

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201907019

聂丽云, 张弯弯, 李仕裕, 等. 基质和水氮处理对假茉莉水分利用率及生物量的影响 [J]. 广西植物, 2020, 40(3): 367–374.

NIE LY, ZHANG WW, LI SY, et al. Effects of matrix and water-nitrogen treatments on water use efficiency and biomass of *Clerodendrum inerme* [J]. Guihaia, 2020, 40(3): 367–374.

基质和水氮处理对假茉莉水分利用率及生物量的影响

聂丽云^{1,3}, 张弯弯², 李仕裕^{1,3}, 王发国¹, 盛爱武², 刘东明^{1*}

(1. 中国科学院华南植物园 广东省应用植物学重点实验室, 广州 510650; 2. 仲恺农业工程学院 园艺园林学院, 广州 510225; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘 要: 假茉莉 (*Clerodendrum inerme*) 是一种重要的半红树植物, 是海岛及沿海防护林的重要组成部分, 淡水、土壤是海岛植被恢复的重要生态因子。为了总结出最适合假茉莉生长发育的土壤及水肥条件, 该文设置了不同基质、浇水频率及氮素处理, 对不同处理下假茉莉的生物量及水分利用率进行了研究。结果表明: (1) 在不同的基质中, 含泥炭的混合基质对于假茉莉生物量的积累具有突出作用, S₄ 基质 (珊瑚砂: 泥炭: 红壤土: 椰糠 = 12: 2: 3: 3) 地下生物量 (平方根) 为 1.66 g, 极显著高于不含泥炭的基质, S₁ 基质 (珊瑚砂: 泥炭 = 3: 2) 总生物量 (平方根) 为 4.54 g, 极显著高于其他基质。(2) 中、低浇水频率下的总生物量分别为 4.02、4.23 g, 极显著高于高浇水频率下的 3.46 g, 而不同氮素处理间生物量的差异并不显著, 这表明假茉莉在中、低浇水频率, 少施氮肥或不施氮肥的条件下仍然能够获得较高的生物量。(3) 对于水分利用率而言, 原珊瑚砂基质保水性较差, 水分利用率较低, 而混合基质在中、低浇水频率下水分利用率均有不同显著程度的提高。综上所述, 假茉莉在含泥炭基质, 中、低浇水频率, 无氮或低氮条件下能够较好生长。

关键词: 假茉莉, 基质, 水分利用率, 生物量

中图分类号: Q945 文献标识码: A

文章编号: 1000-3142(2020)03-0367-08

开放科学 (资源服务) 标识码 (OSID):



Effects of matrix and water-nitrogen treatments on water use efficiency and biomass of *Clerodendrum inerme*

NIE Liyun^{1,3}, ZHANG Wanwan², LI Shiyu^{1,3}, WANG Faguo¹,
SHENG Aiwu², LIU Dongming^{1*}

(1. Guangdong Provincial Key Laboratory of Applied Botany, South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China; 2. College of Horticulture, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: *Clerodendrum inerme* is a semi-mangrove plant that is an important part of island and coastal shelter forests. Fresh water and soil are important ecological factors for island vegetation restoration. In order to summarize the most suitable soil, water and fertilizer treatment for *C. inerme*, we set different matrices, irrigation frequencies and nitrogen treat-

收稿日期: 2019-08-29

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2016YFC1403002); 中国科学院 A 类战略性先导科技专项项目 (XDA13020500); 国家自然科学基金 (NSFC)-广东联合基金 (U1701246) [Supported by the National Key R & D Program of China (2016YFC1403002); Strategic Priority Research Program of Chinese Academy of Sciences (XDA13020500); the NSFC-Guangdong Province Union Fund (U1701246)]。

作者简介: 聂丽云 (1996-), 女, 江西上饶人, 硕士研究生, 主要从事植物资源与利用方面的研究, (E-mail) nieliyun18@163.com。

* 通信作者: 刘东明, 硕士, 副研究员, 主要从事植物分类、植物资源及生物多样性保护研究, (E-mail) liudm@scbg.ac.cn。

ments, and studied the biomass and water use efficiency of *C. inerme* under the different treatments. The results were as follows: (1) Peat-containing mixed matrix had a prominent effect on the biomass accumulation of *C. inerme*. The underground biomass (Square Root Calculations) of S_4 matrix (coral sand : peat : red soil : coco peat = 12 : 2 : 3 : 3) was 1.66 g, which was significantly higher than that of peat-free matrix, and the total biomass (Square Root Calculations) of S_1 matrix (coral sand : peat = 3 : 2) was 4.54 g, which was significantly higher than other matrices. (2) In addition, the total biomasses treated at medium and low irrigation frequencies were 4.02 and 4.23 g, respectively, which were significantly higher than 3.46 g at high irrigation frequency. But the biomass between different nitrogen treatments was not significant, indicating that *C. inerme* could obtain high biomass under medium and low irrigation frequencies, with less or no nitrogen fertilizer. (3) For water use efficiency, the original coral sand matrix was kept at a low level, and the mixed matrix has been significantly improved, especially at medium and low irrigation frequencies. Therefore, *C. inerme* can grow well under peat-containing matrix, medium and low irrigation frequency, with low nitrogen or no nitrogen.

Key words: *Clerodendrum inerme*, matrix, water use efficiency, biomass

假茉莉 (*Clerodendrum inerme*), 又称苦郎树、许树, 是马鞭草科 (Verbenaceae) 大青属 (*Clerodendrum* L.) 攀援状灌木 (吴德邻, 1995)。假茉莉分布于亚洲东南部至大洋洲北部的海岸沙滩及岛屿, 在我国主要分布于福建、台湾、浙江南部、广东、香港、海南等地 (方笑等, 2017)。假茉莉直立或平卧, 根、茎、叶有苦味, 幼枝四棱形, 被短柔毛; 叶卵形、椭圆形或椭圆状披针形, 长 3~7 cm, 宽 1.5~4.5 cm, 基部楔形或宽楔形, 顶端钝尖, 全缘, 常略反卷; 聚伞花序, 稀二歧分枝, 具 3(7~9) 花, 芳香, 花冠白色, 5 裂, 花果期 3 月—12 月 (中国植物志, 2004)。

作为红树林的主要组成物种之一, 假茉莉具有耐干旱、耐盐碱的优良特性, 是我国南方沿海防沙造林主要树种之一 (单家林等, 2008)。假茉莉所在的珊瑚砂岛目前树木生长状况相对较弱, 某些病原菌可能在短时间内流行并危害植物 (李婕等, 2016)。假茉莉叶提取物对于动植物病原菌具有较好的抑菌活性 (Chen et al., 1996; 阳振等, 2007; 毕秀莲等, 2008; 邓业成等, 2012), 从中分离出的二萜类化合物对于鳞翅目昆虫具有拒食活性 (Pereira & Gurudutt, 1990; Gebbinck et al., 2002; 方笑等, 2017)。因而, 在热带珊瑚岛礁人工种植假茉莉能够预防病虫害的侵染, 提高苗木成活率, 减少养护步骤以及使用农药导致的二次污染 (张弯弯, 2018)。另外, 在珊瑚岛礁及现有的沿海防护林中, 木麻黄都是主要树种, 木麻黄凋落物对于植物生长具有抑制作用 (王海生等, 2018)。而假茉莉适宜在木麻黄林地中生长, 这为建立木麻黄—假茉莉混交林提供了可能性, 对于提高岛礁及沿海防护林的生物多样性和生态稳定性具有积极作用 (袁秋进等, 2017)。

热带珊瑚岛光照强且季节性干旱明显、土壤贫瘠、保水能力差, 因而淡水、土壤是海岛植被恢复的重要生态因子 (李婕等, 2016; 任海等, 2017)。目前, 岛礁人工种植的苗木成活率不高, 后期养护成本投入较大。如何提高人工种植植株的成活率, 尽可能减少养护成本是本研究的核心问题。本研究从岛礁立地条件出发, 围绕低养护成本、避免二次污染的原则, 分析土壤、水分、氮肥三个因素对于假茉莉生物量 and 水分利用率的影响, 总结出最适合假茉莉的土壤、水和氮养护管理技术, 为进一步完善岛礁植被的栽培管理技术, 改善岛礁生境条件, 构建能自维持宜居生态岛奠定基础。

1 材料与方 法

1.1 材料

于 2016 年 6 月至 2016 年 12 月, 选取生长健壮、高度约为 90 cm 的两年生假茉莉苗, 在广州华南植物园实验大棚进行试验, 将原栽培土去除后分别按照不同配比的基质, 将苗种植于 30 cm × 25 cm 的花盆中。栽培基质为珊瑚砂、红壤土、泥炭、椰糠、氮素肥料的不同质量比组成。假茉莉植株、花、果见图 1。

1.2 试验设计

试验包括 3 个因素: 基质、水分、氮肥。栽培基质设置 5 个组别: 100% 珊瑚砂 (S_0)、珊瑚砂: 泥炭 = 3 : 2 (S_1)、珊瑚砂: 红壤土 = 3 : 2 (S_2)、珊瑚砂: 椰糠 = 3 : 2 (S_3)、珊瑚砂: 泥炭: 红壤土: 椰糠 = 12 : 2 : 3 : 3 (S_4)。浇水频率设置为 3 个水平: 高频 (W_0 , 2 d 1 次)、中频 (W_1 , 5 d 1 次)、低频 (W_2 , 7 d 1 次)。氮素设置 3 个水平: 低氮 (N_0 ,



图 1 假茉莉花(A)、果(B)及全株(C)

Fig. 1 Flowers (A), fruits (B) and whole plant (C) of *Clerodendrum inerme*

不施氮肥)、中氮(N_1 , $0.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 氮肥)、高氮(N_2 , $0.4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 氮肥)。共计 45 个处理,每个处理 30 株苗。

1.3 试验测定的指标及方法

1.3.1 基质理化性质 栽培前,采集配比土壤过 2 mm 孔径筛,室温下自然风干,测定土壤 pH 值(中华人民共和国农业行业标准,2007)、电导率(中华人民共和国国家环境保护标准,2016)、含盐量(中华人民共和国林业行业标准,1999)等理化性质。

1.3.2 植株生理生长指标测定 从 2016 年 6 月起,每隔 45 d,选取有代表性的植株测定其生理生长性状。

每个处理选取 3~10 株长势均一的植株,用 LI-6400 便携式光合仪测定瞬时光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)等光合作用参数。水分利用率(WUE)根据 $WUE(\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}) = P_n/T_r$ 计算得出(罗亚勇等,2009)。

每个处理选取 3 株长势均一的植株,用 FA2004 电子分析天平测定其地上、地下部分鲜重及干重等生长指标。

1.3.3 数据处理 本研究使用 Excel 2016 进行数据录入,利用 R 3.5.3 及相关软件包对基质理化性质、假茉莉的生物量及水分利用率进行方差分析(LSD 法);对假茉莉生物量进行单因素和两因素方差分析时,为使数据满足正态性和方差齐性,对所有生物量数据进行了平方根转换;对假茉莉的水分利用率进行两因素方差分析时,对个别不符合齐性条件的组别采用了秩和检验(Kruskal-Wallis 法)。

2 结果与分析

2.1 不同基质理化性质的差异

由表 1 可见,从土壤 pH 值来看,混合基质

(S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4)的 pH 值要显著低于原有珊瑚砂基质(S_0),但四种混合基质间并无显著区别,含泥炭的基质(S_1 、 S_4)pH 值降低效果要略优于不含泥炭的基质;四种混合基质的电导率有不同程度的增加,但差异不显著;基质的可溶性盐含量的变化趋势与电导率基本相似,除 S_4 基质外,其他基质含盐量无显著差异。

2.2 不同基质及水、氮处理对假茉莉生物量的影响

2.2.1 不同基质对假茉莉生物量的影响 从图 2 可以看出,就 8 月份而言,不同基质的地下生物量(图 2:B)差异极显著,总生物量(图 2:C)近显著;对于地下生物量, S_0 、 S_2 、 S_3 组差异不显著, S_1 、 S_4 组差异不显著, S_4 显著或极显著高于 S_0 、 S_2 、 S_3 组。就 10 月份而言,无论是地上生物量(图 2:D)还是地下生物量(图 2:E)均存在显著差异;对于地上生物量, S_1 基质要显著高于 S_0 基质;对于地下生物量, S_1 、 S_4 均显著高于其他基质。

2.2.2 不同水、氮处理对假茉莉生物量的影响 由表 2 可知,不同浇水频率(W)组间,假茉莉生物量差异显著;而不同氮素处理(N)组间,生物量差异不显著;W 和 N 之间无交互作用。对于地上生物量及总生物量,中、低浇水频率组(W_1 、 W_2)要显著高于高浇水频率组(W_0),而 W_1 、 W_2 组间差异不显著;对于地下生物量,不同浇水频率组间差异不显著(图 3)。

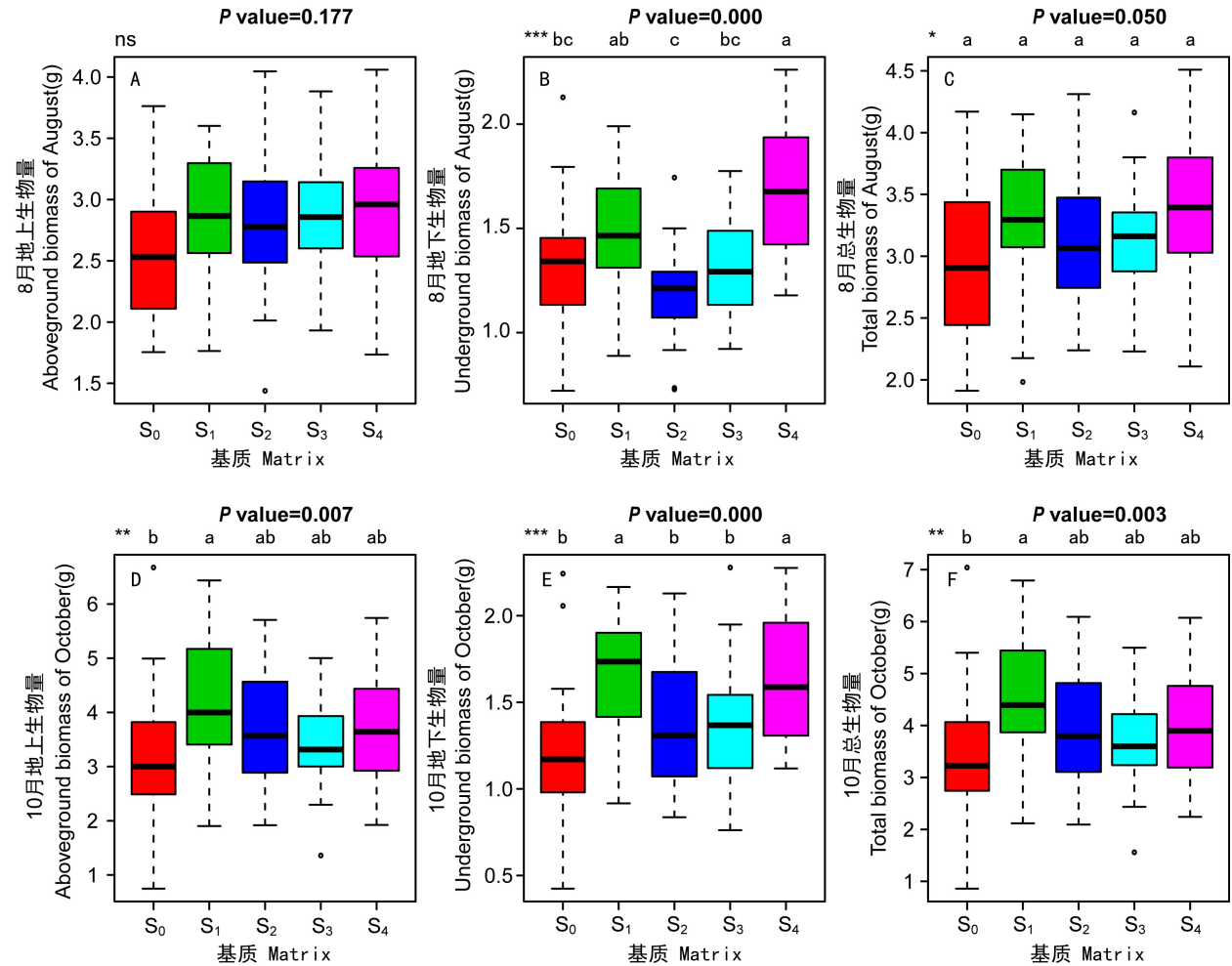
2.3 不同水、氮处理对假茉莉水分利用率的影响

由图 4 可知,四种基质内不同水、氮处理间均存在极显著差异。对于原珊瑚砂基质 S_0 ,低浇水频率 W_2 组水分利用率较低,而改良后的混合基质在低浇水频率下的水分利用率都有明显的提高,表现出中、低浇水频率下的水分利用率要高于高浇水频率;对于 S_1 基质, W_2N_1 显著高于 W_0 、 W_1 组;

表 1 不同基质理化性质的差异
Table 1 Differences in physicochemical properties of different matrices

指标 Index	基质 S ₀ Matrix S ₀	基质 S ₁ Matrix S ₁	基质 S ₂ Matrix S ₂	基质 S ₃ Matrix S ₃	基质 S ₄ Matrix S ₄
pH	8.680 0±0.126 6a	7.863 3±0.044 1b	8.126 7±0.058 4b	8.136 7±0.091 4b	7.860 0±0.160 0b
电导率 Electrical conductivity (ms · cm ⁻¹)	0.616 7±0.018 6a	1.110 0±0.105 4ab	0.880 0±0.026 5ab	1.433 3±0.072 2a	1.323 3±0.291 7ab
含盐量 Salt ion content (g · kg ⁻¹)	1.547 5±0.295 6b	2.378 7±0.191 8ab	1.478 4±0.248 1b	2.953 6±0.702 0ab	4.115 2±0.450 9a

注：不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。下同。
Note: Different lowercases indicate significant differences ($P<0.05$). The same below.



“*”个数表示显著水平：*** ($0<P<0.001$)，** ($0.001<P<0.01$)，* ($0.01<P<0.05$)，ns ($P>0.05$)。不同字母表示存在差异。下同。

The number of “*” indicates a significant level: *** ($0<P<0.001$)，** ($0.001<P<0.01$)，* ($0.01<P<0.05$)，ns ($P>0.05$). Different letters indicate significant differences. The same below.

图 2 不同基质对假茉莉生物量的影响
Fig. 2 Effects of different matrices on biomass of *Clerodendrum inerme*

对于 S₂ 基质, W₂N₁ 组水分利用率最高, 极显著高于 W₀N₁ 组; 对于 S₃ 基质, W₁、W₂ 组水分利用率在 不同显著程度下高于 W₀ 组; 而 S₄ 基质, 除 W₁N₀ 表现异常外, 其他各组水分利用率普遍较高, 这可能

表 2 不同水、氮处理假茉莉生物量的两因素方差分析表

Table 2 Two-way Anovo of different irrigation frequencies and nitrogen treatments on the biomass of *Clerodendrum inerme*

地上生物量 Aboveground biomass					
组别 Group	自由度 <i>Df</i>	平方和 Sum Sq.	均方 Mean Sq.	<i>F</i> 值 <i>F</i> value	概率 <i>Pr</i> (> <i>F</i>)
W	2.000	16.435	8.217	7.181	0.001 **
N	2.000	3.314	1.657	1.448	0.239
W : N	4.000	5.800	1.450	1.267	0.286
残差 Residual	125.000	143.034	1.144		

地下生物量 Underground biomass					
组别 Group	自由度 <i>Df</i>	平方和 Sum Sq	均方 Mean Sq	<i>F</i> 值 <i>F</i> value	概率 <i>Pr</i> (> <i>F</i>)
W	2.000	0.503	0.251	1.529	0.221
N	2.000	0.686	0.343	2.085	0.129
W : N	4.000	0.563	0.141	0.855	0.493
残差 Residual	125.000	20.560	0.164		

总生物量 Total biomass					
组别 Group	自由度 <i>Df</i>	平方和 Sum Sq	均方 Mean Sq	<i>F</i> 值 <i>F</i> value	概率 <i>Pr</i> (> <i>F</i>)
W	2.000	15.384	7.692	6.133	0.003 **
N	2.000	4.062	2.031	1.619	0.202
W : N	4.000	6.187	1.547	1.233	0.300
残差 Residual	125.000	156.772	1.254		

注：表中字母 W 表示不同浇水频率；N 表示不同氮素处理；W : N 表示浇水频率和氮素处理交互项。
Note: The letters in the table, W indicates different irrigation frequencies; N indicates different nitrogen treatments; W : N indicates interaction terms between irrigation frequencies and nitrogen treatments.

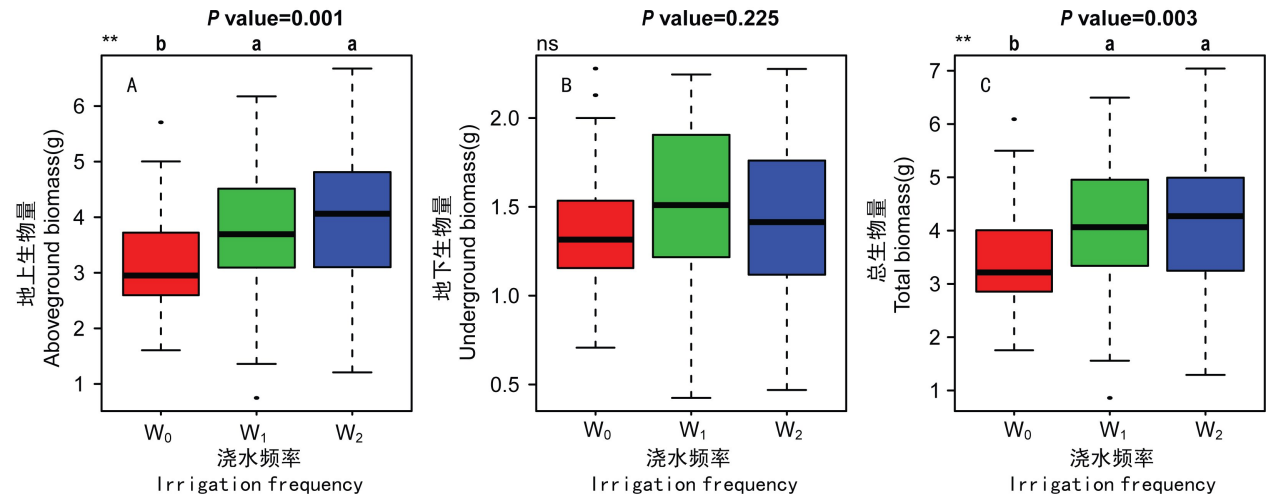
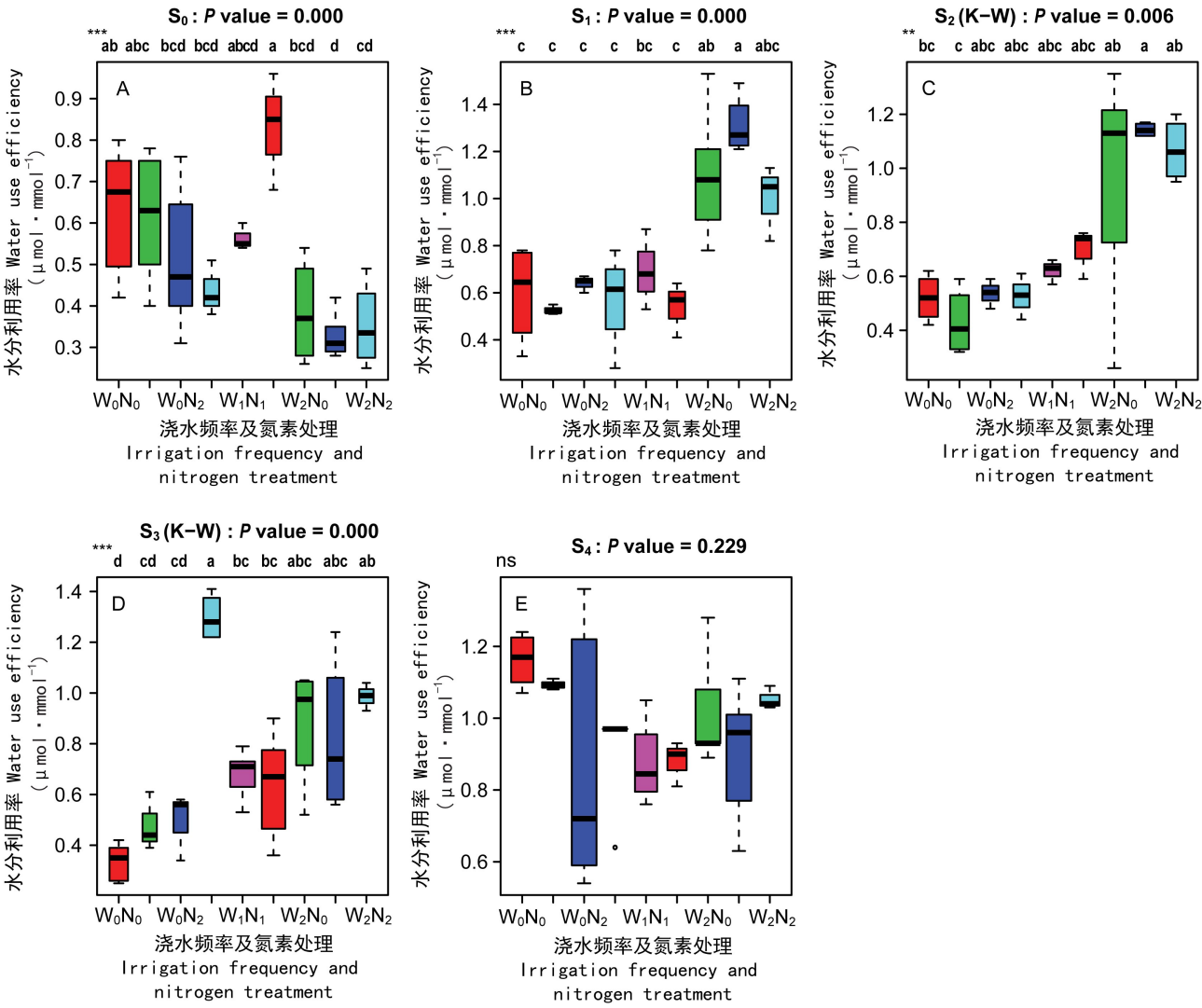


图 3 不同浇水频率对假茉莉生物量的影响

Fig. 3 Effects of different irrigation frequencies on biomass of *Clerodendrum inerme*



C, D 中的 K-W 为秩和检验:Kruskal-Wallis。
K-W 在 C, D means the non-parametric alternative to ANOVA: Kruskal-Wallis.

图 4 不同水、氮处理对假茉莉水分利用率的影响

Fig. 4 Effects of different irrigation frequency and nitrogen treatments on water use efficiency of *Clerodendrum inerme*

表明与其他基质相比,S₄基质具有较好的保水性。

3 讨论与结论

新建的热带珊瑚岛主要的土壤介质为珊瑚和贝壳组成的珊瑚砂,土壤非常贫瘠,有机质和营养元素(如氮)含量极低,保水性差,很不利于植物的生长(龚子同等,2013;任海等,2017;王伟韧等,2018)。因而,对原有土壤进行改良,改良后基质的盐碱含量、植株的生物量及水分利用率在一定程度上可以评价改良方案的优劣。

从土壤 pH 值来看,混合基质的 pH 要显著低于原有珊瑚砂基质,但四种混合基质间并无显著的区别,泥炭的改良效果要略优于椰糠、红壤土的改良效果;从土壤电导率及可溶性盐含量来看,混合基质要高于原有基质,这表明混合基质为假茉莉的生长提供了丰富的有机质或营养元素。在不同的基质中,含泥炭的混合基质最有利于假茉莉生物量的积累,由珊瑚砂、泥炭、椰糠、红壤土配比组成的混合基质对于假茉莉地下生物量的积累具有突出的作用;地下生物量的积累有利于根的生长,而发达的根系有利于蓄水保肥,有利于地上枝

叶的生长,对珊瑚岛礁根际微生境的形成也有促进作用。

本研究结果发现,不同浓度氮素处理,假茉莉生物量的差异并不显著。这表明人工施加的氮肥并不是假茉莉生长的关键因子,假茉莉能够适应原有的珊瑚砂基质,从中获得养分。已有研究发现,虽然珊瑚岛土壤贫瘠,但是移栽到珊瑚岛上的多数植物并未表现出显著的氮素亏缺,表明多数海岛植物都能够适应海岛生境(李婕等,2016)。研究发现珊瑚岛常见植物草海桐、长春花等根际土壤养分含量偏低,但植物体内营养元素含量却较高,且生长状况良好,表明这些植物对土壤养分的利用效率都较高,能够适应土壤贫瘠的珊瑚岛环境(徐贝贝等,2018;童升洪等,2018)。不同的浇水频率对于假茉莉的水分利用率和生物量都有显著影响。珊瑚砂保水能力较差,低浇水频率下的水分利用率较低,必须辅以高频率的浇水才能保证假茉莉的水分吸收和利用。而改良基质的中、低频浇水下的水分利用率有了明显的提高。对于泥炭改良基质,低浇水频率、低氮水平能够有效提高假茉莉的水分利用率;对于添加红壤土的改良基质,在同一氮素水平下,低浇水频率能够提高水分利用率;对于椰糠改良基质,中、低浇水频率更有利于提高水分利用率;而由珊瑚砂、泥炭、椰糠、红壤土组成的基质具有较好的保水性,各组的水分利用率都较高。同时,相比高频率的浇水,中、低频率浇水也更有利于假茉莉生物量的积累,这也表明,水分利用率和氮素利用率可能存在协同作用,提高水分利用率有利于提高假茉莉的氮素利用效率,这为进一步研究假茉莉的生理抗逆性提供了基础。

因此,合理低频浇水,少施氮肥既可以提高假茉莉的生物量,又有利于提高水、氮资源利用效率,减少水资源的过量消耗及过度施加氮肥导致的土壤污染问题。在热带珊瑚岛礁植被恢复工作中,假茉莉是优良的新建植被先锋树种,针对假茉莉构建的群落应合理地低频浇水、少施氮肥,即可达到快速、高效构建珊瑚砂环境植被的目标。

参考文献:

Agricultural Industry Standard of the People's Republic of China, 2007. NY/T 1377-2007, Determination of pH in soil

- [S]. [中华人民共和国农业行业标准, 2007. NY/T 1377-2007, 土壤 pH 的测定 [S].]
- BI XL, DENG YC, CHEN KL, 2008. Inhibitory activities of the extracts from mangrove plants against spores of the three pathogens [J]. Plant Protect, 34 (1): 89-92. [毕秀莲, 邓业成, 陈凯灵, 2008. 红树植物提取物对 3 种植物病原真菌孢子的抑制活性 [J]. 植物保护, 34(1):89-92.]
- CHEN H, TAN RX, LIU ZL, et al., 1996. Antibacterial neoclerodane diterpenoids from *Ajuga lupulina* [J]. J Nat Prod, 59: 668-670.
- DENG YC, BI XL, YANG LL, et al., 2012. Antibacterial activity of extracts from mangrove plant and its active constituents against plant pathogenic fungi [J]. Hubei Agric Sci, 2012, 51(10): 2010-2013. [邓业成, 毕秀莲, 杨林林, 等, 2012. 红树植物苦郎树提取物及其活性成分对植物病原真菌的抑菌活性研究 [J]. 湖北农业科学, 51(10): 2010-2013.]
- DENG YC, LUO HY, ZHANG LZ, et al., 2012. Antibacterial activity of 14 mangrove species against animal pathogens [J]. Mar Sci, 36(3): 37-41. [邓业成, 骆海玉, 张丽珍, 等, 2012. 14 种红树植物对动物病原菌的抑菌活性 [J]. 海洋科学, 36(3):37-41.]
- FANG X, ZHANG JQ, ZHU DD, et al., 2017. Research progress of semi-mangrove species *Clerodendrum inerme* [J]. J Green Sci Technol, (15): 125-126. [方笑, 张坚强, 朱丹丹, 等, 2017. 苦郎树研究进展综述 [J]. 绿色科技, (15):125-126.]
- Flora of China Editorial Committee of CAS, 1982. Flora Reipublicae Popularis Sinicae (Vol. 65) [M]. Beijing: Science Press:154. [中国科学院中国植物志编委会, 1982. 中国植物志(第 65 卷) [M]. 北京:科学出版社:154.]
- Forestry Industry Standard of the People's Republic of China, 1999. LY/T 1251-1999, Analysis methods of water soluble salts of forest soil [S]. [中华人民共和国林业行业标准, 1999. LY/T 1251-1999, 森林土壤水溶性盐分析 [S].]
- GEBBINCK EAK, JANSEN BJM, DE GROOT A, 2002. Insect antifeedant activity of clerodane diterpenes and related model compounds [J]. Phytochemistry, 61: 737-770.
- GONG ZT, ZHANG GL, YANG F, 2013. Soils and the soil ecosystem in the South China Sea Islands [J]. Ecol Environ Sci, 22(2): 183-188. [龚子同, 张甘霖, 杨飞, 2013. 南海诸岛的土壤及其生态系统特征 [J]. 生态环境学报, 22(2):183-188.]
- LI J, LIU N, REN H, et al., 2016. Ecological adaptability of seven plant species to tropical coral island habitat [J]. Ecol Environ Sci, 25(5): 790-794. [李婕, 刘楠, 任海, 等, 2016. 7 种植物对热带珊瑚岛环境的生态适应性 [J]. 生态环境学报, 25(5):790-794.]
- LUO YY, ZHAO XY, HUANG YX, et al., 2009. Research progress on plant water use efficiency and its determination methods [J]. J Desert Res, 29(4): 648-655. [罗亚勇, 赵学勇, 黄迎新, 等, 2009. 植物水分利用效率及其测定方法研究进展 [J]. 中国沙漠, 29(4):648-655.]

- National Environmental Protection Standard of the People's Republic of China, 2016. HJ 802-2016, Soil quality-determination of conductivity-electrode method [S]. [中华人民共和国国家环境保护标准, 2016. HJ 802-2016, 土壤电导率的测定-电极法 [S].]
- PEREIRA J, GURUDUTT KN, 1990. Growth inhibition of *Musca domestica* L. and *Culex quinquefasciatus* (Say) by (-)-3-epicaryoptin isolated from leaves of *Clerodendrum inerme* (Gaertn) (Verbenaceae) [J]. J Chem Ecol, 16: 2297-2306.
- REN H, JIAN SG, ZHANG QM, et al., 2017. Plants and vegetation on South China Sea Islands [J]. Ecol Environ Sci, 26(10): 1639-1648. [任海, 简曙光, 张倩媚, 等, 2017. 中国南海诸岛的植物和植被现状 [J]. 生态环境学报, 26(10): 1639-1648.]
- SHAN JL, YU L, ZHENG XQ, 2008. Preliminary study on salt-tolerant biological property of coastal plant *Clerodendrum inerme* [J]. J Fujian For Sci Technol, 35(2): 100-103. [单家林, 余琳, 郑学勤, 2008. 海岸植物许树耐盐生物学初探 [J]. 福建林业科技, 35(2): 100-103.]
- TONG SH, LIU N, WANG J, et al., 2019. Physiological and ecological adaptability of *Catharanthus roseus* to tropical coral islands [J/OL]. Guihaia. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/45.1134.Q.20190614.1610.010.html>. [童升洪, 刘楠, 王俊, 等, 2019. 长春花(*Catharanthus roseus*)对热带珊瑚岛生理生态适应性研究 [J/OL]. 广西植物. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/45.1134.Q.20190614.1610.010.html>.]
- WANG HS, DAI HF, WANG P, et al., 2018. Chemical constituents from litters of *Casuarina equisetifolia* and their biological activity [J]. Nat Prod Res Dev, 30(3): 390-395. [王海生, 戴好富, 王佩, 等, 2018. 木麻黄凋落物化学成分及其生物活性的研究 [J]. 天然产物研究与开发, 30(3): 390-395.]
- WU DL, 1995. Flora of Guangdong (Vol. III) [M]. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press: 377. [吴德邻, 1995. 广东植物志(第三卷) [M]. 广州: 广东科技出版社: 377.]
- XU BB, LIU N, REN H, et al., 2018. Stress resistance biological characteristics of *Scaevola sericea* in Paracel Islands [J]. Guihaia, 38(10): 1277-1285. [徐贝贝, 刘楠, 任海, 等, 2018. 西沙群岛草海桐的抗逆生物学特性 [J]. 广西植物, 38(10): 1277-1285.]
- YANG Z, DENG YC, CHEN XH, 2007. Antifungal and antibacterial activities of methanol extracts from mangrove plants [J]. J Trop Oceanogr, 26(1): 78-80. [阳振, 邓业成, 陈新华, 2007. 红树植物甲醇提取物的抑菌活性研究 [J]. 热带海洋学报, 26(1): 78-80.]
- YUAN QJ, LUO XW, LIU Q, et al., 2017. Cuttage breeding of *Clerodendrum inerme* and the response of seedlings to allelopathy of *Casuarina equisetifolia* [J]. Hubei Agric Sci, 56(2): 284-287. [袁秋进, 罗忻武, 刘强, 等, 2017. 苦郎树扦插育苗及其苗木对木麻黄化感作用的响应 [J]. 湖北农业科学, 56(2): 284-287.]
- ZHANG WW, 2018. Study on matrix and water-nitrogen management techniques of *Clerodendrum inerme* in tropical reefs island [D]. Guangzhou: Zhongkai University Agriculture Engineering: 11-20. [张弯弯, 2018. 热带岛礁植物假茉莉的基质及水氮管理技术研究 [D]. 广州: 仲恺农业工程学院: 11-20.]

(责任编辑 何永艳)