

网络优先数字出版时间: 2015-11-26

网络优先数字出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/45.1075.N.20151126.1017.018.html>

茳茳 (*Cyperus malaccensis* Lam.) 生物量估测模型^{*}

Research on Biomass Estimate Model of *Cyperus malaccensis* Lam.

潘良浩, 史小芳, 范航清^{**}

PAN Liang-hao, SHI Xiao-fang, FAN Hang-qing

(广西科学院广西红树林研究中心, 广西红树林保护与利用重点实验室, 广西北海 536000)
(Guangxi Key Lab of Mangrove Conservation and Utilization, Guangxi Mangrove Research Center, Guangxi Academy of Sciences, Beihai, Guangxi, 536000, China)

摘要:【目的】探讨简单、方便且能准确估算盐沼植物生物量的方法, 简化其生物量测定工作。【方法】以高度 (H) 和密度 (D) 2 个形态因子作为变量, 用数理统计方法构建茳茳 (*Cyperus malaccensis* Lam.) 生物量估测模型。【结果】茳茳地上生物量 (W_a) 以 DH 为变量进行估测更恰当, 以 DH 为自变量的幂乘曲线模型 $W_a = 0.0097(DH)^{1.177}$ 为生物量最佳估测模型。【结论】运用回归模型估算茳茳地上生物量可行, 并可取得较为可靠的预测精度, 茳茳地下生物量不能得出合适的估算方程。

关键词: 滨海盐沼 茳茳 生物量 估测方法

中图分类号: Q944-3 文献标识码: A 文章编号: 1002-7378(2015)04-0259-05

Abstract: 【Objective】The objective of the study is to find a simple and convenient method for estimating the accurate biomass of *Cyperus malaccensis* Lam., and simplify the measurement of the plant's biomass. 【Methods】Statistics methods were used to construct the models using canopy plant height (H) and density (D) as variables. 【Results】The results showed the above ground biomass (W_a) was accurate using DH as variable, and the best estimate model for above ground biomass of *C. malaccensis* is $W_a = 0.0097(DH)^{1.177}$. 【Conclusion】Above ground biomass estimation of *C. malaccensis* by using the estimate model is feasible and relatively high precise, but estimation model for estimating below ground biomass could not be constructed.

Key words: coastal salt marsh, *Cyperus malaccensis*, biomass, estimation method

0 引言

【研究意义】滨海盐沼 (Coastal salt marsh) 是处于海洋和陆地两大生态系统的过渡地带, 被海水周期性淹没的, 具有较高草本或低灌木植被覆盖度的一种湿地生态系统^[1~3]。滨海盐沼群落具有保护滩涂堤岸、提高初级生产力、改良盐碱地、缓解污染和丰富生物多样性等重要生态作用^[4~7]。滨海盐沼草本植物茳茳 (*Cyperus malaccensis* Lam.) 是我国南方沿海常见的盐沼植物之一^[8], 主要分布在马来西亚、印度、缅甸、印度尼西亚、地中海、日本、越南、

收稿日期: 2015-10-07

修回日期: 2015-10-15

作者简介: 潘良浩 (1986-), 男, 助理研究员, 主要从事滨海盐沼湿地生态学方面的研究。

^{*} 广西科学院基本科研业务费项目 (10YJ25HS04, 12YJ25HS15), 广西红树林保护与利用重点实验室基金项目 (GKLMC-08) 和海洋公益性专项项目 (201205008-06) 资助。

^{**} 通讯作者: 范航清 (1964-), 男, 研究员, 主要从事海洋高等植物生态学研究, E-mail: fanhq666@126.com。

中国南方沿海等地,具有较高的生物量、净初级生产力和促淤沉积速率^[9]。而且荳苳的干条韧性和柔软性较好,是编织各种日用品和工艺品的优良材料,也可用于扎粽子和捆绑大型蟹类,是非常环保的捆绑材料^[8]。【前人研究进展】通过建立异速生长方程,根据测树因子确定乔木及部分灌木树种生物量的方法得到很好的推广。通过回归建模方法建立草本植物生物量与易测因子之间的对应关系,可以为草本生物量估测提供一种方便、准确且不会损伤植物的简单方法,因使生物量的跟踪调查研究成为可能,得到越来越多研究人员的关注。草本植物的生物量是计算其生产力的重要指标,同时也是计算碳储量等生态功能的重要因子,利用密度和高度等易测因子建立模型估测草本生物量可节省大量的野外和室内处理时间。其他学者在此类实验中表明这样的回归模拟估测是可行的,如孙红叶等^[10]利用冠幅长与宽的乘积对盐生草(*Halogeton glomeratus*)单株地上生物量进行初步估测,得到较满意的 R^2 值,平均拟合率在90%以上;魏小平等^[11]利用盐生草地径、株高、冠幅和地上生物量及地下生物量建立估测模型,表明以相关系数与生物量建立的回归方程拟合度很好,能够精确预测盐生草的生物量;王蕾等^[12]和曾慧卿等^[13]基于冠幅及植株高度分别对河朔荳花(*Wikstroemia chamaedapane*)和欏木(*Loropetalum chinense*)地上生物量的回归模型估测取得较高的精度。荳苳为莎草科(Cyperaceae)莎草属(*Cyperus*)多年生草本^[14],须根系,具有地上茎和地下茎。地下茎匍匐横生表土层;地上茎直立并生长均匀、上下几乎一致,茎的中上部形成三棱形;叶退化,1~2片,着生于地上茎基部,叶鞘较长,包裹地上茎的基部;花位于上茎顶部,复出聚伞花序和小穗状花序,花期9~11月;果实为小坚果,成熟时黑褐色,果期10~11月;喜温好湿,耐碱性较强;除去叶片、苞片和花序之外的地上茎重量占地上生物量的极大比例。目前,荳苳生物量测定与大多数草本植物类似,主要采用标准样方收割法,该法原理简单,操作性强,但因费时费力,对植被具有破坏性,不利于连续监测,数据无法进行外推等缺点而急需改进。【本研究切入点】植株高度和密度是荳苳群落易测因子,且能够很好的体现其形态特征,如果可以建立生物量与高度或密度相关的估测模型,将大大简化盐沼植物生物量测定工作。【拟解决的关键问题】根据野外调查结果,应用回归分析建立基于高度和密度的荳苳生物量的估测模型,为利用易测因子

估测滨海盐沼草本生物量及净初级生产力的方法及应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验地点

试验地位于北部湾顶部广西茅尾海(21°46'N~21°54'N,108°28'E~108°37'E)钦江入海口处。广西茅尾海是以钦江、茅岭江为主要入湾径流的河口滨海湿地,面积约135 km²,属南亚热带季风气候,年平均气温为22.1℃,年降水量为2170.9 mm,年平均相对湿度为81%。茅尾海有大片沙质和泥质浅滩,形成丰富的海岸滩涂资源,具有典型的海湾红树林生态系统和亚热带典型滨海盐沼生态系统,植物群落主要有桐花树(*Aegiceras corniculatum*)群落、荳苳群落、桐花树-荳苳群落、桐花树-短叶荳苳(*Cyperus malaccensis* var. *brevifolius*)群落。其中,荳苳常形成单一优势种群,且分布范围较广^[15]。

1.2 测定方法

本研究分别于2010年1月,4月,7月,10月在茅尾海潮间带滩涂低潮期设置30个1 m×1 m的荳苳样方,测定其高度(H/cm ,测量10株,取平均值)、密度($D/index$,样方内荳苳植株株数),然后采用收获法将地上部分齐地面刈割采集,同时清除样方内土壤表面的残落物和杂质,挖取地下部分,洗干净后放入编好号的聚乙烯封口袋中,带回实验室处理,分别测定荳苳地上、地下部分鲜质量,后放入80℃烘箱烘干,测定其干质量,通过含水率计算地上生物量(W_a)及地下生物量(W_b)。

1.3 统计分析 & 回归模型建立

选择荳苳高度与密度两个易测因子作为变量进行相关分析,根据分析结果筛选出用于回归模型的自变量,并进行回归分析,选取最佳估测模型。统计分析使用SPSS17.0,采用Spearman相关系数评价不同因子间的相关关系。采用的回归模型包括一次线性模型、二次多项式模型、三次多项式模型及乘幂曲线模型等类型^[12,13]。采用MS Excel 2010作图。

1.4 拟合验证

为了检验回归方程的精确度,重新随机测定10个样方内荳苳的相应参数,对数学模型进行检验,用拟合率^[16]反应回归值与实测值的接近程度:

$$\text{拟合率} = 1 - \frac{(\text{实测值} - \text{预测值})}{\text{实测值}} \times 100\%。$$

拟合率越大说明预测值越接近实测值,预测结果越可信。

2 结果与分析

2.1 变量组成

由表 1 可知, 120 个样方内荳芰的地上生物量、地下生物量、高度和密度差异显著, 即在一年中个体变化较大, 高度和密度最大值和最小值相差 4~5

表 1 120 个样方荳芰变量统计分析

Table 1 The variable statistics analysis of 120 samples on *C. malaccensis*

统计量 Statistics	高度 Height (<i>H</i> , cm)	密度 Density (<i>D</i> , index)	地上生物量 Aboveground biomass (<i>W_a</i> , g)	地下生物量 Belowground biomass (<i>W_b</i> , g)
均值 Mean	118	268	1256.2	1101.3
最小值 Min	43	112	173.2	168.0
最大值 Max	189	516	3604.0	2794.5
标准差 Standard deviation	33.0	80.2	778.5	610.8
变异系数 Variation	0.28	0.30	0.62	0.36

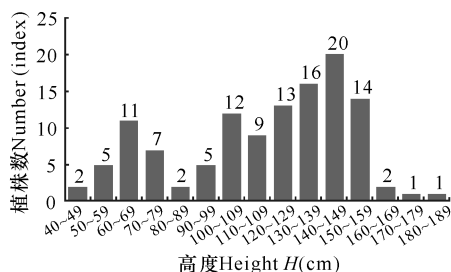


图 1 荳芰高度分布

Fig. 1 Height distribution of *C. malaccensis*

2.2 变量间相关分析

由表 2 可知, W_a 与所有变量的相关性分析都显示极显著相关 ($P < 0.01$), 但与 H 、 DH 、 H^2 的相关系数在 0.01 显著性水平上相关系数值更高 (介于 0.65~0.85), 基于荳芰生物量是根据固定样方内 (1 m × 1 m) 采样而得, 因此, 必须同时考虑 D 和 H 两个变量的影响, 据此, 选择 DH 为 W_a 回归模型的自变量; 而 W_b 虽然与 D 、 DH 、 D^2H 、 D^2H^2 有显著相关性, 但相关性系数值不高 (0.2~0.4), 因此 W_b 不宜进行回归模拟。

2.3 回归模拟及拟合验证

以生物量 (W)、 DH 为自变量建立的一次线性模型 (W_1)、二次多项式模型 (W_2)、三次多项式模型 (W_3) 及乘幂曲线模型 (W_4) 4 种回归模型的 R^2 值、SEE 值 (Standard error of estimate, SEE)、 F 值 (表 3)。对于回归模型的选择通常要求 R^2 大、SEE 小且回归关系显著 (F 检验)。从表 3 中可以看出, 对于地上生物量 W_a 而言, 前 3 种模型差异不大, 均

倍, 地上生物量、地下生物量最大值与最小值相差 20 倍左右, 但是, 120 个样方内荳芰高度分布基本呈正态分布 (图 1), 说明样方内样本能够代表当地荳芰的实际生长状况, 荳芰各参数的差异主要还是因植物本身在不同季节生长情况不一样而造成。

表 2 荳芰变量的相关分析

Table 2 The relation analysis of independent variable on *C. malaccensis*

	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>W_a</i>	<i>W_b</i>
<i>D</i>	—	—	0.315 **	0.274 **
<i>H</i>	-0.046	—	0.752 **	-0.046
<i>DH</i>	—	—	0.704 **	0.215 **
<i>D²H</i>	—	—	0.567 **	0.240 **
<i>D²H²</i>	—	—	0.704 **	0.215 **
<i>H²</i>	-0.046	—	0.752 **	-0.046

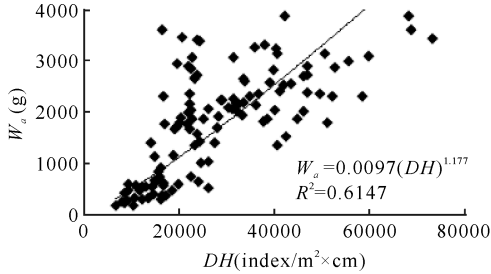
注: ** 表示相关关系极显著 ($P < 0.01$)。

Note: ** Means significant correlation ($P < 0.01$).

有较高的 R^2 值、SEE 值和 F 值, 回归模型复杂程度的增加, 并没有有效提高回归模型的 R^2 值; 而第 4 种模型与前 3 种模型相比, R^2 值和 F 值均为最大, 且 SEE 值为最小, 可见, 用幂函数关系描述地上生物量 W_a 与 DH 之间的关系更为贴切。所以选用乘幂曲线模型 $W = b_0 x^{b_1}$ 作为地上生物量最佳估测模型。通过计算得出, 荳芰地上生物量最佳估测模型为 $W_a = 0.0097 (DH)^{1.177}$; 该估测模型的平均拟合率为 77.03%, 说明该模型的预测精确度是较为可靠的。所以, 利用 DH 作为变量对荳芰地上生物量进行估测是可行的。图 2 更直观地显示荳芰地上生物量与变量之间的关系, 其方程 R^2 为 0.6147, 表明利用 DH 对地上生物量估测有较高精度。

表3 各种回归模型的 R^2 值、SEE值和 F 值Table 3 R^2 value, SEE value and F value of regression models

变量 Variable	W_1			W_2			W_3			W_4		
	R^2	SEE	F	R^2	SEE	F	R^2	SEE	F	R^2	SEE	F
W_a	0.472	731.940	105.466	0.524	698.222	64.285	0.567	668.212	50.707	0.615	0.488	188.267
W_b	0.070	591.586	8.856	0.076	592.202	4.796	0.085	591.728	3.598	0.073	0.559	9.322

图2 荳苳地上生物量与 DH 的关系Fig. 2 The relationship between aboveground biomass and DH of *C. malaccensis*

3 讨论

滨海盐沼植物受生长环境盐度、沉积物特征、高程、气候等因素影响^[17],不同植物种类或同一植物种类在不同生长区域其生态学特性均会有所不同,所以生物量估测模型在实际应用之前需进行验证,如果准确度不高,需重新确定易测因子,并建立更为合理的估测模型。本研究建立的估测模型 $W_a = 0.0097(DH)^{1.177}$,其 $R^2 = 0.6147$,另外约40%的不确定性主要是由于本模型是对荳苳在一年中4个生长季节的地上生物量进行估算,会出现荳苳高度因时间的不连续而出现一定程度的不连续的变化导致荳苳高度的正态分布存在一定偏差而造成,如在同一季节进行更多的样方采集估测,会得到 R^2 更高更完善的估算方程。

盐沼植物生产力变化较显著,且生产力的测定随着计算方法的不同会产生变化,大部分生产力研究都局限在地上维管束植物产生的生物量,丢失了地下维管束植物产量。许多盐沼植物的大部分生物量以根的形式存在,在进行荳苳生物量实际采样工作中,地下生物量的采集最费时费力,由于荳苳在一年4个季度中根冠比(地下生物量/地上生物量)呈动态变化^[18],可以反映出不同季节光合物质在荳苳植株中的分配^[18,19],但从根冠比数值来看,地上生物量与地下生物量在一年中4个季度不存在显著相关性,且从高度和密度与地下生物量的相关性分析中亦不能得出地下生物量的很好的估算方程。因此

本研究建立的模型对于估测荳苳地下生物量并不实用,原因是选择的易测因子并不能反映植株根系生长状态,需深入研究不同时期荳苳根系生长状况与株高和密度之间的关系,以便建立更为合理的生物量估测模型。

4 结论

根据荳苳一年4个季度生物量与高度密度之间的回归分析结果,可以用乘幂曲线模型 $W_a = 0.0097(DH)^{1.177}$ 较好的估测荳苳地上生物量,这为滨海盐沼草本荳苳生物量的调查测定提供了简便易行的估测方法,并可为其他草本生物量的估算提供借鉴。

参考文献:

- [1] Adam P. Salt Marsh Ecology[M]. London: Cambridge University Press, 1990.
- [2] Chapman V J. Salt Marshes and Salt Deserts of the World[M]. London: Leonard Hill Limited, 1960.
- [3] 杨世伦. 海岸环境和地貌过程导论[M]. 北京: 海洋出版社, 2003.
Yang S L. An Introduction to Coastal Environment and Geomorphologic Processes[M]. Beijing: Ocean Press, 2003.
- [4] Bertness M D. Atlantic Shorelines: Natural History and Ecology[M]. Princeton: Princeton University Press, 2007.
- [5] Teal J M, Howes B L. Salt marsh values: Retrospection from the end of the century[C]// Weinstein M P, Kreeger D A. Concepts and Controversies in Tidal Marsh Ecology. New York: Kluwer Academic Publishers, 2000: 9-18.
- [6] 李华. 潮间带盐沼植物的沉积动力学效应研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2009.
Li H. Effect of Intertidal Salt Marsh Vegetation on Sediment Dynamics[D]. Shanghai: East China Normal University, 2009.
- [7] 陆健健, 何文珊, 童春富, 等. 湿地生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.

- Lu J J, He W S, Tong C F, et al. Wetland Ecology[M]. Beijing: Higher Education Press, 2006.
- [8] 何斌源, 潘良浩, 王欣, 等. 乡土盐沼植物及其生态恢复[M]. 北京: 中国林业出版社, 2014.
- He B Y, Pan L H, Wang X, et al. Indigenous Marsh Plants and Their Restorations[M]. Beijing: Chinese Forestry Press, 2014.
- [9] 潘良浩. 广西茅尾海荻茳种群生理生态学研究[D]. 南宁: 广西大学, 2011.
- Pan L H. Ecological Research on *Cyperus malaccensis* Lam. Populations in Maowei Hai Bay, Guangxi, China [D]. Nanning: Guangxi University, 2011.
- [10] 孙红叶, 张希明, 李利, 等. 塔里木盆地南缘不同生境盐生草种群分布特征及地上生物量初步估测[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(4): 193-197.
- Sun H Y, Zhang X M, Li L, et al. Estimation on aboveground biomass and the characteristics of population families of the halophilous herbaceous plants in three different areas of South Tarim Basin[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2008, 22(4): 193-197.
- [11] 魏小平, 赵长明, 王根轩, 等. 民勤荒漠绿洲过渡带优势植物地上和地下生物量的估测模型[J]. 植物生态学报, 2005, 29(6): 878-883.
- Wei X P, Zhao C M, Wang G X, et al. Estimation of above- and below-ground biomass of dominant desert plant species in an oasis-desert ecotone of Minqin, China[J]. Acta Phytocologica Sinica, 2005, 29(6): 878-883.
- [12] 王蕾, 张宏, 哈斯, 等. 基于冠幅直径和植株高度的灌木地上生物量估测方法研究[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2004, 40(5): 700-704.
- Wang L, Zhang H, Ha S, et al. A study on the estimating method of shrub upper biomass based on the crown diameter and plant height[J]. Journal of Beijing Normal University: Natural Science, 2004, 40(5): 700-704.
- [13] 曾慧卿, 刘琪, 马泽清, 等. 基于冠幅及植株高度的柃木生物量回归模型[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2006, 30(4): 101-104.
- Zeng H Q, Liu Q, Ma H Q, et al. The regression model of *Loropetalum chinense* biomass based on canopy diameter and plant height[J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition, 2006, 30(4): 101-104.
- [14] 中国科学院植物研究所. 中国植物志(第十一卷)[M]. 北京: 科学出版社, 1961.
- Plant Research Institute of Chinese Academy of Sciences. Flora of China (Eleventh Volume) [M]. Beijing: Science Press, 1961.
- [15] 潘良浩, 韦江玲, 陈元松, 等. 茅尾海荻茳及沉积物有机碳, 全氮, 全磷分布特征与季节动态[J]. 湿地科学, 2012, 10(4): 467-473.
- Pan L H, Wei J L, Chen Y S, et al. Distribution characteristics and seasonal dynamics of organic carbon, total nitrogen, total phosphorus of *Cyperus malaccensis* and sediments in Maowei Hai Bay [J]. Wetland Science, 2012, 10(4): 467-473.
- [16] 苏金梅, 李钢铁, 秦富仓, 等. 梭梭人工林地上生物量预测研究[J]. 内蒙古林业科技, 1997(3): 9-11.
- Su J M, Li G T, Qin F C, et al. The aboveground biomass prediction research on *HaloxyIon ammodendron* (C. A. Mey) Bunge [J]. Inner Mongolia Forestry Science and Technology, 1997(3): 9-11.
- [17] 贺强, 安渊, 崔保山. 滨海盐沼及其植物群落的分布与多样性[J]. 生态环境学报, 2010, 19(3): 657-664.
- He Q, An Y, Cui B S. Coastal salt marshes and distribution and diversity of salt marsh plant communities [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2010, 19(3): 657-664.
- [18] 潘良浩. 广西茅尾海荻茳生物量研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(22): 13481-13483.
- Pan L H. Study on biomass of *Cyperus malaccensis* Lam. at Maowei Hai in Guangxi [J]. Journal of Anhui Agricultural Science, 2011, 39(22): 13481-13483.
- [19] 邵成, 陈中林, 董厚德. 辽河河口湿地芦苇的生长及生物量研究[J]. 辽宁大学学报: 自然科学版, 1995, 22(1): 89-94.
- Shao C, Chen Z L, Dong D H. A study on the growth and biomass of phragmites communis in Lidaohu Estuary Wetland [J]. Journal of Liaoning University: Natural Sciences Edition, 1995, 22(1): 89-94.

(责任编辑: 陆雁)