

典型针阔混交林中山杨生物量和碳储量研究

姜 鹏,任佳佳,任 仙,崔 浩,王 茜,谷建才*

(河北农业大学 林学院,河北 保定 071001)

摘 要:以木兰林管局北沟林场内的典型的针阔混交—人工林的山杨为对象,经过 5 a 对标准地山杨等树种进行了调查研究,利用分层切割法对山杨生物量等进行测定。结果表明:1)混交林中山杨单株总生物量的变化范围是 4.10~344.16 kg,其生物量各器官分配百分比为:干均值为 63.03% (53.21%~69.14%),枝均值为 11.40% (5.26%~18.12%),根均值为 20.12% (16.69%~22.67%),叶均值为 5.44% (3.42%~8.46%)。2)山杨树高、胸径与各器官生物量有较高的相关性,建立的山杨生物量最优模型为: $W_T = 111.985D^{1.702}$; $W_B = 119.21(D^2H)^{0.578}$; $W_R = 1/(0.0000121 + 0.00191 \times 0.77^D)$; $W_L = 1/(0.0000333 + 0.00369 \times 0.815^D)$; $W_F = 1/(0.0000025 + 0.0000037 \times 0.771^D)$ 。3)山杨生物量的最优模型推算林分中山杨的总生物量为 33 632.98 kg·hm⁻²,碳储量为 13 808.77 kg·hm⁻²,各器官分别占总碳储量的 60.06%(树干)、15.40%(树枝)、5.31%(树叶)、19.24%(树根)。林分碳储量分配情况为干>根>枝>叶。

关键词:针阔混交林;山杨;生物量模型;生物量;碳储量

中图分类号:S718.5

文献标志码:A

文章编号:1001-7461(2014)01-0015-06

Biomass and Carbon Storage of *Populus davidiana* in Typical Theropencedrymion

JIANG Peng, REN Jia-jia, REN Xian, CUI Hao, WANG Qian, GU Jian-cai*

(College of Forestry, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071000, China)

Abstract: Taking *Populus davidiana* in typical theropencedrymion-plantation in Beigou Forest Farm of Mulan Forest Bureau as object, A 5-year-long investigation was carried out on the biomass and carbon storage by using the methods of stratified cutting and establishing the growth model to calculate the biomass and carbon storage. The results showed that: 1) ranges of variation of total biomass of the individual plant were 4.10 to 344.16 kg, the biomass distribution percentages of individual organ were trunk: 63.03% (53.21%–69.14%), branch: 11.40% (5.26%–18.12%), root: 20.12% (16.69%–22.67%), leaf: 5.44% (3.42%–8.46%). 2) Height and DBH of *P. davidiana* exhibited higher correlation with organ biomass, and the established optimal models were $W_T = 111.985D^{1.702}$; $W_B = 119.21(D^2H)^{0.578}$; $W_R = 1/(0.0000121 + 0.00191 \times 0.77^D)$; $W_L = 1/(0.0000333 + 0.00369 \times 0.815^D)$; $W_F = 1/(0.0000025 + 0.0000037 \times 0.771^D)$. 3) According to the optimal model, the total biomass was 33 632.98 kg·hm⁻² in stand, carbon storage was 13 808.77 kg·hm⁻². The percentages of each organ were 60.06% (trunk), 15.40% (branch), 5.31% (leaf), 19.24% (root). Carbon storage distribution was in the order of stem>root>branch>leaf.

Key words: theropencedrymion; *Populus davidiana*; biomass model; biomass; carbon storage

森林生态系统碳循环是全世界最重要的生物 循环,它支配大陆的生态系统循环。碳循环系统中

收稿日期:2013-05-13 修回日期:2013-05-31

基金项目:国家林业局项目“北京密云水库水源保护林营建”关键技术研究(2006DFA01780);“三北”地区水源涵养林体系构建技术与示范(2011BAD38B05)。

作者简介:姜鹏,男,硕士研究生,研究方向:森林可持续经营。E-mail:jiangpeng210@126.com

*通信作者:谷建才,男,教授,研究方向:林业经营与资产评估。

的生物量、生产力、凋落物现存量都直接影响了森林生态系统的碳储量,要全面地认识陆地生态系统碳循环特征和在陆地生态系统中的作用^[1-6]。碳储量估算方法应用比较广泛的主要有三种:样地清查法,涡度相关法,模型模拟法,本文采用的模型模拟法是通过数学模型估算森林生态系统的生产力和碳储量的方法^[7-9]。其适于推算在一个理想条件下的针阔混交林中生物量及碳储量的变化情况,并采用地理信息系统(GIS)技术弥补了模型模拟法的缺陷,也可以采用遥感(RS)和全球定位系统(GPS)等新技术弥补模型模拟法使用上的缺陷^[7,10-11]。我国的森林的碳储量主要集中于云杉林、冷杉林、落叶松林、硬叶阔叶林、桦木林、栎类林和阔叶混交林 7 个林分类型中^[12],本研究是针对针阔混交林中华北落叶松、白桦和山杨进行的,只是对山杨的生物量和碳储量加以研究分析。利用生物量模型推算出林分中各器官生物量及碳储量,为研究混交林中各树种生长关系和生物量、碳储量的累计提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

研究区为木兰围场林管局下属的北沟林场,在 1956 年建场,位于七老图岭山西侧,山区走势地势东北高,西南低,海拔在 800~1 600 m,最高峰处于色树梁东光顶,海拔为 1 600 m,伊玛吐河自北向南从北沟林区穿过后流入隆化。林场总经营面积为 5 428.8 hm²,林区内有天然林 1 485.4 hm²,主要树种有桦、杨、落、油松等乔木;林区内的人工林

1 180.5 hm²,主要树种有油松、落叶松、杨树等树种;以针阔混交林为主,阔叶混交为辅,混交林总面积为 1 560.9 hm²,森林覆被率 85.6%。主要以天然次生林和人工林为主,天然次生林有硕桦(*Betula costata*)、棘皮桦(*Betula dahurica*)、蒙古栎(*Quercus mongolica*)、白桦(*Betula platyphylla*)、五角枫(*Acer truncatum*)、榆树(*Ulmus pumila*)、山杨(*Pobulus davidiana*)等,人工林主要树种有油松(*Pinus tabulaeformis*)、华北落叶松(*Larix principis-rupprehti*)、云杉(*Picea asperata*)、樟子松(*Pinus sylvestri*)等。林区内还有很丰富的生物资源,高等维管植物就有 600 多种,包含了 100 多种有观赏价值的高等维管植物,还有野生脊椎动物 20 余种,鸟类 80 余种。

1.2 方法

1.2.1 样地的设置 在 2009—2012 年,于北沟林场选取面积为 100 m×100 m 的 3 个天然次生-人工针阔混交林为标准固定样地。标准地为针阔混交林,进行了对落叶松、白桦和山杨等林木的调查,并对每木检尺详细填写样地生境要素调查记录表。

样地布设:在试验地选择合适的位置设置样地起点,远离林缘和道路,用罗盘仪测定方向和确定 4 条 100 m 的边界,并用水泥桩和铁丝网固定边界,再将大样地划分为 16 个小样地(25 m×25 m),用玻璃绳打成网格状,按照调查路线的顺序进行编号。

调查内容:乔木调查,对大样地的乔木进行每木检尺,并对测量的乔木编号、挂牌。样地基本情况和种群林木结构特征见表 1 与表 2。

表 1 样地的基本情况

Table 1 Basic status of sample plot

地类	海拔/m	地貌	坡度/(°)	坡位	起源	郁闭度	林层结构	平均树高/m	平均胸径/cm
针阔混交	1 257	山貌	29	整坡	次生林-人工林	0.7~0.8	单层	15.2	15.5

表 2 针阔混交林的森林结构特征

Table 2 The forest structure characteristics of theropencedrymion

树种	密度		断面积		胸径/cm		树高/m	
	/(株·hm ⁻²)	百分率/%	/(cm ² ·hm ⁻²)	百分率/%	均值	标准差	均值	标准差
落叶松	279	32.44	16.87	25.76	13.88	6.77	12.16	5.09
白桦	190	22.09	23.33	35.63	19.77	7.62	13.49	4.14
山杨	227	26.40	19.01	29.04	16.33	5.41	13.34	3.91
伴生树种	164	19.06	6.26	9.57	11.73	5.91	8.87	2.84
合计	860	100.00	65.47	100.00				

1.2.2 林木生物量的测定

1.2.2.1 标准木选择 根据每木检尺的树高和胸径记录,将林木按 4 cm 径阶的径级分配,并且在径阶内选取在均值标准差范围内的树,根据每个径阶比重不同选取株数,按照各个径阶的 10% 选取林木,选取的标准木的胸径以林木径阶的均值和标准

差为依据,径阶株数不足 5 株的选取 1 株,大径级不予选取(表 3)。

1.2.2.2 林木生物量的测定 山杨采用“分层切割法”测量地上各器官生物量,根系采用“分层挖掘法”测量地下生物量。树干以 0.5 m 为区分段,分别取树干 0.0、0.25、0.75、1.25、1.30、1.75、2.25 m……和梢头

表 3 山杨解析木株数

Table 3 Analysis tree number of *Populus davidiana*

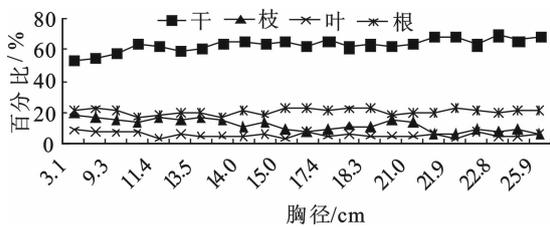
径阶	[0,4)	[4,8)	[8,12)	[12,16)	[16,20)	[20,24)	[24,28)	总计
平均胸径	3.1	5.8	10.3	14.0	18.1	21.9	25.1	
实际株数	2	13	33	63	51	46	19	227
选取株数	1	2	3	6	5	5	2	24

处锯断,截取 5 cm 圆盘,各段端截 2 个圆盘,每段圆盘记录南北直径。野外实地分别称量标准木的带皮树干的鲜重和全部树枝、树叶、树根的鲜重。将各器官的样品,带回室内进行烘干(105℃)至恒质量称重,计算各树种的干物质生物量,记录数据。

1.2.2.3 林木碳储量的估算 山杨的碳储量是根据已有的碳储率来计算的,针阔混交林试验中的山杨等树种采取马钦彦^[13]等的碳储率的测定结果。山杨的各器官碳储量为:树干(48.44%)、树枝(68.66%)、树叶(49.6%)、树根(48.61%)。

1.3 数据处理

利用 Excel 软件做基本的数据处理、图和表,用于 ForStat2.1(统计之林)^[14]和 SPSS18.0^[15]统计软



件进行各指标进行相关性分析和多元回归分析等。

2 结果与分析

2.1 山杨单株生物量器官分配

针阔混交林中山杨的单株总生物量在 9~48 a 的变化范围是 4 099.80~344 156.95 g。山杨生物量的积累主要是存在于干、枝、根、叶 4 种林木器官中,其各器官生物量分配情况受到外界环境的影响,主要包括立地条件、小气候、人为因素等^[16-19],以及每株树本身的生长特性,因此建立林木各器官生物量分布和胸径、树高的关系图(图 1)。

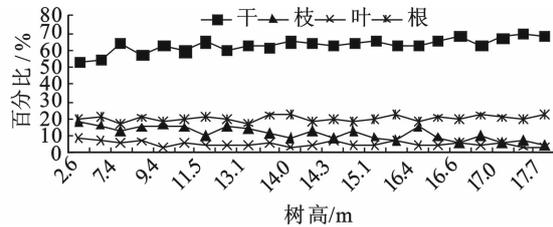


图 1 林木各器官生物量随胸径、树高变化关系

Fig.1 Biomass variation of different organ with DBH and tree high

由图 1 胸径、树高的生物量百分比关系图可以看出,3 种曲线的干和根百分比都是呈现整体缓慢上升趋势,枝和叶的百分比有所下降。随着胸径和树高的增加,各器官生物量变化不同,树干的生物量整体趋势是逐年增加,并在单株生物量中占有较大的比例;同时,山杨也是树根比较深的树种,因此树根所占比仅次于树干生物量。枝和叶的生物量随着林龄增加略有下降,叶的生物量成下降趋势比较明显,后期基本在保持在 3.73%~7.61%之间。表 4 表明,各器官生物量分配从大到小的顺序是干>根>枝>叶。

表 4 山杨各器官生物量分布百分比

Table 4 Every biomass percentage of *P. davidiana* %

林木器官	干	枝	叶	根
最小值	53.21	5.26	3.42	16.69
最大值	69.14	18.12	8.46	22.67
平均值	60.06	15.40	5.31	19.24

2.2 山杨单株生物量模型

建立山杨胸径、树高和各个器官的生物量重量的相关性系数表,并根据相关系数,选取测树因子为预测变量,建立预测变量和各个生物量之间的回归

模型。通过判断系数(R^2)来进行评价和选取最优模型,推算出混交林中山杨的生物量和碳储量。

2.2.1 山杨单株生物量相关性分析 利用 SPSS18.0 算出山杨的胸径、树高、树龄和各器官生物量及总生物量的相关系数表(表 5),相关系数采用双尾检验。

测树因子(胸径、树高)和干、根、枝、叶生物量之间有较强的相关性(表 5),各器官生物量和胸径、树高等之间存在极显著的相关性。从测树因子及各生物量方面来看,胸径和各器官生物量表现出高的相关水平,整体相关系数大于 0.83,与总重生物量相关系数最高,其次是与树干生物量相关性;树高与各器官生物量相关系数最小,相关性由强到弱依次为总重(0.814)>干重(0.800)>根重(0.773)>叶重(0.748)>枝重(0.729)。各器官的生物量和总生物量之间的相关性表现出,总生物量和干重、根重的相关性最强,其相关系数为 0.998 和 0.925,之后依次为叶重(0.893)、枝重(0.828),树干生物量作为总生物量的主要部分,与树木生长规律相符合;树叶的相关性相对比树枝的相关性高,树枝的生物量是受到林场经营和树枝生长变化的影响。

表 5 山杨各器官和主要因子相关性

Table 5 The various organs correlation and measurable factors of *P. davidiana*

因子	胸径	树高	干重	枝重	根重	叶重	总重
胸径	1	0.908**	0.956**	0.832**	0.905**	0.853**	0.962**
树高	0.908**	1	0.800**	0.729**	0.773**	0.748**	0.814**
干重	0.956**	0.800**	1	0.801**	0.914**	0.892**	0.998**
枝重	0.832**	0.729**	0.801**	1	0.747**	0.726**	0.828**
根重	0.905**	0.773**	0.914**	0.747**	1	0.818**	0.925**
叶重	0.853**	0.748**	0.892**	0.726**	0.818**	1	0.893**
总重	0.962**	0.814**	0.998**	0.828**	0.925**	0.893**	1

注: **. 在 0.01 水平(双侧)上极显著相关。

2.2.2 山杨胸径、树高与单株生物量模型 由于山杨胸径、树高两测树因子和各器官生物量因变量之间存在这较高的相关性。因此,选取容易实测的因子 (D 、 H),进行回归模型的自变量,并以胸径和树高建立 D^2H 为新的自变量,并以各器官生物量

(W)为因变量的单株立木各器官生物量回归估测模型。回归估测模型采用线性和非线性回归模型(线性、指数函数、幂函数关系、二次函数或 Logistic 函数作出散点图和模拟曲线(图 2)。

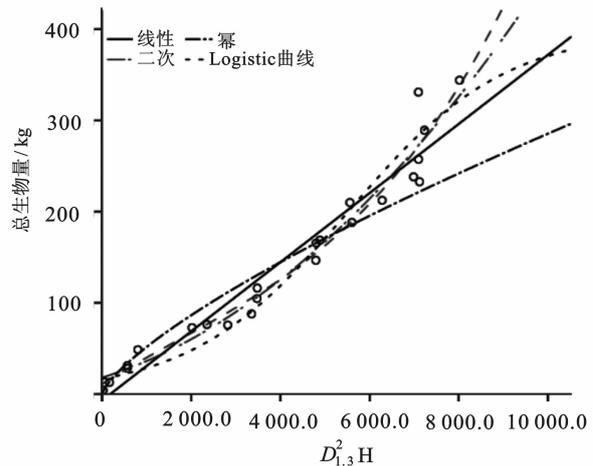
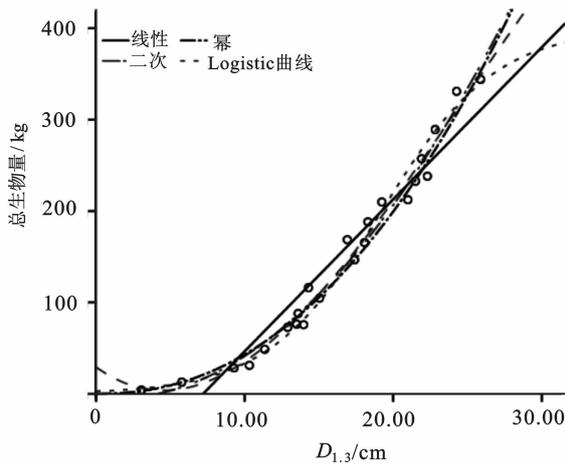


图 2 山杨单株总生物量与 $D_{1.3}$ 、 $D_{1.3}^2 H$ 的曲线图

Fig. 2 Curve of total biomass and $D_{1.3}$, $D_{1.3}^2 H$ of per plant populus davidiana

根据图 2 选取二次函数、幂函数、Logistic 方程 3 种模式(表 6)。

由于干、根和全生物量判定系数 R^2 都在 0.9 以上,模型能很好的解释因变量的变化。树干生物量模型中,胸径 D 为自变量模型好于以 $D^2 H$ 为自变量的模型,自变量 D 的生物量模型的判定系数 R^2 依次为幂函数(0.983) > 二次函数(0.980) > Logistic 方程(0.976);树根生物量模型和树干生物量模型相似,都是以 D 为自变量的生物量模型判定系数 R^2 较高,依次为 Logistic 方程(0.973) > 幂函数(0.970) > 二次函数(0.964)。全生物量模型和干生物量模型有相同的规律,也是以 D 为自变量的生物量模型判定系数 R^2 较高,依次为 Logistic 方程(0.982) > 幂函数(0.981) = 二次函数(0.981)。树枝生物量模型的判定系数 R^2 在 0.678~0.907 之间,判定系数 $R^2 > 0.9$ 的是幂自变量为 $D^2 H$ 的函数($R^2 = 0.907$)和自变量为 D 的幂函数($R^2 = 0.901$)。树叶生物量模型的判定系数 R^2 在 0.861

~0.922 之间,判定系数 $R^2 > 0.9$ 的是自变量为 D Logistic 方程 ($R^2 = 0.922$)和自变量为 D 幂函数 ($R^2 = 0.921$)。综上所述,山杨生物量模型选取本着判定系数 R^2 高、模型自变量易测量和回归方程的计算方便 3 个方面考虑,建立的模型适用于树龄 9~48 a,胸径在 3.05~25.9 cm 之间的山杨单株生物量的模型的估测。选取的最优模型如表 6 所注明的。

2.3 山杨径阶生物量分配

根据选择的全生物量的最优模型,选取自变量 $D^2 H$ 和 D ,可以推测出山杨在不同胸径的生物量,进而可以推算出林分中山杨各径阶的生物量,并根据碳储率求出碳储量,针阔混交林中山杨的生物量及碳储量(表 7)。

表 7 表明,山杨单株的生产力在幼树期较低,根据径阶划分,山杨的主要集中在[16,28),属于山杨的中龄林、近熟林和成熟林,单株林木生产力逐年增加,生物量成倍增长,最大净增长出现在[4,12)径阶

表 6 山杨单株生物量估测模型

Table 6 Biomass estimation model of individual plant of *P. davidiana*

器官名称	函数模型	R ²	F
树干生物量	$W_{干} = 1\ 663.039 - 2\ 193.56(D^2 H) + 443.385(D^2 H)^2$	0.965	273.017
	$W_{干} = 120.713(D^2 H)^{2.33}$	0.962	528.954
	$W_{干} = 1/(0.000\ 004 + 0.000\ 849 \times 0.75^{(D^2 H)})$	0.903	195.421
	$W_{干} = -5\ 316.302 + 1\ 243.848D - 2.016D^2$	0.980	502.542
	$W_{干} = 111.985D^{1.702}$ (优)	0.983	1\ 235.991
	$W_{干} = 1/(0.000\ 018\ 18 + 0.000\ 918 \times 0.85^D)$	0.976	870.404
树枝生物量	$W_{枝} = 1\ 531.379 + 4.357(D^2 H) - 0.000\ 225(D^2 H)^2$	0.678	21.082
	$W_{枝} = 119.21(D^2 H)^{0.578}$ (优)	0.907	204.86
	$W_{枝} = 1/(0.000\ 018\ 18 + 0.000\ 270 \times 0.999^{(D^2 H)})$	0.683	45.197
	$W_{枝} = -5\ 316.302 + 1\ 243.848D - 2.016D^2$	0.692	22.418
	$W_{枝} = 111.985D^{1.702}$	0.901	191.561
	$W_{枝} = 1/(0.000\ 018\ 18 + 0.000\ 918 \times 0.850^D)$	0.790	78.847
树根生物量	$W_{根} = 3\ 285.059 + 3.132(D^2 H) + 0.000\ 6(D^2 H)^2$	0.950	190.979
	$W_{根} = 58.633(D^2 H)^{0.748}$	0.954	431.147
	$W_{根} = 1/(0.000\ 012\ 05 + 0.000\ 294 \times 0.999^{(D^2 H)})$	0.910	212.853
	$W_{根} = -885.877 - 354.929D + 125.399D^2$	0.964	269.245
	$W_{根} = 50.465D^{2.23}$	0.970	669.968
	$W_{根} = 1/(0.000\ 012\ 05 + 0.001\ 910 \times 0.77^D)$ (优)	0.973	742.895
树叶生物量	$W_{叶} = 1\ 052.283 + 0.695(D^2 H) + 0.000\ 161(D^2 H)^2$	0.876	70.368
	$W_{叶} = 31.355(D^2 H)^{0.658}$	0.895	179.953
	$W_{叶} = 1/(0.000\ 003\ 33 + 0.000\ 824 \times 0.999^{(D^2 H)})$	0.861	130.543
	$W_{叶} = 19.313 - 92.813D + 31.14D^2$	0.870	67.212
	$W_{叶} = 26.668D^{1.97}$	0.921	244.786
	$W_{叶} = 1/(0.000\ 033\ 3 + 0.003\ 69 \times 0.815^D)$ (优)	0.922	247.431
全株生物量	$W_{全} = 18\ 061.265 + 15.284(D^2 H) + 0.003(D^2 H)^2$	0.963	260.698
	$W_{全} = 307.22(D^2 H)^{0.742}$	0.962	528.597
	$W_{全} = 1/(0.000\ 002\ 5 + 0.000\ 056\ 98 \times 0.999^{(D^2 H)})$	0.910	212.486
	$W_{全} = -4\ 519.819 - 1\ 397.454D + 597.908D^2$	0.981	525.524
	$W_{全} = 262.239D^{2.215}$	0.981	1\ 091.562
	$W_{全} = 1 / (0.000\ 002\ 5 + 0.000\ 372 \times 0.771^D)$ (优)	0.982	1\ 154.163

表 7 混交林中山杨生物量和碳储量

Table 7 Biomass and carbon storage of *P. davidiana* in the ropencedrymion

径阶	株数	平均 胸径/cm	平均 树龄/a	生物量/(kg · hm ⁻²)			碳储量/(kg · hm ⁻²)			总量 /(kg · hm ⁻²)
				单株	林分	树干	树枝	树叶	树根	
[0,4)	2	9	3.1	5.86	11.71	3.58	0.92	0.32	1.15	5.95
[4,8)	13	12	5.8	11.70	152.10	46.44	11.91	4.10	14.88	77.32
[8,12)	33	18	10.3	35.82	1\ 182.01	360.89	92.52	31.89	115.60	600.90
[12,16)	63	22	14.0	81.08	5\ 108.02	1\ 559.57	399.82	137.83	499.58	2\ 596.79
[16,20)	51	27	18.1	169.98	8\ 668.75	2\ 646.72	678.52	233.90	847.83	4\ 406.98
[20,24)	46	36	21.9	266.84	12\ 274.75	3\ 747.69	960.77	331.20	1\ 200.51	6\ 240.18
[24,28)	19	46	25.1	328.19	6\ 235.65	1\ 903.85	488.08	168.25	609.87	3\ 170.05
总计	227				33\ 632.98	10\ 268.73	2\ 632.53	907.50	3\ 289.42	17\ 098.19

之间,其 [8,12) 径阶的生物量净增长是 [4,8) 径阶的生物量的 2.06 倍,其次是 [8,16) 径阶之间高径阶是低径阶净增长为 1.26 倍,而 [0,8)、[12,20)、[16,24)、[20,28) 的高径阶是低径阶净增长依次为 1.00、1.10、0.57、0.23 倍,净增长成递减趋势后其平稳。说明幼龄林是山杨的速生期而生长很快,其次为是中龄林的的生长迅速,其间林分生物量增长迅速,混交林中山杨总生物量 33 632.98 kg · hm⁻²。山杨林分碳储量主要分布在 [16,28) 径阶之间,其中在

[20,24) 径阶分布的碳储量最多,为 6 240.18 kg · hm⁻²,其次为 [16,20) 径阶。山杨的地上碳储量为 13 808.77 kg · hm⁻²,各器官的碳储量依次为:树干碳储量为 10 268.73 kg · hm⁻²,树枝碳储量为 2 632.53 kg · hm⁻²,树叶碳储量为 907.50 kg · hm⁻²,树根碳储量为 3 289.42 kg · hm⁻²,分别占总碳储量的 60.06%(树干)、15.40%(树枝)、5.31%(树叶)、19.24%(树根),碳储量的分布情况和生物量一样,都是树干 > 树根 > 树枝 > 树叶。

3 结论与讨论

山杨在 9~48 a 的生长过程中,总生物量的变化范围是 4 099.80~344 156.95 g。山杨的生物量各器官分配情况为干生物量百分比均值为 63.03%,所占比例最大,叶的生物量百分比为 5.44%,所占百分比均值最小。通过研究表明各器官生物量分配从大到小的顺序是干>根>枝>叶。

山杨的胸径、树高和干、根、枝、叶生物量之间有较强的相关性,其相关系数绝对值 >0.7 ,说明各器官生物量和各测树因子适合做回归模型。山杨的干、根和全生物量判定系数 R^2 都在 0.9 以上,模型能很好的解释因变量的变化。树干生物量模型是以 $D_{1.3}$ 为自变量的幂函数模型,其模型为 $W_{干} = 111.985D_{1.3}^{1.702}$, ($R^2 = 0.983$);树根生物量模型是以 D 为自变量的 Logistic 方程,其模型为 $W_{根} = 1/(0.000\ 0121 + 0.001\ 91 \times 0.77^D)$, ($R^2 = 0.973$);全生物量模型选取以 D 为自变量的 Logistic 方程 $W_{全} = 1/(0.000\ 002\ 5 + 0.000\ 372 \times 0.771^D)$, ($R^2 = 0.982$);树枝生物量模型和树叶生物量模型相似,分别选取幂函数(自变量为 $D^2 H$)、Logistic 方程(自变量为 D),其模型依次为 $W_{枝} = 119.21(D^2 H)^{0.578}$, ($R^2 = 0.907$)和 $W_{叶} = 1/(0.000\ 033\ 3 + 0.003\ 69 \times 0.815^D)$, ($R^2 = 0.922$)。

根据山杨的生物量的最优模型,推测出山杨各径阶的单株生物量,通过计算得到对针阔混交林中的山杨总生物量预估值为 33 632.98 kg·hm⁻²,山杨的地上碳储量为 13 808.77 kg·hm⁻²,各器官的林分碳储量依次为:树干碳储量为 10 268.73 kg·hm⁻²,树枝碳储量为 2 632.53 kg·hm⁻²,树叶碳储量为 907.50 kg·hm⁻²,树根碳储量为 3 289.42 kg·hm⁻²,分别占总碳储量的 60.06%(树干)、15.40%(树枝)、5.31%(树叶)、19.24%(树根)。

试验没有对标准地内少数的大径材做解析分析,主要是因为大径材的数量很少,进而不能形成足够的数量支持,数据量不能满足回归分析,因此没有选取大径级林木。除了研究的林型之外,还有其他的有代表性的混交林林型,例如云杉+落叶松+白桦,华北落叶松+白桦,油松+蒙古栎,还有阔叶混交林山杨+白桦,白桦+黑桦等,要进一步分析北沟林场的混交林生物量分配情况还需要进行进一步的细致研究。本研究只是考虑了建立模型的简捷性和实际测量难以程度,主要选取了胸径、树高 2 个因子。并没有涉及影响生物量的其他因子,例如地理因素、气候因素、土壤的理化性质、以及人为因等。

这些因素中的每一项都可以作为一个单独的方向进一步研究林木生物量与他们之间的关系,需要进行进一步的调查研究。

参考文献:

- [1] 赵海珍,王德艺,张景兰,等.雾灵山自然保护区森林的碳汇功能评价[J].河北农业大学学报,2001,24(4):43-47.
ZHAO H Z,WANG D Y,ZHANG J L,*et al.* The carbon-pooling ability of the forest in Wuling Mountain Natural Reserve [J]. Journal of Agricultural University of Hebei,2001,24(4): 43-47. (in Chinese)
- [2] 焦燕,胡海清.黑龙江森林植被碳储量及其动态变化[J].应用生态学报,2005,16(12):2248-2252.
JIAO Y,HU H Q. Carbon storage and its dynamics of forest vegetations in Heilongjiang Province [J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2005,16(12):2248-2252. (in Chinese)
- [3] 李文华,赵景柱.生态学研究回顾与展望[M].北京:气象出版社,2004:379-401.
- [4] NAKAZAWA T. Variation and cycles of carbon dioxide and methane[J]. Global Environmental Research,1997,2:5-14.
- [5] YADVINDER M,JOHN G. Tropical forests and atmospheric carbon dioxide tree [J]. Trends in Ecology&Evolution,2000, 15(8):332-337.
- [6] 李春明,杜纪山,张会儒.间伐对长白落叶松林分生物量的影响[J].西北林学院学报,2008,23(6):69-73.
LI C M,DU J S,ZHANG H R. Influence of thinning on the biomass of *Larix olgensis* plantation [J]. Journal of Northwest Forestry University,2008,23(6):69-73. (in Chinese)
- [7] 曹吉鑫,田赞,王小平,等.森林碳汇的估算方法及其发展趋势[J].生态环境学报,2009,18(5):2001-2005.
CAO J X,TIAN Y,WANG X P,*et al.* Estimation methods of forest sequestration and their prospects [J]. Ecology and Environmental Sciences,2009,18(5):2001-2005. (in Chinese)
- [8] BALDWIN C V,PETERSON K D,CLARK III A C,*et al.* The effects of spacing and thinning on stand and tree characteristics of 38-year-old Loblolly pine [J]. Forest Ecology and Management,2000,137:91-102.
- [9] 李大林,姜鹏,王玉峰.燕山山地华北落叶松单株生物量与生产力研究[J].河北林果研究,2011,22(4):336-339.
LI D L,JIANG P,WANG Y F. Study on individual biomass and productivity of Yanshan Mountain *Larix principis-rupprechtii* [J]. Hebei Journal of Forestry and Orchard Research, 2011,22(4):336-339. (in Chinese)
- [10] 应天玉,李明泽,范文义.哈尔滨城市森林碳储量的计算[J].东北林业大学学报,2009,37(9):33-35.
YING T Y,LI M Z,FAN W Y. Estimation of carbon storage of urban forests in Harbin [J]. Journal of Northeast Forestry University,2009,37(9):33-35. (in Chinese)
- [11] 李晓曼,康文星.广州市城市森林生态系统碳汇功能研究[J].中南林业科技大学学报,2008,28(1):8-13.
LI X M,KANG W X. Function of carbon sink of forest ecosystem in Guangzhou [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology,2008,28(1):8-13. (in Chinese)

(下转第 83 页)

- ZHANG L,ZHAO R J,FEI B H. Morphological analysis of the fibers of *Populus*×*euramericana* cv. “74/76” [J]. China Pulp & Paper,2008,27(5):28-31. (in Chinese)
- [7] ZHANG P D,WU F,KANG X Y. Genotypic variation in wood properties and growth traits of triploid hybrid clones of *Populus tomentosa* at three clonal trials[J]. Tree Genetics & Genomes,2012(8):1041-1050.
- [8] MARIA J G,JOSE L L,ALEXANDRE A. Genetic correlation between wood quality traits of *Pinus pinaster*[J]. Annals of Forest Science,2008,65 (7): 703-708.
- [9] ZHANG S Y,YU Q,CHAURET G, et al. Selection for both growth and wood properties in hybrid poplar clones[J]. Forest Science,2003,49: 901-908.
- [10] MIRANDA I,PEREIRA H. Variation of pulpwood quality with provenances and site in *Eucalyptus globules*[J]. Annals of Forest Science,2002,59,(3): 283-291.
- [11] 聂少凡,林金国,林思祖,等. 人工杉木林木材纤维形态变异规律的研究[J]. 西北林学院学报,1998,13(4):9-13.
NIE S F,LIN J G,LIN S Z, et al. A study on the variation fiber morphology of Chinese fir wood from plantation [J]. Journal of Northwest Forestry University, 1998, 13(4): 9 - 13. (in Chinese)
- [12] 廖声熙,崔凯,张鹏,等. 翠柏木材管胞形态和结晶度的株内变异[J]. 西北林学院学报,2012,27(6):159-164.
LIAO S X,CUI K,ZHANG P, et al. Variation of wood tracheid character and crystallinity of *Calocedrus macrolepi*[J]. Journal of Northwest Forestry University,2012,27(6):159 - 164. (in Chinese)
- [13] 杨红旗,刘艳萍,陈广辉,等. 不同立地条件的白蜡杆生长规律及纤维形态特征研究[J]. 西北林学院学报,2012,27(3):197-200.
YANG H Q,LIU Y P,CHEN G H, et al. Growth regularity and fiber morphology of *Fraxinus chinensis* growing indifferent site conditions [J]. Journal of Northwest Forestry University,2012,27(3):197-200. (in Chinese)
- [14] HERMAN M,DUTILLEUL P,AVELLA S T. Growth rate effects on temporal trajectories of ring width,wood density, and mean tracheid length in Norway spruce (*Picea abies*) [J]. Wood and Fiber Science,1998,30(1): 6-17.
- [15] ZAMUDIO F,BAETTYG R,VERGARA A, et al. Genetic trends in wood density and radial growth with cambial age in a radiata pine progeny test [J]. Annals of Forest Science, 2002,59(5/6): 541-549.
- [16] YANCHUK A D,DANCIK B P,MICKO M M. Variation and heritability of wood density and fiber length of trembling aspen in Alberta,Canada[J]. Silvae Genetica,1984,33:11-16.
- [17] 姜笑梅,张立非,张绮纹,等. 36 个美洲黑杨无性系基本材性遗传变异的研究[J]. 林业科学研究,1994,7(3): 253-258.
JIANG X M,ZHANG L F,ZHANG Q W. Genetic variation in basic wood properties of 36 clones of *Populus deltoids*[J]. Journal of Forest Research,1994,7(3):253-258. (in Chinese)
- [18] 解荷锋,于中奎,陈代良,等. 黑杨纸浆材品种的材性遗传分析和选择[J]. 山东林业科技,1996(1): 1-5.
XIE H F,YU Z K,CHEN D L, et al. Selection and genetic analysis for wood properties in pulpwood varieties of black poplar [J]. Journal of Shandong Forest Science,1996(1): 1-5. (in Chinese)
- [19] 吴峰,张平冬,康向阳,等. 北京地区栽培的三倍体毛白杨纤维性状遗传变异[J]. 东北林业大学学报,2011,39(6):4-7.
WU F,ZHANG P D,KANG X Y, et al. Genetic variation of fiber properties of triploid Chinese white poplar planted in Beijing[J]. Journal of Northeast Forestry University,2011,39 (6):4-7. (in Chinese)

(上接第 20 页)

- [12] 接程月. 基于 FORECAST 模型不同轮伐期杉木人工林和云杉林碳储量的研究[D]. 杭州,浙江农林大学,2011.
- [13] 马钦彦,陈退林,王娟,等. 华北主要森林类型建群种的含碳率分析[J]. 北京林业大学学报,2002,24(5/6): 96-100.
MA Q Y,CHEN X L,WANG J, et al. Carbon content rate in constructive species of main forest types in northern China [J]. Journal of Beijing Forestry University,2002,24(5/6): 96-100. (in Chinese)
- [14] 唐守正,郎奎建,李海奎. 统计和生物数学模型计算[M]. 北京:科学出版社,2008:291-293.
- [15] 张红兵,贾来喜,李潞. SPSS 宝典[M]. 北京:电子工业出版社,2007:261-294.
- [16] 李佳,邵全琴,刘纪远. 江西省兴国县森林碳储量动态变化特征[J]. 西北林学院学报,2012,27(2):163-168.
LI J,SHAO Q Q,LIU J Y. Characteristics of spatio-temporal dynamic changes of the carbon storage of forest vegetation in Xingguo County[J]. Journal of Northwest Forestry University,2012,27(2):163-168. (in Chinese)
- [17] MURILLO. Temporal variations in the carbon budget of forestecosystems in Spain[J]. Ecol. ,1997,7(3):461-469.
- [18] SANGAKKARA U R,FREHNER M,NOSBERGER J. Influence of soil moisture and fertilizer potassium on the vegetative growth of mungbean (*Vigna radiate* L. Wilczek) and vovpea (*Vigna radiate* L. Walp) [J]. Agronomy and Crop Science,2001,186: 73-81.
- [19] FANG J Y,CHEN A P,PENG C H, et al. Changes in forest-biomass carbon storage in China between 1949 and 1998[J]. Science,2001,292:2320-2322.
- [20] 郭倩倩,贺康宁,刘硕,等. 青海省大通县青海云杉林碳储量初步估算[J]. 西北林学院学报,2011,26(6): 51-55.
GUO Q Q,HE K N,LIU S, et al. Preliminary estimate of vegetation carbon storage of *Picea crassifolia* in Datong Country of Qinghai Province[J]. Journal of Northwest Forestry University,2011,26(6): 51-55. (in Chinese)