

断根和施用改良基质对天桥绿化三角梅生长的影响^{*}

刘悦明 叶少萍 李 铤 郑富海 张俊涛 伍成厚

(广州市林业和园林科学研究院, 广东 广州 510405)

摘要 采用原位改良方法, 研究了不断根 (CK)、单一断根 (T1)、断根联合施用改良基质 (T2) 处理对广州市海珠区海印桥小叶紫花三角梅 *Bougainvillea glabra* 'Royal Purple' 生长及开花的影响。结果显示: 第 80 天时 T1、T2 处理三角梅叶片全 N 含量均显著低于不断根处理 ($P<0.05$); 与 T1 处理相比, T2 处理三角梅叶片全 N、全 P 含量分别显著增加了 12.37%、29.73% ($P<0.05$)。此外, T2 处理虽然第 60 天时未见有开花, 但是第 90 天开始花朵密度显著增加 ($P<0.05$), 第 210 天时花朵密度达到 90%。相关性分析结果显示, 第 80 天时三角梅叶片 SPAD 值与全 N 含量呈极显著正相关 ($P<0.01$), 土壤 pH 与叶片全 P 含量呈显著负相关 ($P<0.05$)。该研究表明, 断根处理对三角梅叶片全 N 元素的积累产生了一定的负效应, 而断根联合施用改良基质处理则有利于调控花朵密度。

关键词 三角梅; 断根; 改良基质; 根系; 花朵密度

中图分类号: S688 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053 (2020) 05-0104-06

Effect of Root Cutting and Improvement Substrates Application on Growth of *Bougainvillea glabra* 'Royal Purple' in Over-bridge Greening

LIU Yueming YE Shaoping LI Ting ZHENG Fuhai
ZHANG Juntao WU Chenghou

(Guangzhou Institute of Forestry and Landscape Architecture, Guangzhou, Guangdong 510405, China)

Abstract A in-situ root improvement experiment was carried out to study the effects of root cutting (T1) and root cutting combined with improvement substrates application (T2) treatments on the growth and flowering of *Bougainvillea glabra* 'Royal Purple' on Haiyin Bridge in Haizhu District of Guangzhou, and plants without any treatment were used as control (CK). The results showed that the leaf total N content of T1 and T2 treatments on the 80th day were both significantly lower than that of CK treatment ($P<0.05$). Compared with T1 treatment, the leaves total N and P contents of T2 treatment were significantly increased by 12.37% and 29.73%, respectively ($P<0.05$). Additionally, although no flowering was observed on the 60th day in T2 treatment, the flower density increased significantly from the 90th day ($P<0.05$), and reached 90% on the 210th day. The results of correlation analysis showed that the leaf SPAD value was highly significantly positively correlated with the total N content ($P<0.01$), while the soil pH was significantly negatively correlated with leaf total P content ($P<0.05$) on the 80th day. In general, the root cutting treatment had a negative effect on the leaf total N accumulation of *B. glabra*, while the root cutting combined with improvement substrates application treatment was beneficial to regulate the flower density.

Key words *Bougainvillea glabra*; root cutting; improvement substrates; root; flower density

^{*} 基金项目: 广州市科技计划项目 (202002020027) 资助。

第一作者: 刘悦明 (1965—), 男, 高级工程师, 主要从事桥梁绿化和立体绿化研究, E-mail: 1836775640@qq.com。

通信作者: 张俊涛 (1981—), 男, 高级工程师, 主要从事基质研发生产、屋顶绿化等, E-mail: 350965652@qq.com。

三角梅 *Bougainvillea glabra* 又名叶子花、九重葛、簕杜鹃、宝巾花等, 属紫茉莉科 Nyctaginaceae、叶子花属 *Bougainvillea* 常绿攀援灌木, 喜阳光充足、温暖湿润的气候环境, 适应性强^[1]。三角梅品种多样, 且花色多姿、花期长, 是华南地区重要的观赏植物, 目前被广泛应用在立体绿化、庭院绿化、盆景造型等方面^[2-3]。天桥绿化是城市立体绿化重要的应用形式^[4]。城市立交桥、人行天桥常常面临立地条件差、汽车废气和粉尘污染等问题, 加之种植空间有限、植物蒸腾作用强、养护要求高等限制因素, 绿化效果常常面临极大的挑战^[5]。三角梅由于具有观赏价值高、抗逆性强、耐修剪、花期较长、养护成本较低等特点, 非常适合应用在天桥绿化中, 在广州、深圳、福州、厦门等城市天桥绿化中应用广泛^[5-7]。

根系是植物固定生长和吸收养分、水分的重要器官, 庞大的根系有利于提高植物抗逆能力、营养物质吸收效率等^[8-9]。研究发现, 植物根系的生长容易受到环境因子例如水分、温度、土壤、光照等因素影响, 当环境因子发生变化甚至出现胁迫时根系形态会随之发生改变^[10]。容器育苗是园林苗木主要的栽培方式之一, 具有苗木质量和规格容易控制、苗圃出圃率高、移栽过程中根系不易损伤等优点。然而, 容器种植的植物不能形成在自然状态下的完整根系, 根系构型混乱, 甚至出现根系畸形等问题, 不利于其养分和水分吸收, 最终影响植物的长势^[11]。为解决容器栽种植物根系畸形等问题, 研究学者对植物控根技术开展了大量的研究, 目前已有报道的控根技术包括化学控根、物理控根和空气控根技术等^[12]。

断根是物理控根的方式之一, 主要是通过调控根系生长来改变植物生殖生长与营养生长、地上部与地下部过程, 目前在经济林生产、农作物栽培、退化草地改良中应用较为广泛^[13-14]。植物经过断根处理后, 新根萌发较快, 同时对养分物质的需求也会增加, 因此研究人员通常会联合断根和施肥技术措施共同改善植物生长^[15-17]。

国内天桥绿化一般使用悬挂式花箱栽种三角梅, 花箱要求轻质且持久耐用, 同时为减轻桥梁承重, 花箱规格不宜过大, 因此三角梅根系生长的空间非常有限, 也容易出现根系盘旋和生长退化问题。此外, 天桥绿化三角梅种植土使用年限延长, 也容易出现有机质含量下降、肥力低、透

气透水性变差等问题, 从而影响了根系吸收效果, 导致三角梅长势变差^[5]。因此, 天桥绿化三角梅养护需要重点关注根系生长和吸收代谢的变化。目前, 国内研究学者采取调控三角梅生长的技术措施一般包括修剪、水肥控制、喷施调节剂等^[7, 18-19], 对于天桥绿化三角梅根系生长退化问题及其改良措施的研究仍未见相关报道。因此, 本研究以广州市海珠区海印桥小叶紫花三角梅 *Bougainvillea glabra* 'Royal Purple' 为研究对象, 采用原位断根改良方法, 研究断根和施用改良基质对三角梅生长及开花的影响, 以期提升天桥绿化三角梅养护技术提供理论支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试植物为小叶紫花三角梅, 栽种在广州市海珠区海印桥自南往北方向护栏外侧(北纬 23°06'55" ~ 23°07'3", 东经 113°16'58" ~ 113°16'59"), 种植年限约 12 年。种植容器为塑料种植盆(长度 97.5 cm × 宽度 37 cm × 高度 46 cm), 由下往上依次为陶粒(厚度约 5 cm)、隔网、土壤(种植土, 厚度约 20 cm), 每个盆内栽种有 2 株三角梅。

改良基质由园林废弃物腐熟堆肥、黄泥、花生麸按照一定比例配制而成, 其基本理化性质为: pH 7.75, EC 2.28 mS · cm⁻¹, 有机质含量为 347.76 g · kg⁻¹, 全 N、全 P、全 K 含量分别为 30.72、3.90、8.01 g · kg⁻¹, 水解性 N、有效 P、速效 K 含量分别为 2 888.76 mg · kg⁻¹、137.10 mg · kg⁻¹、62.94 mg · kg⁻¹。复合肥, N:P:K=15:15:15, 产自挪威海德鲁有限公司。

1.2 试验方法

本试验采用原位断根改良方法, 设计 3 组处理, 以不断根、不施用改良基质为对照处理(标记为 CK), 以断根、不施用改良基质为 T1 处理, 以断根联合施用改良基质为 T2 处理, 每组处理选择连续排列的 20 盆作为重复。2017 年 2 月 28 日进行现场处理, 断根处理是对单个种植盆内 2 株三角梅中间位置土壤和根系进行垂直切断, 施用改良基质处理则是在断根处理后将中间位置种植土取出并更换为改良基质, 改良基质用量为 8 L/盆。为保证三角梅生长效果, 每隔 30 天追施复合肥一次, 施肥量为 30 g/盆。水分管理采用定时滴灌系统。

1.3 测定项目

试验第 80 天时, 每组处理随机选择 5 盆统计三角梅生长指标, 并采集根际土壤测定基本理化指标。各指标检测方法如下:

(1) 叶片 SPAD 值: 采用 SPAD-502 叶绿素计进行测定, 每盆随机测定 20 片成熟叶片 SPAD 值的平均值作为该重复三角梅叶片 SPAD 值。

(2) 叶片养分含量: 从单个种植盆内随机采集三角梅成熟新鲜叶片, 经 105 °C 杀青 30 min、70 °C 烘干至恒重, 测定叶片全 N、全 P、全 K 含量。叶片经 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 消煮法处理后, 采用凯氏定氮法测定全 N 含量, 采用钼锑抗比色法测定全 P 含量, 采用火焰分光光度计法测定全 K 含量^[15]。

(3) 根系生长指标: 采集单个种植盆内 2 株三角梅中间位置根际土壤, 土壤样方尺寸为长度 10 cm × 宽度 10 cm × 深度 20 cm。混匀后分别称取 100 g 土壤, 将鲜活根系筛分出来, 测量根系干重、根系长度, 每组处理采集 5 个重复。

(4) 花朵密度: 以三角梅花朵面积占植株整体表面积的比例表示花朵密度^[20], 每隔 30 天统计一次, 共计 7 次。

(5) 土壤理化性质分析: 土壤 pH 采用水土比 5:1 浸提, pH 计测定; 电导率 (EC 值) 采用水土比 5:1 浸提, 电导率仪测定; 总孔隙度采用环刀法; 水解氮采用碱解扩散法测定, 有效磷采用碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法, 速效钾采用乙酸铵浸提—火焰光度计法^[21]。

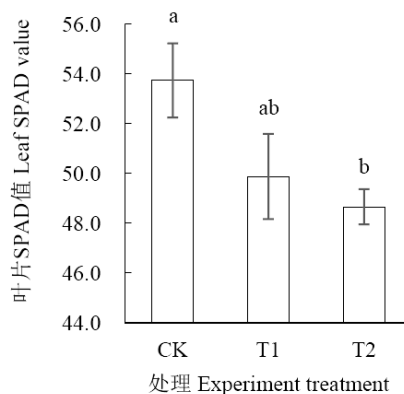
1.4 数据处理与分析

采用 IBM SPSS Statistics 21.0 软件对试验数据进行统计分析, 对不同处理的三角梅叶片指标、根系生长指标、土壤理化指标进行单因素方差分析, 并用 LSD 法进行两两比较; 图形绘制采用 Excel 2010。

2 结果与分析

2.1 断根处理对三角梅叶片 SPAD 值的影响

研究表明, SPAD 值可以间接反映植物叶片叶绿素含量与含氮量等^[22-23], 因此本试验利用 SPAD 值评估三角梅叶片叶绿素含量。图 1 结果显示, 试验第 80 天时, CK、T1、T2 处理三角梅叶片 SPAD 值分别为 53.74、49.88、48.66, 其中 T2 处理叶片 SPAD 值显著低于 CK 处理 ($P<0.05$)。



注: 图中所示数值为平均值 ± 标准误, 不同小写字母表示不同处理之间差异显著 ($P<0.05$)。

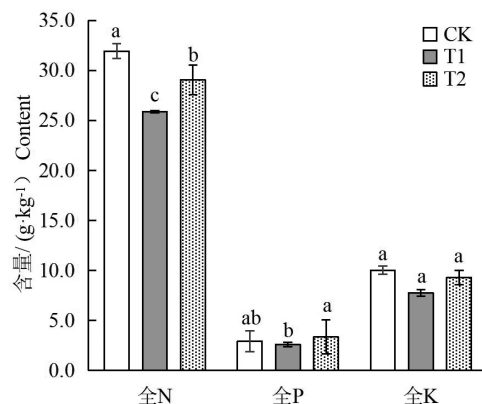
Note: the data indicate mean ± standard error. The data with different lowercase letters indicate significant difference among different treatments ($P<0.05$).

图 1 第 80 天时不同处理三角梅叶片 SPAD 值

Fig. 1 The SPAD value of *Bougainvillea glabra* 'Royal Purple' under different treatments on the 80th day

2.2 断根处理对三角梅叶片养分含量的影响

从叶片养分含量来看, 第 80 天时三组处理三角梅叶片全 N 含量最高, 全 K 含量次之, 全 P 含量最低 (图 2)。此外, 不同处理之间三角梅叶片全 N 含量差异显著 ($P<0.05$), 其中 CK 处理叶片全 N 含量最高, 较 T1、T2 处理分别高出 19.03%、9.01%; T2 处理叶片全 N 含量较 T1 处理则高出 11.01%。T2 处理三角梅叶片全 P 含量较 CK、T1 处理分别高出 12.57%、22.93%, 其中 T2 与 T1 处理之间差异达到显著水平 ($P<0.05$)。不同处理之间三角梅叶片全 K 含量差异不显著 ($P>0.05$)。



注: 图中所示数值为平均值 ± 标准误, 不同小写字母表示不同处理之间差异显著 ($P<0.05$)。

Note: the data indicate mean ± standard error. The data with different lowercase letters indicate significant difference among different treatments ($P<0.05$).

图 2 第 80 天不同处理三角梅叶片全 N、全 P、全 K 含量
Fig. 2 The leaf total N, P and K contents of *Bougainvillea glabra* 'Royal Purple' under different treatments on the 80th day

表 1 第 80 天时不同处理三角梅根系干重和长度

Tab. 1 The root dry weight and length of *Bougainvillea glabra* 'Royal Purple' under different treatments on the 80th day

处理 Treatment	根系干重 /g Root dry weight	根系长度 /cm Root length
CK	0.39 ± 0.08a	203.9 ± 22.0a
T1	0.82 ± 0.35a	159.6 ± 25.8a
T2	0.47 ± 0.17a	204.0 ± 55.8a

注：表中所示数值为平均值 ± 标准误，同列数据中具有不同小写字母的数据差异显著（*P*<0.05）。
Note: the data indicate mean ± standard error. The data with different lowercase letters in same column indicate significant difference (*P*<0.05).

表 2 第 80 天时不同处理三角梅根际土壤理化性质

Tab. 2 The soil physical and chemical properties of *Bougainvillea glabra* 'Royal Purple' under different treatments on the 80th day

处理 Treatment	pH	EC (mS · cm ⁻¹)	总孔隙 /% Total porosity	水解性 N (mg · kg ⁻¹) Hydrolyzable N	有效 P (mg · kg ⁻¹) Available P	速效 K (mg · kg ⁻¹) Available K
CK	6.40 ± 0.06a	0.35 ± 0.16a	56.19 ± 1.59a	103.12 ± 14.93a	202.67 ± 13.60a	222.92 ± 25.71a
T1	6.11 ± 0.12a	0.16 ± 0.02a	55.60 ± 1.65ab	81.42 ± 8.18a	167.30 ± 20.89a	165.37 ± 39.14a
T2	5.81 ± 0.30a	0.25 ± 0.04a	49.86 ± 2.37b	103.87 ± 17.08a	223.11 ± 18.97a	337.33 ± 106.63a

注：表中所示数值为平均值 ± 标准误，同列数据中具有不同小写字母的数据差异显著（*P*<0.05）。
Note: the data indicate mean ± standard error. The data with different lowercase letters in same column indicate significant difference (*P*<0.05).

2.3 断根处理对三角梅根系生长的影响

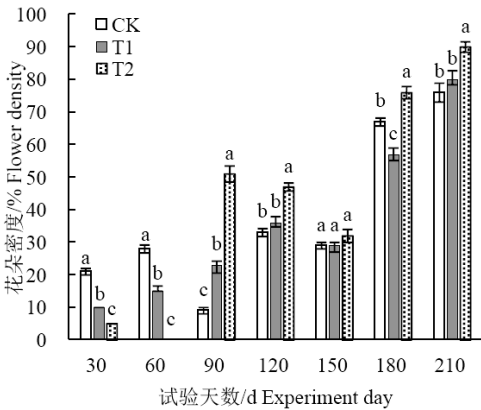
本试验测定了第 80 天时三角梅根系干重、根系长度，结果显示：T1 处理根系干重为 0.82 g，分别较 CK、T2 处理高出 110.26%、74.47%；CK、T2 处理根系长度则分别较 T1 处理高出 27.76%、27.82%（表 1）。然而，不同处理之间三角梅根系干重、根系长度差异均不显著（*P*>0.05）。

2.4 断根处理对三角梅开花的影响

随着试验天数的增加，各组处理三角梅开花基本呈现出上升 - 下降 - 上升的变化（图 3）。试验第 180 天时，三角梅花朵密度明显增加，CK、T1、T2 处理花朵密度较第 150 天时分别增加了 38%、28%、44%，第 210 天时花朵密度均达到最大值。从不同处理来看，除了第 150 天，其余试验天数时各组处理之间差异均达到显著水平（*P*<0.05）。其中，CK 处理三角梅开花较早，试验第 30、60 天时花朵密度均显著高于 T1、T2 处理（*P*<0.05）。T2 处理第 60 天时未见有开花，第 90、120、180、210 天时花朵密度分别为 51%、47%、76%、90%，均显著高于 CK、T1 处理（*P*<0.05）。

2.5 断根处理对三角梅根际土壤理化性质的影响

试验第 80 天时，各组处理三角梅根际土壤 pH 在 5.81~6.40 之间，EC 值在 0.16~0.35 mS · cm⁻¹ 之间；T2 处理土壤总孔隙度为 49.86%，显著低于



注：图中所示数值为平均值 ± 标准误，不同小写字母表示不同处理之间差异显著（*P*<0.05）。
Note: The data indicate mean ± standard error. The data with different lowercase letters indicate significant difference among treatments(*P*<0.05).

图 3 不同试验天数下不同处理三角梅花朵密度

Fig. 3 The flower density of *Bougainvillea glabra* 'Royal Purple' under different treatments on different experiment days

CK 处理（*P*<0.05）；T2 处理土壤水解性 N、有效 P、速效 K 含量均最高，CK 处理次之，T1 处理最低，但三组处理之间差异未达显著水平（*P*>0.05，表 2）。

2.6 三角梅生长指标与根际土壤理化性质的相关性分析

由图 4 相关性分析结果可知，试验第 80 天时三角梅叶片 SPAD 值与叶片全 N 含量呈极显著正

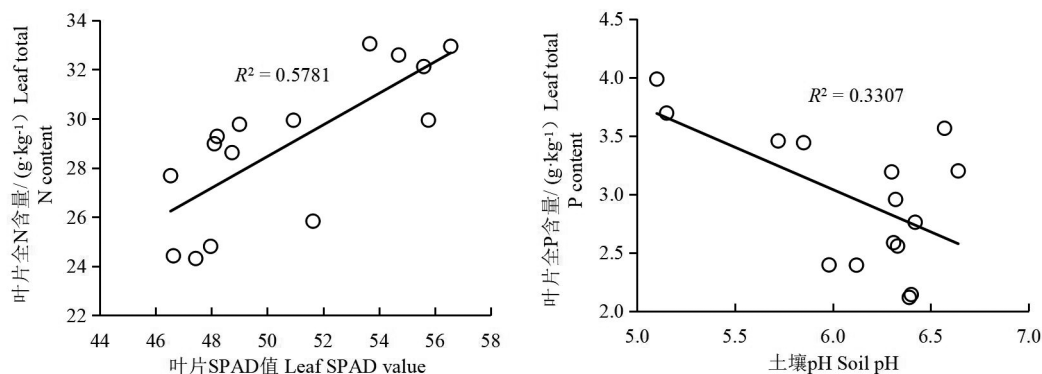


图4 第80天时三角梅叶片全N与SPAD值、全P与土壤pH相关性

Fig. 4 The correlation between total N contents and SPAD value, total P contents and soil pH of *Bougainvillea glabra* leaves on the 80th day

相关 ($P < 0.01$), 与根际土壤总孔隙度呈显著正相关 ($P < 0.05$)。此外, 三角梅根际土壤 pH 与叶片全 P 含量负相关达到显著水平 ($P < 0.05$), 与根系长度正相关达到显著水平 ($P < 0.05$)。

3 结论与讨论

一般地, 断根处理会对植物根系造成直接的机械损伤, 从而削弱老根、强壮根长势, 促进须根的生长, 最终影响植物营养元素的吸收代谢。断根作为一种用于提高产量的农艺措施, 常常被应用在桃 *Prunus persica*、苹果 *Malus domestica* 等果树和小麦 *Triticum aestivum*、花生 *Arachis hypogaea* 等农作物生产中^[13]。研究表明, 断根处理也适用于林业和园林植物栽培, 例如采用空气断根措施可以有效改善侧柏 *Platycladus orientalis* 幼苗的根系形态特征, 提高吸收面积, 显著促进侧柏实生苗在生长早期快速发育^[24]。大多数研究发现断根对植物根系生长表现出明显的促进作用, 然而对地上部分生长的影响反而存在差异。陈强等^[25]发现断根处理能够促进苗龄为5年生的云南拟单性木兰 *Parakmeria yunnanensis* 新侧根的萌发生长, 但是对地上部分的生长反而产生了负效应, 苗高、胸径和冠幅的生长量较不断根处理均大幅度下降。此外, 断根处理能够增加银杏 *Ginkgo biloba* 叶片 N、P、K 元素的吸收, 但是其生长高值反而较不断根处理推迟了15天^[26]。本研究结果显示, 试验处理第80天时, 单一断根处理中三角梅根系干重较不断根处理增加了110.26% ($P > 0.05$), 而叶片 SPAD 值和全 N、全 P、全 K 含量反而有所减少, 其中叶片全 N 含量显著减少了19.03% ($P < 0.05$), 表明断根处理对三角梅叶片的

生长尤其是 N 元素的积累反而产生了一定的负效应。此外, 本研究中第80天时三角梅叶片 SPAD 值与全 N 含量呈极显著正相关 ($P < 0.01$), 表明 SPAD 值适用于评估三角梅叶片氮素营养水平。

植物断根后, 根系暂时成为生长的中心, 其恢复生长过程对水分、营养物质的吸收量也会随之增加^[27], 因此实施植物断根处理的同时需要考虑土壤养分水平。研究表明, 联合断根和施肥措施能够更好的改善根系土壤环境, 例如增加土壤速效养分含量和促进土壤酶活^[16], 从而影响植物长势。赵正雄等^[15]发现断根追钾处理可明显促进烤烟 K326 品种后期的生长。桂花和乌仁其格^[17]发现断根和施用菌肥显著增加了羊草 *Leymus chinense* 群落物种丰富度指数、多样性指数和优势度指数, 降低了均匀度指数。类似地, 本研究发现与单一断根处理相比, 第80天时断根联合施用改良基质处理的三角梅根系长度增加了27.82%, 结果与周克友等^[27]研究类似; 同时叶片全 N、全 P、全 K 积累量均有所提高, 尤其是全 N、全 P 含量分别显著增加了12.37%、29.73% ($P < 0.05$), 然而 SPAD 值、全 N 含量反而显著低于不断根处理 ($P < 0.05$)。本研究选用的改良基质含有丰富的有机质和较高的 N、P、K 养分, 对于断根处理下三角梅根系的恢复生长有一定的促进作用, 但是对于三角梅根系恢复时期以及植株生长后期叶片生长尤其是养分积累的影响仍需要进一步明确。此外, 相关性结果显示土壤 pH 与叶片全 P 含量呈显著负相关 ($P < 0.05$), 表明土壤 pH 能够影响三角梅叶片磷元素的吸收, 因此在断根处理时建议施用酸碱度适宜的改良基质。

近年来, 三角梅已成为广州市立体绿化尤其

是天桥绿化重点推广的品种之一, 推动天桥绿化科学发展需要重点关注三角梅品种优选、栽培繁育、生理调控等技术领域, 其中开花质量调控也是研究工作的重点方向之一。研究表明, 营养是花芽分化及花器官形成与生长的物质基础, 而断根处理通过影响植物营养吸收也会对开花产生影响。例如百子莲 *Agapanthus praecox* ssp. *orientalis* 4年生苗进行 1/2 断根处理后, 平均花期可以延长 6 d、开花率提高 15%, 同时可溶性糖、淀粉、可溶性蛋白含量均有不同程度的增加, 由此推断出适当断根可以有效提高百子莲体内营养物质的积累, 从而改善其开花品质^[28]。与不断根处理相比, 本研究中断根处理显著降低了第 30、60 天时三角梅的花朵密度 ($P<0.05$), 但是第 90 天后花朵密度逐渐增加, 尤其是断根联合施用改良基质处理第 90、120、180、210 天时花朵密度均显著增加 ($P<0.05$), 至第 210 天时花朵密度达到 90%。可以看出, 联合断根和施用改良基质在调控三角梅花朵密度方面具有良好的效果。此外, 随着试验天数的增加, 三角梅的花朵密度呈现出上升—下降—上升的变化, 推测可能与三角梅养分吸收以及潜在的环境因素等变化有关, 后续仍需要进一步开展相关研究进行探讨。

参考文献

- [1] 洪维, 曾昭佳. 三角梅扦插矮化初步研究[J]. 广东林业科技, 2014, 30(3): 58-61.
- [2] 张继方, 代色平, 傅小霞, 等. 观赏簕杜鹃在广州地区的引种及综合评价[J]. 热带农业科学, 2016, 36(8): 38-44.
- [3] 邱胤晖, 赵金星, 邱志浩, 等. 三角梅优质品种资源综合评价[J]. 热带作物学报, 2017, 38(6): 1035-1041.
- [4] 杨红梅, 叶少萍, 郑富海, 等. 立体绿化轻型基质配方技术及应用研究[J]. 林业与环境科学, 2019, 35(6): 98-104.
- [5] 刘兴跃, 邱毅敏, 余铭杰, 等. 广州市桥梁绿化技术发展现状及对策[J]. 广东园林, 2013(3): 12-15.
- [6] 崔桦. 浅谈深圳市市花簕杜鹃在园林中的应用与栽培[J]. 华中建筑, 2005, 23(6): 134-137.
- [7] 李晓琪. 福州市控水调节三角梅花期技术研究[D]. 福州市: 福建农林大学, 2017.
- [8] 方建波, 窦宁, 张亨, 等. 3种植物生长调节剂对火力楠根系形态建成的影响[J]. 林业与环境科学, 2017, 33(5): 56-61.
- [9] JING D W, LIU F C, WANG M Y, et al. Effects of root pruning on the physicochemical properties and microbial activities of poplar rhizosphere soil[J]. PloS ONE, 2017, 12 (11): e0187685.
- [10] 李霞, 王良桂. 控根技术在容器育苗中的研究进展[J]. 陕西农业科学, 2013, 59(4): 154-157.
- [11] 邓纪凤, 孟格蕾, 邵志娟, 等. 木本植物化学控根技术研究进展[J]. 中国农学通报, 2019, 35(31): 21-25.
- [12] 许璐璐, 王涵, 高盼盼, 等. 环境胁迫对植物根系形态的影响[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(14): 16-19.
- [13] 井大炜, 王明友, 马海林, 等. 断根对杨树切口处细根根序形态与解剖结构的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2018, 24(6): 1221-1228.
- [14] 乌仁其其格, 闫瑞瑞, 辛晓平, 等. 切根改良对退化草地羊草群落的影响[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2011, 32(4): 55-58.
- [15] 赵正雄, 殷红慧, 李宏光, 等. 断根追钾条件下减量施氮对烟株后期氮、钾吸收及烟叶产量质量的影响[J]. 作物学报, 2008, 34(7): 1294-1298.
- [16] 冯志敏, 刘春生, 邢尚军, 等. 断根和施肥对杨树人工林根际土壤肥力及生物学特性的影响[J]. 水土保持学报, 2008, 22(6): 145-148.
- [17] 桂花, 乌仁其其格. 切根和添加菌肥对羊草群落的影响[J]. 天津农业科学, 2016, 22(4): 83-85.
- [18] 邵志芳, 杨义标, 邱少松. 叶子花花期调控技术研究进展[J]. 中国农学通报, 2006, 22(5): 326-329.
- [19] 夏金亮, 蒋湖波, 黄凌志, 等. 施用沼渣对三角梅生长和开花的影响[J]. 现代农业科技, 2018, (17): 127, 131.
- [20] 郁书君, 代色平, 杨九公, 等. 部分落叶类杜鹃品种在广州的引种栽培试验和生长开花观测[J]. 广东园林, 2015 (6): 15-19.
- [21] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008.
- [22] 李志宏, 刘宏斌, 张福锁. 应用叶绿素仪诊断冬小麦氮营养状况的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(4): 401-405.
- [23] 张丽梅, 陈志峰, 王彬, 等. 莲雾遮光期叶片SPAD值和C、N、P、K含量的变化及其规律[J]. 热带作物学报, 2013, 34(10): 1977-1981.
- [24] 冯志培, 杨果果, 郭二辉, 等. 空气断根对侧柏实生苗生物量分配和根系生长的影响[J]. 生态学报, 2017, 37(23): 7854-7861.
- [25] 陈强, 刘云彩, 周筑, 等. 不同断根处理对云南拟单性木兰苗木生长影响的研究[J]. 西部林业科学, 2010, 39(2): 1-6.
- [26] 曹磊, 袁玉欣, 井学辉, 等. 断根处理对银杏树体生长、养分吸收及根系再生的影响[J]. 河北农业大学学报, 2005, 28(2): 23-28.
- [27] 周克友, 陶佳, 刘璐璐, 等. 秋季断根和施肥对苹果幼树根系构型及生长的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2015, 43(8): 147-152, 158.
- [28] 李永卫, 卓丽环. 断根处理对百子莲(*Agapanthus praecox* ssp. *orientalis*) 开花的影响[J]. 上海农业学报, 2010, 26(4): 60-63.