

不同造林方式小黑杨生产力及固碳量研究

刘丽颖, 马 燕, 张绍轩, 谷建才*, 王桂真

(河北农业大学 林学院, 河北 保定 071001)

摘 要:以张家口坝上张北县、沽源县的无性繁殖造林小黑杨为研究对象,根据生物量模型计算插条、断根和埋桩造林的小黑杨林分的生物量,利用碳储率算出含碳量,进而得出无性繁殖造林小黑杨的生产力和固碳量。结果表明:1)插条小黑杨地上部分生产力为 $1\,425.73\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,其干、枝、叶的生产力分别为 $1\,094.91$ 、 $242.76\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 和 $88.06\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$;断根小黑杨地上部分生产力为 $1\,048.86\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,其干、枝、叶的生产力分别为 813.75 、 $167.98\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 和 $67.13\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$;埋桩小黑杨地上部分生产力为 $780.23\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,其干、枝、叶的生产力分别为 618.62 、 $106.75\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 和 $54.86\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。2)插条小黑杨干、枝、叶的固碳量分别为 528.84 、 $119.68\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 和 $42.18\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,地上部分总固碳量为 $690.71\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。断根小黑杨干枝叶的固碳量分别为 393.04 、 $82.81\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 和 $32.16\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,地上部分总固碳量为 $508.01\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。埋桩小黑杨干枝叶的固碳量分别为 298.79 、 $52.63\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 和 $26.28\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,地上部分总固碳量为 $377.70\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。3)无性繁殖造林小黑杨的地上部分年平均每株生产力和年平均每株固碳量都表现为:断根小黑杨>埋桩小黑杨>插条小黑杨。

关键词:张家口坝上;无性繁殖造林;小黑杨;生产力;固碳量

中图分类号:S792.11

文献标志码:A

文章编号:1001-7461(2014)03-0037-04

Productivity and Carbon Fixation Capacity of *Populus simonii* × *P. nigra* under Different Afforestation Patterns

LIU Li-ying, MA Yan, ZHANG Shao-xuan, GU Jian-cai*, WANG Gui-zhen

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

Abstract: Taking *Populus simonii* × *P. nigra* afforested by different asexual reproduction methods (cutting, layerage, and stump burring) in Zhangbei and Guyuan counties around Bashang region of Zhangjiakou as research object, its productivity and carbon fixation capacity were examined by calculating the related biomass. The results showed that 1) the productivities of aboveground parts, i. e., tree trunks, branches, and leaves were $1\,094.91$, 242.76 and $88.06\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ (totally $1\,425.73\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$), respectively. For the second method, the corresponding values were 813.75 , 167.98 , and $67.13\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ($1\,048.86\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$). For the third method, the corresponding values were 618.62 , 106.75 and $54.86\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ($780.23\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$), respectively. 2) The amounts of carbon fixation of the trunks, branches, and leaves for the first method 528.84 , 119.68 , and $42.18\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ (totally $690.71\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$), respectively. For the second method, the corresponding values were 393.04 , 82.81 , and $32.16\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ (totally $508.01\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$). And for the third one, the corresponding values were 298.79 , 52.63 , and $26.28\text{ kg}\cdot\text{a}^{-1}\cdot\text{hm}^{-2}$ (totally $377.70\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$), respectively. 3) Annual mean productivity and carbon fixation capacity of the three methods were in the order of the second

收稿日期:2013-09-17 修回日期:2013-10-25

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划(2011BAD38B05)。

作者简介:刘丽颖,女,在读硕士,研究方向:森林资源管理理论与技术。E-mail:897939972@qq.com

* 通信作者:谷建才,男,教授,研究方向:森林经营与资产评估。E-mail:gujiancai@126.com

method>the third > the first.

Key words: Bashang in Zhangjiakou; asexual reproduction; *Populus simonii* × *P. nigra*; productivity; carbon fixation amount

森林生物量是森林生态系统中的数量特征的最基本表现,是森林经营和开发利用的价值体现,是森林中物质循环和能量转换的载体,森林生物量约是全球陆地植被生物量的 90% 左右,其反映了森林的固碳能力^[1-10]。很多学者已对杨树的碳汇功能进行了研究,而张家口坝上地区的杨树的碳汇的研究很少,多数仅研究了碳储量,而未研究固碳能力,因此,对小黑杨的碳汇功能还不清楚^[9-13]。在不同造林方式对小黑杨生产力及固碳量研究^[14]的基础上,根据不同无性繁殖造林小黑杨生物量的拟合模型,为估测坝上地区小黑杨单位面积的生物量和碳储量提供技术支持和理论依据。

1 材料与方 法

1.1 标准地设置

选取林分生长状况良好且林型基本相同的小黑杨林带,共选取 4 块标准地,其面积为 1 800 m² (100 m × 18 m) 的林带。每个标准地都包含插条、断根和埋桩 3 种无性繁殖造林的 2 到 3 种方式。其标准地的基本情况见表 1,表中 1 表示有此类繁殖方式,0 表示没有此类繁殖方式,括号内为标准地内各繁殖方式所占株数^[14]。此 3 类繁殖造林方式已经在试验区广泛的应用。

表 1 小黑杨林带标准地基本情况

Table 1 Basic situations of the sampling plots of *Populus simonii* × *P. nigra* forest

树种	标准地编号			
	1	2	3	4
插条小黑杨	1(610)	1(729)	1(268)	1(695)
断根小黑杨	1(285)	0(0)	1(514)	1(530)
埋桩小黑杨	1(318)	1(416)	1(410)	0(0)
株数/(株·hm ⁻²)	1 213	1 145	1 193	1 225

1.2 小黑杨林分的生物量及碳储量

小黑杨林分生物量是根据已有单株生物量模型推算出来的,其无性繁殖造林小黑杨林分生物量模型如下:

插条小黑杨

$$W_{\text{干}} = 1/(1/90\ 000 + 0.001\ 41 \times 0.563^D) R^2 = 0.978$$

$$W_{\text{枝}} = 1/(1/20\ 000 + 0.004\ 49 \times 0.584^D) R^2 = 0.979$$

$$W_{\text{叶}} = 1/(1/7\ 000 + 0.013 \times 0.576^D) R^2 = 0.971$$

断根小黑杨

$$W_{\text{干}} = 2\ 070.648 \times D^{1.476} R^2 = 0.985$$

$$W_{\text{枝}} = 602.515 \times D^{1.339} R^2 = 0.970$$

$$W_{\text{叶}} = 202.055 \times D^{1.409} R^2 = 0.986$$

埋桩小黑杨

$$W_{\text{干}} = 1/(1/90\ 000 + 0.002\ 62 \times 0.507^D) R^2 = 0.985$$

$$W_{\text{枝}} = 1/(1/15\ 000 + 0.008\ 73 \times 0.526^D) R^2 = 0.985$$

$$W_{\text{叶}} = 1/(1/8\ 000 + 0.027\ 60 \times 0.511^D) R^2 = 0.967$$

地上各器官含碳率参考文献 [9-11],含碳率依次为树干(0.483)、树枝(0.493)、树叶(0.479)。碳储量据林分各器官干物质重量乘以其含碳率而求得。

1.3 小黑杨林分的生产力及年固碳量计算

小黑杨的林分生物量和碳储量都是以林分年龄为基础,用林分生物量和碳储量除以林分年龄就可得到林分平均生产力和年固碳量^[16],除以株数,通过计算可得到单株的平均生产力和年固碳量。

1.4 数据分析及处理

本文数据分析及处理主要运用的软件有 Excel 2007 和 SPSS18.0 进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 小黑杨林分生物量 and 生产力

不同繁殖造林小黑杨的树干生物量、树枝生物量和树叶生物量,以及干枝叶的生产力结果(表 2)表明,小黑杨林分中的插条小黑杨的地上总生物量为 45 623.50 kg·hm⁻²,根、茎、叶的总生物量依次为 35 037.26、7 768.28 kg·hm⁻² 和 2 817.96 kg·hm⁻²。小黑杨林分中的插条小黑杨的地上总生产力为 1 425.73 kg·hm⁻²·a⁻¹,根、茎、叶的总生产力依次为 1 094.91、242.76 kg·hm⁻²·a⁻¹ 和 88.06 kg·hm⁻²·a⁻¹。小黑杨林分中的断根小黑杨的地上总生物量为 35 661.14 kg·hm⁻²,根、茎、叶的总生物量依次为 27 667.50、5 711.16 kg·hm⁻² 和 2 282.49 kg·hm⁻²。小黑杨林分中的断根小黑杨的地上总生产力为 1 048.86 kg·hm⁻²·a⁻¹,根、茎、叶的总生产力依次为 813.75、167.98 kg·hm⁻²·a⁻¹ 和 67.13 kg·hm⁻²·a⁻¹。林分中的埋桩小黑杨的地上总生物量为 26 527.79 kg·hm⁻²,根、茎、叶的总生物量依次为 21 033.11、3 629.53 kg·hm⁻² 和 1 865.15 kg·hm⁻²。小黑杨林分中的埋桩小黑杨的地上总生产力为 780.23 kg·hm⁻²·a⁻¹,根、茎、叶的总生产力依次为 618.62、106.75 kg·hm⁻²·a⁻¹ 和 54.86 kg·hm⁻²·a⁻¹。

表 2 小黑杨林分地上部分生物量和生产力

Table 2 Biomass and productivity of *P. simonii*×*P. nigra* stand above the ground

造林方式		生物量/(kg·hm ⁻²)				生产力/(kg·hm ⁻² ·a ⁻¹)			
		干	枝	叶	总计	干	枝	叶	总计
插条	林分总计	35 037.26	7 768.28	2 817.96	45 623.50	1 094.91	242.76	88.06	1 425.73
	单株平均	60.83	13.49	4.89	79.21	1.90	0.42	0.15	2.48
断根	林分总计	27 667.50	5 711.16	2 282.49	35 661.14	813.75	167.98	67.13	1 048.86
	单株平均	83.34	17.20	6.87	107.41	2.45	0.51	0.20	3.16
埋桩	林分总计	21 033.11	3 629.53	1 865.15	26 527.79	618.62	106.75	54.86	780.23
	单株平均	73.54	12.69	6.52	92.75	2.16	0.37	0.19	2.73

通过比较无性繁殖造林小黑杨的平均每株生产力和平均每株的干、枝、叶生产力,可以看出平均每株树干生产力(kg·hm⁻²·a⁻¹·株⁻¹)依次为:断根小黑杨(2.45) > 埋桩小黑杨(2.16) > 插条小黑杨(1.90);平均每株树枝生产力依次为:断根小黑杨(0.51) > 插条小黑杨(0.42) > 埋桩小黑杨(0.37);平均每株树叶生产力依次为:断根小黑杨(0.20) > 埋桩小黑杨(0.19) > 插条小黑杨(0.15);平均每株树地上部分生产力依次为:断根小黑杨(3.16) > 埋桩小黑杨(2.73) > 插条小黑杨(2.48)。

2.2 小黑杨林分碳储量及固碳量

据表 2 中 3 种无性繁殖造林小黑杨人工林林分的树干、树枝和树叶部分的生物量乘以含碳率得表 3。可以看出小黑杨林分中的插条小黑杨的地上总碳储量为 22 102.56 kg·hm⁻²,其树干碳储量所占比例为 76.6%,插条小黑杨的树枝碳储量所占比例为 17.3%和树叶碳储量所占比例为 6.1%,插条小黑杨平均每株树干碳储量为 29.38 kg·hm⁻²·a⁻¹·株⁻¹,树枝碳储量为 6.65 kg·hm⁻²·a⁻¹·株⁻¹,树叶碳储量为 2.34 kg·hm⁻²·a⁻¹·株⁻¹,地上部分碳储量为 38.37 kg·hm⁻²·a⁻¹·株⁻¹。插条小黑杨年平均每株树的干、枝、叶固碳量依次为 0.92、0.21 kg·a⁻¹·株⁻¹和 0.07 kg·a⁻¹·株⁻¹,地上部分年平均固碳量为 1.20 kg·a⁻¹·株⁻¹。小黑杨林分中的断根小黑杨的地上总碳储量为 17 272.31 kg·hm⁻²,其树干碳储量所占比例为 77.4%,断根小黑杨的树枝碳储量所占比例为 16.3%和树叶碳储量所占比例为 6.3%,断根小

黑杨平均每株树干碳储量为 40.25 kg·hm⁻²·a⁻¹·株⁻¹,树枝碳储量为 8.48 kg·hm⁻²·a⁻¹·株⁻¹,树叶碳储量为 3.29 kg·hm⁻²·a⁻¹·株⁻¹,地上部分碳储量为 52.03 kg·hm⁻²·a⁻¹·株⁻¹。断根小黑杨年平均每株树的干、枝、叶固碳量依次为 1.18、0.25 kg·a⁻¹·株⁻¹和 0.10 kg·a⁻¹·株⁻¹,地上部分年平均固碳量为 1.53 kg·a⁻¹·株⁻¹。小黑杨林分中的埋桩小黑杨的地上总生物量为 12 841.76 kg·hm⁻²,其树干碳储量所占比例为 79.1%,埋桩小黑杨的树枝碳储量所占比例为 13.9%和树叶碳储量所占比例为 7.0%。埋桩小黑杨平均每株树干碳储量为 35.52 kg·hm⁻²·a⁻¹·株⁻¹,树枝碳储量为 6.26 kg·hm⁻²·a⁻¹·株⁻¹,树叶碳储量为 3.12 kg·hm⁻²·a⁻¹·株⁻¹,地上部分碳储量为 44.90 g·hm⁻²·a⁻¹·株⁻¹。埋桩小黑杨年平均每株树的干、枝、叶固碳量依次为 1.04、0.18 kg·a⁻¹·株⁻¹和 0.09 kg·a⁻¹·株⁻¹,地上部分年平均固碳量为 1.32 kg·a⁻¹·株⁻¹。

通过比较无性繁殖造林小黑杨的平均每株固碳量和平均每株的干、枝、叶固碳量,可以看出平均每株树干固碳量(kg·a⁻¹·株⁻¹)依次为:断根小黑杨(1.18) > 埋桩小黑杨(1.04) > 插条小黑杨(0.92);平均每株树枝固碳量依次为:断根小黑杨(0.25) > 插条小黑杨(0.21) > 埋桩小黑杨(0.18);平均每株树叶固碳量依次为:断根小黑杨(0.10) > 埋桩小黑杨(0.09) > 插条小黑杨(0.07);平均每株树地上部分固碳量依次为:断根小黑杨(1.53) > 埋桩小黑杨(1.32) > 插条小黑杨(1.20)。

表 3 小黑杨林分地上部分碳储量和固碳量

Table 3 Carbon storage and equestrian of *P. simonii*×*P. nigra* stand above the ground

造林方式	株数	碳储量/(kg·hm ⁻²)				固碳量/(kg·hm ⁻² ·a ⁻¹)				
		干	枝	叶	总计	干	枝	叶	总计	
插条小黑杨	林分总计	576	16 923.00	3 829.76	1 349.80	22 102.56	528.84	119.68	42.18	690.71
	单株平均	—	29.38	6.65	2.34	38.37	0.92	0.21	0.07	1.20
断根小黑杨	林分总计	332	13 363.40	2 815.60	1 093.31	17 272.31	393.04	82.81	32.16	508.01
	单株平均	—	40.25	8.48	3.29	52.03	1.18	0.25	0.10	1.53
埋桩小黑杨	林分总计	286	10 158.99	1 789.36	893.41	12 841.76	298.79	52.63	26.28	377.70
	单株平均	—	35.52	6.26	3.12	44.90	1.04	0.18	0.09	1.32

注:平均每株的碳储量单位为:kg·hm⁻²·株⁻¹,平均每株的固碳量单位为:kg·a⁻¹·株⁻¹。

4 结论与讨论

小黑杨林分中地上总生物量表现为:插条小黑杨为 $45\ 623.50\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,断根小黑杨为 $35\ 661.14\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;埋桩小黑杨为 $26\ 527.79\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。小黑杨林分中地上单株总生产力的计算值为:插条小黑杨为 $1\ 425.73\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$;断根小黑杨为 $1\ 048.86\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$;埋桩小黑杨为 $780.23\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。插条小黑杨平均每株树干碳储量为 $29.38\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$;断根小黑杨平均每株树干碳储量为 $40.25\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$;埋桩小黑杨平均每株树干碳储量为 $35.52\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。小黑杨林分中,每株树的地上部分年平均固碳量为:插条小黑杨为 $1.20\ \text{kg} \cdot \text{a}^{-1} \cdot \text{株}^{-1}$;断根小黑杨为 $1.53\ \text{kg} \cdot \text{a}^{-1} \cdot \text{株}^{-1}$;埋桩小黑杨为 $1.32\ \text{kg} \cdot \text{a}^{-1} \cdot \text{株}^{-1}$ 。无性繁殖造林小黑杨的年平均每株的生产力和固碳量表现情况为:地上部分的年平均每株生产力和固碳量表现为,断根小黑杨>埋桩小黑杨>插条小黑杨;树干的年平均每株生产力和固碳量表现为,断根小黑杨>埋桩小黑杨>插条小黑杨;树枝的年平均每株生产力和固碳量表现为,断根小黑杨>插条小黑杨>埋桩小黑杨;树叶的年平均每株生产力和固碳量表现为,断根小黑杨>埋桩小黑杨>插条小黑杨。

本文属于张家口坝上地区不同无性繁殖造林小黑杨生物量与碳储量研究及水源涵养林的构建的一部分,通过具体实测数据建立了小黑杨的生物量模型,将用于估测无性繁殖造林小黑杨林分的地上生物量、碳储量以及生产力和固碳量等。未对立地条件的影响进行分析,宜在今后的研究中加以补充。同时,杨树根系生物量获取本身是一个复杂、繁重的体力劳动,还需要很多的时间对外业样品进行处理,由于无性繁殖的特殊性,根系差别很大,今后需做单独的根系生物量研究。

参考文献:

- [1] 惠淑荣,于洪飞.日本落叶松林分生长量 Richards 生长方程的建立与应用[J].生物数学学报,2003,18(2):204-206.
HUI S R, YU H F. The application of Richards growth equation in stand growth estimate[J]. Journal of Biomathematics, 2003, 18(2): 204-206. (in Chinese)
- [2] 韩东锋,孙丙寅,孙德祥.不同营造方式对秦岭油松人工林生长影响的研究[J].西北林学院学报,2011,26(6):154-158
HAN D F, SUN B Y, SUN D X. *et al.* Effects of different forestation patterns on the growth of *Pinus tabulaeformis* stands on Qinling Mountains[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2011, 26(6): 154-158. (in Chinese)
- [2] 陈平,谷建才,石丽丽,等.华北落叶松生长与气象因子的典型

相关分析[J].西北林学院学报,2010,25(4):11-13.

CHEN P, GU J C, SHI L L, *et al.* Canonical correlation analysis between the growth of *Larix principis-rupprechtii* and climatic factors[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2010, 25(4): 11-13. (in Chinese)

- [3] 肖东耀,廖超英,杨晓娟,等.太白山北坡太白红杉(*Larix chinensis*)胸径生长规律研究[J].西北林学院学报,2012,27(4):194-198.
XIAO D Y, LIAO C Y, YANG X J, *et al.* Regularities of DBH growth of *Larix chinensis* in the north slope of Taibai mountain[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012, 27(4): 194-198. (in Chinese)
- [4] 邢黎峰,法永乐,陈文周,等. Richards 林木生长模型及其适用性[J].山东林业科技,1997(5):16-19.
- [5] 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)
- [6] 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)
- [7] 姜鹏,董树国,隋玉龙,等.北沟林场华北落叶松生物量模型的研究[J].中南林业科技大学学报,2013,33(7):131-135.
JIANG P, DONG S G, SUI Y L, *et al.* Study on biomass model of *Larix principis-rupprechtii* in Beigou forest farm [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2013, 33(7): 131-135. (in Chinese)
- [8] PIELKE R A Jr, CONANT R T. Best practices in prediction for decision-making: lessons from the atmospheric and earth sciences[J]. Ecology, 2003, 84(6): 1351-1358.
- [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,2011,26(4):336-339.
- [10] 袁晓红,李际平.杉木人工林南北坡向树高一胸径生长曲线研究[J].西北林学院学报,2012,27(2):180-183.
YUAN X H, LI J P. Height, DBH growth models of fir artificial forest on northern and southern slopes [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012, 27(2): 180-183. (in Chinese)
- [11] 陈军.杨树人工林地上生物量和碳储量研究[D].北京:北京林业大学,2007.
- [12] 杨晓菲.河南西平县杨树人工林碳储量及其与环境响应研究[D].北京林业大学,2011.
- [13] 冯慧想.杨树人工林生长特性及生物量研究[D].北京:中国林业科学研究院,2007.
- [14] 姜鹏,崔丽红,秦召文,等.小黑杨胸径和树高的生长动态[J].西北林学院学报,2013,28(6):129-133
JIANG P, CUI L H, QIN Z W, *et al.* Tree height and DBH growth models of *Populus simonii* × *P. nigra* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2013, 28(6): 129-133. (in Chinese)