

## 北京松山森林动态模拟研究

周睿<sup>1</sup> 葛剑平<sup>1</sup> 于波<sup>1</sup> 刘丽娟<sup>2</sup> 吴记贵<sup>3</sup>

(1 北京师范大学生命科学院 2 中国科学院植物研究所 3 松山国家级自然保护区管理处)

**摘要:**运用改进的林隙模型 ZELIG, 对北京松山自然保护区的森林动态进行模拟和验证. 结果如下: ①模型能够合理地模拟华北暖温带阔叶林区森林的演替过程; 群落先锋树种以山杨、白桦为主, 100 年后可达到相对稳定; 建群种包括蒙古栎和油松, 这两个种互为消长, 栎类优势更显著. ②模型较准确地量化模拟出树种组成和生物量, 其中, 建群种的模拟结果与观测值基本一致; 先锋种模拟结果总体优于单个树种的模拟. ③对松山自然保护区的森林演替趋势进行预测, 不同的初始状态对森林组成和生物量有较大影响, 但系统都有回复到同一状态的趋势, 且起始于蒙古栎林比起始于油松林回复速度快; 有林地中的伴生种受压状态明显; 起始于蒙古栎林时生物量均值最大, 而起始于油松林时最稳定.

**关键词:**森林动态, 林隙模型, 暖温带落叶阔叶林, 松山自然保护区

**中图分类号:** S718.54<sup>+</sup>1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1522(2007)01-0019-07

ZHOU Rui<sup>1</sup>; GE Jian-ping<sup>1</sup>; YU Bo<sup>1</sup>; LIU Li-juan<sup>2</sup>; WU Ji-gui<sup>3</sup>. **Simulation of forest dynamics at Songshan Mountain, Beijing.** *Journal of Beijing Forestry University* (2007) **29**(1) 19-25 [Ch, 35 ref.]

<sup>1</sup> College of Life Sciences, Beijing Normal University, 100875, P. R. China;

<sup>2</sup> Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100093, P. R. China;

<sup>3</sup> The Management Department of Songshan Mountain National Nature Reserve, Beijing, 102115, P. R. China.

Using modified gap model ZELIG, the forest dynamics was simulated at Songshan Mountain National Nature Reserve. And the results were showed as the followings: 1) the model can reasonably describe the longterm forest succession in a warm temperate zone of north China. *Populus davidiana* and *Betula platyphylla* are the pioneer tree species in the succession process. The forests would come to be comparative stable and dominated by *Quercus mongolica* and *Pinus tabulaeformis* after 100 years. The two species are mutual increase and decrease, however *Q. mongolica* is predominating; 2) the model can well quantify the composition and biomass of tree species. The simulated results of model were consistent with the observed data. Pioneer species as whole were modeled more exactly than as concrete species. The simulated dynamic trends of forests at Songshan Mountain were showed as the followings: 1) different initial status strongly affected the species composition and biomass, although systems would restore the identical status. Succession from *Q. mongolica* stand restored faster than that from *P. tabulaeformis*; 2) the associated tree species in forest land was stressed evidently; 3) the stands which were developed from *Q. mongolica* stands owned the highest mean of biomass, and those developed from *P. tabulaeformis* were most stable. Some opinions about how to reserve and restore the forests were derived from the results.

**Key words** forest dynamics, forest gap model, warm temperate deciduous forests, Songshan Mountain National Nature Reserve

收稿日期: 2005-11-07

http://journal.bjfu.edu.cn

基金项目: “973” 国家计划资助项目 (G2000046802、2002CB111507)、国家自然科学基金项目 (30270254).

第一作者: 周睿, 博士. 主要研究方向: 区域生态系统分析与评价、植物生态学及景观生态学. 电话: 010-58805082 Email: zhourui-eco@163.com

现工作单位地址: 650091 昆明翠湖北路 2 号云南大学生命科学学院.

责任作者: 葛剑平, 教授, 博士生导师. 主要研究方向: 区域生态系统分析与评价、植被生态学及景观生态学. 电话: 010-58808999 Email: gejp@bnu.edu.cn 地址: 100875 北京师范大学生命科学院.

北京地区由于开发时间早,人类活动强度大,自然环境和植被状况已发生了巨大变化,残存下来的天然次生植被和新建的人工植被多呈零星分布,自然性和完整性差,并且仍处于激烈的变化之中,而这些植被是首都“绿色生态屏障”的重要组成部分,在涵养水源、防治风沙等方面起着关键作用,具有很高的生态价值。

由于森林生态系统的复杂性、演替过程的长期性、地域范围的广阔性,使得对其动态过程的了解非常有限,而采用模型模拟则成为重要的研究手段之一<sup>[1-2]</sup>。Porte 等<sup>[3]</sup>将现有的森林动态模拟方法大致分为距离依赖的林分模型、分布模型、平均树木模型、距离依赖的树木模型、距离独立的树木模型以及林隙模型,大多类似于单物种林分模拟方法,只有林隙模型能够很好地对多物种异质性森林进行模拟。林隙模型是以森林循环理论为基础<sup>[4]</sup>,根据林隙动态过程建立的机理型模型,基于树木个体,强调将生物学过程、环境变量及干扰状况相结合<sup>[5-6]</sup>。自从 Botkin 等<sup>[1]</sup>提出最早的林隙模型 JABOWA 以来,这类模型有了很大发展,考虑了树木空间结构及其相互作用关系<sup>[7-10]</sup>,细化了树木生长及生理学过程<sup>[11-14]</sup>。随着模型的日益成熟,它们被更广泛地运用于森林组成与结构、生物量、生物多样性、森林演替规律、全球变化以及森林经营管理模式的研究<sup>[15-19]</sup>,既是理论研究手段亦为管理应用工具<sup>[2,20]</sup>。国内很多学者也就此类模型进行过一些应用性研究,从长白山阔叶红松林到暖温带落叶阔叶林均得到较好的模拟结果<sup>[21-25]</sup>。

北京松山国家级自然保护区位于北京市西北延庆县境内,以留存有大片天然油松林著称,保护对象即天然油松林和华北地区的地带性植被<sup>[26]</sup>,是研究华北地区生物演替变化规律的适宜场所。

本研究选用国内外研究较成熟的 ZELIG 模型对松山自然保护区森林进行模拟研究,以便从较长的时间尺度上认识华北暖温带森林动态,了解其当前的演替阶段以及未来的发展趋势,从而为制定保护措施提供科学依据。

## 1 研究方法

### 1.1 研究区概况

北京松山国家级自然保护区位于北京市境内,延庆县西北角,燕山山脉的军都山中,属海坨山的一部分。山地海拔在 627.6~2 199.6 m 之间,保护区处于温带大陆性季风气候区,形成典型的山地气候。年平均气温 8.5℃,最高气温 39℃,最低气温 -27.3℃;年平均日照 2 836.3 h;≤10℃的积温

3 398.1℃;年降水量 493 mm<sup>[26]</sup>。

松山植物区系具有一定的过渡性,成为欧洲西伯利亚成份和东北成份的分布南界,也是华南、西南植物分布的北界,气候顶级群落应为暖温带落叶阔叶林。具体地说,本地区应属于暖温带落叶阔叶林区北部落叶栎林地带,地带性植被以蒙古栎 (*Quercus mongolica*) 为主<sup>[26]</sup>。区内有野生维管束植物 106 科、380 属、713 种及变种。代表北温带广泛分布的乔木树种杨 (*Populus* sp.)、桦 (*Betula* sp.)、栎 (*Quercus* sp.)、椴 (*Tilia* sp.)、榆 (*Ulmus* sp.) 是该区森林群落的主要建群种。在松山植物群落中,分布于海拔 1 000~1 500 m 的油松次生针叶林与针阔混交林亚群丛是其最具特色的群落类型。该区近 500 年来森林遭受过很大的破坏,于 20 世纪 50 年代末成立松山林场及 1986 年成立国家级自然保护区后,残存的森林植被得到保护和恢复。

综合考虑该区建群种和主要伴生种,选取蒙古栎、油松 (*Pinus tabulaeformis*)、白桦 (*Betula platyphylla*)、核桃楸 (*Juglans mandshurica*)、山杨 (*Populus davidiana*)、色木槭 (*Acer mono*) 及大叶白蜡 (*Fraxinus rhynchophylla*) 为模拟对象。

### 1.2 模型结构与改进

ZELIG 属于第 2 代林隙模型,它继承了父代模型 JABOWA 和 FORET 中的基本定律和逻辑关系,由 5 个模块构成:①气象子模块,用于产生气温、降水,计算积温、生长季长度、土壤含水量以及各斑块光照状况等,作为森林生长的外部驱动因子;②更新子模块,根据环境条件随机产生幼苗定植及老树萌生等事件;③生长子模块,通过模拟最优生长量及环境限制因子计算树木实际生长量;④死亡子模块,通过内禀死亡率及环境条件随机生成树木死亡。其基本原理与具体方法参见 ZELIG 指导手册<sup>[27]</sup>及相关研究<sup>[8,17,22-23,28]</sup>。

与 JABOWA 和 FORET 相比,ZELIG 的特点在于考虑了树木个体间的空间相对位置<sup>[8]</sup>,并用较为简单的方法模拟了相互遮荫效果。模型通过计算树木冠层不同高度的叶面积,根据树木个体间的空间相对位置,考虑太阳高度角和样地面积,模拟出各个高度层实际可用的光照强度,从而体现树木个体对于光资源的相互竞争关系及其反馈机制。同时,与强调空间关系的 SPACE<sup>[7]</sup>等模型比较,ZELIG 处理方式更为简洁。

随着研究的深入,传统林隙模型的一些缺陷逐渐显露,Bugmann 等<sup>[2,29]</sup>认为原模型中采用的抛物线积温响应方程并不适合描述温度响应方式,抛物线方程通常根据物种现实分布区的最大、最小积温获

得,而物种的现实分布区并不仅是温度因素决定的,还与物种的抗旱能力和竞争有密切关系.有实验证据表明,在物种分布的南界,其生长速率并不一定会降低,部分的下降也主要是水分条件造成的,因此采用渐进线方程更适合<sup>[30]</sup>.本研究即改用此渐进线方程:

$$F_{dd} = \max[1 - e^{(DD_{\min} - DD) \times \alpha}, 0] \quad (1)$$

式中,  $F_{dd}$  为积温影响因子值(0~1 之间,无量纲);  $DD_{\min}$  为物种分布区年积温最小值(°C);  $DD$  为实际积温(°C);  $\alpha$  是描述曲线斜率的参数,当  $DD = DD_{\min} + 1\ 000$  时,物种生长速率比其最优生长速率低 25%,据此可确定  $\alpha$  的值.

ZALIG 模型最初是在北美开发使用的,为与本研究区实际情况结合,采用冯宗炜等<sup>[31]</sup>研究,修改生物量方程为:

$$\ln W_t = 0.932\ 4 + 0.607\ 5 \ln(D^2 H) \quad (2)$$

式中,  $W_t$  为生物量( $t/hm^2$ ),  $D$  为胸径(cm),  $H$  为树高(m).

### 1.3 主要数据来源及参数估计

2002—2005 年对该区进行了多次调查采样,涉及群落、土壤、生物量等方面.在天然油松林设立 15

$m \times 15\ m$  样方 4 块,平均树龄 69 年;人工油松林设立 15  $m \times 15\ m$  样方 2 块,平均树龄 36 年;蒙古栎林设立 15  $m \times 15\ m$  样方 3 块,平均树龄 40 年;白桦林设立 15  $m \times 15\ m$  样方 2 块,平均树龄 30 年;针阔混交林设立 15  $m \times 15\ m$  样方 3 块,平均树龄 30 年.在样方内测定每木树高、胸径,油松林平均树龄为取每木树芯计算所得,其余为取代表树木树芯估算而得.气温、降水数据来自国家气象局气象资料室.林相数据来自 2004 年森林资源二类调查,显示松山自然保护区以中龄林为主,平均树龄在 41.2 年.地点参数通过野外调查获得,气象参数利用 1954—2000 年日平均气温、平均降水数据得到多年月平均气温、月降水和标准差.部分模型内部参数直接在模型内部进行了修改:生物学零度修改为 5°C,胸高修改为 130 cm,土壤肥力改为 3  $t/(hm^2 \cdot a)$ <sup>[31]</sup>.

对于树种参数,采用已有研究成果进行参数化(表 1).对于未见类似研究的树种,如油松,参考相关文献报道,确定其最大年龄、最大胸径、最大树高;根据文献记载其生长规律,利用非线性拟合得到最佳生长系数  $G$ ;按照其分布区北界计算年积温最小值.

表 1 模型参数表  
TABLE 1 Model parameters

树种	$A_{\max}/a$	$D_{\max}/cm$	$H_{\max}/m$	$G$	$DD_{\min}/^{\circ}C$	参考文献
蒙古栎	360	100	30	73	700	[25]
油松	380	180	30	58	2 300	[26, 32-33]
白桦	140	60	25	157	700	[25]
核桃楸	225	70	30	116	1 100	[25]
山杨	200	60	32	142	850	[25]
色木槭	200	60	22	98	900	[25]
大叶白蜡	150	40	15	160	900	[24]

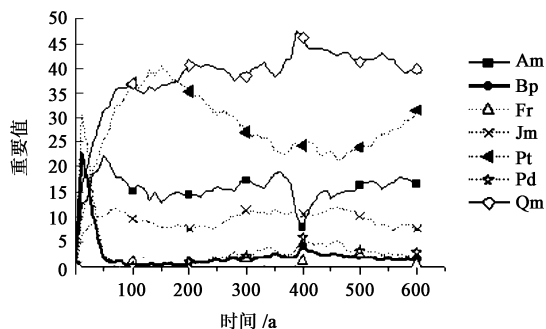
注:  $A_{\max}$  为最大年龄,  $D_{\max}$  为最大胸径,  $H_{\max}$  为最大树高,  $G$  为最佳生长系数( $cm^3/(cm^2 \cdot a)$ ),  $DD_{\min}$  为  $\geq 5^{\circ}C$  的年积温最小值.

## 2 研究结果

### 2.1 模型验证

由于森林演替过程历时较长,对森林演替模型的验证比较困难.一般先对其假设与结构的合理性进行验证,然后,在过程水平上确定模型的真实性的.由于国内外学者已就该模型的假设与结构进行了大量的研究工作,本文主要侧重于后者,从森林组成的长期动态和现实森林状态两方面进行验证.

从起始于裸地的模拟结果看(图 1),演替初期,山杨、白桦在 20 年内迅速占据优势,随后急剧衰退,至 50 年左右重要值已低于 5,此后一直保持较低水平.在以上两个树种衰退的同时,其他树种重要值上升,其中油松和蒙古栎在 50 年以后逐渐成为群落的优势树种,至 100 年时其重要值达到一个相对稳定的高值.蒙古栎达到稳定的时间略早于油松,此后油



Am. 色木槭; Bp. 白桦; Fr. 大叶白蜡; Jm. 核桃楸;

Pt. 油松; Pd. 山杨; Qm. 蒙古栎

图 1 裸地起始树种重要值 600 年演替动态

FIGURE 1 Succession dynamics of the importance values of tree species during 600 years from bare land

松超过蒙古栎,但随后又逐渐下降,自 200 年后蒙古栎占据优势的地位,重要值均保持在 35 以上.在达

到相对稳定以后,蒙古栎和油松均有一定波动,两树种呈现出此消彼长的态势,共同占据着群落主要树种的地位,但蒙古栎的优势更为明显.群落中主要伴生种为色木槭,其次为核桃楸.大叶白蜡在群落中的重要性最小,其重要值自始至终保持很低的水平.由此可知,山杨和白桦为研究区森林次生演替中的先锋种,演替向蒙古栎林及蒙古栎-油松混交林方向发展,林内主要伴生有色木槭和核桃楸,大约需要 100 年左右可从次生裸地演替至相对稳定状态.前人对于河北森林的演替动态曾提出这样的模式:原生顶级群落为单纯栎林或混交林,混生有油松、槭、

破坏后的次一级演替系列群落为松栎疏林或松树纯林<sup>[34]</sup>.模拟结果与这一规律相符,说明模型对于森林的长期动态模拟是准确的.

从现实状态考虑,该区解放前森林植被破坏殆尽,20 世纪 50 年代末成立松山林场后采取了封山育林等保护措施,距今 40 余年.2004 年森林资源二类调查亦显示该区以中龄林为主,平均树龄为 41.2 年,说明研究区现有林分主要是在次生裸地上经过 40 年左右时间演替形成的.故将现实观测数据与起始于次生裸地演替时间为 40 年的模拟结果进行对比(表 2).

表 2 松山森林 40 年时观测与模拟的物种组成与生物量比较

	树种组成/%					生物量/ (t·hm <sup>-2</sup> )
	油松	蒙古栎	白桦	山杨	其他	
观测*	18.3	18.0	17.4	1.0	45.3	83.91
模拟	19.8	23.8	8.1	10.6	37.7	91.94

注: \* 实测树种组成来自森林二类调查数据,生物量根据野外实测每木树高和胸径加以计算.

通过比较可以看出,模拟值与观测值基本一致.在树种组成方面,白桦的模拟值较观测值小,而山杨的模拟值较观测值大,但两树种之和却非常相近(观测为 18.4%、模拟值为 18.7%).考虑到白桦和山杨都属于强阳性先锋树种,因此可以认为模型对先锋种的生态型模拟是准确的.究其原因是研究区内山杨分布量少、分布集中,从整个区域来看可用于更新的种子资源有限,而模型却假设所有树种都拥有无限多的种子可供更新.模型模拟的演替初期,白桦和山杨均为占据优势的先锋树种,彼此相互竞争、相互制约.而现实情况下,却只有白桦作为主要先锋树种,没有山杨与之竞争,即白桦独占先锋种的生态位.对于其他树种,尤其是作为主要树种的油松和蒙古栎,模型的模拟值与观测值非常接近.生物量的模拟值也与观测值相差不大.由此可见,模型能够较准确地模拟主要树种油松、蒙古栎以及所有先锋种在森林中所占比例,对森林生物量的定量模拟基本准确.

## 2.2 模型预测

森林是空间上处于不同演替阶段的斑块镶嵌体<sup>[4]</sup>,各个林分在树种组成及林龄上都不尽相同.就组成结构看,现实林分中各树种多为聚集分布,严格按树种组成结构均匀分布的状况并不常见.而就年龄分布来说,尽管研究区以林龄为 40 年的中龄林为主,但实际林分却包含从幼龄林到过熟林的各个阶段.作为重点保护的天然油松林,平均树龄更在百年以上,树种组成也近于油松纯林.若要更好地了解研究区森林演替状况,除从总体上把握平均趋势外,还需要针对不同林分进行模拟.在此,考虑到研究区的主要树种和保护对象,以两种极端初始状况进行模

拟——起始于油松过熟纯林和起始于蒙古栎过熟纯林,并以起始于次生裸地的结果作为参照.根据模型验证结果,选取主要树种重要值(表 3、图 2)及总体生物量(表 3、图 3)作为预测指标.

可以看出,不同的初始状态在至少 400 年的时间内将对森林组成造成很大影响,但最终都会回复到同一状态——蒙古栎重要值约为 40,油松重要值约为 30.当演替过程起始于油松过熟纯林时,蒙古栎需要近 600 年的时间,其重要值会升至起始于次生裸地的水平,而起始于蒙古栎过熟纯林时,400 年后即可降至起始于次生裸地的水平.油松在起始于油松过熟纯林的情况下,经过 600 年才会降至起始于次生裸地的水平,而起始于蒙古栎纯林时,400 年后就可与起始于次生裸地的水平相当,但该状况下油松重要值最大仅为 33.38,在群落中始终处于伴生地位.比较起始于裸地和起始于油松林的蒙古栎,初始重要值均为 0,600 年后相差无几(39.77、39.93),但前者均值比后者高 12 个点(38.42、25.93),方差较后者小(5.96、10.12).同样,比较起始于裸地和起始于蒙古栎林的油松,有类似规律,前者均值比后者高 11 个点,方差比后者小.综上所述,两种林分起始状态比较,初始状态为油松纯林时,系统将用更长的时间达到从次生裸地起始的水平,油松能在更长的时间保持相对优势;而当初始状态为蒙古栎林时,系统相对更容易地回复到起始于次生裸地的水平.不论蒙古栎还是油松,从裸地和有林地的比较可以看出,在有林地作为伴生种时该物种平均优势度下降,变异性增大,明显表现出受压状态,这主要是与林内优势种竞争造成的.

表 3 林分生物量和蒙古栎、油松重要值在不同初始状态下模拟 600 年的比较  
TABLE 3 Comparison in the biomass of stand as well as the importance values of *Q. mongolica* and *P. tabulaeformis* after 600 years succession from different initial status

		重要值			生物量/(t·hm <sup>-2</sup> )		
		0 年	600 年	平均值±标准差	最小值*	最大值*	平均值±标准差
裸地起始	蒙古栎	0	39.77	38.42±5.96	0	172.61	145.88±26.72
	油松	0	31.39	28.04±6.58	(0)	(210)	
油松林起始	蒙古栎	0	39.93	25.93±10.12	135.24	166.21	150.17±6.52
	油松	100	31.65	47.82±16.02	(282)	(11)	
蒙古栎林起始	蒙古栎	100	38.08	57.20±17.02	140.51	193.55	162.33±13.53
	油松	0	32.12	17.40±9.20	(422)	(2)	

注:括号内为极值出现的时间.

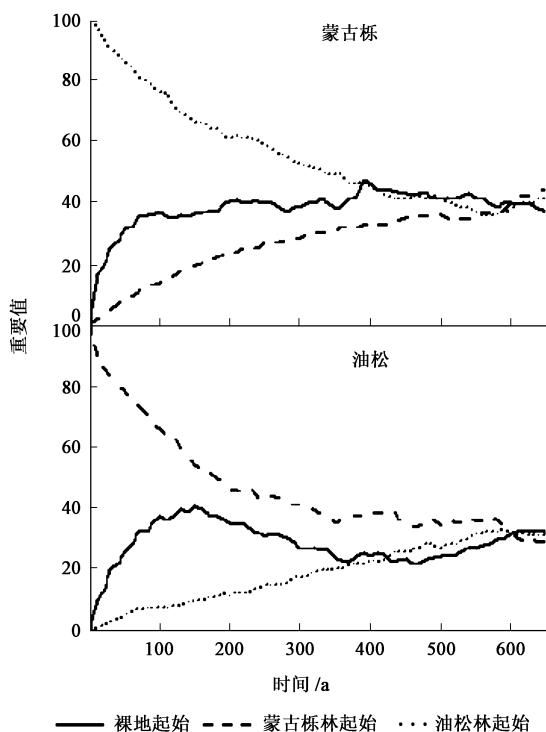


图 2 蒙古栎、油松不同起始状态 600 年演替动态模拟  
FIGURE 2 Simulation in succession dynamics of *Q. mongolica* and *P. tabulaeformis* after 600 years succession from different initial status

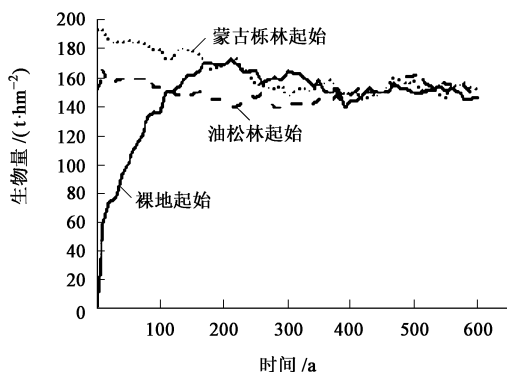


图 3 不同初始状态 600 年生物量动态模拟  
FIGURE 3 Simulation of biomass dynamics after 600 years succession from different initial status

态回复的趋势,同样,起始于蒙古栎林比起始于油松林更接近起始于次生裸地状态.具体来看,次生裸地前 200 年均都在增长,其速率大致可以按每 50 年分为 4 个阶段,最初的 50 年增长最快,以其他 3 个阶段增长率逐渐下降.至 210 年生物量达最高值(172.61 t/hm<sup>2</sup>).此后生物量缓慢下降,至 400 年基本稳定在(150 t/hm<sup>2</sup>)左右.蒙古栎过熟纯林生物量起始即接近最高值(193.55 t/hm<sup>2</sup>),随着其他树种的出现,生物量逐渐降低,约 200 年左右与起始于次生裸地的状况相当.起始于油松纯林生物量比蒙古栎林低,模拟第 11 年时达其最大值(166.21 t/hm<sup>2</sup>),以后缓慢下降,从 129 年开始由于裸地起始生物量的升高,起始于油松的成为最低,直至 400 年时才与裸地和蒙古栎起始水平相当.比较生物量均值,裸地起始<油松林起始<蒙古栎林起始,但波动程度则为油松林起始<蒙古栎林起始<裸地起始.

### 3 结论与讨论

通过 ZELIG 模型对松山自然保护区主要树种进行模拟,主要结论如下:

1)模型能够较真实地模拟华北暖温带落叶阔叶林区森林的长期演替趋势,山杨、白桦为主要先锋树种,经过 100 年左右可达到相对稳定的顶级群落.顶级群落以栎类(如蒙古栎)和油松为主要建群种,栎类和油松此消彼长,但栎类更具优势.

2)模型量化模拟出的树种组成和生物量与实际观测值较接近.主要树种的模拟结果与观测值基本一致,演替先锋种整体模拟结果优于对具体树种的模拟.

3)不同的初始状态对森林组成和生物量均有较大影响,但系统都有回复到同一状态的趋势,起始于蒙古栎林比起始于油松林回复速度快.

4)无论是油松还是蒙古栎,当在有林地中作为伴生种时,由于物种竞争,都表现出明显的受压状态,其平均优势程度均不如裸地.

5)从生物量来看,起始于蒙古栎林的平均值最大,而起始于油松林的最稳定.

林分总体生物量的模拟也显示出最终向同一状

生态演替的原理同人与自然之间的关系密切相关,是解决当代人类环境危机的基础<sup>[35]</sup>,然而关于群落变化的规律和方向性又一直是生态学家争论的焦点.在运用 ZELIG 林隙模型对华北森林演替规律进行模拟和预测时,发现以下问题:

1) 林隙模型最重要的结果是能够呈现一种演替趋势<sup>[6]</sup>.其模拟的时间尺度不能简单理解为从当前开始的现实时间,而应从林分年龄及演替阶段去把握,或者说,模型呈现的是当前不同演替阶段林分的现状及其发展方向.事实上,模型是基于现实状态进行模拟的,可以说其现实意义要大于其对几个世纪后的预测能力.

2) 模型假设所有树种都有一个无限大的种子库,作为简化模型的一种重要假设,它是必不可少的<sup>[2]</sup>.但是实际情况往往并不符合这一假设,在本研究中,山杨的模拟即因此出现了较大偏差,导致模型对功能型整体模拟准确,但对具体树种的模拟存在偏差.在今后的研究中可以通过分小区模拟或者加入表征异质性的模块等方法进行处理.

3) 不同的林分状态会对其后续演替造成长期影响,因此在制定保护措施时应从具体目的出发选取适当的保护对象.若以保护油松及天然油松林为目的,那么重点保护油松占绝对优势的林分比保护松栎混交林效率更高,效果更持久.但若以保护华北地区暖温带自然景观为目的,则应重点保护蒙古栎-油松混交及蒙古栎林.从生物量水平看,若要追求高生物量,则应注重对蒙古栎林的保护,但若追求相对稳定的生物量,则应注意保护油松林.

4) 无论系统起始于什么状态,在不受干扰的情况下,最终都会回复到同一相对稳定状态.这一状态是由华北地区当前气候、土壤、地形及物种组成等多种生物-非生物因素决定的,在进行植被恢复时,以该状态为参照才能使恢复结果得以长期续存.

### 参 考 文 献

- [1] BOTKIN D B, JANAK J F, WALLIS J R. Some ecological consequences of a computer model of forest growth[J]. *Journal of Ecology*, 1972, 60(3): 849-872.
- [2] BUGMANN H. A review of forest gap models [J]. *Climatic Change*, 2001, 51(3-4): 259-305.
- [3] PORTE A, BARTELINK H H. Modelling mixed forest growth: A review of models for forest management [J]. *Ecological Modelling*, 2002, 150(1-2): 141-188.
- [4] WATT A S. Pattern and process in the plant community [J]. *Journal of Ecology*, 1947, 35(1): 1-22.
- [5] SHUGART H H. *A theory of forest dynamics: The ecological implications of forest succession models* [M]. New York: Springer-Verlag, 1984.
- [6] BOTKIN D B. *Forest dynamics* [M]. New York: Oxford University Press, 1993.
- [7] BUSING R T. A spatial model of forest dynamics [J]. *Vegetatio*, 1991, 92(2): 167-179.
- [8] URBAN D L, BONAN G B, SMITH T M, et al. Spatial applications of gap models [J]. *Forest Ecology and Management*, 1991, 42(1-2): 95-110.
- [9] BUSING R T, MAILLY D. Advances in spatial, individual-based modelling of forest dynamics [J]. *Journal of Vegetation Science*, 2004, 15(6): 831-842.
- [10] LISCHKE H. Modeling tree species migration in the Alps during the Holocene: What creates complexity? [J]. *Ecological Complexity*, 2005, 2(2): 159-174.
- [11] SEIDL R, LEXER M J, JAGER D, et al. Evaluating the accuracy and generality of a hybrid patch model [J]. *Tree Physiology*, 2005, 25(7): 939-951.
- [12] PRENTICE I C, LEEMANS R. Pattern and process and the dynamics of forest structure: A simulation approach [J]. *Journal of Ecology*, 1990, 78(2): 340-355.
- [13] FRIEND A D, SCHUGART H H, RUNNING S W. A physiology-based gap model of forest dynamics [J]. *Ecology*, 1993, 74(3): 792-797.
- [14] MOORCROFT P R, HURTT G C, PACALA S W. A method for scaling vegetation dynamics: The ecosystem demography model (ED) [J]. *Ecological Monographs*, 2001, 71(4): 557-585.
- [15] LEXER M J, HONNINGER K. Effects of error in model input: Experiments with a forest patch model [J]. *Ecological Modelling*, 2004, 173(2-3): 159-176.
- [16] DELGADO L A, ACEVEDO M F, CASTELLANOS H, et al. Allometric relations and growth patterns for tree species in the Imataca Forest Reserve, Venezuela [J]. *Interciencia*, 2005, 30(5): 275-283.
- [17] WEINSTEIN D A, LAURENCE J A, REITZLAFF W A, et al. Predicting the effects of tropospheric ozone on regional productivity of ponderosa pine and white fir [J]. *Forest Ecology and Management*, 2005, 205(1-3): 73-89.
- [18] DUBE P, MENARD A, BOUCHARD A B, et al. Simulating the impact of small-scale extrinsic disturbances over forest species volumetric light environment [J]. *Ecological Modelling*, 2005, 182(2): 113-129.
- [19] GUO Q F, BRANDLE J, SCHOENEBERGER M, et al. Simulating the dynamics of linear forests in Great Plains agroecosystems under changing climates [J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 2004, 34(12): 2564-2572.
- [20] LEVIN S A, GRENFELL B, HASTINGS A, et al. Mathematical and computational challenges in population biology and ecosystems science [J]. *Science*, 1997, 275(5298): 334-343.
- [21] SHAO G, BUGMANN H, YAN X. A comparative analysis of the structure and behavior of three gap models at sites in Northeastern China [J]. *Climatic Change*, 2001, 51(3-4): 389-413.
- [22] JIANG H, PENG C, APPS M J, et al. Modelling the net primary productivity of temperate forest ecosystems in China with a GAP model [J]. *Ecological Modelling*, 1999, 122(3): 225-238.
- [23] 于振良, 于贵瑞, 赵士洞, 等. 长白山阔叶红松林动态及经营管理模型研究 [J]. *资源科学*, 2001, 23(6): 59-63.

- YU Z L, YU G R, ZHAO S D, *et al.* Succession and silviculture model of broad-leaved *Pinus koraiensis* forests in Changbai Mountain [J]. *Resources Science*, 2001, 23(6): 59-63.
- [24] 桑卫国, 陈灵芝, 王喜武. 东灵山地区落叶阔叶林长期动态的模拟[J]. *植物生态学报*, 2000, 24(2): 180-185.
- SANG W G, CHEN L Z, WANG X W. Simulation modeling of deciduous broad-leaved forest at Donglingshan Mountain areas [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24(2): 180-185.
- [25] 陈雄文, 王凤友. 林窗模型 BKPF 模拟红松针阔叶混交林群落对气候变化的潜在反应[J]. *植物生态学报*, 2000, 24(3): 327-331.
- CHEN X W, WANG F Y. Simulation of the potential responses of mixed coniferous and broad-leaved Korean pine communities by BKPF model [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24(3): 327-331.
- [26] 北京市林业局. 松山自然保护区考察专集[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1990.
- Beijing Forestry Bureau. *Survey on Songshan Nature Reserve* [M]. Harbin: Publishing House of Northeast Forestry University, 1990.
- [27] URBAN D L. *A versatile model to simulate forest pattern: A user's guide to ZELIG 1.0* [G]. Charlottesville, Virginia: Dept. of Environmental Sciences, Univ. of Virginia, 1990.
- [28] MILLER C, URAN D L. A model of surface fire, climate and forest pattern in the Sierra Nevada, California [J]. *Ecological Modelling*, 1999, 114(2-3): 113-135.
- [29] BUGMANN H, YAN X D, SKYES M T, *et al.* A comparison of forest gap models: Model structure and behaviour [J]. *Climatic Change*, 1996, 34(2): 289-313.
- [30] BUGMANN H K M, SOLOMON A M. Explaining forest composition and biomass across multiple biogeographical regions [J]. *Ecological Applications*, 2000, 10(1): 95-114.
- [31] 冯宗炜, 王效科, 吴刚. 中国森林生态系统的生物量和生产力[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 83-85.
- FENG Z W, WANG X K, WU G. *Biomass and productivity of Chinese forest ecosystems* [M]. Beijing: Science Press, 1999: 83-85.
- [32] 汪企明. 松树[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1994: 58-59.
- WANG Q M. *The genus Pinus* [M]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Publishing House, 1994: 58-59.
- [33] 徐化成. 油松[M]. 北京: 中国林业出版社, 1993.
- XU H C. *Pinus tabulaeformis* [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1993.
- [34] 郑均宝. 河北森林[M]. 北京: 中国林业出版社, 1988: 68-69.
- ZHENG J B. *Hebei forests* [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1988: 68-69.
- [35] ODUM E P. *Fundamentals of ecology* [M]. Philadelphia: Saunders Co, 1971.

(责任编辑 赵 勃)

## 北京林业大学 2007 年博士招生新增多个方向

北京林业大学 2007 年博士招生的专业和专业方向又有增加, 以满足社会飞速发展的需要.

据悉, 我校明年计划招生专业将达到 26 个, 招生人数将突破 200 名. 我校新增了土壤学专业, 进一步完善了学科体制.

除此之外, 我校还瞄准学科前沿, 紧密结合生产需要, 新增了一批专业方向, 以期为林业、生态、环境事业培养急需的高级人才.

树木年轮生态学、城市生态用水管理是我校今年新增的专业研究方向. 这是我国农林高校首次开设的研究方向, 在全国范围内目前只有北京师范大学设立. 首次招收博士生的林业可视化方向, 是计算机技术与传统林业有机结合的新兴学科研究方向.

据介绍, 林业可视化方向包含了对植物外观的模拟和对植物生命过程的模拟两个层次的内容. 该方向的有关专家指出, 通过可视化技术研究可以更有效地观察与解释植物生长过程中结构与功能的变化, 发育与分布的规律, 方便相关领域进一步的研究. 目前, 我国只有中国农业大学和中国科学院部分院所开设了与可视化相关的方向.