



亚热带常绿阔叶林 8 个常见树种粗根生物量

李宁^{①②†}, 徐武兵^{①†}, 赖江山^{①*}, 杨波^①, 林敦梅^①, 马克平^①

① 中国科学院植物研究所植, 被与环境变化国家重点实验室, 北京 100093;

西南林业大学林学院, 昆明 650224

† 同等贡献

* 联系人, E-mail: lai@ibcas.ac.cn

2012-11-05 收稿, 2013-01-05 接受

中国科学院战略性先导科技专项(XDA05050204)和国家自然科学基金(31200403)资助

摘要 森林粗根生物量是森林生态系统生物量的重要组成部分, 然而对其研究较少, 尤其在亚热带常绿阔叶林区, 这制约了我国森林生态系统碳储量的准确评估. 基于全挖法测定了中亚热带典型常绿阔叶林区 8 个常见树种 175 棵样木的粗根生物量. 这 8 个树种分别为丝栗栲(*Castanopsis fargesii*)、苦槠栲(*Castanopsis sclerophylla*)、木荷(*Schima superba*)、马尾松(*Pinus massoniana*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、枫香(*Liquidambar formosana*)、檫木(*Sassafras tzumu*)和拟赤杨(*Alniphyllum fortunei*). 通过建立根系直径与根系生物量回归方程来估算断根后留在土中的根系生物量, 采用胸径和树高作为预测变量对这 8 个树种及所有样木混合分别构建粗根生物量异速生长方程. 结果表明, 8 个树种的根系直径与根系生物量存在极显著的幂函数关系($P < 0.001$), 这为完整估算根生物量提供了依据. 采用胸径、树高及胸径与树高组合作为预测变量所建立的粗根生物量异速生长方程都达到了极显著水平($P < 0.001$), 但仅以胸径作为预测变量构建的方程较仅以树高构建的方程具有更高的拟合度. 在胸径的基础上引入树高作为预测变量并没有明显提高方程的拟合度.

关键词

粗根生物量
异速生长方程
亚热带常绿阔叶林
碳储量

全球气候变化引起人们对陆地生态系统碳储量和碳动态的高度重视. 森林是重要的碳库, 其碳储量约占陆地生态系统总碳储量的 45%^[1,2], 森林在调节全球气候和全球碳平衡方面扮演重要的角色. 国内外已经开展了大量森林生物量的研究, 但主要集中于地上生物量方面. 由于地下生物量取样难度的限制, 地下根系生物量的研究相对较少. 在研究地下根系生物量时, 也主要侧重于细根方面, 对粗根的研究更少^[3,4]. 粗根生物量是森林总生物量的重要组成部分, 能占到地上部生物量的 8%~37%^[5].

生物量异速生长模型将简单易测的指标, 如胸径、树高等与生物量结合起来, 为树木生物量的估算提供了一种简便易行的方法, 目前已得到了广泛应

用^[6,7]. 然而, 在调查树木粗根生物量时, 往往需要挖取树的整个根系, 需要花费大量的人力财力, 导致树木粗根生物量的异速生长方程较少^[8]. 在以往估算粗根生物量时, 往往用地上部生物量乘以一个系数或者采用非特定物种或非具体地点的生长方程来估算^[9,10]. 但是, 不同物种或同一物种不同地点的树木生物量分配格局、形态结构、木材密度等存在较大差异, 这导致它们的生物量异速生长方程也存在较大差异^[7,11,12]. 如果采用非特定物种或非具体地点的生长方程来估算粗根生物量, 会引起较大的误差^[4,13,14]. 因此, 为了比较准确估算森林地下生物量, 有必要构建重要森林类型常见树种的粗根生物量异速生长方程. 目前, 对中国北方温带森林树种的粗根生物量异

引用格式: 李宁, 徐武兵, 赖江山, 等. 亚热带常绿阔叶林 8 个常见树种粗根生物量. 科学通报, 2013, 58: 329–335

Li N, Xu W B, Lai J S, et al. The coarse root biomass of eight common tree species in subtropical evergreen forest (in Chinese). Chin Sci Bull (Chin Ver), 2013, 58: 329–335, doi: 10.1360/972012-1590

速生长的研究相对较多^[8],而对亚热带常绿阔叶林树种的研究较少,这限制了准确估算中国亚热带常绿阔叶林总生物量.

中国亚热带常绿阔叶林具有广阔的分布面积,其碳储量是中国森林碳储量重要组成部分^[15],对其生物量进行准确估算有利于清晰地认识中国森林碳储量和碳动态.中国拥有较为详细的森林资源清查资料,清查资料中包含树木胸径、树高等数据,如果建立了亚热带常绿阔叶林常见树种粗根生物量异速生长方程,则能为较准确的估算亚热常绿阔叶林粗根生物量提供依据.此外,在之前估算森林粗根生物量时,往往忽略了在挖根过程中被挖断而未被挖出的根生物量^[3,11,16],这一定程度上会低估粗根生物量.Niiyama 等人^[3]在研究热带地区粗根生物量时发现,根系直径与根系生物量存在很好的幂函数关系,并通过测定断根处根系直径并建立根系直径与根系生物量回归方程对断根生物量进行了估算.但在亚热带地区,根系直径与根系生物量是否存在较好的幂函数关系,需要验证.

2010 年由于高速公路建设规划用地,江西省德兴市新岗山板桥林场部分常绿阔叶林区需要皆伐清理,这为本次粗根生物量研究提供了机遇.本研究基于全挖法构建亚热带常绿阔叶林 8 个常见树种的粗根生物量异速生长方程,并探讨根系直径与根系生物量是否存在较好的幂函数关系,从而对断根后留在土中的根系生物量进行估算,旨在为准确估算亚热带常绿阔叶林地下生物量提供依据.

1 研究区概况

研究区位于新岗山(28°58'N, 117°32'E),海拔

80~260 m,属丘陵地貌,亚热带季风气候,年平均温度 15.3℃,最冷月为 1 月,平均最低温度为 0.4℃,最热月为 7 月,平均最高温度为 34.2℃,年降雨量约 2000 mm,3~6 月和 9 月为雨季,无霜期 252 d.研究区植被类型为中亚热带典型常绿阔叶林,植物物种丰富,以常绿树种为主,乔木树种主要包括丝栗栲、苦槠栲、木荷、马尾松^[17,18].

2 研究方法

2.1 样木的选择

为了能够建立更好的亚热带常绿阔叶林粗根生物量异速生长方程,样木的选择根据以下原则:(1)先调查整个林区,强调优势种;(2)尽量找到各树种不同径级个体.根据以上原则,本研究共选择了 8 个树种的 175 株样本木,8 个树种分别为丝栗栲、苦槠栲、木荷、马尾松、杉木、枫香、檫木、拟赤杨,各树种样木基本信息见表 1.

2.2 根系生物量的测定

对选择的每一株样木,在砍伐前测定其胸径,砍伐后测定其树高.在砍伐后立即采用全挖法获取样木的全部根系(根系直径>2 mm),然后带回实验室用水清洗根系表面的土,风干后将根系分为主根和侧根两部分,分别测定其鲜重.从主根和侧根中各截取 3 个圆盘样品,圆盘厚度不等,根越粗,圆盘就越薄,主根圆盘样厚度为 1~3 cm,侧根圆盘样厚度为 5~10 cm.这 3 个样品均匀分布在根段上,称鲜重,烘干再称重,计算含水率,根据样品含水率推算整株根系生物量.本研究取样时间为 2010 年 10~11 月.

表 1 8 个树种 175 株样木的基本信息

树种	株数	胸径(cm)		树高(m)		胸径与树高相关性分析	
		均值	范围	均值	范围	相关系数	P
丝栗栲	25	12.9	2.5~27.3	11.4	3.8~19.0	0.79	<0.001
苦槠栲	17	8.1	2.7~16.1	8.5	3.5~12.9	0.83	<0.001
木荷	30	9.2	1.2~23.1	8.8	1.8~17.0	0.91	<0.001
马尾松	27	10.1	1.3~23.2	9.8	3.7~14.7	0.80	<0.001
杉木	17	8.7	1.0~17.7	7.3	2.0~12.0	0.96	<0.001
枫香	15	14.7	2.6~37.5	14.4	4.5~26.0	0.92	<0.001
檫木	21	16.2	5.1~27.7	15.3	9.9~21.8	0.68	<0.001
拟赤杨	23	9.3	2.4~18.7	11.6	5.6~19.3	0.89	<0.001
混合 ^{a)}	175	11.0	1.0~37.5	10.8	1.8~26.0	0.84	<0.001

a) 基于 8 个树种所有样木数据分析

由于条件的限制,在挖取根的过程中,有部分侧根被挖断而未被挖出,本研究采用以下方法对该部分断根生物量进行估算.首先用游标卡尺沿相互垂直方向2次测定断根处根的直径,取平均值;然后选取已经挖出的完整的根系,用同样方法测定根系基部即最粗处的直径,并测定根系生物量干重,拟合得根系直径与根系生物量回归方程;最后根据断根处根的直径并利用回归方程估算土埋根生物量.

2.3 数据分析

国内外大量的研究表明,胸径和树高是影响林木各器官生物量最重要的因子.在查阅了大量文献基础上,选择以下4种比较有代表性的模型^[4,8,16,19],来拟合分析各树种的粗根生物量与胸径及树高的关系,并对模型的拟合效果进行评价和比较

$$B=a \times (\text{dbh})^b, \quad (1)$$

$$B=a \times (H)^b, \quad (2)$$

$$B=a \times (\text{dbh}^2 H)^b, \quad (3)$$

$$B=a \times (\text{dbh})^b \times (H)^c, \quad (4)$$

其中, B 为粗根生物量; dbh 为样木胸径; H 为样木树高; a, b, c 为方程参数.

为消除异方差性,在模型参数估计时,对模型进行对数线性化转换,即

$$\ln(B)=\ln(a)+b \times \ln(\text{dbh}), \quad (5)$$

$$\ln(B)=\ln(a)+b \times \ln(H), \quad (6)$$

$$\ln(B)=\ln(a)+b \times \ln(\text{dbh}^2 H), \quad (7)$$

$$\ln(B)=\ln(a)+b \times \ln(\text{dbh})+c \times \ln(H). \quad (8)$$

采用最小二乘法估计方程(5)~(8)的方程参数.为消除对数转换带来的偏差,采用文献[20]中的方法计算校正系数 CF ,在用方程(1)~(4)计算粗根生物量预测值时,需将计算结果乘以该校正系数.利用方程的显著性、矫正决定系数 R^2_{adj} 评价模型的拟合优

度^[4,19,21].

根系直径与根系生物量的回归关系则采用幂函数模型进行模拟

$$y=a x^b, \quad (9)$$

其中, y 为根系生物量; x 为根系直径; a, b 为方程参数^[3],拟合方法与构建粗根生物量异速生长方程的类似.

3 结果与分析

3.1 根系直径与根系生物量回归方程

根系直径与根系生物量存在极显著的幂函数关系($P<0.001$)(表2).拟合的回归方程的决定系数较高,最小的是拟赤杨,为0.84,最大的是檫木,为0.95,说明亚热带常绿阔叶林树种的根系直径与根系生物量存在很好的比例关系.因此,通过测定断根处根的直径,可以利用这些方程较好地估算被挖断而未被挖出的根的生物量,提高粗根生物量的估算准确度.

3.2 粗根生物量异速生长方程

8个树种和所有样木混合的所有粗根生物量异速生长方程都达到极显著水平($P<0.001$),表明可以利用树木地上部分容易测定的指标,如胸径、树高估算其粗根生物量(表3,图1).比较模型1和2可知,仅用胸径作为预测变量得到的方程(模型1)的决定系数都要高于仅用树高得到的方程(模型2)的决定系数,说明胸径是优于树高的粗根生物量预测变量.在胸径基础上,引入树高变量,以 $\text{dbh}^2 H$ 作为预测变量(模型3)得到的方程只提高了对杉木和枫香生物量的解释量,却降低了对丝栗栲、苦槠栲、木荷、檫木、拟赤杨和混合的生物量的解释量.此外,将胸径和树

表2 根系直径与根系生物量的回归方程^{a)}

物种	根系直径范围(mm)	样本量	回归方程	R^2_{adj}	P
丝栗栲	1.6~39.5	149	$y = 0.1396x^{2.11}$	0.86	<0.001
苦槠栲	2.4~42.9	44	$y = 0.0603x^{2.41}$	0.93	<0.001
木荷	1.5~42.9	92	$y = 0.0982x^{2.28}$	0.93	<0.001
马尾松	1.8~24.5	25	$y = 0.0657x^{2.36}$	0.86	<0.001
杉木	1.8~41.7	60	$y = 0.1070x^{2.67}$	0.91	<0.001
枫香	1.1~48.9	58	$y = 0.0639x^{2.44}$	0.91	<0.001
檫木	2.1~49.8	33	$y = 0.0589x^{2.38}$	0.95	<0.001
拟赤杨	1.1~32.6	84	$y = 0.0800x^{2.27}$	0.84	<0.001
混合	1.1~49.8	545	$y = 0.0897x^{2.28}$	0.90	<0.001

a) y 为根系生物量(g); x 为根系直径(mm);混合为8个树种的所有数据得到的方程

表 3 8 个树种粗根生物量异速生长方程的参数^{a)}

物种	模型	$\ln(a)$	b	c	R^2_{adj}	P	CF
丝栗栲	1	-3.30 (0.40)	2.24 (0.16)		0.89	<0.001	1.17
	2	-5.05 (1.26)	2.97 (0.53)		0.56	<0.001	1.87
	3	-4.06 (0.55)	0.85 (0.08)		0.84	<0.001	1.26
	4	-1.59 (0.64)	3.10 (0.31)	-1.58(0.50)	0.92	<0.001	1.12
苦槠栲	1	-2.74 (0.23)	2.01 (0.11)		0.95	<0.001	1.03
	2	-3.66 (0.77)	2.36 (0.37)		0.72	<0.001	1.21
	3	-3.21 (0.32)	0.74 (0.05)		0.93	<0.001	1.07
	4	-2.48 (0.34)	2.25 (0.25)	-0.35(0.34)	0.95	<0.001	1.03
木荷	1	-2.88 (0.20)	2.19 (0.10)		0.95	<0.001	1.12
	2	-4.63 (0.52)	2.95 (0.25)		0.83	<0.001	1.42
	3	-3.47 (0.25)	0.82 (0.04)		0.94	<0.001	1.14
	4	-2.86 (0.38)	2.21 (0.29)	-0.02(0.41)	0.94	<0.001	1.12
马尾松	1	-4.65 (0.15)	2.61 (0.07)		0.98	<0.001	1.04
	2	-8.47 (0.86)	4.18 (0.39)		0.82	<0.001	1.50
	3	-5.80 (0.19)	1.03 (0.03)		0.98	<0.001	1.04
	4	-5.20 (0.33)	2.36 (0.15)	0.48(0.26)	0.98	<0.001	1.04
杉木	1	-2.46 (0.29)	1.71 (0.14)		0.90	<0.001	1.10
	2	-4.03 (0.46)	2.59 (0.24)		0.88	<0.001	1.12
	3	-2.88 (0.32)	0.65(0.05)		0.91	<0.001	1.10
	4	-2.83 (0.76)	1.35(0.70)	0.57(1.08)	0.90	<0.001	1.10
枫香	1	-2.97 (0.39)	2.33 (0.15)		0.94	<0.001	1.10
	2	-7.03 (0.84)	3.78 (0.32)		0.91	<0.001	1.16
	3	-4.04 (0.42)	0.91 (0.06)		0.95	<0.001	1.08
	4	-4.42 (1.01)	1.61 (0.48)	1.24(0.80)	0.95	<0.001	1.08
檫木	1	-4.81 (0.32)	2.81 (0.12)		0.97	<0.001	1.03
	2	-6.87 (3.11)	3.56 (1.15)		0.30	0.006	1.76
	3	-6.90 (0.58)	1.20 (0.07)		0.93	<0.001	1.06
	4	-4.41 (0.69)	2.87 (0.15)	-0.21(0.32)	0.97	<0.001	1.03
拟赤杨	1	-4.09 (0.20)	2.50 (0.10)		0.97	<0.001	1.04
	2	-8.29 (1.16)	3.90 (0.48)		0.75	<0.001	1.38
	3	-5.35 (0.31)	0.98 (0.05)		0.95	<0.001	1.06
	4	-3.65 (0.56)	2.67 (0.22)	-0.32(0.38)	0.97	<0.001	1.04
混合	1	-3.47 (0.12)	2.31 (0.05)		0.91	<0.001	1.16
	2	-5.22 (0.34)	2.97 (0.15)		0.70	<0.001	1.65
	3	-4.20 (0.16)	0.87 (0.02)		0.89	<0.001	1.20
	4	-3.16 (0.21)	2.50 (0.12)	-0.32(0.18)	0.91	<0.001	1.16

a) $\ln(a)$ 和 b 列括号中的值分别为相应的标准误, 混合代表 8 个树种所有样木数据得到的方程

高作为 2 个独立的预测变量(模型 4)得到的方程拟合度没有显著提高, 只有对丝栗栲和枫香生物量解释量高于仅用胸径得到的方程, 而对其他树种反而下降或不变. 总之, 在胸径基础上引入树高作为预测变量并没有明显提高方程的拟合效果. 这说明树高对地下根系生物量的解释能力基本可以被胸径的解释量所涵盖, 可能的原因是树木胸径与树高存在极显

著的正相关(表 1). 本研究构建的各个树种的粗根生物量异速生长方程可用来估算亚热带常绿阔叶林对应树种的粗根生物量, 而混合的生长方程可用来估算其他没有生长方程的树种的粗根生物量.

4 讨论

精确量化森林生态系统的地下碳储量对有效预

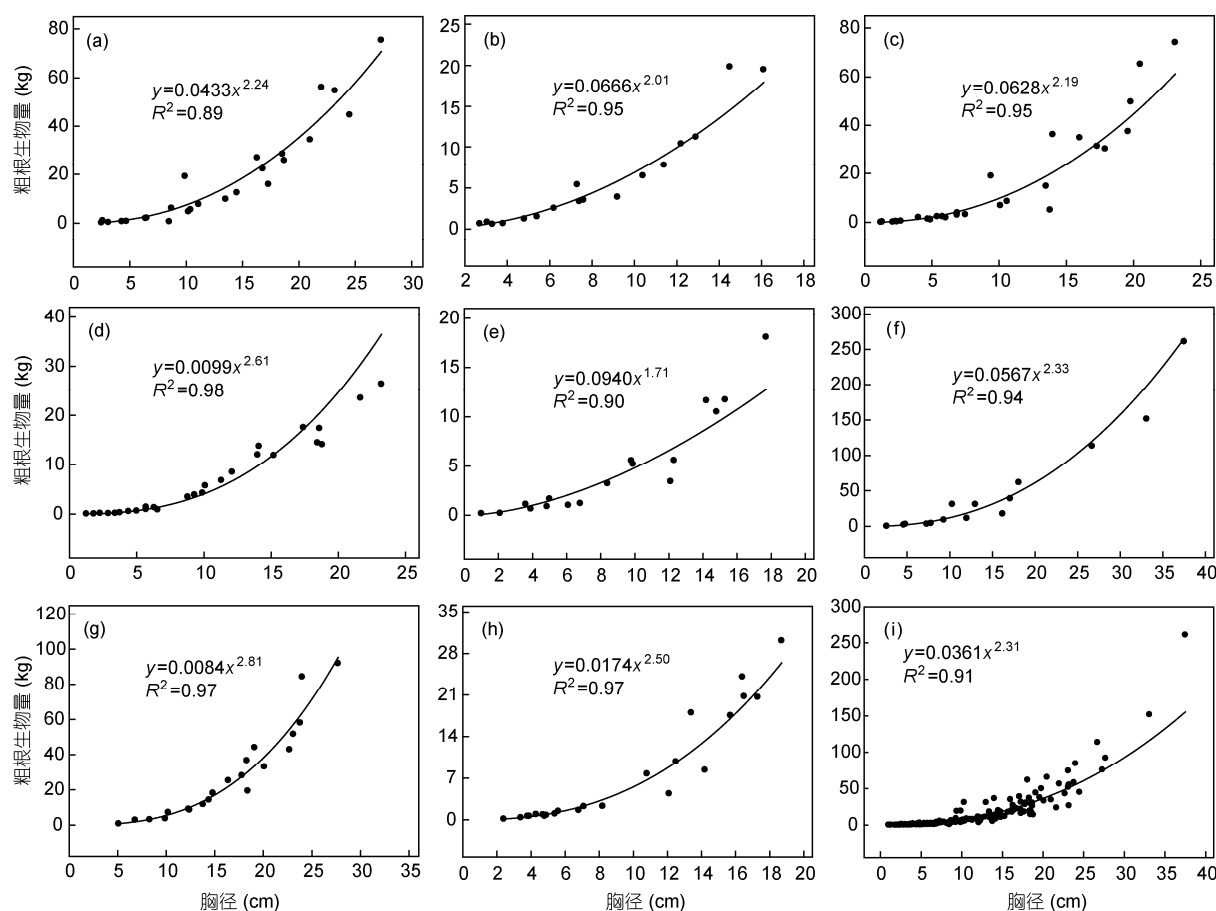


图 1 粗根生物量与胸径的回归关系

(a) 丝栗栲; (b) 苦槠栲; (c) 木荷; (d) 马尾松; (e) 杉木; (f) 枫香; (g) 樟木; (h) 拟赤杨; (i) 混合

测未来环境变化将会如何影响全球碳动态具有十分重要的意义^[22]。然而, 由于缺少估算具体地点特定物种根系生物量的模型, 森林碳估算模型的发展被历史性地困扰着。为估计大尺度的地下碳储量, 现存的模型严重地依赖于非特定物种和具体地点数据的使用, 而植物地上和地下碳的相对分配是随着环境条件和具体生活型特征的变化而变化的^[12,23-25]。使用非特定物种和具体地点的数据拟合的模型来估算根系生物量可能会带来较大的误差, 降低模型预测能力^[13,14]。中国亚热带常绿阔叶林的碳储量是中国森林碳储量的重要组成部分^[15], 对其地下根系生物量准确评估有利于了解中国森林生态系统碳储量和碳动态。我们基于全挖法构建了亚热带常绿阔叶林 8 个常见树种和所有样木混合的粗根生物量异速生长方程。这为利用森林清查资料准确估算中国亚热带常绿阔叶林粗根生物量提供了依据。

挖取树木的整个根系不仅费时费力, 并且在挖根的过程中某些根会被挖断而遗留在土中, 如果不对这部分土埋根生物量进行估算进而校正粗根生物量, 那么建立起来的异速生长方程往往会低估粗根生物量^[3]。因此, 有必要对这部分土埋根生物量进行估算。我们建立了根系直径与根系生物量的回归方程, 发现两者间存在很好的幂函数关系, 这和热带地区树种也存在这种关系是一致的^[3], 说明对亚热带常绿阔叶林树种, 通过测定断根处的根系直径并建立根系直径与根系生物量的回归方程来估算土埋根生物量是可行的。本研究基于该方法对土埋根生物量进行了估算, 为构建准确的粗根生物量异速生长方程提供了保障。

在本研究对每个树种分别构建的 4 个粗根生物量生长方程中, 仅采用胸径作为预测变量的方程已经有较好的拟合度 (表 3, 图 1), 这与之前的报道相一致^[4,8,19,26]。在胸径基础上, 引入树高变量, 分别以

dbh^2H 和 dbh , H 作为预测变量构建的方程只提高了部分树种的拟合度,但降低了其他多个树种的拟合度(表 3)。一般而言,在构建树木地上生物量生长方程时,在胸径基础上引入树高变量往往会提高方程的拟合度^[8,19,27,28],但我们的研究表明对于地下粗根生物量则不一样。比较大量文献中“胸径”和“胸径-树高”生长方程也可以发现,在胸径基础上引入树高变量并没有提高根系生物量方程的拟合度或者提

高的幅度很小^[4,8,19,27,29]。可能的原因是树木胸径与树高存在极显著的正相关性,它们反映的是同一个生态策略,处于同一个生态轴上^[30]。在森林调查中获取树高数据往往较困难,需要花费大量时间,并且测的树高数据存在较大误差。因此,根据我们的研究结果,建议以后在估算亚热带常绿阔叶林粗根生物量时,可以采用仅以胸径作为变量构建的生物量异速生长方程。

参考文献

- Bonan G B. Forests and climate change: Forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. *Science*, 2008, 320: 1444–1449
- Pan Y, Birdsey R A, Fang J, et al. A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*, 2011, 333: 988–993
- Niiyama K, Kajimoto T, Matsuura Y, et al. Estimation of root biomass based on excavation of individual root systems in a primary dipterocarp forest in Pasoh Forest Reserve, Peninsular Malaysia. *J Trop Ecol*, 2010, 26: 271–284
- Brassard B W, Chen H Y H, Bergeron Y, et al. Coarse root biomass allometric equations for *Abies balsamea*, *Picea mariana*, *Pinus banksiana* and *Populus tremuloides* in the boreal forest of Ontario, Canada. *Biomass Bioenergy*, 2011, 35: 4189–4196
- Jenkins J C, Chojnacky D C, Heath L S, et al. National-scale biomass estimators for United States tree species. *Forest Sci*, 2003, 49: 12–35
- Vieilledent G, Vaudry R, Andriamanohisoa S F D, et al. A universal approach to estimate biomass and carbon stock in tropical forests using generic allometric models. *Ecol Appl*, 2012, 22: 572–583
- Zianis D, Mencuccini M. On simplifying allometric analyses of forest biomass. *Forest Ecol Manag*, 2004, 187: 311–332
- Wang C K. Biomass allometric equations for 10 co-occurring tree species in Chinese temperate forests. *Forest Ecol Manag*, 2006, 222: 9–16
- Yang T H, Song K, Da L J, et al. The biomass and aboveground net primary productivity of *Schima superba*-*Castanopsis carlesii* forests in east China. *Sci China Life Sci*, 2010, 53: 811–821
- Chen W, Chen J M, Price D T, et al. Effects of stand age on net primary productivity of boreal black spruce forests in Ontario, Canada. *Can J Forest Res*, 2002, 32: 833–842
- García Morote F A, López Serrano F R, Andrés M, et al. Allometries, biomass stocks and biomass allocation in the thermophilic Spanish juniper woodlands of Southern Spain. *Forest Ecol Manag*, 2012, 270: 85–93
- King J S, Albaugh T J, Allen H L, et al. Stand-level allometry in *Pinus taeda* as affected by irrigation and fertilization. *Tree Physiol*, 1999, 19: 769–778
- Kurz W A, Beukema S J, Apps M J. Estimation of root biomass and dynamics for the carbon budget model of the Canadian forest sector. *Can J Forest Res*, 1996, 26: 1973–1979
- Li Z, Kurz W A, Apps M J, et al. Belowground biomass dynamics in the Carbon Budget Model of the Canadian Forest Sector: Recent improvements and implications for the estimation of NPP and NEP. *Can J Forest Res*, 2003, 33: 126–136
- Fang J, Chen A, Peng C, et al. Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998. *Science*, 2001, 292: 2320–2322
- Cole T G, Ewel J J. Allometric equations for four valuable tropical tree species. *Forest Ecol Manag*, 2006, 229: 351–360
- von Oheimb G, Lang A C, Bruelheide H, et al. Individual-tree radial growth in a subtropical broad-leaved forest: The role of local neighbourhood competition. *Forest Ecol Manag*, 2011, 261: 499–507
- Hu Z, Yu M. Study on successions sequence of evergreen broad-leaved forest in Gutian Mountain of Zhejiang, Eastern China: Species diversity. *Front Biol China*, 2008, 3: 45–49
- Xiang W, Liu S, Deng X, et al. General allometric equations and biomass allocation of *Pinus massoniana* trees on a regional scale in southern China. *Ecol Res*, 2011, 26: 697–711
- Sprugel D G. Correcting for bias in log-transformed allometric equations. *Ecology*, 1983, 64: 209–210
- Chave J, Andalo C, Brown S, et al. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 2005, 145: 87–99
- Brassard B W, Chen H Y H, Bergeron Y. Influence of environmental variability on root dynamics in northern forests. *Crit Rev Plant Sci*, 2009, 28: 179–197

- 23 Keyes M R, Grier C C. Above-and below-ground net production in 40-year-old Douglas-fir stands on low and high productivity sites. *Can J Forest Res*, 1981, 11: 599–605
- 24 Haynes B E, Gower S T. Belowground carbon allocation in unfertilized and fertilized red pine plantations in northern Wisconsin. *Tree Physiol*, 1995, 15: 317–325
- 25 Pregitzer K S, Zak D R, Maziasz J, et al. Interactive effects of atmospheric CO₂ and soil-N availability on fine roots of *Populus tremuloides*. *Ecol Appl*, 2000, 10: 18–33
- 26 Ouimet R, Camiré C, Brazeau M, et al. Estimation of coarse root biomass and nutrient content for sugar maple, jack pine, and black spruce using stem diameter at breast height. *Can J Forest Res*, 2008, 38: 92–100
- 27 刘雯雯, 项文化, 田大伦, 等. 区域尺度杉木生物量通用相对生长方程整合分析. *中南林业科技大学学报*, 2010, 30: 7–14
- 28 Ketterings Q M, Coe R, van Noordwijk M, et al. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecol Manag*, 2001, 146: 199–209
- 29 曾伟生, 唐守正. 东北落叶松和南方马尾松地下生物量模型研建. *北京林业大学学报*, 2011, 33: 1–6
- 30 Fortunel C, Fine P V A, Baraloto C. Leaf, stem and root tissue strategies across 758 Neotropical tree species. *Funct Ecol*, 2012, 26: 1153–1161

The coarse root biomass of eight common tree species in subtropical evergreen forest

LI Ning^{1,2}, XU WuBing¹, LAI JiangShan¹, YANG Bo¹, LIN DunMei¹ & MA KePing¹

¹ State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China;

² Southwest Forestry University, College of Forestry, Kunming 650224, China

Though coarse root biomass is an important part in biomass of forest ecosystems, few studies were found in subtropical area. In this study, whole digging method was used to determine the biomass of coarse root (diameter > 2 mm) of 175 trees of 8 species in subtropical evergreen forests. The 8 species includes *Castanopsis fargesii*, *Castanopsis sclerophylla*, *Schima superba*, *Pinus massoniana*, *Cunninghamia lanceolata*, *Liquidambar formosana*, *Sassafras tzumu*, *Alniphyllum fortunei*. Also, the lost roots during excavation were corrected by developing scaling relationship between biomass of root and diameter. Then, four kinds of allometric models for each species and combined trees were fitted to link stem diameter at breast height (dbh) and height (*H*) to coarse root biomass. The results showed that all the scaling relationship between biomass of root and diameter of roots were significant ($P < 0.001$), which indicated that the biomass of lost roots during digging could be estimated by the diameter of broken points. All allometric models for coarse root biomass using breast height or height as predictors were significant ($P < 0.001$), but the dbh-coarse root biomass equations had higher R^2 values than the height-coarse root biomass. The results also indicate that dbh is an adequate estimator for coarse root biomass of subtropical evergreen trees. The results in this study provide important information to estimate the coarse root biomass in subtropical evergreen forests.

coarse root biomass, allometric equation, subtropical evergreen forest, carbon storage

doi: 10.1360/972012-1590