

DOI:10.13331/j.cnki.jhau.2014.02.003

投稿网址: http://www.hunau.net/qks

营养液 pH 对甘蔗实生苗生长的影响

赵丽萍^{1,2}, 刘家勇^{1,2*}, 赵培方^{1,2}, 咎逢刚^{1,2}, 赵俊^{1,2}, 姚丽^{1,2}, 杨昆^{1,2}, 李纯佳^{1,2}, 吴才文^{1,2}

(1.云南省农业科学院甘蔗研究所, 云南 开远 661699; 2.云南省甘蔗遗传改良重点实验室, 云南 开远 661699)

摘 要: 采用桶栽方式, 研究不同 pH(5.0、7.0、8.5)营养液对甘蔗组合 RB85-5156×云瑞 05-407、云瑞 06-3501×Tolodo、粤糖 94-128×赣蔗 75-65、ROC6×云瑞 05-733、VMC87-95×云瑞 05-171(分别记为 A、B、C、D、E)实生苗生长的影响。结果表明: ①在 pH 7.0 处理下, B 组合实生苗的根长、根表面积、根体积、茎径最大, 在 pH 8.5 处理下, A、C、D、E 组合实生苗的根长、根表面积、根体积最大; ②C、D、E 组合实生苗的根系活力在 pH 5.0 时最高, B 组合实生苗的根系活力在 pH 7.0 时最高。整体而言, A、B、C、D、E 组合实生苗在营养液 pH 7.0 和 pH 8.5 处理下的根系形态和植株生长较好。

关 键 词: 甘蔗; 实生苗; 根系; 营养液; pH

中图分类号: S556.1

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2014)02-0122-05

Effects of nutrient solution pH on the growth of different combinations seedlings of sugarcane

ZHAO Li-ping^{1,2}, LIU Jia-yong^{1,2*}, ZHAO Pei-fang^{1,2}, ZAN Feng-gang^{1,2}, ZHAO Jun^{1,2},
YAO Li^{1,2}, YANG Kun^{1,2}, LI Chun-jia^{1,2}, WU Cai-wen^{1,2}

(1.Sugarcane Research Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kaiyuan, Yunnan 661699, China;
2.Yunnan Province Key Laboratory of Sugarcane Genetic Improvement, Kaiyuan, Yunnan 661699, China)

Abstract: The impact of pH on roots growth of sugarcane seedlings were conducted by a pot test. The nutrient solution with three pH levels, i.e., 5.0, 7.0 and 8.5 were applied to culture five combination seedlings, they were A (RB85-5156 × YR05-407), B (YR06-3501 × Tolodo), C (YT94-128 × GZ75-65), D (ROC6 × YR05-733) and E (VMC87-95 × YR05-171). The result indicated that root length, root surface, root volume and root diameter were all in the largest in B combination with solution pH=7.0, and the root length, root surface, root volume were in the largest in combination A, C, D and E with solution pH=8.5. Root activity in combination C, D and E were in the highest with solution pH=5.0, while it was in the highest for combination B when pH=7.0. In general, the root growth and morphology in all five combinations were better in the solutions with pH of 7.0 and 8.5.

Key words: sugarcane; seedling; root; nutrient solution; pH

土壤 pH 在植物生长过程中起举足轻重的作用, 不适宜的 pH 影响植物的正常生长发育。中国土壤 pH 的南北差异很大, 甘蔗主产区 pH 整体(约 81%)处于酸性水平^[1], 且 pH 5.5 以下的酸性土壤样

品占总数的 62%, 如广西来宾市兴宾区良江镇的连片缓丘红壤蔗地土壤 pH 的算术平均值和几何平均值分别为 4.35 和 4.34^[2], 属于特强酸性土壤。甘蔗虽然具有耐贫瘠、耐酸性的特点, 但土壤过酸会降

收稿日期: 2013-08-02

基金项目: 国家现代农业产业技术体系建设专项资金项目(CARS-20-1-1); 云南省重点新产品开发计划项目(2011BB005); 云南省重点新产品开发计划项目(2012BB014)

作者简介: 赵丽萍(1981—), 女, 云南沾益人, 硕士, 助理研究员, 主要从事甘蔗育种及配套技术研究, zlp_alyma@126.com; *通信作者, lijy1976@163.com

低磷肥的利用率和影响甘蔗根系的生长发育,从而导致减产^[1]。目前,有关根系生理活性与根际 pH 关系的研究主要是针对小麦、水稻、烟草、非洲菊、花生等作物^[3-10],而 pH 对甘蔗幼苗根系生长的影响的报道^[11]较少。笔者研究不同 pH 营养液对 5 个甘蔗组合实生苗植株的生物量、根系形态、根系活力、茎径及株高的影响,旨在筛选出耐酸性环境的甘蔗品种,探索甘蔗生长最适宜的 pH 环境。

1 材料与方法

1.1 材 料

以 RB85-5156×云瑞 05-407、云瑞 06-3501×Tolodo、粤糖 94-128×赣蔗 75-65、ROC6×云瑞 05-733、VMC87-95×云瑞 05-171(分别记为 A、B、C、D、E)5 个杂交组合的杂交后代为试验材料。

1.2 方 法

杂交种子于 2012 年 6 月播种于云南省农业科学院甘蔗研究所温室大棚。随机选择 5 个组合的实生苗进行试验。按常规方法统一进行实生苗培育。实生苗长至 4~5 叶时,从苗床挑选长势一致的苗移栽至桶内。桶内基质为冲洗干净的河沙。实生苗移栽后用自来水浇灌,待实生苗成活后进行不同 pH 营养液处理。pH 设 5.0、7.0、8.5 共 3 个水平,每水平 3 次重复,即每个杂交组合每个 pH 水平各种植 3 桶(1 桶为 1 个重复,15 株/桶,桶高 32 cm,直径 35 cm)。营养液 pH 用 pH-3C 型 pH 测定仪测量,并用 1 mol/L 的 H₂SO₄ 和 1 mol/L 的 NaOH 溶液将 pH 调至规定值。营养液为 Hoagland's(霍格兰氏)经典配方,每周浇 1 次,待植株生长 130 d 后,测定植物地上部分及根系的生物量、株高、茎径、根系形态特征及根系活力。

1.3 测定指标及方法

根系形态指标的测定:从培养桶中完整取出植株,用自来水将根系冲洗干净。将清洗干净的实生苗完整根系从植株上分离下来,用吸水纸吸干其表

面水分,按单根分开,不重叠、不交叉,并排放置于专用根盘,利用 WinRHIZO LA6400XL 根系专用大幅面透视扫描仪扫描根系,把扫描好的图片按群体株系号、重复、分类保存于不同的文件夹,然后用根系专用 WinRHIZO 软件分析,计算总根长、根表面积、根系平均直径、根体积及不同直径的根长。

地上部性状指标茎径、株高等按常规方法测定。

植株生物量的测定:取实生苗地上部和根系用自来水洗干净,再用吸水纸充分吸干水分后称其鲜重,于 105 ℃杀青 0.5 h,70 ℃烘干至恒重,测定干重。

根系活力的测定:用 TTC 法测定根系活力^[12]。取根尖材料 0.5 g,加入 0.4%TTC 溶液 0.2 mL 和 1/15 的 PBS 5 mL,黑暗条件下 37 ℃保存 1 h,然后加入 1 mol/L H₂SO₄ 2 mL 终止反应。取出材料用滤纸吸干水分,加入乙酸乙脂研磨,取红色提取液,用乙酸乙酯定溶至 10 mL,用分光光度计在 485 nm 下测 TTC 还原量 C。根系活力=C/(Wt×1 000),其中,C 为四氮唑还原量(μg/(g·h)),W 为根质量(g),t 表示反应时间(h)。

1.4 数据处理

采用 SPSS 18.0 和 Excel 2003 软件分析试验数据。

2 结果与分析

2.1 不同 pH 处理对苗期实生苗生长的影响

2.1.1 对根系和地上部生物量的影响

由表 1 可知,在 pH 8.5 处理下,A、D 组合实生苗的植株鲜重、植株干重、根系鲜重、根系干重和 B 组合实生苗的植株干重、根系干重均显著高于 pH 5.0 处理;pH 7.0、pH 8.5 处理下,C 组合实生苗的植株鲜重、植株干重均显著高于 pH 5.0 处理,而 E 组合实生苗的各生物量在 3 个水平 pH 处理下的差异均无统计学意义。可见,pH 5.0 处理对不同甘蔗组合实生苗生物量的积累具有抑制作用。

表 1 不同 pH 处理下实生苗的生物量

| Table 1 The biomasses of seedlings from three pH levels | | | | | g |
|---|-----|---------------|---------------|---------------|--------------|
| 组合 | pH | 植株鲜重 | 植株干重 | 根系鲜重 | 根系干重 |
| A | 5.0 | (34.39±0.78)a | (7.30±0.21)a | (11.70±0.94)a | (1.51±0.11)a |
| | 7.0 | (35.61±1.35)a | (8.23±0.59)b | (12.74±0.92)a | (1.74±0.09)a |
| | 8.5 | (44.52±4.25)b | (10.59±0.34)c | (20.25±1.83)b | (2.79±0.19)b |

续 表

| 组合 | pH | 植株鲜重 | 植株干重 | 根系鲜重 | 根系干重 ^g |
|----|-----|---------------|---------------|---------------|-------------------|
| B | 5.0 | 30.73±3.51 | (6.76±0.48)a | 11.65±0.61 | (1.51±0.02)a |
| | 7.0 | 28.37±3.62 | (6.51±0.44)a | 14.06±2.41 | (1.89±0.26)ab |
| | 8.5 | 34.41±2.85 | (8.70±1.02)b | 21.92±8.93 | (2.75±0.73)b |
| C | 5.0 | (38.00±7.78)a | (8.29±1.07)a | 11.08±2.72 | 1.74±0.37 |
| | 7.0 | (45.11±0.96)b | (10.65±0.38)b | 16.91±7.65 | 2.38±0.43 |
| | 8.5 | (44.53±4.25)b | (11.02±0.89)b | 13.32±2.58 | 2.15±0.09 |
| D | 5.0 | (33.57±3.12)a | (7.07±0.80)a | (10.20±1.61)a | (1.55±0.39)a |
| | 7.0 | (37.12±1.62)a | (8.50±0.61)a | (11.27±1.13)a | (1.75±0.37)a |
| | 8.5 | (52.76±2.31)b | (12.06±1.22)b | (20.35±3.89)b | (3.09±0.37)b |
| E | 5.0 | 36.50±5.28 | 7.73±1.69 | 13.65±2.17 | 1.98±0.34 |
| | 7.0 | 30.88±4.68 | 6.83±0.49 | 12.64±1.34 | 1.79±0.11 |
| | 8.5 | 30.79±6.78 | 6.88±1.18 | 10.67±1.23 | 1.48±0.30 |

2.1.2 对根系形态特征的影响

由表 2 可知,在不同 pH 处理下,5 个组合实生苗的根系形态特征发生了明显变化,随着 pH 的增加,A、C、D 组合实生苗的总根长、根表面积、根直径、根体积均在 pH 7.0 时最小,在 pH 8.5 时最大,且 pH 8.5 处理下的总根长、根表面积、根

体积均显著高于 pH 5.0 处理;在 pH 7.0 处理下,B 组合实生苗各根系性状除根直径外,其余根系性状均显著高于 pH 5.0 和 pH 8.5 处理;E 组合在 pH 8.5 处理下实生苗的总根长和根表面积均显著高于 pH 5.0 处理。不同 pH 值营养液对根系直径的影响无统计学意义。

表 2 不同 pH 处理下实生苗的根系形态特征指标

Table 2 Root morphological features of seedlings from three pH levels

| 组合 | pH | 总根长/cm | 根表面积/cm ² | 根直径/cm | 根体积/cm ³ |
|----|-----|---------------------|----------------------|------------|---------------------|
| A | 5.0 | (3 147.86±642.16)a | (1 598.51±315.79)a | 0.16±0.00 | (78.95±18.89)a |
| | 7.0 | (2 905.53±601.70)a | (1 350.95±385.21)a | 0.14±0.03 | (55.67±17.01)a |
| | 8.5 | (7 641.79±99.87)b | (4 192.95±63.56)b | 0.17±0.00 | (194.54±7.97)b |
| B | 5.0 | (3 743.87±471.95)a | (1 872.17±500.71)a | 0.15±0.03 | (86.31±16.35)a |
| | 7.0 | (6 557.27±803.29)b | (3 854.02±323.83)b | 0.18±0.01 | (198.19±10.75)b |
| | 8.5 | (3 365.23±437.85)a | (1 558.04±239.51)a | 0.145±0.00 | (58.77±10.27)a |
| C | 5.0 | (4 435.26±487.31)ab | (2 376.58±7.32)b | 0.22±0.08 | (141.62±41.55)a |
| | 7.0 | (3 269.53±475.98)a | (1 540.43±211.56)a | 0.16±0.01 | (88.09±44.21)a |
| | 8.5 | (6 252.65±238.58)b | (4 096.73±208.11)c | 0.21±0.02 | (243.68±48.92)b |
| D | 5.0 | (3 399.52±199.56)a | (1 613.86±83.34)a | 0.14±0.01 | (70.55±17.67)a |
| | 7.0 | (3 395.75±320.08)a | (1 476.23±141.95)a | 0.13±0.00 | (59.11±6.80)a |
| | 8.5 | (5 917.62±300.91)b | (3 394.15±158.66)b | 0.18±0.00 | (166.99±5.72)b |
| E | 5.0 | (3 503.67±399.16)a | (1 768.18±87.39)a | 0.15±0.02 | 83.14±22.32 |
| | 7.0 | (4 378.31±99.16)b | (2 144.48±48.61)ab | 0.15±0.00 | 93.90±6.25 |
| | 8.5 | (5 566.76±248.12)b | (3 024.64±37.95)b | 0.19±0.12 | 139.44±31.21 |

2.1.3 对根系活力的影响

由图 1 可见,A 组合实生苗的根系活力随 pH 的增大呈增加趋势,pH 8.5 处理的根系活力最高;B 组合实生苗根系活力随 pH 的增大表现为先增加后下降的趋势,pH 7.0 时根系活力最高,达 316.04 μg/(g·h);C 组合实生苗的根系活力随 pH 的增大表现为先大幅

下降后缓慢上升的趋势,且 pH 5.0 的根系活力显著高于其他 2 个水平处理,为 1 009.31 μg/(g·h);D、E 组合实生苗根系活力随 pH 的升高而下降,pH 5.0 处理的根系活力均显著高于 pH 8.5 处理。5 个组合实生苗中,C、D、E 组合实生苗的根系活力均以 pH 5.0 处理的最高,且 C、E 组合实生苗 pH 5.0 处理的根系活

力均高于其余组合的所有处理。

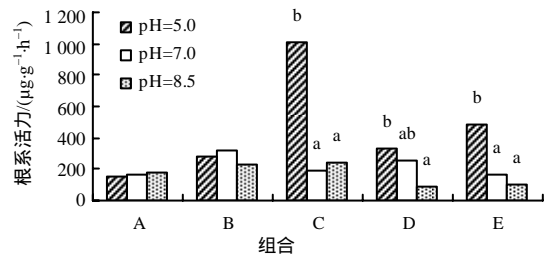


图 1 不同 pH 处理下各组合甘蔗实生苗的根系活力
Fig.1 Root activity response to three levels of pH

2.1.4 对茎径的影响

由图 2 可知 ,不同 pH 处理下实生苗植株茎径的变化幅度较小 , A、B、C、D 组合实生苗的茎径均随 pH 的增加呈先增加后下降趋势 ,且 A 组合 pH 7.0 处理实生苗植株的茎径显著高于 pH 5.0 处理 ; E 组合实生苗的茎径随 pH 的升高呈先下降后升高趋势。

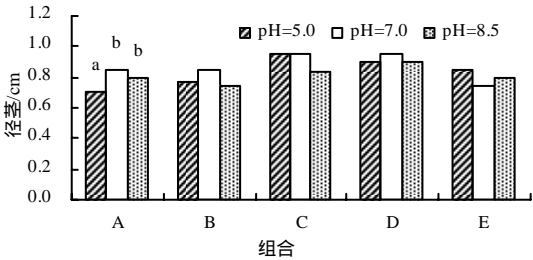


图 2 不同 pH 处理下各组合甘蔗实生苗植株的茎径
Fig.2 Stalk diameter of seedling from three pH levels

2.1.5 对株高的影响

由图 3 可知 , A、B、C、D 组合实生苗的株高均在 pH 8.5 时最大 , 且 C 组合实生苗的株高在 pH 8.5 处理时显著高于 pH 5.0 处理 ; B 组合实生苗的株高呈先下降后增加的趋势 , 而 E 组合实生苗的株高呈先升高后下降的趋势。

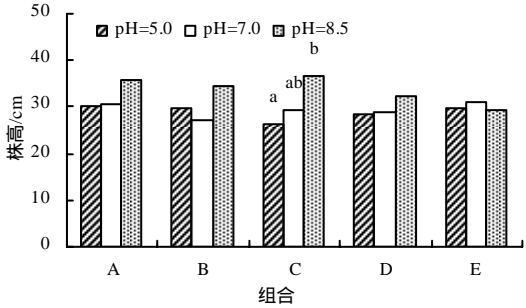


图 3 不同 pH 处理下各组合甘蔗实生苗的株高
Fig.3 Height of seedling from three pH levels

2.1.6 对根长的影响

由表 3 可见 ,直径小于等于 1.0 mm 的根较长 , A、C 组合 pH 8.5 处理实生苗各直径范围内的根长均显著高于 pH 5.0 和 pH 7.0 处理 ; B 组合 pH 7.0 处理实生苗各直径范围内的根长均显著高于 pH 5.0 和 pH 8.5 处理 ; E 组合各 pH 处理实生苗不同直径根长间的差异无统计学意义(直径 > 4.5 mm 的除外)。

表 3 不同 pH 处理下各组合甘蔗实生苗不同直径根的根长

Table 3 Root length of seedling at different diameters from three pH levels

| 组合 | pH | 根长/ cm | | | | |
|----|-----|---------------------|---------------------|-------------------|------------------|------------------|
| | | 0.5 mm | >0.5~1.0 mm | >1.0~1.5 mm | >1.5~2.0 mm | >2.0~2.5 mm |
| A | 5.0 | (1 330.03± 300.26)a | (959.24±192.75)a | (329.49±67.81)a | (142.16±27.22)a | (83.32±12.99)a |
| | 7.0 | (1 295.94±136.17)a | (853.34±136.94)a | (278.75±62.43)a | (124.68±33.89)a | (85.89±2.18)a |
| | 8.5 | (3 104.80±109.01)b | (2 323.33±76.94)b | (816.78±43.22)b | (339.78±17.72)b | (213.07±10.46)b |
| B | 5.0 | (1 632.30±95.56)a | (1 116.49±155.21)a | (385.60±89.21)a | (160.79±40.48)a | (101.43±20.46)a |
| | 7.0 | (2 731.14±723.53)b | (1 845.20±567.50)b | (662.67±120.95)b | (294.61±61.80)b | (202.24±71.21)b |
| | 8.5 | (1 493.15±517.15)a | (1 065.51±336.90)a | (307.57±61.73)a | (143.26±53.77)a | (101.85±34.63)a |
| C | 5.0 | (1 949.29±141.97)ab | (1 323.37±185.92)a | (422.94±53.91)a | (177.93±16.27)a | (109.68±6.39)a |
| | 7.0 | (1 463.66±141.97)a | (941.97±99.50)a | (320.76±26.17)a | (145.01±31.64)a | (93.72±21.80)a |
| | 8.5 | (2 500.14±85.64)b | (1 818.02±121.12)b | (669.57±80.03)b | (272.26±17.53)b | (174.00±0.33)b |
| D | 5.0 | (1 713.23±403.41)a | (1 174.17±335.27)ab | (426.83±107.59)ab | (182.53±38.59)ab | (102.97±25.87)a |
| | 7.0 | (1 507.04±259.49)a | (818.36±136.52)a | (283.04±45.48)a | (129.36±22.92)a | (86.73±18.13)a |
| | 8.5 | (2 361.33±260.92)b | (1 618.27±205.91)b | (551.87±79.52)b | (240.57±35.27)b | (147.43±18.51)b |
| E | 5.0 | 1 636.52±309.20 | 1 150.36±188.90 | 393.95±49.16 | (171.83±23.68)ab | (108.71±20.48)ab |
| | 7.0 | 1 718.68±417.35 | 1 123.22±312.84 | 356.00±119.05 | (149.14±54.43)a | (93.40±37.71)a |
| | 8.5 | 2 191.43±305.19 | 1 564.24±179.14 | 535.73±51.18 | (228.18±24.12)b | (143.79±16.43)b |

续 表

| 组合 | pH | 根长/cm | | | | |
|----|-----|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| | | >2.5~3.0 mm | >3.0~3.5 mm | >3.5~4.0 mm | >4.0~4.5 mm | >4.5 mm |
| A | 5.0 | (48.44±5.12)a | 30.33±2.96 | (27.21±2.69)a | (25.48±0.28)a | (172.15±30.01)a |
| | 7.0 | (50.92±4.60)a | 28.39±5.83 | (23.75±4.29)a | (24.31±3.02)a | (139.53±32.31)a |
| | 8.5 | (129.81±6.82)b | 76.74±4.75 | (65.75±2.01)b | (67.05±3.87)b | (504.61±2.77)b |
| B | 5.0 | (58.96±12.12)a | (29.03±5.33)a | (29.04±5.33)a | (28.73±4.88)a | (194.44±67.32)a |
| | 7.0 | (127.54±41.81)b | (56.84±25.09)b | (70.73±15.09)b | (68.45±21.56)b | (458.38±169.49)b |
| | 8.5 | (58.35±17.06)a | (52.93±14.57)ab | (48.51±14.57)ab | (105.85±31.53)b | (217.28±80.53)a |
| C | 5.0 | (69.88±4.58)a | (43.48±1.28)a | (35.29±0.71)a | (39.81±2.74)ab | (263.54±17.78)b |
| | 7.0 | (55.39±13.09)a | (33.80±5.64)a | (27.12±2.21)a | (30.05±11.29) a | (158.75±16.46)a |
| | 8.5 | (114.97±11.97)b | (73.27±11.54)b | (59.74±9.42) b | (57.31±5.62) b | (517.33±27.52)c |
| D | 5.0 | (61.12±18.47)ab | (38.39±11.18)ab | (34.29±7.41)a | (35.26±5.44)a | (193.15±48.98)a |
| | 7.0 | (54.68±12.27)a | (34.33±9.77)a | (27.79±6.37)a | (34.14±7.57)a | (136.52±29.49)a |
| | 8.5 | (88.00±11.52)b | (55.54±5.52)b | (49.63±4.63)b | (50.82±7.92)b | (391.81±47.12)b |
| E | 5.0 | 67.09±14.53 | 42.59±9.59 | 36.71±8.61 | 36.70±12.25 | (216.79±70.17)a |
| | 7.0 | 55.69±23.72 | 35.24±13.20 | 29.00±11.21 | 27.32±9.19 | (176.04±77.31)a |
| | 8.5 | 90.06±14.76 | 53.96±6.87 | 46.89±6.84 | 42.81±3.99 | (366.27±31.40)b |

3 结论与讨论

水分、盐和磷胁迫对植物及其根系的生长均有明显的影响^[13-17]。李从娟等^[18]对生活型植物根系形态及根系活力的研究表明,随着 pH 的增大,3 种不同生活型植物的生长都不同程度地受到抑制,根系和地上部分生物量都明显减少,且地上部分受到的抑制程度大于根系^[18]。本研究结果表明,pH 8.5 处理甘蔗各组合实生苗的生物量积累较多;pH 7.0、pH 8.5 处理较有利于实生苗植株的生长;pH 5.0 处理不利于实生苗根系的生长。

参考文献:

- [1] 郭家文,刘少春,张跃彬,等.云南甘蔗主产区土壤 pH、全氮磷钾的分布状况[J].土壤,2012(5):868-872.
- [2] 饶江,顾明华,沈方科,等.红壤甘蔗地土壤 pH 及中、微量元素含量空间变异研究[J].土壤通报,2009(4):795-799.
- [3] 李清芳,辛天蓉,马成仓,等.pH 对小麦种子萌发和幼苗生长代谢的影响[J].安徽农业科学,2003,31(2):185-187.
- [4] 全松华,汪永国,罗绍球,等.苗床土壤 pH 对水稻秧苗素质的影响[J].杂交水稻,2004,19(4):45-46.
- [5] 刘少华,谢鹏飞,徐国华,等.根际 pH 对高产杂交稻幼苗根系生长特性的影响[J].江苏农业科学,2013(1):70-72.
- [6] 陈建军,任永浩,韩锦峰.根际 pH 值对烟草根系生长的影响(简报)[J].植物生理学通讯,1993,29(1):34-37.
- [7] 孟庆玲,程智慧,徐鹏,等.营养液 pH 对非洲菊生长和生理特征的影响[J].西北植物学报,2010(10):

2081-2086.

- [8] 蒋爱凤,陈翠玲,任秀娟,等.土壤 pH 对花生幼苗期根系 pH 及其生长状况的影响[J].河南农业科学,2006(7):51-52.
- [9] 徐晓燕,孙五三,李章海,等.烤烟根系合成烟碱的能力及 pH 对其根系和品质的影响[J].安徽农业大学学报,2004(3):315-319.
- [10] 张旭,刘彦卓.土壤 pH 对华南双季稻旱育秧素质的影响试验初报[J].广东农业科学,1998(2):8-10.
- [11] 刘光玲,陈荣发,田富桥,等.不同 pH 对甘蔗幼苗生长和生理特性的影响[J].南方农业学报,2011(4):380-383.
- [12] 邹琦.植物生理学试验指导[M].北京:中国农业出版社,2000:62-63.
- [13] 弋良朋,马健,李彦.3种荒漠盐生植物根系及根毛形态特征的比较研究[J].植物研究,2007,27(2):204-211.
- [14] 韩希英,宋凤斌.干旱胁迫对玉米根系生长及根际养分的影响[J].水土保持学报,2006,20(3):170-172.
- [15] 苗海霞,孙明高,夏阳,等.盐胁迫对苦楝根系活力的影响[J].山东农业大学学报:自然科学版,2005,36(1):9-12.
- [16] 李慧明,高志强,张永清,等.不同基因型春小麦根系对低磷胁迫的生物学响应[J].山西农业大学学报:自然科学版,2006,26(2):138-140.
- [17] 黄沆,陈光辉.水稻根系育种的研究现状及展望[J].湖南农业大学学报:自然科学版,2009,35(1):35-39.
- [18] 李从娟,马健,李彦,等.pH 对 3 种生活型植物根系形态及活力的影响[J].干旱区研究,2010,27(6):915-920.

责任编辑:王赛群

英文编辑:王 库