

CO₂ 摩尔分数倍增对秋茄·桐花树碳储量的影响

刘 璐^{1,2}, 周培国², 黄靖宇³ (1. 江苏联合职业技术学院南京分院, 江苏南京 210037; 2. 南京林业大学生物与环境学院, 江苏南京 210000; 3. 河海大学环境科学与工程学院, 江苏南京 210098)

摘要 [目的]探究 CO₂ 摩尔分数倍增对红树林碳储量的影响。[方法]选取海南东寨港优势树种秋茄、桐花树为实验室研究对象, 采用开顶箱法, 模拟 CO₂ 摩尔分数为 350 μmol/mol 和 700 μmol/mol 环境条件, 研究秋茄、桐花树的碳储量变化, 构建碳储量方程, 并结合实地秋茄、桐花树勘测数据, 预测在 CO₂ 摩尔分数倍增环境条件下秋茄、桐花树群落的碳储量。[结果]在短期试验中, 随着 CO₂ 摩尔分数的升高, 秋茄、桐花树生物量、碳储量增加, 在 CO₂ 摩尔分数倍增条件下, 秋茄、桐花树碳储量分别为 290.85、211.80 g/m², 秋茄碳储量表现为根>茎>叶, 桐花树碳储量表现为叶>根>茎。采用标准株和数量化模型结合的方法构建碳储量方程, 其拟合度较优。将实测秋茄、桐花树树高、胸径分别代入构建的碳储量方程, 估算出 CO₂ 摩尔分数为 700 μmol/mol 环境条件下秋茄、桐花树群落碳储量分别为 96.61、63.22 t/hm²。[结论]红树植物秋茄、桐花树在 CO₂ 高摩尔分数下有着较强的固碳潜力, 该研究结果可以为 CO₂ 摩尔分数不断升高的环境下, 红树林的管理及温室气体的调控提供参考。

关键词 秋茄; 桐花树; CO₂; 碳储量
中图分类号 Q 948 **文献标识码** A
文章编号 0517-6611(2022)12-0100-05
doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.12.025



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Study on Carbon Storage of *Kandelia candel* (Linn.) and *Aegiceras corniculatum* (L) under Doubling CO₂ Mole Fraction
LIU Jun^{1,2}, ZHOU Pei-guo², HUANG Jing-yu³ (1. Nanjing Branch of Jiangsu Union Technical Institute, Nanjing, Jiangsu 210037; 2. School of Biology and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing, Jiangsu 210000; 3. School of Environmental Science and Engineering, Hohai University, Nanjing, Jiangsu 210098)

Abstract [Objective] To explore the effect of doubled CO₂ mole fraction on mangrove carbon storage. [Method] The dominant tree species *Kandelia candel* and *Aegiceras corniculatum* in Dongzhai Port of Hainan were selected as the laboratory research objects. The method of “open box top” was adopted to simulate the CO₂ mole fraction of 350 μmol/mol and 700 μmol/mol environmental conditions, and to observe the carbon storage changes of *Kandelia candel* and *Aegiceras corniculatum*. Then the carbon storage equation was constructed to predict the carbon storage of *Kandelia candel* and *Aegiceras corniculata* under the condition of doubling the CO₂ mole fraction. [Result] The results showed that in short-term experiments, as the CO₂ mole fraction increases, the biomass and carbon storage of *Kandelia candel* as well as *Aegiceras* increased significantly. Under the condition of doubled CO₂ mole fraction, the carbon storage of *Kandelia candel* and *Aegiceras corniculata* were respectively 290.85 g/m², 211.80 g/m², the carbon storage of *Kandelia candel* root>stem>leaf, the carbon storage of *Aegiceras corniculatum* leaf>root>stem. The carbon storage equation constructed by standard strain and quantitative model presents a better fitting degree, which can be widely used in the estimation of carbon storage of *Kandelia candel* and *Aegiceras corniculata*. Substituting the measured height and diameter at breast height of *Kandelia sylvestris* and *Aegiceras corniculata* into the constructed carbon storage equation, it was estimated that the carbon storages of *Kandelia candel* and *Aegiceras corniculata* at a CO₂ mole fraction of 700 μmol/mol were 96.61 t/hm², 63.22 t/hm². [Conclusion] The mangrove plants *Kandelia candel* and *Aegiceras corniculata* have a stronger carbon sequestration potential under high CO₂ mole fraction. The results can be used as reference in the management of mangroves and greenhouse gas emissions in an environment where the CO₂ mole fraction continues to rise.

Key words *Kandelia candel* (Linn.); *Aegiceras corniculatum* (L); CO₂; Carbon storage

截至 2018 年, 全球大气中 CO₂ 摩尔分数已达 410 μmol/mol, 而 1980 年仅为 338 μmol/mol, 增长非常显著, 目前大气中 CO₂ 的摩尔分数正在以每年约 1.2 μmol/mol 的速度升高^[1-4]。2030—2050 年将达 600 μmol/mol。根据科学家的预测, 到 21 世纪中叶, 大气中 CO₂ 摩尔分数将会达到现在的 2 倍左右, 即 CO₂ 摩尔分数倍增。大气 CO₂ 摩尔分数升高不仅能够引起全球的气候变化, 并且作为植物光合作用的“原料”, 对植物生物量产生影响, 进而通过有机碳组分的变化影响生态系统碳储量。海岸带生态系统由于其高效的固碳能力, 可以潜在地缓解大气 CO₂ 浓度的升高, 被列为抵消碳排放的重要途径之一, 增加自然生态系统的碳汇也成为减缓气候变化的重要措施。

红树林湿地有着“四大海洋生态系统之一”之称, 它处在海洋, 还兼具热带湿地与亚热带湿地的一些特征。在平衡自

然生态环境中有着特殊作用, 表现出多样化和复杂化的特点, 也是生产力最高的海洋生态系统之一^[5-11]。由于其地处海洋与陆地之间, 红树林湿地的土壤长时间处于淹水状态, 有机质分解缓慢, 因而成为海岸带湿地碳库最重要的组成部分, 被认为是潜在的碳库^[12-16]。尽管红树林的面积相对较小, 但有着极强的固碳能力, 原因是在湿地土壤的有机碳分解能力较弱的同时具有较高的净初级生产力。张莉等^[17-18]的研究对红树林湿地系统的固碳能力以及碳转化效率进行了高度肯定, 其碳转化效率要高于一般的森林生态系统。辛琨等^[19]对海南红树林湿地系统的碳储量以及固碳价值进行了研究分析, 湿地植物碳储总量为 125 914.50 t。目前海南红树林湿地的土壤中, 碳储量为 269 037.33 t。现有研究表明, CO₂ 摩尔分数提升能够对红树林生态系统造成显著影响, 有助于其生物量的增加, 但持续高 CO₂ 摩尔分数也会导致植物功能和生理结构受到不良影响。此外, 这种影响会造成土壤碳循环的变化, 不利于碳的固定^[20-22]。

对于 CO₂ 摩尔分数倍增对碳储量产生的影响, 目前尚不

基金项目 国家重点研发计划项目(2016YFD0600703)。
作者简介 刘璐(1983—), 女, 贵州贵阳人, 副教授, 博士, 从事环境生态研究。
收稿日期 2021-08-05; 修回日期 2021-08-30

了解。如果能够明确 CO₂ 摩尔分数倍增对红树林湿地碳储量的影响及相关机理,将对红树林湿地在 CO₂ 摩尔分数倍增情景下维持系统结构与功能平衡,减少高浓度 CO₂ 对红树林生态系统的固碳潜力破坏,控制大气温室气体浓度以及红树林的管理和开发利用具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 研究区概况 研究区位于海南东寨港红树林保护区,地处 110°E,20°N,平均气温 23.5℃,年降水量 1 676.4 mm,全年湿度约 85%,且基本保持不变。该湿地保护区是我国首个国家级的红树林保护区,同时也入选《国际重要湿地名录》^[23-28]。因其处在热带与亚热带的交汇处,地区内以热带季风气候为主,保护区占地广阔,共 3 337.6 hm²,而其中红树林占 50%以上,地区内红树林物种资源丰富,我国红树林植物种类的绝大多数皆在该地。因红树林适宜热带季风气候,为此红树林植物是当地主要的植被类型。

研究发现,样地内共有 14 个不同物种,其中乔木树种有 11 种,灌木树种有 2 种,直立草本植物 1 种。物种密度最大的是桐花树,最小的是海桑、海漆、卤蕨,其间依次为秋茄、老鼠勒、海莲、角果木、红海榄、白骨壤、瓣海桑、尖瓣海莲、榄李、木榄。

乔木层按照树种的重要值排列,前 3 位的是秋茄、海莲、

角果木。由此可见,秋茄是最佳树种,海莲其次。而灌木层排在前 2 位的是桐花树、海莲,可见,桐花树是最佳树种,海莲次之。

试验地的树种群落也是以乔木层群落和灌木层群落的最佳树种来定义,定义为秋茄+桐花树群落。故在室内模拟试验中选取秋茄、桐花树 2 种红树植物作为试验树种,取一年生幼苗通过人工修剪,选择树种植株较高,且植株基径与植株重量大致相等的树种,在一个试验培养池中共培养 10 d 后备用。

1.2 环境因子控制 该试验采用开顶箱法^[27-28],开顶箱尺寸为 3.0 m×3.0 m×1.7 m,每个开顶箱中十字划分为 4 个相同大小的培养槽(图 1)。截至 2013 年底,全球 CO₂ 摩尔分数已达 395 μmol/mol,为使试验研究与当前大气状态匹配,故在试验中将低 CO₂ 摩尔分数组控制在 350 μmol/mol,倍增浓度控制在 700 μmol/mol(以下分别用高、低摩尔分数 CO₂ 表示)。水槽之间分别通过抽水泵连接,以此进行潮汐的模拟(图 2)。涨潮时间通过定时器控制,槽内人工海水的深度和盐度分别为 0.42 m 和 10‰。该试验模拟半日潮,循环水淹半日潮每 2 h 循环 1 次,第 1 次水淹时间 10:00—14:00,第 2 次水淹时间 22:00 至次日 2:00,每天 24 h 内实现 2 次涨潮和退潮模拟。

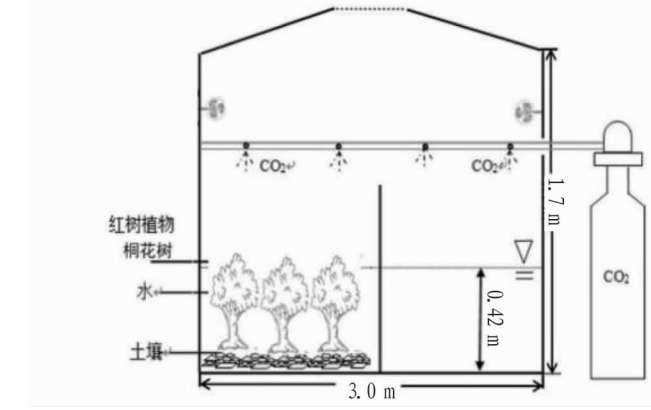


图 1 开顶箱装置
Fig.1 The OTC experiment installing

1.3 试验材料 取海南东寨港桐花树下约 30 cm 的底泥,10 个采样点通过棋盘式法布点选取,均匀混合统一放入缓冲池,滤水之后充分搅拌,尽量均匀混合营养盐,静置后备用。

1.4 植物生物量测定 每株根、茎和叶于 105℃进行杀青处理 30 min 后,于 80℃的烘箱进行烘干处理,直至植株重量恒定,然后计算得到干物率。将植株的新鲜重量转换成烘干后的重量,进而计算植株器官(根、茎、叶)的重量,以上结果相加为全株生物量干重。生物量多次测量取平均值为最终结果。

1.5 样本采集 植入水生植物之后,采样频率按照 1、15、45、60、90、100、120 d 进行。

1.6 碳储量计算 该试验湿地模拟系统培养周期为 120 d。由于短期试验土壤中的碳转化速率较慢,该模拟试验中仅考虑 CO₂ 摩尔分数倍增情景下植物中的碳储量。以 15 株/hm² 红树植物计算碳储量。植物各组分碳储量(SC, carbon

stock)= 各组分生物量×相应碳含量。植物碳含量的测定借助仪器元素分析仪(CX-9800)进行。

1.7 数据处理 使用 SPSS 21.0 对数据进行统计分析,借助 LSD 法、皮埃尔分析法进行分析,比较生物量、碳含量、碳储量间的差异性。

2 结果与分析

2.1 不同 CO₂ 摩尔分数处理下秋茄、桐花树生长及碳含量 由表 1 可知,秋茄、桐花树茎高在低摩尔分数下(350 μmol/mol)月均增长量分别为 1.70、2.10 cm,在高摩尔分数下(700 μmol/mol)月均增长量分别为 1.87、2.50 cm,月均增量较低摩尔分数下分别高出 10.00%、19.05%;秋茄、桐花树基径在低摩尔分数下月均增长量分别为 0.040、0.035 cm,在高摩尔分数下月均增长量分别为 0.048、0.040 cm,月均增量较低摩尔分数下分别高出 20.00%、

14.28%,可见 CO₂ 摩尔分数倍增对于典型红树植物秋茄、桐花树生长形态在短期内有显著提升效应,主要原因是红树植

物叶片与大气直接接触,CO₂ 摩尔分数增加有利于植物叶片的光合作用,促进了营养水平下秋茄、桐花树的生长。

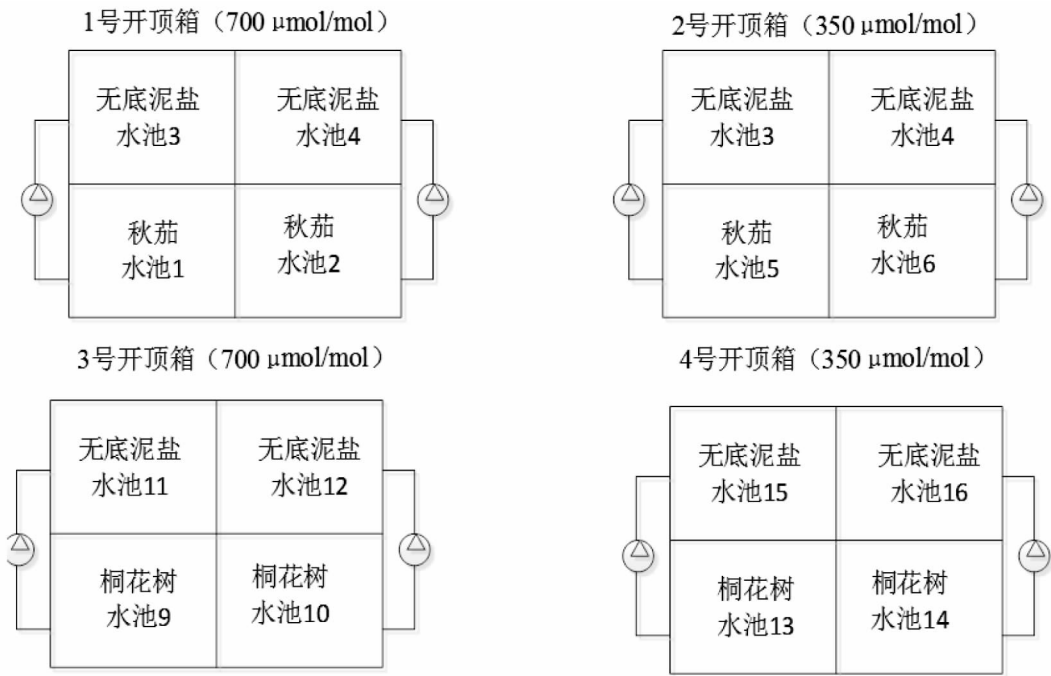


图2 试验组编号

Fig.2 The test group number

表1 CO₂ 摩尔分数倍增下秋茄、桐花树茎高和基径

Table 1 Stem height and base diameter of *Kandelia candel* and *Aegiceras corniculatum* under CO₂ molar fraction doubling

树种 Tree species	天数 Days//d	茎高 Stem height//cm		基径 Base diameter//cm	
		350 μmol/mol	700 μmol/mol	350 μmol/mol	700 μmol/mol
秋茄 <i>Kandelia candel</i>	0	32.7±0.50 a	32.8±0.50 a	0.55±0.10 a	0.55±0.10 a
	120	39.5±0.80 b	40.3±0.92 a	0.71±0.04 b	0.74±0.02 b
桐花树 <i>Aegiceras corniculatum</i>	0	28.2±0.20 a	28.0±0.20 a	0.52±0.04 a	0.54±0.04 a
	120	36.6±0.60 b	38.0±0.50 b	0.66±0.05 b	0.70±0.05 b

注:同列不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著
Note:Different lowercases in the same column indicate significant difference between treatments at 0.05 level

在 120 d CO₂ 摩尔分数倍增模拟试验中,秋茄、桐花树各器官碳含量见表 2。由表 2 可知,随 CO₂ 摩尔分数增加,2 个树种根、茎、叶中的碳含量均呈不同程度的增加,CO₂ 摩尔分数为 350 μmol/mol 时,且秋茄的平均碳含量高于桐花树,平均碳含量分别为 50.22%、45.49%,且二者差异不显著 ($P>0.05$);CO₂ 摩尔分数为 700 μmol/mol 时,秋茄的平均碳含量低于桐花树,平均碳含量分别为 51.37%和 59.49%,二者间差异不显著 ($P>0.05$)。

2.2 不同 CO₂ 摩尔分数处理下秋茄、桐花树生物量和碳储量 由表 3 可知,CO₂ 摩尔分数倍增下,秋茄、桐花树根、茎、叶的生物量及总生物量均升高,其中秋茄叶中生物量增长幅度最多,增加 20.54%,其次为根和茎;桐花树茎中生物量增加最多,增加 9.35%,其次为根和叶。秋茄的 3 个器官碳储量大小为根>叶>茎,树根在作为碳素同化器官具有较强的固碳能力,占固碳量总值的 42%以上;而桐花树中碳储量大小为叶>根>茎。秋茄各器官及整株碳储量值高于桐花树,说明相

比桐花树而言,秋茄具有更好的固碳效果。

表2 CO₂ 摩尔分数倍增下秋茄、桐花树碳含量

Table 2 The carbon content of *Kandelia candel* and *Aegiceras corniculatum* in different CO₂ mole fraction %

树种 Tree species	器官 Organ	350 μmol/mol	700 μmol/mol
秋茄 <i>Kandelia candel</i>	根	50.17±3.08 d	52.01±4.12 d
	茎	50.31±4.46 c	51.33±3.25 cd
	叶	50.17±2.96 a	50.76±3.79 ab
	平均	50.22±3.88 b	51.37±3.67 b
桐花树 <i>Aegiceras corniculatum</i>	根	45.95±4.12 c	50.11±3.32 c
	茎	44.57±4.32 d	51.15±4.12 d
	叶	45.96±3.12 a	50.22±3.42 ab
	平均	45.49±4.12 b	59.49±4.22 b

注:同列不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著
Note:Different lowercases in the same column indicate significant difference between treatments at 0.05 level

不同 CO₂ 摩尔分数对 2 个树种各器官的碳储量影响不同,700 μmol/mol 处理下,秋茄碳储量范围为 63.00 ~

126.45 g/m², 桐花树 62.25~85.50 g/m²; 350 μmol/mol 处理下, 秋茄碳储量范围为 58.50~105.60 g/m², 桐花树 57.00~82.20 g/m²; 700 μmol/mol 处理下, 秋茄、桐花树总碳储量比 350 μmol/mol 处理下分别高出 17.16%、6.48%, 在短期试验中, CO₂ 摩尔分数越高植株的固碳能力越强, CO₂ 摩尔分数

倍增提升了秋茄树种碳储量。相关研究表明, 植株光合作用会把空气中的 CO₂ 固定, 一半的 CO₂ 转变为有机碳(这就是植物的净初级生产力, 表示为 NNP), 而另一半会经过植物的呼吸释放, CO₂ 摩尔分数倍增提高了植物的光合速度, 这种有机物的积累也会引起植株体内碳储量的改变。

表 3 CO₂ 摩尔分数倍增下秋茄、桐花树生物量与碳储量
Table 3 Biomass and carbon storage of *Kandelia candel* and *Aegiceras corniculatum* under CO₂ molar fraction doubling

树种 Tree species	器官 Organ	350 μmol/mol			700 μmol/mol		
		生物量 Biomass g	碳储量 Carbon storage g/m ²	百分比 Percentage %	生物量 Biomass g	碳储量 Carbon storage g/m ²	百分比 Percentage %
秋茄 <i>Kandelia candel</i>	根	14.07±0.03 a	105.60±0.56 a	42.56	16.87±0.02 a	126.45±0.33 b	43.50
	茎	7.80±0.12 a	58.50±0.13 a	23.58	8.40±0.13 b	63.00±0.23 a	21.67
	叶	11.20±0.22 ab	84.01±0.33 ab	33.86	13.50±0.20 ab	101.25±0.11 b	34.83
桐花树 <i>Aegiceras corniculatum</i>	整株	33.07±0.11 a	248.11±0.12 a	100	38.77±0.13 a	290.70±0.31 a	100
	根	7.96±0.21 a	59.70±0.13 b	30.01	8.53±0.23 a	64.05±0.12 b	30.24
	茎	7.59±0.12 b	57.00±0.22 a	28.66	8.30±0.12 b	62.25±0.11 b	29.39
	叶	10.95±0.22 ab	82.20±0.14 b	41.33	11.41±0.11 c	85.50±0.12 a	40.37
	整株	26.50±0.12 a	198.90±0.26 a	100	28.24±0.12 a	211.80±0.12 ab	100

注: 同列不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著
Note: Different lowercase in the same column indicate significant difference between treatments at 0.05 level

2.3 不同 CO₂ 摩尔分数处理下秋茄、桐花树碳储量方程 采用标准株和数量化模型结合的方法, 以直接测量调查得到的植株基径(*D*)、株高(*H*)及通过它们计算得到的 *D*² 和 *D*²*H* 等有实际意义的参数构建碳储量方程(表 4)。并对秋

茄和桐花树在不同浓度中的拟合优度进行评价。结合决定系数 *R*²、*SSe*、*MSe* 和 *F* 值可知, 拟合回归方程为 *Y*=*a*+*bX*₁+*cX*₂, 满足研究的精度要求, 拟合度较优。由此可知, 在秋茄、桐花树碳储量估测工作中可以推广应用。

表 4 CO₂ 摩尔分数倍增下秋茄、桐花树碳储量方程参数
Table 4 Carbon storage equation parameters of *Kandelia candel* and *Aegiceras corniculatum* under the doubling of CO₂ mole fraction

树种 Tree species	CO ₂ 摩尔分数 μmol/mol	回归方程类型 Type of Regression Equation	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>R</i> ²	<i>SSe</i>	<i>MSe</i>	<i>F</i>
秋茄 <i>Kandelia candel</i>	700	<i>Y</i> = <i>a</i> + <i>bX</i> ₁ + <i>cX</i> ₂	8.15	0.20	0.15	0.97	0.06	0.00	415.26
	350		-3.22	0.47	0.30	0.91	0.18	0.00	143.26
桐花树 <i>Aegiceras corniculatum</i>	700		4.10	0.23	0.58	0.96	0.04	0.00	412.32
	350		-4.15	0.42	0.64	0.92	0.17	0.00	153.21

注: 回归方程中, *X*₁ 为 *H*; *X*₂ 为 *D*²*H*; *Y* 为 *C*_{整株}; *a*、*b*、*c* 为待求系数
Note: In the regression equation, *X*₁ is *H*; *X*₂ is *D*²*H*; *Y* is *C*_{whole plant}; *a*、*b*、*c* are coefficients to be calculated

2.4 CO₂ 摩尔分数倍增下秋茄、桐花树碳储量估算 由于在实地模拟 CO₂ 摩尔分数倍增难度较大, 将实地调查、测算数据代入构建的碳储量方程, 对实地秋茄和桐花树在 CO₂ 摩尔分数倍增下碳储量进行预测, 结果见表 5。实地植被的碳储量由实地植物群落样方调查, 结合《海南省湿地资源调查

报告》中 Quickbird 遥感图像解译, 得到植物实际的生长状况, 通过实测秋茄、桐花树茎高、基径代建的碳储量方程, 预测得到 700 μmol/mol CO₂ 环境条件下秋茄群落碳储量为 96.61 t/hm², 桐花树群落碳储量为 63.22 t/hm²。

表 5 CO₂ 摩尔分数倍增下秋茄、桐花树碳储量
Table 5 Carbon storage of *Kandelia candel* and *Aegiceras corniculatum* under the doubling of molar fraction of CO₂

树种 Tree species	茎高 Stem height mm	基径 Base diameter cm	密度 Density 株/m ²	相对多度 Relative abundance	相对频度 Relative frequency	相对盖度 Relative coverage	重要值 Important value	碳储量估算值 Estimated carbon reserves//t/hm ²
秋茄 <i>Kandelia candel</i>	3.99±0.25	8.11±0.35	1.15±0.15	81.42	50.00	53.66	61.70	96.61±2.13
桐花树 <i>Aegiceras corniculatum</i>	1.47±0.15	5.50±0.75	4.34±1.15	67.64	21.88	68.26	52.59	63.22±1.69

3 结论

在 CO₂ 摩尔分数倍增在短期试验中, 红树植物秋茄、桐花树根、茎、叶中碳含量上升, 致使碳储量发生变化, 红树植

物对 CO₂ 浓度升高的响应与大多数植物相同。秋茄的碳储量高于桐花树, 秋茄根的碳储量明显高于茎、叶的碳储量, 根系系统随 CO₂ 摩尔分数倍增发生适应性变化, 促进光合产物

向根系分配,使地上部和根系分配的比例发生变化,细根的周转速度加快,根系分泌物增多,导致植物向根系分配的碳增多,从而提高碳素固定量。对桐花树而言,叶的碳储量高于根、茎,其叶片的主要作用是进行光合作用,对环境的变化比较敏感,在短期试验中桐花树叶生物量增加明显。试验表明,CO₂ 摩尔分数升高,短期内会增强红树林生态系统的光合能力,对于植物生长形态以及生理指标的影响在短期内有显著提升效应,有利于红树植物碳汇能力的提升。

通过试验得到红树植物秋茄、桐花树数在 700 μmol/mol CO₂ 情景下碳储量与植物的根、茎变化值,根据试验数据构建碳储量方程,并将海南东寨港实测秋茄、桐花树茎高、基径代入方程,估算出在 700 μmol/mol CO₂ 情景下海南东寨港秋茄、桐花树碳储量分别为 96.61、63.22 t/hm²,表明红树植物秋茄、桐花树在 CO₂ 高摩尔分数下有着较强的固碳潜力,秋茄碳储量显著高于桐花树,可以为全球 CO₂ 摩尔分数不断升高的环境下,东寨港红树林的碳潜力应对气候变化的相关工作提供科学依据与参考^[27-28]。

参考文献

- [1] 赵慧卿,李青玉.2030 年 CO₂ 排放地区分配及对经济增长的影响研究[J].云南财经大学学报,2018,34(11):70-79.
- [2] 潘伟,熊建武.电力消耗、经济增长与 CO₂ 排放量的实证分析:基于中国面板数据[J].中国管理科学,2018,26(3):152-159.
- [3] MUHAMMAD B.Energy consumption,CO₂ emissions and economic growth in developed,emerging and Middle East and North Africa countries[J].Energy,2019,179:232-245.
- [4] LIU X Y,BAE J.Urbanization and industrialization impact of CO₂ emissions in China[J].Journal of cleaner production,2018,172:178-186.
- [5] 江睿,吴云超,陈丕茂.珠江口淇澳岛红树林湿地沉积物碳、氮分布研究[J].南方水产科学,2021,17(1):1-9.
- [6] 徐晓然,谢跟踪,邱彭华.1964—2015 年海南省八门湾红树林湿地及其周边土地景观动态分析[J].生态学报,2018,38(20):7458-7468.
- [7] CUI X W,LIANG J,LU W Z,et al.Stronger ecosystem carbon sequestration potential of mangrove wetlands with respect to terrestrial forests in subtropical China[J].Agricultural and forest meteorology,2018,249:71-80.
- [8] 李亚芳,杜飞雁,王亮根,等.基于生物性状分析方法的不同恢复阶段无瓣海桑人工林湿地大型底栖动物生态功能研究[J].南方水产科学,2018,14(3):10-18.

- [9] SAHU S K,KATHIRESAN K.The age and species composition of mangrove forest directly influence the net primary productivity and carbon sequestration potential[J/OL].Biocatalysis and agricultural biotechnology,2019,20[2021-04-27].https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101235.
- [10] LOVELOCK C E,FOURQUREAN J W,MORRIS J T.Modelled CO₂ emissions from coastal wetland transitions to other land uses:Tidal marshes,mangrove forests,and seagrass beds[J].Frontiers in marine science,2017,4:1-11.
- [11] 王宗林,吴沿友,邢德科,等.泉州湾红树林湿地土壤 CO₂ 通量周期性变化特征[J].应用生态学报,2014,25(9):2563-2568.
- [12] 李翠华,蔡裕硕,颜秀花.2010—2018 年海南东寨港红树林湿地碳收支的变化分析[J].海洋通报,2020,39(4):488-497.
- [13] 高宇.中国典型红树林湿地沉积物碳库分布特征及控制因子研究[D].北京:清华大学,2019.
- [14] 颜葵.海南东寨港红树林湿地碳储量及固碳价值评估[D].海口:海南师范大学,2015.
- [15] 王法明,唐剑武,叶思源,等.中国滨海湿地的蓝色碳汇功能及碳中和对策[J].中国科学院院刊,2021,36(3):241-251.
- [16] 陈顺洋,安文硕,陈彬,等.红树林生态修复固碳效果的主要影响因素分析[J].应用海洋学学报,2021,40(1):34-42.
- [17] 张莉,郭志华,李志勇.红树林湿地碳储量及碳汇研究进展[J].应用生态学报,2013,24(4):1153-1159.
- [18] 马欢,秦传新,陈丕茂,等.南海柘林湾海洋牧场生物碳储量研究[J].南方水产科学,2017,13(6):56-64.
- [19] 辛琨,颜葵,李真,等.海南岛红树林湿地土壤有机碳分布规律及影响因素研究[J].土壤学报,2014,51(5):1078-1086.
- [20] 高春,胡杰龙,颜葵,等.海南东寨港红树林土壤二氧化碳和甲烷排放通量研究[J].湿地科学,2017,15(3):351-357.
- [21] 刘珺,张齐生,周培国,等.CO₂ 摩尔分数倍增对秋茄湿地碳、氮循环影响的模拟[J].东北林业大学学报,2017,45(5):80-84.
- [22] 张鑫,邹定辉,徐智广,等.大气 CO₂ 浓度升高和氮加富对羊栖菜生理生化特征的影响[J].南方水产,2007,3(3):35-40.
- [23] 杨玉楠,刘晶,MYAT THIRI.海南东寨港红树林湿地污染监测与评价研究[J].海洋环境科学,2020,39(3):399-406.
- [24] 郑聚锋,潘根兴,程琨,等.从《IPCC 2006 国家温室气体排放清单增补:2013 湿地》谈湿地温室气体计量进展及问题[J].地球科学进展,2014,29(10):1120-1125.
- [25] 李森,蔡厚才,陈万东,等.海岸带生态恢复区不同林龄红树林对 CH₄ 和 CO₂ 排放通量的影响[J].生态环境学报,2020,29(12):2414-2422.
- [26] 吴庭天,丁山,陈宗铸,等.基于 LUCC 和景观格局变化的海南东寨港红树林湿地动态研究[J].林业科学研究,2020,33(5):154-162.
- [27] 耿晓东,旭日.梯度增温对青藏高原高寒草甸生态系统碳交换的影响[J].草业科学,2017,34(12):2407-2415.
- [28] 张小明,邹德堂,赵宏伟,等.模拟大气 CO₂ 变化仪器开顶式气室安装与测试[J].黑龙江农业科学,2015(1):156-158.

(上接第 81 页)

参考文献

- [1] 荔霞,王胜义,刘永明,等.犊牛腹泻病因及其药物防治研究进展[J].中国畜牧兽医,2010,37(10):161-165.
- [2] 喻华英,周丽婷.致犊牛腹泻埃希氏菌 *eaeA* 基因克隆和序列分析[J].西北农业学报,2013,22(4):1-5.
- [3] 罗甜甜,王仲兵,雷宇平,等.山西省北部地区舍饲犊牛大肠杆菌病主要病原的分离和耐药性调查研究[J].中国动物检疫,2012,29(3):42-44.
- [4] VALAT C,FOREST K,AUVRAY F,et al.Assessment of adhesins as an indicator of pathovar-associated virulence factors in bovine *Escherichia coli* [J].Appl Environ Microbiol,2014,80(23):7230-7234.
- [5] CONSTABLE P D.Antimicrobial use in the treatment of calf diarrhea[J].J Vet Intern Me,2004,18(1):8-17.
- [6] 陆承平.兽医微生物学[M].3 版.北京:中国农业出版社,2001.
- [7] PIANCIOLA L,D' ASTEK B A,MAZZEO M,et al.Genetic features of human and bovine *Escherichia coli* O157:H7 strains isolated in Argentina[J].Int J Med Microbiol,2016,306(2):123-130.
- [8] BLOOD D C,HENDERSON J A.Veterinary medicine[M].Baltimore,Maryland:The Williams and Wilkins Company,1960.
- [9] SHAHBAZI S,ASADI KARAM M R,HABIBI M,et al.Distribution of ex-

- tended-spectrum β-lactam,quinolone and carbapenem resistance genes, and genetic diversity among uropathogenic *Escherichia coli* isolates in Tehran,Iran[J].J Glob Antimicrob Resist,2018,14:118-125.
- [10] 张金宝,马春芳,余婷,等.宁夏地区奶牛乳房炎大肠杆菌毒力基因检测和耐药性分析[J].畜牧兽医学报,2016,47(1):177-182.
- [11] 岳山,刘宇,刘通,等.黑龙江某牛场腹泻犊牛大肠杆菌致病株分离鉴定及耐药性和耐药基因检测[J].黑龙江八一农垦大学学报,2016,28(6):79-82.
- [12] SAIDANI M,MESSADI L,SOUDANI A,et al.Epidemiology,antimicrobial resistance, and extended-spectrum beta-lactamase-producing Enterobacteriaceae in clinical bovine mastitis in Tunisia[J].Microb Drug Resist,2018,24(8):1242-1248.
- [13] 刘少昆.京津部分地区犊牛腹泻大肠杆菌分离鉴定及耐药性分析[D].长春:吉林农业大学,2016.
- [14] 李慧,张华雷,齐亚银.石河子地区规模化牛场致犊牛腹泻的病原分析[J].黑龙江畜牧兽医,2018(23):102-104.
- [15] 高海慧,高小斐,冯卫平,等.宁夏地区犊牛腹泻源大肠杆菌的分离鉴定[J].畜牧与兽医,2019,51(11):114-117.
- [16] 吴同全,李巧玲,张志强,等.2017—2018 年秦皇岛地区犊牛源腹泻大肠杆菌耐药性分析[J].黑龙江畜牧兽医,2019(10):100-104.