

# 基于森林资源清查资料的落叶松林生物量 和净生长量估算模式

王玉辉<sup>1,2</sup> 周广胜<sup>1</sup> 蒋延玲<sup>1</sup> 杨正宇<sup>1</sup>

<sup>1</sup>中国科学院植物研究所植被数量生态学开放研究实验室, 北京 100093; <sup>2</sup>中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110015

**摘要** 丰富的森林资源清查资料是了解各类森林材积准确信息的重要途径, 如果能将这些资源用于估算森林生物量和生产力的动态变化, 不仅对于科学地指导森林的经营管理, 而且对于全球变化的研究, 特别是区域尺度的生产力模型验证, 都具有重要意义。根据我国落叶松(*Larix*)林生物量和材积的实际调查资料, 探讨了基于森林资源清查资料(森林材积 $V$ 和林龄 $A$ )估算森林生物量和生产力的方法, 指出无论是人工林还是天然林, 落叶松林的生物量与其蓄积量、生产力与其年均净生物生产量( $B/A$ )和年均净蓄积生产量( $V/A$ )均呈双曲线关系, 但落叶松林的生产力与其生物量( $B$ )关系不明显, 并分别建立了人工和天然落叶松林的相关模型; 所建模型克服了将森林生物量与其蓄积量之比作为常数的不足, 并考虑了林龄对于森林生产力的影响。

**关键词** 森林生物量模式 森林生产力模式 森林资源清查资料 落叶松林

## ESTIMATING BIOMASS AND NPP OF *LARIX* FORESTS USING FOREST INVENTORY DATA (FID)

WANG Yu-Hui<sup>1,2</sup> ZHOU Guang-Sheng<sup>1</sup> P. JIANG Yan-Ling<sup>1</sup> and YANG Zheng-Yu<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratory of Quantitative Vegetation Ecology, Institute of Botany, the Chinese Academy of Science, Beijing 100093

<sup>2</sup> Institute of Applied Ecology, the Chinese Academy of Sciences, Shenyang, 110015

**Abstract** Forest inventory data (FID) are an important resource for compiling accurate information of forest volume at landscape and regional scales, and are useful for understanding the dynamics of forest biomass, net primary production (NPP) and carbon cycling, especially in consideration of compliance with the Kyoto Protocol on greenhouse gas reduction. Field and literature data of *Larix* forests in China show that the relationships between biomass and volume, net production and net annual biomass increment or net annual volume increment could be expressed as hyperbolic curves for both natural and planted *Larix* forests. However, the relationship between net production and biomass was not clear. A set of new FID-based biomass models and net production models for both natural and planted *Larix* forest were developed. These models take into account the change in the ratio of forest biomass and volume with the stand age and the effect of stand age on forest NPP.

**Key words** Forest biomass model, NPP, Forest inventory data, *Larix*

随着国际全球变化与陆地生态系统关系研究的深入开展, 以及国际气候变化框架协议(UNFCCC, 简称京都协议)的实施(该协议是1997年12月包括中国在内的全球174个国家和地区的政府在日本东京签署的, 目的在于减少以CO<sub>2</sub>为标志的全球温室气体的排放), 区域尺度的陆地生态系统, 特别是森

林生态系统生产力及其碳平衡的估算已成为国际生态学研究热点, 但是, 限于森林生产力实际观测资料的分布分散、植被生物生产力测定方法的差异以及全国性森林生物生产力格局研究的数据极为有限, 迄今为止我国尚未就中国森林生产力及其分布格局进行系统的综合评估, 更谈不上对整个陆地生

收稿日期: 2000-06-07 接受日期: 2001-03-05

基金项目: 国家重点基础研究专项经费资助项目(51399043407)、基金重点项目(No. 39730116)、基金面上项目(49965005, 30070642)及中国科学院植物研究所植被数量生态学开放研究实验室创新经费

- 通讯作者 Author for correspondence E-mail: zhongs @ public2. bta.net.cn

态系统的生物生产力进行综合评估。但是,我国已进行了连续5次全国范围的、系统的森林清查调查(1973~1976年,1977~1981年,1984~1988年,1989~1993年,1994~1998年),取得了包括人工林和天然林在内的大量宝贵的森林资源资料。如果能够充分利用这些连续、系统的大面积森林资源清查资料,结合已有的森林生产力模拟研究结果,提出评估不同类型森林现实生产力的技术和方法,不仅有助于弥补景观至区域乃至全球尺度的生产力资料的不足,了解区域尺度生产力的动态和全球变化的影响,而且也能为区域尺度的生产力模型的验证及碳平衡的估算提供了资料。

Brown 和 Lugo(1984)首先提出了基于森林材积的热带森林生物量估算方法,称作材积源生物量(Volume-derived biomass),但其将生物量与蓄积量之比作为常数处理是不恰当的;为克服此不足,方精云等(1996)假设森林蓄积量( $V, m^3 \cdot hm^{-2}$ )与其生物量( $B, t \cdot hm^{-2}$ )之间存在线性关系:

$$B = aV + b \quad (1)$$

式中: $a$ 和 $b$ 均为参数,系数 $b$ 可用以反映同一林分不同生长期的影响,即 $B/V$ 并非常数,而是随着蓄积量的增加而减小。但是,这一方程是否适用于所有树种仍有待于进一步验证,而且该方程也没有对人工林与天然林分别研究。

为此,本文试图以全球变化影响最为严重的我国落叶松(*Larix*)林为研究对象,基于前人的研究结果,探讨利用森林资源清查资料估算落叶松人工林和天然林生物量和生产力的方法,并发展基于森林资源调查资料的落叶松林生物量和生产力估算公式,为充分利用森林资源清查资料更精确地了解森林的功能动态及全球变化研究提供方法和技术。

## 1 数据收集与处理

落叶松林亦称明亮针叶林,是寒温带干燥寒冷气候下最具代表性的森林植被类型,也是我国代表性的北方森林。其中,兴安落叶松(*Larix gmelini*)作为主要建群种,其面积和蓄积量分别占我国寒温带林地面积和蓄积量的55%和75%。落叶松耐寒、耐湿,适生范围较广,成林面积大,蓄积量多,是我国木材的重要来源。关于落叶松林的种类组成和生物量已进行了大量的调查和研究(白云庆等,1982;陈林娜等,1991;程云霄等,1989;丁宝永等,1989;冯林等,1985;李文华,1981;李学明,1984;刘世刚等,1992;刘世荣等,1990;徐振邦等,1988;张峰等,

1992;朱兴武等,1993)。本文收集了34组落叶松林生物生产力数据,其中人工落叶松林和天然落叶松林各17组(表1)。所收集的落叶松林生物生产力数据包括:地点、纬度、经度、海拔高度、年均气温、年均降水、树种、林分起源、年龄、密度、蓄积量、干/枝/叶/根生物量和生产力、总生物量、总生产力、灌木生物量和生产力、草本生物量和生产力、生态系统生物量、生态系统生产力以及参考文献。

## 2 落叶松林生物量与其蓄积量的关系

图1给出了落叶松天然林和人工林的生物量随其蓄积量变化的关系图。可见,无论是天然落叶松林还是人工落叶松林,其生物量都随着其蓄积量的增加而增加,表现为双曲线变化,与Brown和Lugo(1984)及方精云等(1996)提出的生物量与蓄积量间存在线性关系不相符合。落叶松林生物量与其蓄积量的关系可表示如下:

$$\text{天然林: } B = V / (1.2728 - 0.0011V)$$

$$R^2 = 0.9187, n = 17 \quad (2)$$

$$\text{人工林: } B = V / (0.9365 + 0.0018V)$$

$$R^2 = 0.9605, n = 17 \quad (3)$$

式中: $B$ 为森林生物量( $t \cdot hm^{-2}$ ), $V$ 为森林蓄积量( $m^3 \cdot hm^{-2}$ )。如果将落叶松林的人工林和天然林一起考虑,则落叶松林的生物量与其蓄积量的关系可表示为:

$$B = V / (0.9399 + 0.0026V)$$

$$R^2 = 0.9403, n = 34 \quad (4)$$

这表明,尽管落叶松的人工林与天然林有所差异,但并不明显;而且,落叶松林所表现出的生物量与蓄积量的关系跟方精云等(1996)建立的落叶松林生物量与蓄积量的关系不同:

$$B = 0.967V + 5.7598,$$

$$R^2 = 0.98, n = 8 \quad (5)$$

比较方程(2)~(4)与Brown和Lugo(1984)的方法,可以发现方程(2)~(4)只是将Brown和Lugo估算模型中的系数 $a$ 看成了蓄积量的函数,既克服了Brown和Lugo将生物量与蓄积量之比作为常数处理的不足,又克服了将林分在任一生长阶段的生物量随蓄积量的变化简单地处理为线性增加关系。

## 3 落叶松林生产力与其生物学特性的关系

森林净第一性生产力是指森林植物在单位时间

表 1 落叶松林样地的气候、蓄积量、生物量和生产力  
Table 1 Climate, volume, biomass and in the sample of *Larix forest*

地点 Site	纬度 Latitude (°)	经度 Longitude (°)	海拔 Altitude (m)	气温 Temp. (°C)	降水 Precipitation (mm)	树种 Species	林分起源 (Original forest)	年龄 Age (a)	密度 Density (株·hm <sup>-2</sup> )	蓄积量 Volume (m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	总生物量 Total biomass (t·hm <sup>-2</sup> )	总生产力 Total NPP (t·hm <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )	参考文献 Reference
河北盛化县杨家营林场 Sunjiaoying forestry farm, Longhua County, Hebei Province	41.33	117.72	975	6.5	509	华北落叶松 <sup>1)</sup>	人工林 <sup>1)</sup>	30	822	113.53	104.68	7.84	刘世刚等 (1992)
河北平山林场 Pingdingshan forestry farm, Hebei Province	11.2	116.7	1200	6.5	510	华北落叶松 <sup>2)</sup>	人工林 <sup>2)</sup>	16	2070	53.47	38.821	8.112	张洪涛 (1992)
河北市场县北部董家坝机械林场 Suanba mechanical forestry farm, north of Weichang County, Hebei Province	42.1 42.4 42.4 42.4	117.2 117.2 117.2 117.2	1720 1720 1720 1720	-1.1 -1.1 1.4 1.4	450 450 450 450	华北落叶松 <sup>1)</sup> 华北落叶松 <sup>1)</sup> 华北落叶松 <sup>1)</sup> 华北落叶松 <sup>1)</sup>	人工林 <sup>1)</sup> 人工林 <sup>1)</sup> 人工林 <sup>1)</sup> 人工林 <sup>1)</sup>	10 15 20 25	2880 2824 2660 1797	18.07 53.56 101.16 134.36	16.59 46.3 72.76 81.84	5.699 10.403 10.812 10.321	刘世刚等 (1992) 刘世刚等 (1992) 刘世刚等 (1992) 刘世刚等 (1992)
黑龙江尚志县附儿山林场 Maocrshan forestry farm, Songzhi County, Heilongjiang Province	45.72 45.72 45.72 15.72	127.57 127.57 127.57 127.57	350 350 350 350	2.8 2.8 2.8 2.8	723.8 723.8 723.8 723.8	兴安落叶松 <sup>1)</sup> 兴安落叶松 <sup>1)</sup> 兴安落叶松 <sup>1)</sup> 兴安落叶松 <sup>1)</sup>	人工林 <sup>1)</sup> 人工林 <sup>1)</sup> 人工林 <sup>1)</sup> 人工林 <sup>1)</sup>	21 24 24 21	1150 1823 1158 1300	139.02 153.59 173.58 168.87	115.618 151.51 179.58 170.19	12.423 11.318 11.505 10.248	刘世刚等 (1990) 丁守永等 (1990) 丁守永等 (1989) 丁守永等 (1989)
黑龙江小兴安岭带岭凉水保护区 Liangshui nature reserve of Xiaoxingling, Heilongjiang Province	17.18	128.88	707.3	-0.3	676	兴安落叶松 <sup>2)</sup>	天然林 <sup>2)</sup>	25	1160	131	150.8	11.04	白云庆等 (1982)
四川省西羌角沟 8601 8601 Lianqiangou, west of Sichuan Province	31.68 31.68	102.8 102.8	2900 2900	6.3 6.3	849 849	日本落叶松 <sup>1)</sup> 日本落叶松 <sup>1)</sup>	人工林 <sup>1)</sup> 人工林 <sup>1)</sup>	10 10	2700 2400	38.76 31.8	49.588 34.731	10.963 6.902	李学明 (1984) 李学明 (1984)
吉林长白山林区 Changbai forest area, Jilin Province	47.75	128.27	900	0.7	769	长白落叶松 <sup>1)</sup>	天然林 <sup>1)</sup>	160	360	139	251.09	9.5	李文华 (1981)
内蒙古大兴安岭林区 Daxing'anling forest area, Inner Mongolia	52.5	124.5	650	3	500	兴安落叶松 <sup>2)</sup>	天然林 <sup>2)</sup>	100	400	103.62	54.575	3.18 <sup>2)</sup>	徐振坤等 (1988)
内蒙古大兴安岭林区吉文内河林区 Jiwen and Inner Mongolia	50.33	123	700	-1.7	483	兴安落叶松 <sup>2)</sup>	天然林 <sup>2)</sup>	55	1340	121.07	114.85	8.18	匡云竹等 (1989)
内蒙古大兴安岭林区金河林区 Jinhe forest area, Daxing'anling, Inner Mongolia	51.27	121.13	800	-5.5	450	兴安落叶松 <sup>2)</sup>	天然林 <sup>2)</sup>	130	717	173.53	145.12	1.9	程云霄等 (1989)
内蒙古大兴安岭林区奇乾林区 Qiqian forest area, Daxing'anling, Inner Mongolia	52.2	120.8	800	-6	400	兴安落叶松 <sup>2)</sup>	天然林 <sup>2)</sup>	171	621	180	116.37	4.95	程云霄等 (1989)
内蒙古大兴安岭林区图河林区 Tuhelie forest area, Daxing'anling, Inner Mongolia	50.4	121.7	800	-5	150	兴安落叶松 <sup>2)</sup>	天然林 <sup>2)</sup>	26	4337	84.60	67.11	6.57	程云霄等 (1989)
内蒙古大兴安岭林区图河林区 Tuhelie forest area, Daxing'anling, Inner Mongolia	50.4	121.7	800	5	150	兴安落叶松 <sup>2)</sup>	天然林 <sup>2)</sup>	91	1654	112.06	121.21	6.79	程云霄等 (1989)
内蒙古河套林区局湖查林场 Chaocha forestry bureau, Gcchbc, Inner Mongolia	50.8	121.5	700	-5	137.4	兴安落叶松 <sup>2)</sup>	天然林 <sup>2)</sup>	156	1512	229.59	109.03	4.22	冯林等 (1985)
青海海东五宝峡林区 Baoku forest area, Quidong County, Qinghai Province	37.17	100.65	2810	2.1	570	华北落叶松 <sup>1)</sup>	天然林 <sup>1)</sup>	16	1650	44.22	46.503	4.532	朱兴武等 (1993)
山西临县关帝山林区 Guandishan forest area, Lin County, Shanxi Province	37.9	111.3	2060	3.5	830.8	华北落叶松 <sup>1)</sup>	天然林 <sup>1)</sup>	50	1400	252.56	204.608	11.389	张峰等 (1992)
山西庞泉沟保护区 Pangquanqou nature reserve, Shanxi Province	37.83 37.83 37.83	111.5 111.5 111.5	1830 1720 2090	1.8 5.5 3.8	642.3 623.6 623.6	华北落叶松 <sup>1)</sup> 华北落叶松 <sup>1)</sup> 华北落叶松 <sup>1)</sup>	天然林 <sup>1)</sup> 天然林 <sup>1)</sup> 天然林 <sup>1)</sup>	22 35 36	2178 1650 2670	142 284 227	104.92 181.19 193.76	13.953 14.436 15.16	陈林娜等 (1991) 陈林娜等 (1991) 陈林娜等 (1991)
华北落叶松 <i>Larix prin-pa-ru-preshitii</i> 2) 兴安落叶松 Inner Mongolia	37.5	111.26	2260	2.2	715.4	华北落叶松 <sup>1)</sup>	天然林 <sup>1)</sup>	42	1129	255	233.78	16.214	陈林娜等 (1991)

1) 华北落叶松 *Larix prin-pa-ru-preshitii* 2) 兴安落叶松 *Larix sibirica* 3) 日本落叶松 *Larix kaempferi* 4) 长白落叶松 *Larix olgensis* var. *chung-huensis* 5) 人工林 Plantation 6) 天然林 Natural forest

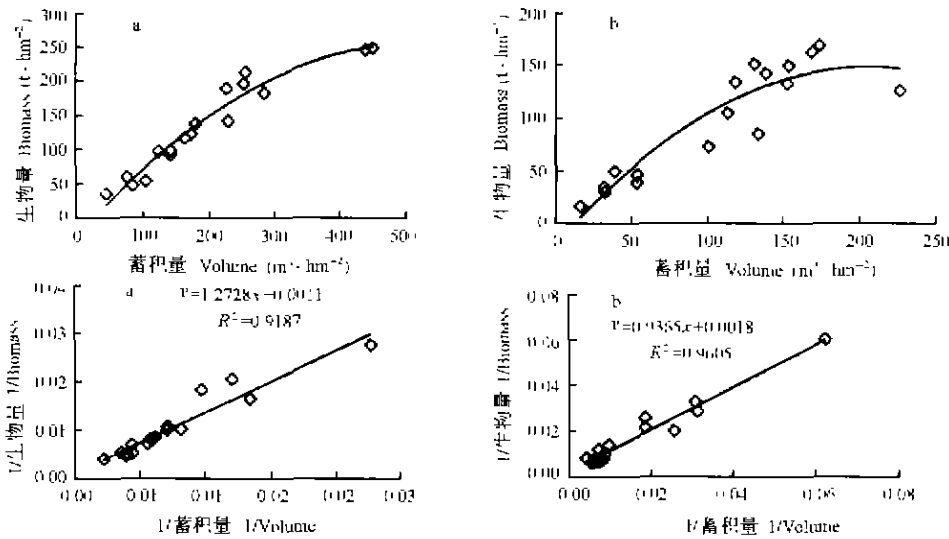


图 1 生物量与蓄积量的关系

Fig. 1 Relationship between biomass and volume of *Larix* forest in China

a. 天然林 Natural forest      b. 人工林 Plantation

和空间内所净积累的干物质,即光合作用与呼吸量之差。一个林分的净第一性生产力与其生物量、林分状况以及林龄之间存在着密切关系。一般而言,林分状况可由林分生物量及林龄体现,因此,基于森林的生物量与林龄就可能估算出森林的净第一性生产力。由于生物量数据来源较为容易,也较可信,方精云等(1996)根据简单的统计分析方法建立了林分生物量和生产力的相关关系,并指出落叶松及红松林的生物量与生产力存在如下关系:

$$NPP = -0.018B + 14.294, \\ R = -0.32, n = 10 \quad (6)$$

图 2 给出了落叶松林生产力与森林生物量的关系图。由图 2 可见,无论是天然林还是人工林,落叶松林生产力尽管均随其生物量的增加而增加,但关系很不明显。根据森林净第一性生产力的定义可知,

森林生产力应与体现森林生物量和林龄的年均净生产量密切相关。图 3 给出了落叶松林生产力随森林年均净生长量及年均净蓄积量的关系图(天然林与人工林关系相同,在此仅给出了天然林关系图)。由图 3 可见,无论是天然林还是人工林,落叶松林生产力均随其年均净生物生产量(B/A)或年均净蓄积生产量(V/A)的增加而增加,呈双曲线关系,即在年均净生物生产量或年均净蓄积生产量较小时,落叶松林生产力随其年均净生物生产量或年均净蓄积生产量的增加呈线性增加,而后随落叶松年均净生物生产量或年均净蓄积生产量的增大,落叶松林生产力的增加幅度逐渐减小,这与森林生产力存在最大值现象是一致的。落叶松林生产力与其年均净生物生产量或年均净蓄积生产量的回归关系可表示如下:

天然林:  $NPP = B / (0.2017A + 0.0224B)$

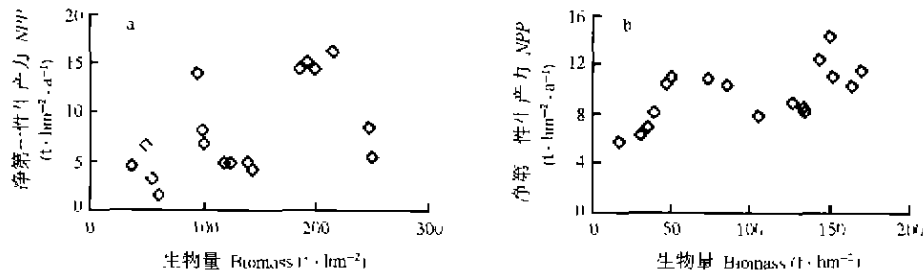


图 2 落叶松林净第一性生产力(NPP)与生物量(B)的关系

Fig. 2 Relationships between net primary productivity (NPP) and Biomass (B) of *Larix* forest in China

a, b: 同图 1 See Fig. 1

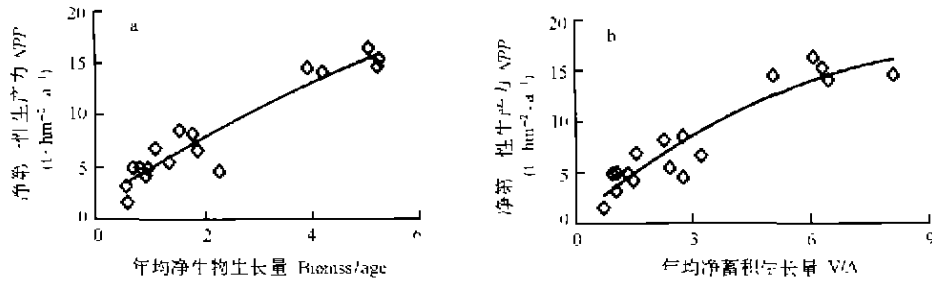


图3 天然落叶松林净第一性生产力(NPP)与年均净生物生长量(B/A)或年均净蓄积生长量(V/A)的关系

Fig. 3 Relationships between net primary productivity (NPP) and B/A or net annual volume increment (V/A) of natural *Larix* forest in China a,b;同图1 See Fig. 1

$$R^2=0.6371, n=17 \quad (7)$$

$$NPP=V/(0.3084A+0.015V),$$

$$R^2=0.7229, n=17 \quad (8)$$

人工林:  $NPP=B/(0.1747A+0.0662B),$

$$R^2=0.5143, n=17 \quad (9)$$

$$NPP=V/(0.1846A+0.0677V),$$

$$R^2=0.5663, n=17 \quad (10)$$

式中:  $NPP$  为森林生产力 ( $t \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ),  $A$  为森林林龄 (a)。如果将落叶松林的人工林和天然林一起考虑, 则落叶松林的生物量与蓄积量的关系可表示为:

$$NPP=B/(0.1786A+0.0529B)$$

$$R^2=0.6535, n=34 \quad (11)$$

$$NPP=V/(0.2819A+0.0371V)$$

$$R^2=0.7334, n=34 \quad (12)$$

这表明, 尽管落叶松的人工林与天然林有所差异, 但并不明显; 而且, 所建立的落叶松林生产力与其年均净蓄积生产量的关系较与其年均净生物生产量的关系稍好。

图4给出了方程(11)所拟合的落叶松林生产力

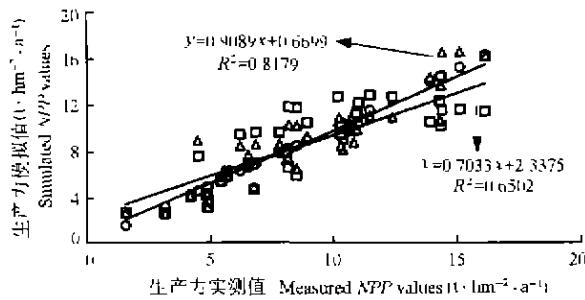


图4 落叶松林模拟生产力与实测值的比较  
Fig. 4 Comparison between the observed and the simulated values of *Larix* forest in China

- △ 实测值 Observed values
- 公式(11)模拟值  
Simulated values by Eq. (11)
- △ 公式(7)和(9)模拟值  
Simulated values by Eqs. (7) and (9)

与分人工、天然落叶松林模拟的落叶松林生产力和实测生产力的关系。可见, 拟合方程基本上可以反映实际生产力状况; 但是, 将落叶松林分为人工林和天然林分别模拟时效果 ( $R^2=0.8179, n=34$ ) 较不考虑人工林和天然林时好得多 ( $R^2=0.6502, n=34$ )。因此, 在利用森林资源清查资料估算森林的生物量和生产力时不但要选好相关因子, 而且也应该将人工林与天然林分别加以考虑。

#### 4 结论

丰富的森林资源清查资料是了解各类森林材积准确信息的重要途径, 如果能将这些资源用于估算森林生物量和生产力的动态变化, 不仅对于科学地指导森林的经营管理, 而且对于全球变化的研究, 特别是区域尺度的生产力模型验证, 都具有重要意义。

本文以我国落叶松林为例, 探讨了利用森林资源清查资料估算森林生物量和生产力的方法, 并建立了落叶松林生物量和生产力的相关模型, 为进一步基于森林资源清查资料估算其它类型森林的生物量和生产力提供了技术和示范, 主要结论如下:

- 1) 落叶松林的生物量与蓄积量、生产力与年均净生物生产量和年均净蓄积生产量均呈双曲线关系, 并建立了相关模型;
- 2) 落叶松林的生产力与生物量(B)关系不明显, 但与年均净生物生产量(B/A)或年均净蓄积生产量(V/A)有很好的双曲线关系, 且与年均净蓄积生产量的关系较与年均净生物生产量关系稍好;
- 3) 在利用森林资源清查资料估算森林的生物量和生产力时不但要选好相关因子, 而且也应该将人工林与天然林分别加以考虑。

#### 参考文献

Bai, Y. Q. (白云庆). 1982. Biomass measurement of planting *Larix*

- forest. Journal of Northeast Forestry Institute(东北林业学院学报), (Supp. ): 29~37. (in Chinese)
- Brown, S. & A. E. Lugo. 1984. A new estimate based on forest volumes. Science, **223**:1296~1298.
- Chen, L. N. (陈林娜), Y. Xiao (肖杨), Q. Guo (盖强) & W. X. Ji (冀文孝). 1991. Preliminary study of community biomass of *Larix principis-rupprechtii* in Pangquanguo natural conservation area: structure, biomass and NPP. Journal of Shanxi Agriculture University (山西农业大学学报), **11**:216~247. (in Chinese)
- Cheng, Y. X. (程云霄), Z. X. Li (李忠孝). 1989. Preliminary study of biomass of three forest types of *Larix gmelini*. Inner Mongolia Forest Investigation and Design (内蒙古林业调查设计), **7**(4):29~39. (in Chinese)
- Ding, B. Y. (丁宝斌), J. H. Sun(孙继华). 1989. Accumulation and distribution of productivity and nutrient element in natural Manchurian ash. Journal of Northeast Forestry University(东北林业大学学报), **17**(4):1~9. (in Chinese)
- Ding, B. Y. (丁宝斌), S. R. Liu (刘世荣) & T. J. Cao (蔡体久). 1990. Studies on biological productivity of artificial forests of Dahurian larches. Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica (植物生态学与地植物学学报), **14**:226~234. (in Chinese)
- Fang, J. Y. (方精云), G. H. Liu (刘国华), S. L. Xu (徐嵩龄). 1996. Biomass and net production of forest vegetation in China. Acta Ecologica Sinica(生态学报), **16**:497~508. (in Chinese)
- Feng, L. (冯琳) & Y. G. Yang (杨王宫). 1985. A study on biomass and production of three types of Dahurian larch virgin forest. Scientia Silvae Sinicae(林业科学), **21**:86~92. (in Chinese)
- Li, W. H. (李文华). 1981. Study on net production of major forest ecosystems in Qinghai mountains. Forest Ecosystem Research(森林生态系统研究), **2**:34~50. (in Chinese)
- Li, X. M. (李学明). 1981. Biomass measurement of *Arbutus*. Sichuan Forestry Technology(四川林业科技), **5**(1):27~29. (in Chinese)
- Liu, S. G. (刘世刚). 1992. Biomass and NPP of artificial *L. principis-rupprechtii* forest. Journal of Northeast Forestry University(东北林业大学学报), **20**(Supp. ):111~123. (in Chinese)
- Liu, S. R. (刘世荣), Y. X. Cheng(程云霄), T. J. Cao(蔡体久) & C. H. Peng(彭长辉). 1990. Study on biomass and net primary productivity of Dahurian larch plantation. Journal of Northeast Forestry University(东北林业大学学报), **18**(2):40~46. (in Chinese)
- Xu, Z. B. (徐振邦). 1988. Biomass of major forest types in Daxing'anling mountains. Chinese Journal of Ecology(生态学报), **7**(Supp. ):47~54. (in Chinese)
- Zhang, F. (张峰) & T. L. Shangqian(上官钦梁). 1992. On synecological features and biomass of *Larix principis-rupprechtii* forest in Guandi Mountain, Shanxi Province. Journal of Shanxi University(山西大学学报), **15**(1):72~77. (in Chinese)
- Zhang, H. T. (张洪涛). 1992. Study on *Larix olgensis*. Jilin Forestry Science and Technology(吉林林业科技), **11**(3):5~7. (in Chinese)
- Zhu, X. W. (朱兴武), Q. M. Shi(石青梅), Y. L. Li(李求良), G. R. Zhou(周国荣) & Q. S. Li(李启寿). 1993. Biomass of forest in Datongbao Reservoir, Qinghai Province. Qinghai Agroforestry Technology(青海农林科技), **26**(1):15~20. (in Chinese)

责任编辑:刘世荣 责任编辑:张丽赫