮含量均显著高于正常处理, 分别较正常处理增加了 19%、21% 和 19%。恢复供钾 52 d 后, 香蕉苗缺钾症状消失, 但地上部、根系和全株的氮含量仍显著高于正常处理。由此可以推论, 虽然恢复供钾后, 香蕉苗叶片形态正常, 干物质质量较缺钾处理显著增加(表 3), 但由于生物量没有达到正常处理的水平, 因此对氮并没有产生稀释效应, 所以含氮量有所增加。与氮含量相同, 缺

钾后香蕉苗地上部、根系和全株的磷含量显著增加, 分别较正常处理增加了 40%、12% 和 38%。恢复供钾 52 d 后, 缺钾症状消失, 香蕉苗快速生长(表 3), 地上部和全株的磷含量显著降低, 与正常处理无差异。缺钾对香蕉苗钾含量的影响与氮、磷不同, 缺钾使香蕉苗地上部、根系和全株的钾含量均显著降低, 分别降低了 73%、56% 和 72%。恢复供钾 52 d 后, 香蕉苗钾含量较缺钾处理显著增加, 但仅根系钾含量增加至高于正常处理水平, 地上部和全株钾含量仍显著低于正常处理。

2.3.2 缺钾对氮、磷、钾吸收量的影响 图 2 为各

<http://xuebao.scau.edu.cn>



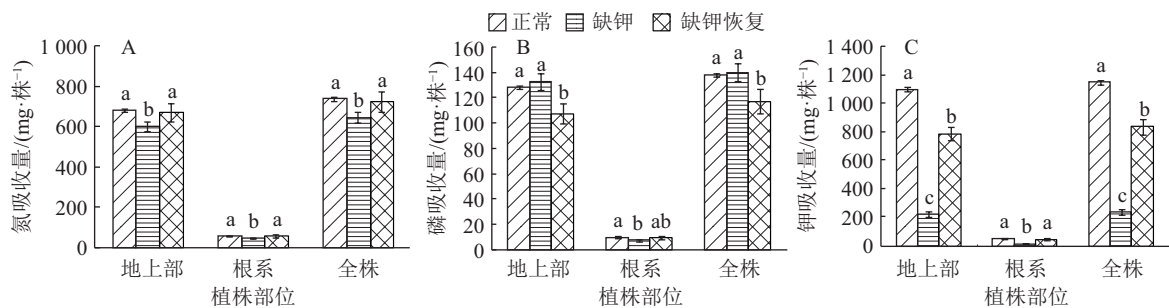
各图中同一植株部位的柱子上方凡是具有一个相同小写字母者,表示处理间差异不显著 ($P>0.05$, Duncan's 法)

图 1 缺钾对香蕉苗氮、磷、钾含量的影响

Fig. 1 Effects of K deficiency on N, P and K contents in banana seedlings

处理香蕉苗氮、磷、钾吸收量。由图 2 可知,缺钾或缺钾恢复对香蕉苗氮、磷、钾的吸收量影响不同。不供应钾素,香蕉苗各部位吸氮量、吸钾量显著降低,恢复供钾 52 d 后,各部位的吸收量显著增加,吸氮量达到正常水平,而吸钾量仍显著低于正常处理。缺钾对香蕉苗地上部和全株的磷吸收量

没有影响,但显著降低了根系磷的吸收,而恢复供钾 52 d 后,地上部和全株的磷吸收量显著低于缺钾处理,根系的两处理间没差异。其可能原因在于:虽然地上部和全株的生物量增加,但地上部和全株的磷含量显著降低,且降幅远大于生物量增加的幅度。



各图中同一植株部位的柱子上方凡是具有一个相同小写字母者,表示处理间差异不显著 ($P>0.05$, Duncan's 法)

图 2 缺钾对香蕉苗氮、磷、钾吸收量的影响

Fig. 2 Effects of K deficiency on N, P and K uptakes in banana seedlings

2.3.3 缺钾对氮、磷、钾平衡的影响 缺钾后香蕉苗体内的氮、磷、钾平衡被打破(表 6)。由表 6 可见,缺钾后香蕉苗地上部、根系和全株的 N/K、P/K 均明显升高,恢复供钾后比值开始下降,供钾 52 d 时,地上部和根系的 N/K、P/K 降到了正常处理水平。缺钾后香蕉苗地上部和全株的 N/P 明显降低,恢复供钾后比值又明显增加,且明显高于缺钾处理和正常处理的比值;而缺钾处理根系的 N/P 明显增

表 6 缺钾对香蕉苗氮、磷、钾平衡的影响

Tab. 6 Effects of K deficiency on N, P and K balance in banana seedlings

植株部位	处理	N/K	N/P	P/K	N : P : K
地上部	正常	0.62±0.01	5.32±0.10	0.12±0.00	1.00 : 0.19 : 1.61
	缺钾	2.66±0.24	4.42±0.13	0.60±0.04	1.00 : 0.23 : 0.38
	缺钾恢复	0.85±0.01	6.22±0.12	0.14±0.00	1.00 : 0.16 : 1.18
根系	正常	1.10±0.05	5.67±0.18	0.19±0.01	1.00 : 0.18 : 0.92
	缺钾	3.08±0.17	6.10±0.10	0.50±0.03	1.00 : 0.16 : 0.33
	缺钾恢复	1.13±0.03	5.85±0.26	0.19±0.01	1.00 : 0.17 : 0.89
全株	正常	0.64±0.01	5.34±0.08	0.12±0.00	1.00 : 0.19 : 1.55
	缺钾	2.68±0.23	4.51±0.11	0.59±0.04	1.00 : 0.22 : 0.37
	缺钾恢复	0.86±0.01	6.19±0.13	0.14±0.01	1.00 : 0.16 : 1.16

加,恢复供钾后的比值与正常处理的相当。香蕉苗不同部位各处理的 N:P:K 比例也相应改变,缺钾后地上部及全株的磷比例升高、钾比例降低;恢复供钾后,磷、钾比例逐渐恢复,表现为磷比例降低、钾比例升高,但是 N:P:K 比例仍不能达到正常处理水平。由此可见,香蕉苗缺钾以后,及时恢复供钾,也不能使香蕉苗的氮、磷、钾养分比例恢复到正常的水平。换言之,在遭受缺钾营养胁迫下,要根据体内的新的氮、磷、钾平衡进行施肥。

3 讨论与结论

植物对水分、养分的吸收与根长、表面积等根系参数密切相关,且不同直径的根系,其吸收水分和养分的能力有很大差异,通常直径小的根系吸收能力大于直径大的根系^[15]。缺钾抑制作物根系的生长,特别是抑制细根的生长^[16-17],总根长、总表面积、平均直径、总体积减少^[16-20],导致根系吸收养分和水分的绝对面积和范围减少,进而影响了根系和地上部生物量的累积^[16, 20-21]。本研究结果表明,香蕉苗 95% 根系为细根,钾素缺乏明显抑制了香蕉苗根系的生长,其总根长,根系总表面积和总体积显著减少,其中细根分别减少了 29.6%、27.0% 和 30.8%,根系吸收养分和水分的的能力显著降低,其地上部和根系生物量明显低于正常全营养的处理,与以往的研究结果一致。

大量研究发现,植物在营养元素缺乏的胁迫下,体内的各种营养元素含量变化差异较大^[21]。本试验条件下,缺钾导致香蕉苗对钾素的吸收能力减弱,其地上部和根系的含钾量显著降低,与苗期仁用杏 *Armeniaca vulgaris*^[16]、枳 *Poncirus trifoliata*^[18]、剑麻 *Agave sisalana*^[21]、甘薯 *Dioscorea esculenta*^[22]和大豆 *Glycine max*^[23]等作物缺钾的研究结果一致,但体内的磷含量显著增加,香蕉^[14]、苗期仁用杏^[16]、剑麻^[21]、大豆^[23]缺钾也出现同样的规律。其可能的原因是在缺钾条件下,体内蛋白质代谢紊乱导致磷的积累。另外,缺钾也改变了香蕉体内的氮含量,地上部及根系的氮含量显著高于正常处理,与 Freitas 等^[14]的香蕉、习金根等^[21]的剑麻研究结果一致,但甘薯缺钾后叶柄氮含量降低,叶片、茎蔓和根的氮含量没受影响^[22];大豆缺钾后含氮量没变化^[23]。

缺钾香蕉苗生物量和氮、磷、钾含量的改变直接影响了氮、磷、钾的平衡和吸收量。缺钾香蕉苗氮素和磷素含量的增加、钾素含量的降低,且地上

部和全株的磷素增加幅度大于氮素,导致了各部位 N/K、P/K 比值显著升高,地上部和全株 N/P 显著降低,根系 N/P 显著升高,改变了香蕉苗体内正常的氮、磷、钾养分平衡,其地上部、根系和全株的 N:P:K 中磷的比例升高、钾的比例降低。缺钾处理香蕉苗氮素和钾素吸收量显著低于正常处理,而缺钾对香蕉苗不同部位的磷吸收量影响不同,虽然缺钾后香蕉苗各部位的磷含量显著增加,但缺钾对生物量的影响大于对磷含量的影响,故香蕉苗的磷吸收量没有显著增加,地上部和全株的磷吸收量与正常处理的无差异,根系的磷吸收量反而低于正常处理。恢复供钾后,香蕉苗叶片的缺钾症状消失,但体内氮磷钾含量、平衡和吸收量并不能完全同步恢复至正常,香蕉苗各部位的含氮量、根系的含磷量和含钾量仍高于正常处理,地上部和全株的钾素含量和吸收量也未增加至正常水平,地上部、全株的磷素吸收量由于生物量的增加对磷素的稀释作用反而显著低于正常处理。由此可见,缺钾对香蕉苗营养状况的影响显著大于对表型性状的影响,香蕉苗出现缺钾症状时,体内的营养状况已发生变化,当恢复钾素营养时,体内营养的恢复会滞后于表型性状的恢复。因此香蕉施肥要针对香蕉各个阶段的营养特性施用,特别是当香蕉出现钾或者其他养分缺乏时,要根据其体内的氮、磷、钾养分的新的平衡合理分配氮、磷、钾,以满足香蕉的营养需求。

参考文献:

[1] 胡润芳. 香蕉施用钾肥对生长和产量的影响[J]. 福建果树, 1997(4): 14-15.

[2] 杨苞梅, 李进权, 姚丽贤, 等. 钾钙镁营养对香蕉生长和叶片生理特性的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2010(1): 29-32.

[3] 赖达德. 钾肥对香蕉生长和结果的影响[J]. 福建果树, 2000(3): 33.

[4] 林电, 颜速亮, 常春荣, 等. 反季节组培香蕉氮钾肥料配比、施肥时期及其效应研究[J]. 热带作物学报, 2002, 23(2): 36-40.

[5] 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.

[6] 樊小林, 梁有良, 王孝强, 等. 香蕉营养与施肥[M]. 北京: 中国农业出版社, 2007: 70-76.

[7] 谭宏伟. 香蕉施肥管理[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010: 103-106.

[8] 郭玉婷, 伏广农, 张新明, 等. 高州市香蕉施肥状况调查与分析[J]. 安徽农学通报, 2013, 19(20): 46-48.

[9] 张新明, 王建武, 樊小林, 等. 民众镇香蕉园土壤肥力及施肥状况调查与分析[J]. 福建果树, 2004(4): 13-15.

[10] 李瑞民, 杨苞梅, 梁华赐, 等. 氮磷钾缺素对香蕉生长、抽蕾及产量的影响[J]. 广东农业科学, 2011, 38(4): 72-73.

[11] OKUMU M O, VAN ASTEN P J A, KAHANGI E, et al. Production gradients in smallholder banana (cv. Giant Cavendish) farms in Central Kenya[J]. Sci Hort, 2011, 127(4): 475-481.

[12] TAULYA G. East African highland bananas (*Musa* spp. AAA-EA) ‘worry’ more about potassium deficiency than drought stress[J]. Field Crops Res, 2013, 151: 45-55.

[13] 李丰年, 曾惜冰, 黄秉智. 香蕉栽培技术[M]. 广州: 广东科技出版社, 1999.

[14] FREITAS A S, POZZA E A, POZZA A A A, et al. Impact of nutritional deficiency on yellow Sigatoka of banana[J]. Aust Plant Pathol, 2015, 44(5): 583-590.

[15] SULLIVAN W M, JIANG Z, HULL R J. Root morphology and its relationship with nitrate uptake in Kentucky bluegrass[J]. Crop Sci, 2000, 40(3): 765-772.

[16] 徐梦莎, 朱高浦, 付贵全, 等. 氮磷钾缺乏对苗期仁用杏生长和养分吸收的影响[J]. 西北农林科技大学学报 (自然科学版), 2017, 45(5): 81-90.

[17] 张志勇, 王清连, 李召虎, 等. 缺钾对棉花幼苗根系生长的影响及其生理机制[J]. 作物学报, 2009, 35(4): 718-723.

[18] 曹秀, 夏仁学, 杨环宇, 等. 沙培条件下磷、钾、钙亏缺对枳 (*Poncirus trifoliata*) 幼苗根系形态及营养吸收的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(4): 981-988.

[19] 潘艳花, 马忠明, 吕晓东, 等. 不同供钾水平对西瓜幼苗生长和根系形态的影响[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(5): 536-541.

[20] 曾秀成, 王文明, 罗敏娜, 等. 缺素培养对大豆营养生长和根系形态的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(4): 1032-1036.

[21] 习金根, 韦艳明, 张小玲, 等. 缺乏不同营养元素对剑麻幼苗生长和养分含量的影响[J]. 热带作物学报, 2013, 34(3): 403-407.

[22] 宁运旺, 马洪波, 许仙菊, 等. 氮磷钾缺乏对甘薯前期生长和养分吸收的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(3): 486-495.

[23] 王秀荣, 曾秀成, 王文明, 等. 缺素培养对大豆养分含量的影响[J]. 华南农业大学学报, 2011, 32(4): 31-34.

【责任编辑 李晓卉】