

洪雅退耕还林地苦竹生物量与碳储量研究

郭小军¹ 赖元长² 先开炳¹

(1. 四川省林业科学技术推广总站, 四川 成都 610081; 2. 四川省林业调查规划院, 四川 成都 610081)

摘要:采用多元线性回归和一元曲线方式拟合苦竹形态因子、苦竹器官生物量与单株生物量模型,进而对洪雅县华西雨屏区退耕还林地苦竹生物量、碳储量进行了研究。结果表明:(1)研究区苦竹平均高为7.50 m,平均胸径为3.48 cm,平均生物量为2.09 kg·株⁻¹,总生物量为90.02 t·hm⁻²;(2)在相关性分析基础上,以复相关系数和判定系数为标准,筛选出器官生物量-形态因子最佳模型为 $Y = -1.245 + 0.135D + 0.147H + 0.236 d$;总生物量-形态因子最佳模型为 $Y = e^{(2.200 - 5.085/D)}$;总生物量-器官生物量最佳模型为 $Y = 0.109 + 1.069x_1 + 2.526x_2 + 1.059x_3$;(3)苦竹各器官碳含量在0.421 7 g·g⁻¹~0.551 1 g·g⁻¹范围内,碳含量从高到低依次为:鞭>秆>蔸>根>枝>叶。(4)以实测碳含量计算得苦竹碳储量为44.55 t·hm⁻²,以0.45 g·g⁻¹或0.5 g·g⁻¹计算所得碳储量与实测碳储量均存在一定误差,误差最大可达16.63%。

关键词:苦竹;生物量;碳储量;退耕还林地;洪雅县

中图分类号:S757.2⁺9

文献标识码:A

文章编号:1003-5508(2013)01-0011-06

Biomass and Carbon Storage of *Pleioblastus amarus* on the Defarming-and-reafforestation Land in Hongya County

GUO Xiao-jun¹ LAI Yuan-chang² XIAN Kai-bing¹

(1. Sichuan Province Forestry Science and Technology Promotion Station, Chengdu 610081, China;

2. Sichuan Forest Inventory and Plan Institute Planning, Chengdu 610081, China)

Abstract: In this paper, researches were conducted on the biomass and carbon storage of *Pleioblastus amarus* on the defarming-and-reafforestation land in Yuping District of Hongya County by adopting the multiple linear regression and curves models of shape factors, organs' biomass and total biomass. The results showed that (1) The *Pleioblastus amarus*' average height was 7.50 m, the average DBH (diameter at breast height) was 3.48 cm, the average biomass of modular unit was 2.09 kg and the stand crop was 90.02 t·hm⁻²; (2) By the standard of R and adjusted R square, the best model was chosen on the basis of the correlation analysis. The best model of organs' biomass—shape factors was $Y = -1.245 + 0.135D + 0.147H + 0.236 d$; The best model of total biomass—shape factors was $Y = e^{(2.200 - 5.085/D)}$; The best model of total biomass—organs' biomass was $Y = 0.109 + 1.069x_1 + 2.526x_2 + 1.059x_3$; (3) The carbon content of different organs of *Pleioblastus amarus* ranged from 0.421 7 g·g⁻¹ to 0.551 1 g·g⁻¹, and its order was as follows: rhizome > culm > underground trunk > root > branch > leaf. (4) The carbon stock was 44.55 t·hm⁻² according to the measured value of carbon constant. When 0.45 g·g⁻¹ or 0.5 g·g⁻¹ were used for calculation, some error would appear, its maximum error could reach 16.63%.

Key words: *Pleioblastus amarus*, Biomass, Carbon storage, Defarming-and-reafforestation land, Hongya County

收稿日期:2012-08-13

作者简介:郭小军(1981-),男,硕士,工程师,主要从事林业技术工作。

森林生物量是研究很多林业问题和生态问题的基础^[1-2],是森林固碳能力的重要标志,也是评估森林碳收支的重要参数。全球范围内森林生物量约占陆地植被生物量的90%以上,森林生物量的变化在极大程度上影响着陆地碳循环的收支平衡。由于人类的开发活动,全球森林面积正在急剧下降,而竹林面积却以3%的速度在递增^[3]。竹林生态系统作为森林生态系统的重要组成部分,是重要的碳汇和碳源^[4],对减缓气候变暖的作用超过林木^[5]。因此,对竹林生态系统生物量、碳储量进行细致研究显得必要而紧迫。

苦竹(*Pleioblastus amarus*(Keng) Keng f.)作为四川省优良的乡土竹种,是华西雨屏区的重要退耕竹种,具有重要的生态效益和经济效益^[6-7]。已有学者对川西地区苦竹生物量、碳储量进行过报道^[8-9],但对苦竹碳储量估算的生物量及模型构建的研究尚未见报道。由于自然条件和苦竹生长的地域差异,福建、浙江等地的苦竹生物量模型研究中,均采用形态因子(胸径、竹高、枝下高等)对各器官生物量、总生物量进行拟合^[10,11],却忽略了各器官生物量与总生物量的拟合。生物量、碳储量的测定,不仅存在着区域差异,而且受经营措施的影响,对同一区域采用不同方法度量也存在着差异^[12,13]。本文拟通过对苦竹形态因子、各器官生物量和总生物量的线性、曲线拟合,探讨相互之间的关系,建立苦竹生物量模型,并在此基础上估算苦竹碳储量,为我国竹林生物量与碳储量研究探寻新的途径,并提供相关基础数据。

1 研究区概况

研究区地处华西雨屏区洪雅县,位于东经102°49′~103°32′,北纬29°24′~30°00′,海拔高度为417.5 m~3 090 m,全县以低、中山地为主,分布在柳江以南和洪雅县北部的东西地带,平原主要分布在柳江、花溪一带。区域气候属亚热带湿润性山地气候,境内气候地区差异较大,总趋势为东北至西南气温逐渐降低,降水量逐渐增高。年均温14℃~16℃,最低、最高温分别出现在1月和6月,年降雨量达1 300 mm~2 000 mm,降雨集中在6月~8月。年平均日照1 080 h,全年无霜期352 d~360 d。区域土壤类型复杂,主要为紫色土和黄壤。苦竹初始退耕年限为2000年,主要分布于洪雅县柳江镇,在花溪镇、中山镇和其余乡镇有零星分布。

2 研究方法

2.1 标准地设置与样品采集

在洪雅县范围内设置15个面积为30 m×30 m标准地,再设置5个面积为10 m×10 m的具有代表性且可测的苦竹群落作为辅助样地。对所有样地进行每竹检尺,调查其胸径、地径、竹高、秆龄。每个标准地按不同胸径、竹高选取平均竹2~3株伐倒进行全竹取样,分别取其竹秆(以1 m为一区段)、竹枝、竹叶、竹笋、竹鞭及竹根(竹笋、竹鞭上细的根系)野外称其鲜重,并各取100 g鲜样供室内分析。

2.2 样品处理与数据方法

样品在105℃下杀青30 min,再在85℃烘干至恒重并称量,计算各部分含水率。碳含量采用重铬酸钾—外加加热法测定^[14]。数据采用Excel 2003、SPSS13.0软件进行相关性分析,对形态因子与各器官生物量、形态因子与总生物量、各器官生物量与总生物量进行多元线性和曲线拟合。

3 结果与分析

3.1 苦竹生物量组成分析

调查研究表明:苦竹平均高为7.50 m,平均胸径为3.48 cm,苦竹单株平均生物量为2.09 kg,地上、地下部分总生物量为90.02 t·hm⁻²。不同秆龄苦竹各器官生物量(见表1)随着立竹年龄的增长,苦竹总体生物量逐渐增大,地上部分的生物量呈现逐步增长趋势,地下生物量变化规律不明显。各个器官生物量比重由大到小依次为:秆>叶>枝>鞭>根>笋,竹秆所占比例最大,超过了总生物量的一半。地下部分生物量总和仅占总生物量的23%,远低于地上部分生物量,枝与叶生物量相当。各器官生物量比例介于郑容妹^[11]与蒋俊明^[15]研究之间。

表1 不同秆龄各器官生物量组成及比例

Table 1 Organs' biomass components and proportion of different age

器官 秆龄(a)	秆 (kg)	枝 (kg)	叶 (kg)	根 (kg)	笋 (kg)	鞭 (kg)	总重 (kg)	秆龄比 例(%)
1	4.83	1.06	1.12	1.11	0.53	0.78	11.11	23
2	5.91	1.60	1.70	0.96	0.86	1.56	14.87	30
3	11.77	1.94	2.12	1.36	1.22	1.36	23.31	47
器官比例(%)	54	11	12	8	6	9	100	

3.2 生物量与各变量相关性分析

林木的各分量(秆、枝、叶、根等)、形态因子(胸

径、林木高、地径等)与林木生物量之间存在内在联系^[16] 通过相关分析可以探寻各变量之间相互关系

的程度,进而通过适当的模型拟合来对生物量进行有效估测(见表2)。

表2 苦竹各变量之间相关矩阵
Table 2 The correlation matrix of variables of *Pleioblastus amarus*

项目	胸径	竹高	地径	杆	枝	叶	根	菹	鞭	总生物量
胸径	1.000									
竹高	0.881**	1.000								
地径	0.949**	0.825**	1.000							
杆	0.882**	0.847**	0.871**	1.000						
枝	0.483*	0.500*	0.516*	0.645**	1.000					
叶	0.357	0.489*	0.395	0.510*	0.885**	1.000				
根	0.426	0.549*	0.481*	0.577**	0.327	0.285	1.000			
菹	0.525*	0.223	0.567**	0.576**	0.602**	0.356	0.089	1.000		
鞭	0.388	0.445	0.392	0.352	0.730**	0.764**	0.141	0.268	1.000	
总生物量	0.789**	0.777**	0.795**	0.920**	0.875**	0.770**	0.524*	0.647**	0.628**	1.000

注: ** .0.01 水平显著; * .0.05 水平显著

表2显示:各形态因子之间,生物量与各变量之间,杆、枝与其他器官变量之间有显著或极显著相关性,根、菹、鞭与其他器官变量之间相关性较小。值得注意的是所有变量中,杆与生物量相关性最显著,而杆与各形态因子之间又有较强的相关性,因此在拟合方程时需考虑各器官变量与形态因子变量的交互关系,采用分离变量建模^[17]。

3.3 生物量模型拟合

生物量模型拟合采用多元线性回归和一元曲线

方式拟合。

3.3.1 形态因子与各器官生物量拟合

分析表明,多形态因子与各器官生物量的拟合精度都高于单一形态因子的拟合精度。各器官中以杆与胸径、竹高、地径的共同拟合最好,复相关系数达到0.902,判定系数为0.814(见表3)。其中胸径的贡献最大,胸径和杆的相关系数达到了0.882。形态因子与其他器官生物量的拟合均不理想,判定系数都在0.6以下。

表3 形态因子与单一器官生物量拟合

Table 3 The models between a single organ biomass and shape factors

器官	回归方程	R	R ²	Adj R ²	F	Sig
杆	$Y = -1.245 + 0.135D + 0.147H + 0.236d$	0.902	0.814	0.780	23.418	0.000
枝	$Y = -0.165 - 0.063D + 0.039H + 0.093d$	0.544	0.296	0.164	2.246	0.122
叶	$Y = -0.435 - 0.198D + 0.120H + 0.138d$	0.556	0.309	0.179	2.382	0.108
根	$Y = -0.014 - 0.056D + 0.030H + 0.045d$	0.626	0.392	0.277	3.432	0.042
菹	$Y = 0.196 + 0.092D - 0.079H + 0.060d$	0.751	0.564	0.483	6.910	0.003
鞭	$Y = -0.129 - 0.044D + 0.044H + 0.045d$	0.457	0.209	0.050	1.318	0.305

注: D 表示胸径; H 表示竹高; d 表示地径,下同

表4 生物量与胸径、竹高、地径拟合模型

Table 4 The model of total biomass based on DBH, height and DLH

模式	回归方程	R	R ²
总生物量与胸径	$Y = e^{(2.200 - 5.085/D)}$	0.873	0.762
总生物量与竹高	$Y = e^{(3.020 - 17.350/H)}$	0.845	0.714
总生物量与地径	$Y = e^{(2.069 - 4.553/d)}$	0.831	0.690
总生物量与三者	$Y = -1.687 - 0.047D + 0.286H + 0.527d$	0.823	0.678

3.3.2 形态因子与总生物量拟合

用林木易测因子的调查数据来估测其生物量是目前国际通用的方法^[18],基于表2中总生物量与胸径、竹高、地径之间相关性均为极显著相关,三者共

同建模可能存在交互作用,为提高模型拟合的准确性,拟采用单一变量与总生物量曲线拟合的方式建模。通过SPSS13.0中曲线拟合功能拟合了11种曲线,各拟合模型中均以S曲线拟合程度为最好,具体方程见表4。

表2相关性分析中竹高、地径、胸径三者线性关系密切程度高(均>0.8),而由三者与总生物量拟合的方程判断系数最低,仅为0.678(低于单一变量拟合的判断系数),说明三者之间确实存在很强交互作用,不适于共同建模。在分离出来的各模型中又以胸径与总生物量拟合的模型为最佳,因此遴选 $Y = e^{(2.200 - 5.085/D)}$ 作为总生物量——形态因子拟合模

型。

3.3.3 各器官生物量与总生物量拟合

(1) 单一器官与总生物量曲线拟合

单一器官与总生物量拟合调用 SPSS13.0 中曲

线拟合功能的所有模型(包括 Linear、Logarithmic Inverse、Quadratic、Cubic、Compound、Power、S、Growth、Exponential、Logistic 模型)进行初步估测,各拟合曲线见图 1(a)~(f)。

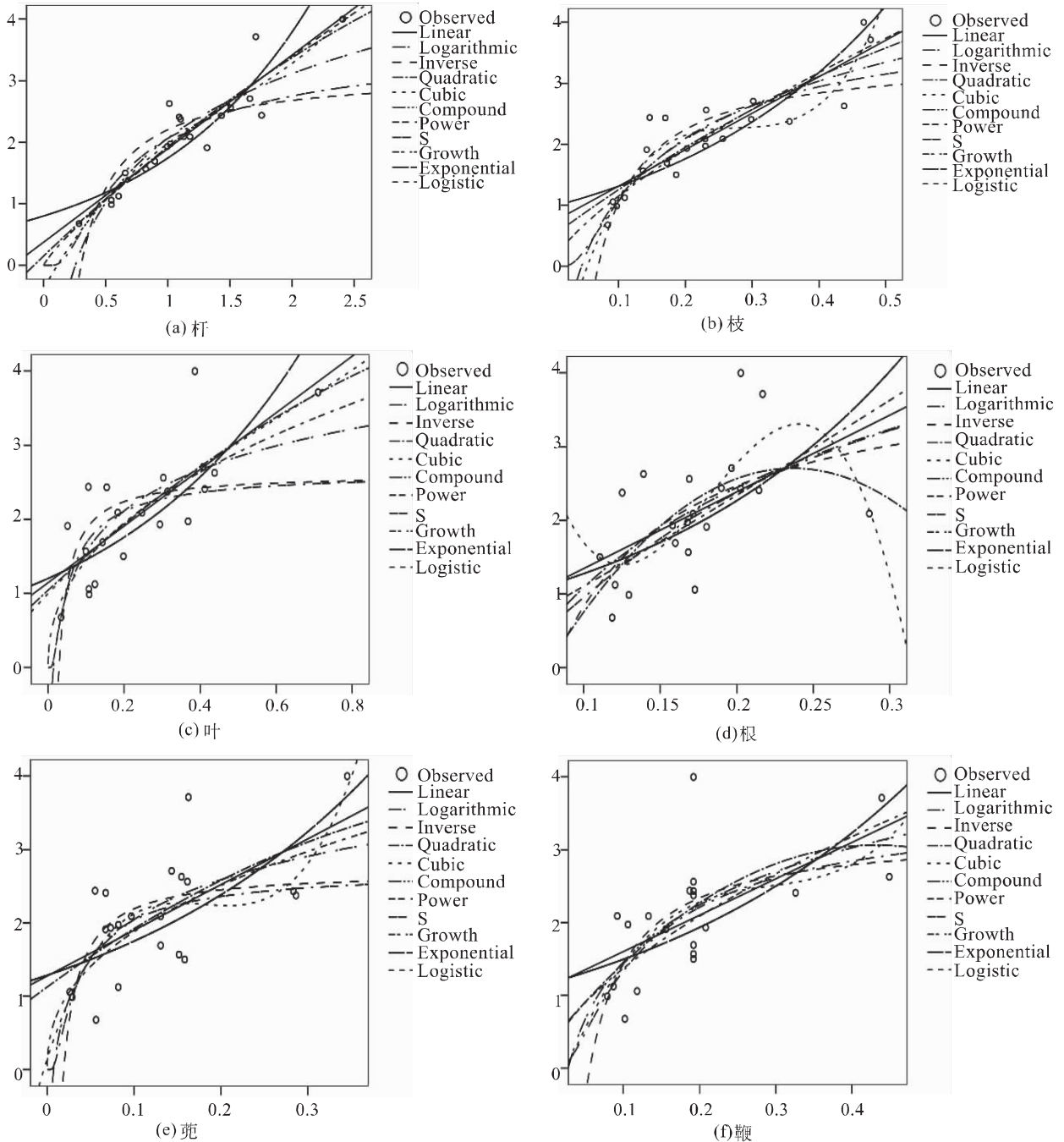


图 1 单一器官与生物量拟合曲线

Fig. 1 Match curves between total biomass and each organ

通过各曲线拟合的对比分析筛选,最优模型为杆—总生物量模型: $Y = 1.9 \times x_1^{0.84}$,其判定系数达到了 0.90,根的拟合程度最差,判定系数仅为 0.47,这是由于地下根系生长范围的不确定性和根系采集的困难性所致。总体来说,杆、枝与总体生物量的拟合

较好,其他器官的拟合远远不能满足估测需求。

(2) 多器官因子与总生物量线性拟合

线性拟合采用逐步引入——剔除法(Stepwise)对所有器官进行逐步拟合筛选。通过不同变量的引入,拟合方程的复相关系数和判定系数均得到逐步

提高,模型可解释的变异占总变异的比例越来越大。当用杆、枝、叶拟合时,判定系数 R^2 值已达到 0.992,再增加根、莖、鞭时,方程的判定系数增加不

显著。各模型的 F 检验均在 0.005 水平显著,故选用方程 $Y = 0.109 + 1.069x_1 + 2.526x_2 + 1.059x_3$ 作为线性拟合的最优方程(见表 5)。

表 5 各器官生物量—总生物量线性拟合

Table 5 The linear regression between total biomass and organs biomass

模型	回归方程	R	R ²	F	Sig
1	$Y = 0.362 + 1.543x_1$	0.919	0.845	92.713	0.000
2	$Y = 0.188 + 1.027x_1 + 3.280x_2$	0.992	0.984	35.031	0.000
3	$Y = 0.109 + 1.069x_1 + 2.526x_2 + 1.059x_3$	0.996	0.992	14.845	0.002
4	$Y = 0.135 + 1.092x_1 + 1.753x_2 + 0.801x_3 + 0.727x_4$	0.997	0.994	11.525	0.004
5	$Y = 0.129 + 1.062x_1 + 1.123x_2 + 0.897x_3 + 0.990x_4 + 0.772x_5$	0.998	0.996	27.265	0.000
6	$Y = 0.007 + x_1 + 1.015x_2 + 0.96x_3 + 1.012x_4 + 0.991x_5 + 0.989x_6$	0.999	0.998	132.236	0.000

注: 杆、枝、叶、根、莖、鞭分别用 x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 、 x_5 、 x_6 表示,下同

综合比较器官生物量—总生物量的线性及曲线模型,线性模型整体优于曲线模型,最终遴选方程 $Y = 0.109 + 1.069x_1 + 2.526x_2 + 1.059x_3$ 作为苦竹器官生物量—总生物量模型。

3.4 苦竹碳含量分析

通过测定分析,从表 6 可以看出,苦竹各器官碳含量在 $0.4217 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1} \sim 0.5511 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ 范围内,离散系数为 2.06% ~ 8.67%,苦竹各器官碳含量与毛

竹、慈竹基本一致^[5,19],略高于黄从德等^[8,9]的研究数据 $0.3485 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1} \sim 0.5186 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。各器官中鞭的含碳量最大,为 $0.5398 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$,叶的含碳量最低,为 $0.4617 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$,各器官含碳量从高到低依次为:鞭 > 杆 > 莖 > 根 > 枝 > 叶。苦竹平均碳含量为 0.4919,介于国际常用的碳含量 $0.45 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1} \sim 0.50 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ 之间。

表 6 苦竹各器官碳含量

Table 6 The carbon content of different organs of *Pleiblastus amarus*

器官	杆	枝	叶	根	莖	鞭	平均
碳含量	0.5204 ± 0.0307	0.4872 ± 0.0374	0.4617 ± 0.0400	0.5091 ± 0.0287	0.5158 ± 0.0297	0.5398 ± 0.0111	0.4919 ± 0.0302
离散系数(%)	5.90	7.68	8.67	5.64	5.76	2.06	6.14

3.5 苦竹碳储量分析

苦竹各器官碳储量由单位面积生物量与苦竹碳含量计算得出。为减小因平均碳含量及平均生物量计算时带来的误差,本研究以各器官实测碳含量作为转换系数,单位面积苦竹生物量通过单株苦竹各器官生物量与立竹度计算得到。

表 7 苦竹各器官碳储量

Table 7 The carbon stock of different organs of *Pleiblastus amarus*

器官	杆	枝	叶	根	莖	鞭	总碳储量
实测碳储量($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)	25.47	4.95	5.04	3.73	2.92	3.16	44.55
比例(%)	57.17	11.10	11.31	8.37	6.56	7.10	100
以 0.5 转换	24.88	5.08	5.46	3.79	2.88	2.93	45.01
误差(%)	2.33	2.63	8.29	1.61	1.40	7.37	1.02
以 0.45 转换	22.39	4.57	4.91	3.41	2.59	2.64	40.51
误差(%)	12.10	7.64	2.54	8.55	11.26	16.63	9.08

由表 7 及表 1 可得,除竹鞭以外,各器官碳储量与生物量分配一致,比例接近。苦竹碳储量为 $44.55 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,器官碳储量所占比例中,竹杆最高,

为 57.17%,地下部分仅占 20.42%。由于苦竹每年采伐 3 年以上老竹,从空间分布看,苦竹林处于生长动态平衡中,可近似认为每年采伐的慈竹生物量相当于现存生物量的 25%,从而推算出苦竹年固碳量为 $11.14 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

由于缺乏研究植被的碳含量基础数据,国内外学者在估算碳储量时多采用 $0.45 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ 或 $0.5 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。为探讨用统一转换系数带来的误差,用与本研究接近的常用转换数据 0.5 对比发现,实测碳含量和以 0.5 为转换系数计算所得碳储量有一定差异,其中叶与鞭的误差最大,分别达到了 8.29%,7.37%。若用 0.45,最大误差可高达 16.63%,平均误差达到 9.08%。这意味着,竹林碳储量的估测中,用统一的碳含量进行估算确实会带来一定误差。

4 结论与讨论

(1) 苦竹各器官生物量中,竹杆所占比例最大,

为 54% ,高于慈竹^[20]、苦竹^[10]、麻竹^[21]、毛竹^[22] ,说明苦竹杆部的物质积累优于一般竹种。苦竹的生物量为 $90.02 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,高于麻竹^[21]、巴山木竹^[23]、华西箭竹^[24] 等竹种。苦竹碳储量与四川乡土竹种——慈竹相近^[19] ,是毛竹林的 2.19 倍^[22] ,速生阶段杉木的 3.19 倍^[25] ,热带雨林的 2.91 倍^[26] ,说明苦竹具有较强的贮碳功能。另外,苦竹笋产量较高,笋味独特,竹材具有多种用途,这些都决定了苦竹在退耕还林工程中较强的生态效益和经济效益。

(2) 研究表明,苦竹总体生物量与杆、枝生物量的相关性最好。各拟合模型中,以多器官生物量线性拟合总生物量最佳,远优于形态因子的最佳拟合精度(0.762),也大于单一器官生物量的最高拟合精度(0.9),估测模型为 $Y = 0.109 + 1.069x_1 + 2.526x_2 + 1.059x_3$ 。这表明仅用地上部分就能很好的拟合苦竹全竹生物量。研究区有每年苦竹林地取笋和砍伐 3 a 生以上老竹的习惯^[5]。因此,用此法结合竹林砍伐作业,可无破坏的对苦竹林生物量进行高精度估测。

(3) 碳储量的研究结果与同一区域前人研究结果一致。碳储量的计算中,众多研究者采用平均碳含量作为转换系数(常用 0.45 或 0.5),本文通过对比发现,即使用与本文平均碳含量相接近的 0.5 作为转换系数,所估测的碳储量依然存在一定误差,降低了碳储量估测的精度。因此,为了准确估测苦竹碳储量,应根据苦竹各器官的实测碳含量作为转换系数。

参考文献:

- [1] 张世利,刘健,余坤勇.基于 SPSS 相容性林分生物量非线性模型研究[J].福建农林大学学报(自然科学版),2008,37(5):496~500.
- [2] 王仲锋.森林生物量建模与精度分析[D].北京:北京林业大学,2006.
- [3] 陈先刚,张一平,张小全,等.过去 50 年中国竹林碳储量变化[J].生态学报,2008,28(11):5218~5227.
- [4] 李正才,傅懋毅,徐德应.竹林生态系统与大气二氧化碳减量[J].竹子研究汇刊,2003,22(4):1~6.
- [5] 周国模,姜培坤.毛竹林的碳密度和碳贮量及其空间分布[J].林业科学,2004,46(6):20~40.
- [6] 陈小红.洪雅县退耕还林效益动态研究与综合评价[D].四川:四川农业大学,2008.
- [7] 李贤伟,张健,胡庭兴,等.退耕还林理论基础及林草模式的实践应用[M].北京:科学出版社,2009.
- [8] 黄从德,张健,邓玉林,等.退耕还林地在植被恢复初期碳储量及分配格局研究[J].水土保持学报,2007,21(4):130~133.
- [9] 李江,黄从德,张国庆.川西退耕还林地苦竹林碳密度、碳贮量及其空间分布[J].浙江林业科技,2006,26(4):1~5.
- [10] 林新春,方伟,俞建新,等.苦竹各器官生物量模型[J].浙江林学院学报,2004,21(2):168~171.
- [11] 郑容妹,郑郁善,丁闽锋,等.苦竹生物量模型的研究[J].福建林学院学报,2003,23(1):61~64.
- [12] 韩爱惠.森林生物量及碳储量遥感监测方法研究[D].北京:北京林业大学,2009.
- [13] Schulze E D, Lloyd J, Kelliher F M *et al.* Productivity of forests in the Eurosiberian boreal region and their potential to act as a carbon sink—A synthesis [J]. Global Change Biology, 1999, 5: 703~722.
- [14] 中国土壤学会.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,1999.
- [15] 蒋俊明,费世民,李吉跃,等.苦竹各器官主要营养元素分布及采伐的养分输出[J].四川林业科技,2007,28(2):15~19.
- [16] 许俊利,何学凯.林木生物量模型研究概述[J].河北林果研究,2009,24(2):141~144.
- [17] 明道绪.高级生物统计[D].北京:中国农业出版社,2006.
- [18] 彭小勇.闽北杉木人工林地上部分生物量模型的研究[D].福建:福建农林大学,2007.
- [19] 王勇军,黄从德,王宪帅,等.慈竹林生态系统碳储量及其空间分配特征[J].福建林业科技,2009,36(2):6~10.
- [20] 苏智先,钟章成.缙云山慈竹种群生物量结构研究[J].植物生态学与地植物学学报,1991,15(3):240~251.
- [21] 邱尔发,陈卓梅,郑郁善,等.山地麻竹笋用林生态系统生物量、生产力及能量结构[J].林业科学研究,2004,17(6):726~730.
- [22] 周国模.毛竹林生态系统中碳储量、固定及其分配与分布的研究[D].浙江大学,2006.
- [23] 王太鑫,丁雨龙,李继清,等.巴山木竹种群生物量结构研究[J].竹子研究汇刊,2005,24(1):19~24.
- [24] 杨春花,周小平,王小明.卧龙自然保护区华西箭竹地上生物量回归模型[J].林业科学,2008,44(3):113~123.
- [25] 方晰,田大伦.速生阶段杉木人工林碳素密度、储量和分布[J].林业科学,2002,38(3):14~19.
- [26] 李意德.我国热带天然林植被 C 储存量的估算[J].林业科学研究,1998,16(2):156~162.