

空间直观景观模型 LANDIS 在大兴安岭呼中林区的应用

胡远满¹, 徐崇刚^{1,2}, 常 禹^{1*}, 李秀珍¹, 布仁仓¹, 贺红士¹, 冷文芳^{1,2}

(1. 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要:应用空间直观景观模型(LANDIS),研究有采伐和无采伐预案下大兴安岭呼中林区的森林景观的长期变化。用 APACK 计算每一个物种及各年龄级的分布面积。为了研究物种分布格局的变化,计算了物种分布的聚集度指数。研究结果如下:(1)在无采伐预案下,火干扰模式为低频率大面积高强度火烧;在有采伐预案下,火干扰模式为高频率小面积低强度火烧;(2)在无采伐预案下,火会造成各种群分布面积的强烈波动,但是对种群的年龄结构没有很大影响;在有采伐预案下,火对种群分布面积和年龄结构都没有很大的影响;(3)采伐能完全改变各种群的年龄结构,降低种群分布的聚集度,但是对各种群的分布面积并没有很大影响;(4)在有采伐预案下,各种群为增长型种群,增长量通过采伐取走,群落处于演替的干扰顶极状态;在无采伐预案下,各种群为稳定型种群(樟子松和偃松除外),大面积高强度火烧使群落产生较大的波动。结果表明,在呼中林业局,在没有人干扰情况下,火干扰是森林景观变化的主导因素。自从有了人为干扰,采伐开始逐渐取代火干扰成为影响森林景观变化的主导因素。

空间直观景观模型的一个挑战是模型的验证。由于缺乏详细的空间数据及模型模拟中的随机性,很难通过模型模拟结果与实地调查或遥感数据的比较进行验证。通过对火模拟、物种分布和物种组成的生态或生物学实现对模型进行验证。

关键词:LANDIS;空间直观景观模型;森林景观变化;采伐;大兴安岭

Application of spatially explicit landscape model (LANDIS): A case researches in Huzhong area, Mt. Daxing'anling

HU Yuan-Man, XU Chong-Gang, CHANG Yu, LI Xiu-Zhen, BU Ren-Cang, HE Hong-Shi, LENG Wen-Fang (1. Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China; 2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(9): 1846~1856.

Abstract: The spatially explicit landscape model (LANDIS) was used to study the long-term forest landscape change in Huzhong area located in Mt. Daxing'anling. In order to assess the effect of harvest on forest landscape change, we simulated the landscape change under two scenarios: (1) with harvest and (2) without harvest. The species percent area and species age cohort percent area for each species under two simulation scenarios were derived using APACK. The aggregation index of each species was calculated to quantify the landscape pattern change under two scenarios.

The simulation results were: (1) under simulation scenario without harvest, the fire regime was characterized by low frequency, high fire severity and large fire damaged area; under simulation scenario with harvest, the fire regime was characterized by high frequency, low fire severity and small fire damaged area; (2) under simulation scenario without harvest, fire disturbances significantly affected the population distribution area, but had no substantial effect on the population age

基金项目:中国科学院引进国外杰出人才资助项目(BR010403);国家自然科学基金资助项目(40331008);中国科学院知识创新工程资助项目(SCXZY0102)

收稿日期:2004-03-27;修订日期:2004-06-26

作者简介:胡远满(1965~),男,博士,研究员,主要从事景观生态学和湿地生物多样性保护研究。E-mail:huyman@iae.ac.cn

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail:Changyu@iae.ac.cn

Foundation item: the Elite project of Chinese Academy of Sciences (No. BR010403), the National Science Foundation of China (No. 40331008), the Influence of Forest Landscape Change on Environment Program at the Institute of Applied Ecology (No. SCXZY0102)

Received date: 2004-03-27; **Accepted date:** 2004-06-26

Biography: HU Yuan-Man, Ph. D., Professor, mainly engaged in landscape ecology and wetland biodiversity conservation. E-mail:huyman@iae.ac.cn

structure; under simulation scenario with harvest, fire disturbances did not have substantial effect on both population age structure and population distribution area; (3) harvest can completely change the population age structure, reduce the degree of species distribution aggregation, but had no great effect on the species distribution; (4) under simulation scenario without harvest, populations were increasing population, the increased individuals were removed by harvest, the community reached a disturbance climax; under simulation scenario with harvest, populations were stable population (except for *Pinus sylvestris* var. *mongolica* and *Pinus pumila*) and fire disturbance caused the community to fluctuate. Our results showed that fire formed the forest landscape pattern before anthropogenic disturbance. After human entered this area, harvest began to gradually replace fire to inform the forest landscape pattern in this area.

A significant challenge facing spatially explicit landscape models is how to validate the simulation results. Due to the lack of exhaustive spatial data and the stochasticity in model simulation, it is difficult to validate the model simulation through the comparison of model prediction with field investigation or remote sensed data. In this study, we validate the model results through the ecological and biological realism of fire disturbance, species distribution and species composition.

Key words: LANDIS; spatially explicit landscape model; forest landscape change; harvest; Da Xing'anling

文章编号:1000-0933(2004)09-1846-11 中图分类号:Q149,S718.5 文献标识码:A

传统的野外实验研究方法只能用于研究小时空尺度上的森林景观的变化。但是人为干扰和自然干扰及全球变化对森林景观影响的时间能延续几十到几百年,影响的空间范围为几万公顷到几百万公顷。因此,传统研究方法很难用于大时空尺度森林景观变化的研究。从 20 世纪 80 年代后期开始出现的空间直观景观模型结合已有的生物和生态学原理,把小尺度上的研究结果应用于大尺度的森林景观变化研究,为大时空尺度森林景观变化研究提供了一种强有力的工具。

LANDIS 模型是空间直观景观模型中的典型代表。通过在样地尺度上跟踪以 10a 为间隔的物种年龄级,半定量地描述火和风倒并使用位数组表示物种年龄结构, LANDIS 能同时在物种、样地和景观尺度上模拟各种生态过程(火、风倒、采伐和病虫害)及其相互关系^[1]。目前, LANDIS 已被广泛应用于森林景观的长期预测^[2]、森林景观对全球气候变暖的响应^[3,4]、不同火干扰模式下森林景观的演替^[5]、不同采伐方案对森林景观的影响^[4,6,7]及对种群的风险评价^[8]。但是在中国, LANDIS 模型的研究案例还很少。目前仅有贺红土等应用 LANDIS 模型对长白山国家自然保护区的森林景观作过长期预测^[2]。但是由于其研究区位于保护区,并没有反映采伐对森林景观变化的影响。

本文应用 LANDIS 模型,研究有采伐和无采伐预案下大兴安岭呼中林区森林景观的长期变化,定量评价采伐对森林景观变化的影响,为森林经营管理者提供决策依据。

1 研究区概况

呼中林区位于我国大兴安岭伊勒呼里山北坡,呼玛河中上游地区,地理坐标为东经 122°39'30"~124°21'00",北纬 51°14'40"~52°25'00"。北与漠河县、塔河县接壤,南至伊勒呼里山分水岭与松岭区和内蒙古自治区鄂伦春自治旗相邻,东与新林区相连,西与呼中国家自然保护区和内蒙古自治区额尔古纳左旗交界。全境东西宽 11.5km,南北长 125km,总面积为 770199hm²。

呼中林区地处大兴安岭北部高纬度寒温带地区,属大陆性季风气候,为寒冷湿润气候区。夏季短暂,冬季寒冷而漫长,冰冻期长达半年之久。光照充足,雨量充沛,寒冷湿润,光、热、水地域性差异明显。春秋两季特别是春季天气条件变化剧烈,常出现高温、低湿和大风天气。地貌类型为大兴安岭北部石质中低山山地。山峦连绵起伏,山体浑圆,坡度平缓,一般在 15°以下,局部的阳坡较陡,达到 35°以上,河谷宽而平坦。大兴安岭的主脉在呼中林区西部,呈南北走向,伊勒呼里山横贯呼中林区南部,呈东西走向,中部为呼玛河谷,全区地势西南部高,东北部低。海拔在 500~1000m 之间,平均海拔高 812m,最高峰在南部中心地带小白山处,为 1404.2m;最低海拔在北部呼玛河出境处,为 420m。

呼中林区植被在植物区系上属泛北极植物区(Holarctic Kingdom)东西伯利亚植物区系,以西伯利亚植物区系成分为主,混有东北植物区系成分和蒙古植物区系成分^[9]。地带性植被类型为寒温性针叶林,以兴安落叶松(*Larix gmelini*)为单优势的针叶林。主要的针叶乔木树种有:兴安落叶松、樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica*)和云杉(*Picea koraiensis*)。主要的阔叶乔木树种有:白桦(*Betula platyphylla*)、山杨(*Populus davidiana*)、甜杨(*Populus suaveolens*)和钻天柳(*Chosenia arbutifolia*)。在模型模拟中,加入了一个重要的灌木树种:偃松(*Pinus pumila*)。偃松分布于高海拔地带,构成了亚高山的特有景观和山地寒温带针叶疏林的林下灌木,它对涵养水源、保护珍稀濒危野生动植物物种具有重要作用^[10]。因此,对偃松分布进行模型模拟,研究其长期演替动态,也具有现实意义。

2 模型参数与数据

运行 LANDIS 模型所必需的参数包括:物种生活史特征参数、土地类型或生态区图(同一种类型或生态区具有相同的干扰

史和干扰特征,同一个物种具有相同的建群系数)及每一像元上的物种和年龄信息。参数化的数据源包括:2000 年 TM 遥感影像两景、1990 年林相图和 1:5 万地形图。

2.1 物种生活史特征参数

所有 8 个物种的生活特征参数都从相关文献^[2,11~13]和实地调查中获得。具体的参数值见表 1。

表 1 呼中区物种生活史特征参数

Table 1 Species attributes for Huzhong area

物种 Species	寿命(a) Longevity	成熟年龄 (a) Maturity age	耐阴性 Shade tolerance	耐火性 Fire tolerance	有效传播距离(m) Effective seeding distance	最大传播距离(m) Maximum seeding distance	萌发率 Vegetative reproduction probability	萌发年龄(a) Minimum age of vegetative reproduction
兴安落叶松 <i>Larix gmelini</i>	300	20	3	4	150	400	0	0
樟子松 <i>Pinus sylvestris</i> var. <i>mongolica</i>	210	40	1	2	50	200	0	0
云杉 <i>Picea koraiensis</i>	300	30	4	2	50	150	0	0
偃松 <i>Pinus pumila</i>	250	30	4	1	50	100	0	0
白桦 <i>Betula platyphylla</i>	150	15	1	3	200	4000	0.5	40
山杨 <i>Populus davidiana</i>	180	30	1	3	-1	-1	0.4	40
甜杨 <i>Populus suaveolens</i>	150	25	1	4	-1	-1	0.5	40
钻天柳 <i>Chosenia arbutifolia</i>	250	30	2	2	-1	-1	0.3	30

-1 无限距离 Represents infinity

2.2 土地类型

LANDIS 把异质性景观分成相对均质的土地类型单元。假设处在同一种土地类型中的物种具有相同的环境条件^[1,14]。在该研究中,主要根据地貌把研究区分为 6 种土地类型:阶地、阳坡、阴坡、大于 1000m 的亚高山区、居住地和水域(图 1)。阶地、阳坡和阴坡从 TM 遥感影像中获得,大于 1000m 的亚高山区从 DEM 中获得,居住地和水域根据呼中林区 1990 年林相图获得。

根据 LANDIS 模型是否模拟其动态,把以上 6 种土地类型分为:无效土地类型(不模拟)和有效土地类型(模拟)。无效土地类型包括水域和居住地,共占整个研究区面积的 0.82%。有效土地类型包括阶地、阳坡、阴坡和大于 1000m 的亚高山区,分别占整个研究区面积的 4.95%,38.41%,45.19%和 10.61%。

在同一土地类型内,每一个物种的建群系数相对一致。建群系数最敏感的范围为 0.05~0.3^[14]。各物种在各土地类型上的建群系数见表 2。

2.3 火参数

在呼中林区,风倒并不严重。因此,在本研究中,不模拟风倒对森林景观变化的影响。由于呼中国家自然保护区一直没有采伐,对于无采伐预案,其火烧参数从呼中国家自然保护区的火烧数据中获得;对于有采伐预案,其火烧参数直接从呼中林区的火烧数据中获得。1990~2000 年间的火烧记录表明:在呼中林区,其平均火烧大小为 1 631 010m²,最大火烧面积为 41 000 000m²,火烧轮回期为 325a;在呼中国家自然保护区,其平均火烧大小为 4 657 758m²,最大火烧面积为 87 000 000m²,火烧轮回期为 650a。

2.4 采伐参数

在呼中林区,存在大量的“老头林”^[15]。在老头林区,由于林分的质量很低,在过去的几十年中并没有采伐。因此本研究在模拟采伐时把研究区分为两个管理区:老头林区和非老头林区(图 2),它们的面积分别为 13 291.74hm²和 756 907.29hm²。对老头林区不实施采伐,而对所有非老头林区采用相同的采伐方式。

在实施天然林保护工程前,呼中林区的采伐主要以皆伐为

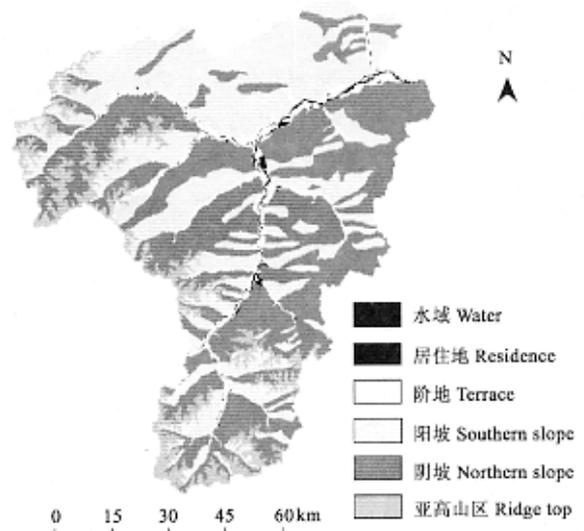


图 1 土地类型图

Fig. 1 Land type map

主。在本研究中,以小班为单位对成过熟林(针叶树种年龄>100a,阔叶树种年龄>60a)(偃松由于其材质不高,不实施采伐)采取皆伐。呼中林区 1989~2000 年 12a 间的采伐面积为 150 889hm²,因此在 LANDIS 模型中,以每 10a 的采伐面积占整个呼中林

区的 16.61%进行模拟。

表 2 物种在各土地类型中的建群系数

Table 2 Establishment coefficient for each species in all land types

土地类型 Land type	最小成荫 时间(a)MAS	兴安落叶 松建群系数 EC 1	樟子松建 群系数 EC 2	云杉建群 系数 EC 3	偃松建群 系数 EC4	白桦建群 系数 EC5	山杨建群 系数 EC6	甜杨建群 系数 EC7	钻天柳建 群系数 EC8
阳坡 Southern slope	50	0.3	0.2	0.03	0	0.35	0.02	0	0
阴坡 Northern slope	40	0.2	0.1	0.05	0	0.25	0.01	0	0
大于 1000m 的亚高山区 RT	100	0.05	0.05	0	0.1	0.03	0	0	0
阶地 Terrace	40	0.01	0	0	0	0.05	0.005	0.07	0.2
居住地 Residence	0	0	0	0	0	0	0	0	0
水域 Water	0	0	0	0	0	0	0	0	0

MAS minimum age of cohort growth required before enough shade is created so that a shade tolerance 5 species can seed into the site; EC Establishment coefficient; RT Ridge top higher than 1000m; EC1, EC2, EC3, EC4, EC5, EC6, EC7, EC8 are the establish coefficient for *Larix gmelini*, *Pinus sylvestris* var. *mongolica*, *Picea koraiensis*, *Pinus pumila*, *Betula platyphylla*, *Populus davidiana*, *Populus suaveolens*, and *Chosenia arbutifolia*, respectively

表 3 林龄级划分

Table 3 Age cohorts classification

树种 Tree species	幼龄林 Seedling	中龄林 Middle-aged cohorts	近熟林 Quasi-matured cohorts	成熟林 Mature cohorts	过熟林 Over-matured cohorts
针叶树种 Coniferous species	<40	41~80	81~100	101~140	>140
阔叶树种 Deciduous species	<30	31~50	51~60	61~80	>80

2.5 初始物种和物种年龄信息

LANDIS 模型要求输入每一个像元的物种和年龄信息。采用基于小班的随机赋值法来获取这些信息。基于小班的随机赋值法根据小班内的物种组成百分比,产生一个范围在 0~100 之内的随机数来确定每一个像元的物种信息(图 3)。比如,一个小班内有两个物种,其组成百分比分别为 P_1 和 P_2 。产生一个随机数 Pr ,如果 $Pr < P_1$,像元被赋予物种 1;如果 $P_1 < Pr < P_1 + P_2$,像元被赋予物种 2;如果 $P_1 + P_2 < Pr < 100$,像元则无物种信息。至于物种的年龄,如果被赋予的物种是小班内的优势种,直接赋予小班内记录的优势种的年龄;如果不是优势种,赋予所在林班内所有以该物种为优势种的小班的优势种年龄的面积加权平均

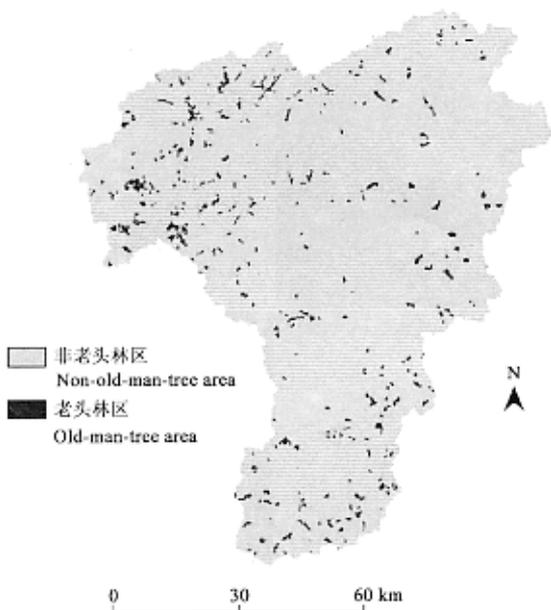


图 2 采伐管理区图

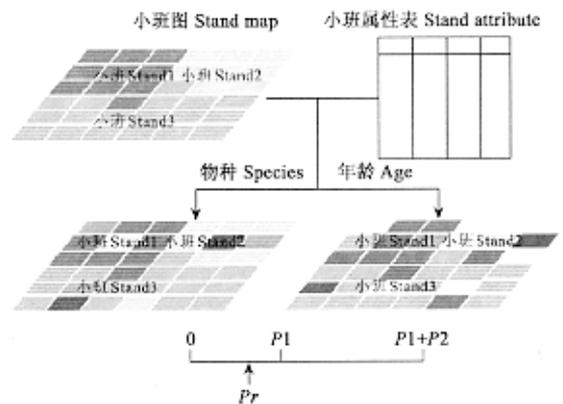


图 3 基于小班的随机赋值法

Fig. 3 Stand-based assignment of species

P_1 物种 1 的组成百分比 the relative occurrence of species 1 in the stand; P_2 物种 2 的组成百分比 the relative occurrence of species 2 in the stand; 对每一个像元,通过产生一个随机数来决定该像元的物种信息 for each cell in the stand, a random number (Pr) is drawn to decide the assignment

值(如果小班所在林班没有以该物种为优势种的小班,赋予所在林场内所有以该物种为优势种的小班的优势种年龄的面积加权平均值)。由于在小班的属性表中没有记录僵松的年龄,因此根据经验把所有的僵松年龄都赋值为 100a。

基于小班的随机赋值法基于如下假设:每一个像元内只有一个物种。这种假设在像元相对较大时是不成立的。但是,它在小班尺度能上保持物种和年龄信息的精确性(物种组成百分比和优势树种的平均年龄)。徐崇刚等专门针对基于小班的随机赋值法所引入的不确定性进行研究^[16],结果表明该方法所引入的不确定性在像元尺度上虽随模拟时间增加而增加,但在景观尺度上却保持相对的稳定并且很小。考虑到 LANDIS 模型主要模拟景观格局的变化,而不是每一个像元上的单个事件^[1],所以基于小班的随机赋值法是可用于 LANDIS 模型的参数化的。

3 结果

3.1 火干扰动态

LANDIS 模型可模拟火烧的空间分布,图 4 给出了无采伐及有采伐预案下 2080 年的火分布图。通过火分布图可统计出不同模拟年的火烧面积和火烧次数。有采伐和无采伐下的火烧面积和火烧次数如图 5 所示。从图中可看出,有采伐预案下的火烧比无采伐预案下的火烧更频繁(前者的 10a 平均火烧次数为 65 次,后者为 49 次),但其平均火烧面积比无采伐预案下的要小(前者的 10a 平均火烧面积为 1 749 600m²;后者为 4 722 300 m²),火烧强度也不如无采伐预案下的强度大(前者以 1~2 级火为主,后者以 3~5 级火为主)。

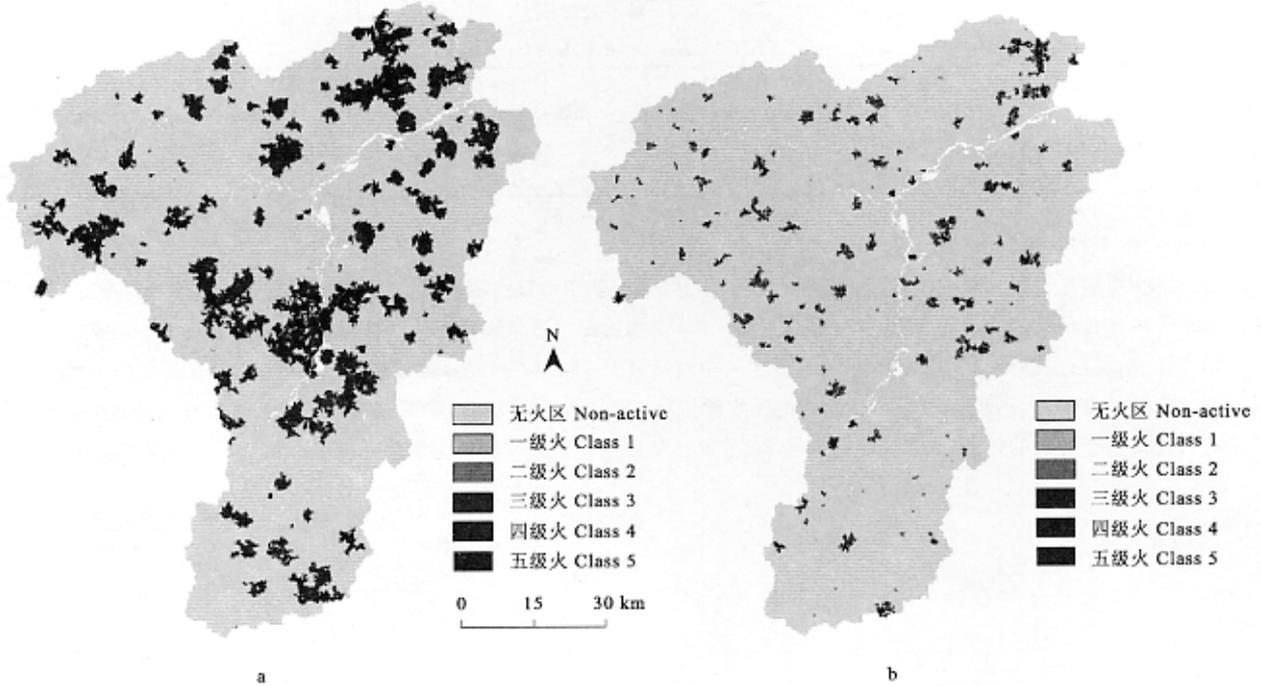


图 4 火空间分布

Fig. 4 Fire distribution

a. 无采伐预案下 2080 年的火空间分布 fire distribution in 2080 under simulation without harvest; b. 有采伐预案下 2080 年的火空间分布 fire distribution in 2080 under simulation with harvest

3.2 植被演替动态

3.2.1 物种空间分布面积

通过 LANDIS 模型可输出各物种在不同模拟年的空间分布,图 6 给出了兴安落叶松在有采伐和无采伐预案下 2090 年的分布。用 APACK^[17]可从物种分布图中计算出各物种在不同模拟年的面积百分比(图 7)和聚集度指数(图 8)。聚集度指数反映了物种分布的聚集程度,数值越高,聚集程度越大^[18]。从图 7 可看出,兴安落叶松是研究区的绝对优势树种,而白桦则是阔叶树种中的优势树种。有采伐预案下各物种面积百分比随时间的波动幅度比无采伐预案的要小。其原因在于:在有采伐预案下,由于不断地清走可燃物,不会引发大面积高强度的火烧;而在无采伐预案下,当可燃物积累到一定程度,会引发大面积高强度的火烧,火烧使各物种的面积大幅度地减少。

在无采伐和有采伐预案下,兴安落叶松、云杉、白桦、山杨和钻天柳的面积百分比的差别不大。这说明,采伐对大部分树种分布的影响并不大。但采伐对樟子松、僵松和甜杨则较大的影响。有采伐预案下,樟子松的面积百分比保持相对稳定;

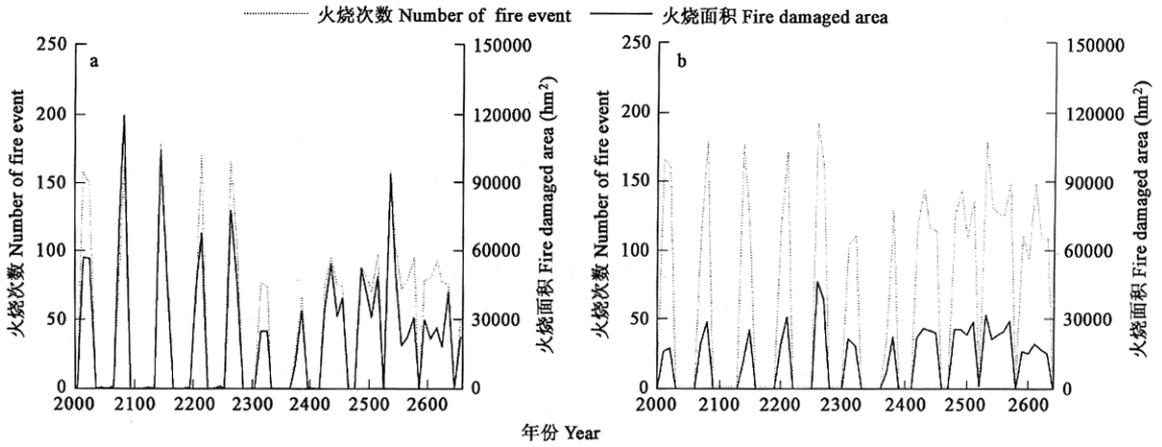


图 5 火干扰动态

Fig. 5 Fire disturbance dynamics

a. 无采伐预案下不同模拟年的火烧次数和火烧面积 Number of fire event and fire damaged area at different simulation year without harvest; b. 有采伐预案下不同模拟年的火烧次数和火烧面积 Number of fire event and fire damaged area at different simulation year under harvest

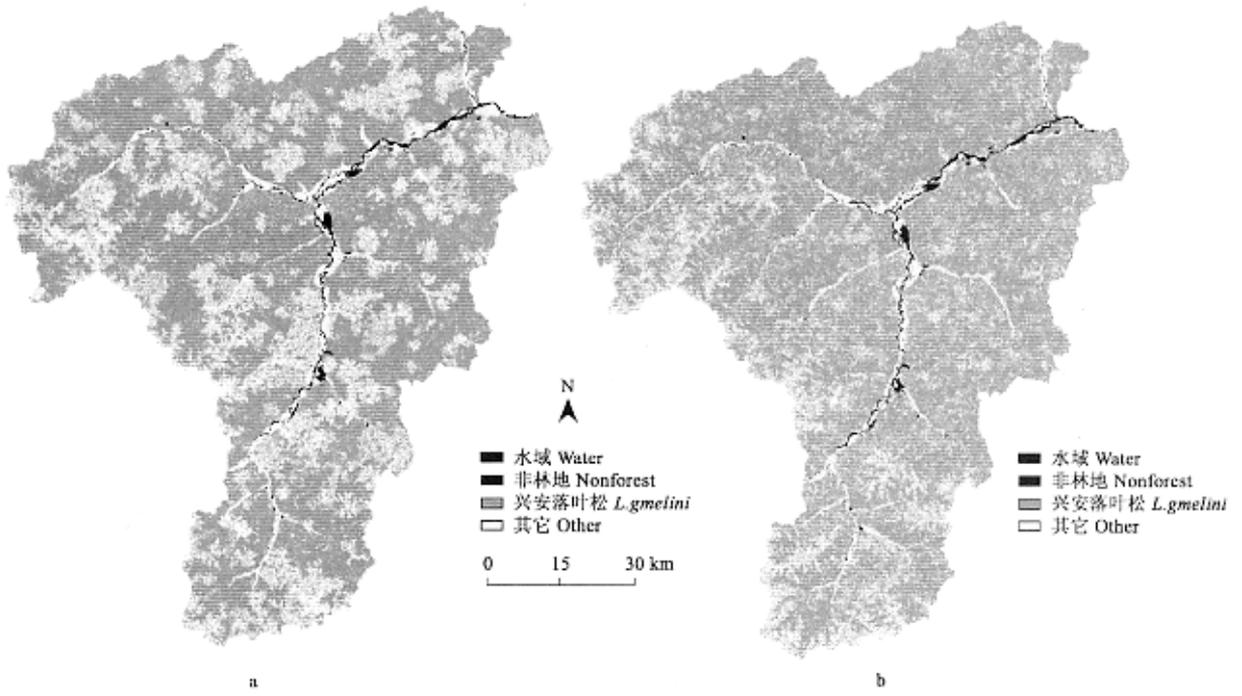


图 6 物种的空间分布

Fig. 6 Species Distribution

a 无采伐预案下 2080 年兴安落叶松的空间分布 larch distribution in 2080 under simulation without harvest; b 有采伐预案下 2080 年兴安落叶松的空间分布 larch distribution in 2080 under simulation without harvest

而无采伐预案下,樟子松的面积百分比则减至一个很小的值(0.06%)。其原因在于:无采伐预案下,在无火烧地区,樟子松的低耐阴性使其很难与其它物种竞争,在有火烧地区,其低耐火性使其很难在大面积高强度的火烧中生存;在有采伐预案下,由于采伐取走了比樟子松耐阴性高的树种,使樟子松在物种竞争中有了更大的生态位。同时,在有采伐预案下,低强度和小面积的火烧也有利于低耐火性的樟子松的生存。偃松分布面积在有采伐预案下要比在无采伐预案下大。偃松是极不耐火的树种,有采伐预案下的小面积低强度火烧有利于偃松的生存(偃松不被采伐)。有采伐预案下甜杨的分布面积百分比要比无采伐预案大。这是因

为有采伐预案下的小面积低强度火烧及高强度采伐使具有强萌发能力、远距离传播能力、强耐阴性和低耐火性的甜杨在竞争中获得了更大的生态位。

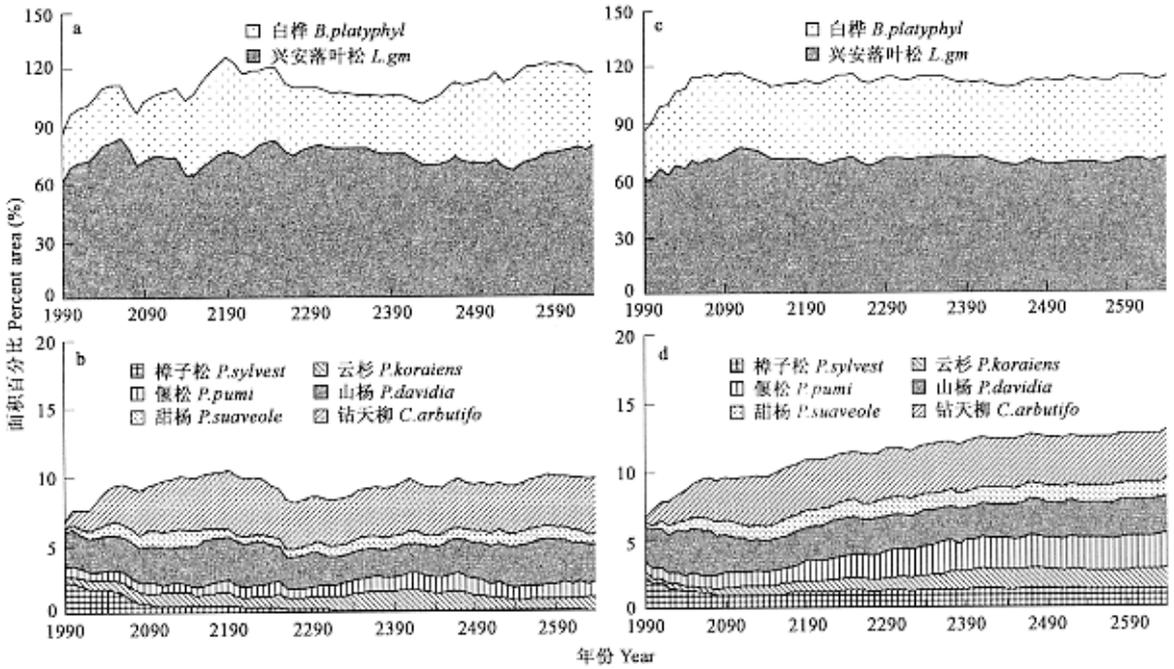


图 7 不同模拟年物种所占面积百分比

Fig. 7 Species percent area at different simulation year

a 和 b 为无采伐预案下各物种的面积百分比 The species percent areas simulated without harvest; c 和 d 为有采伐预案下各物种的面积百分比 The species percent areas simulated with harvest

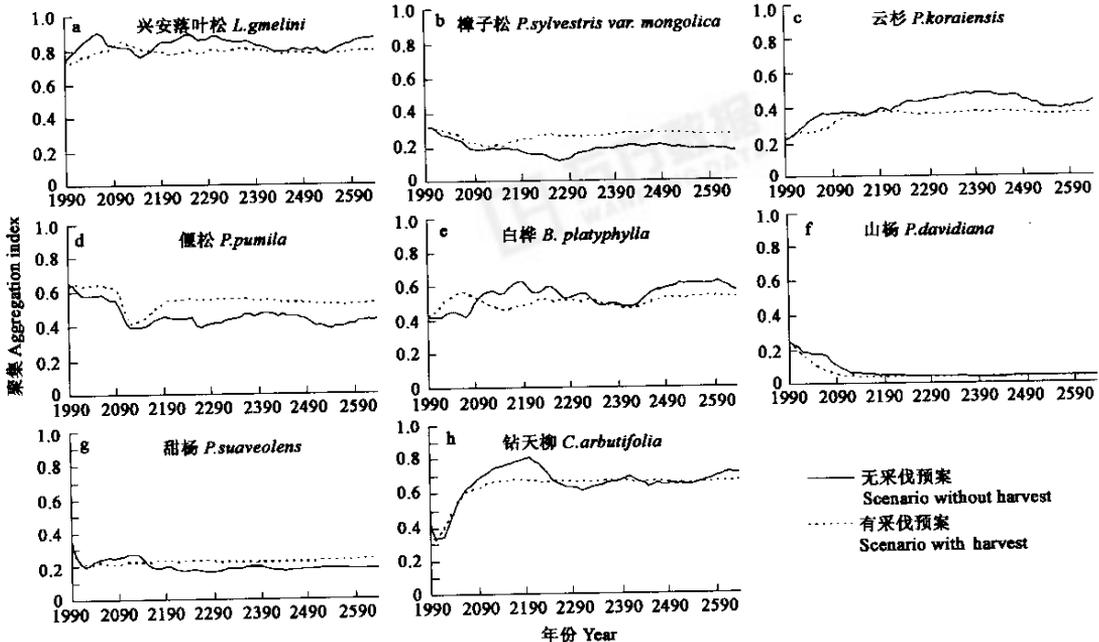
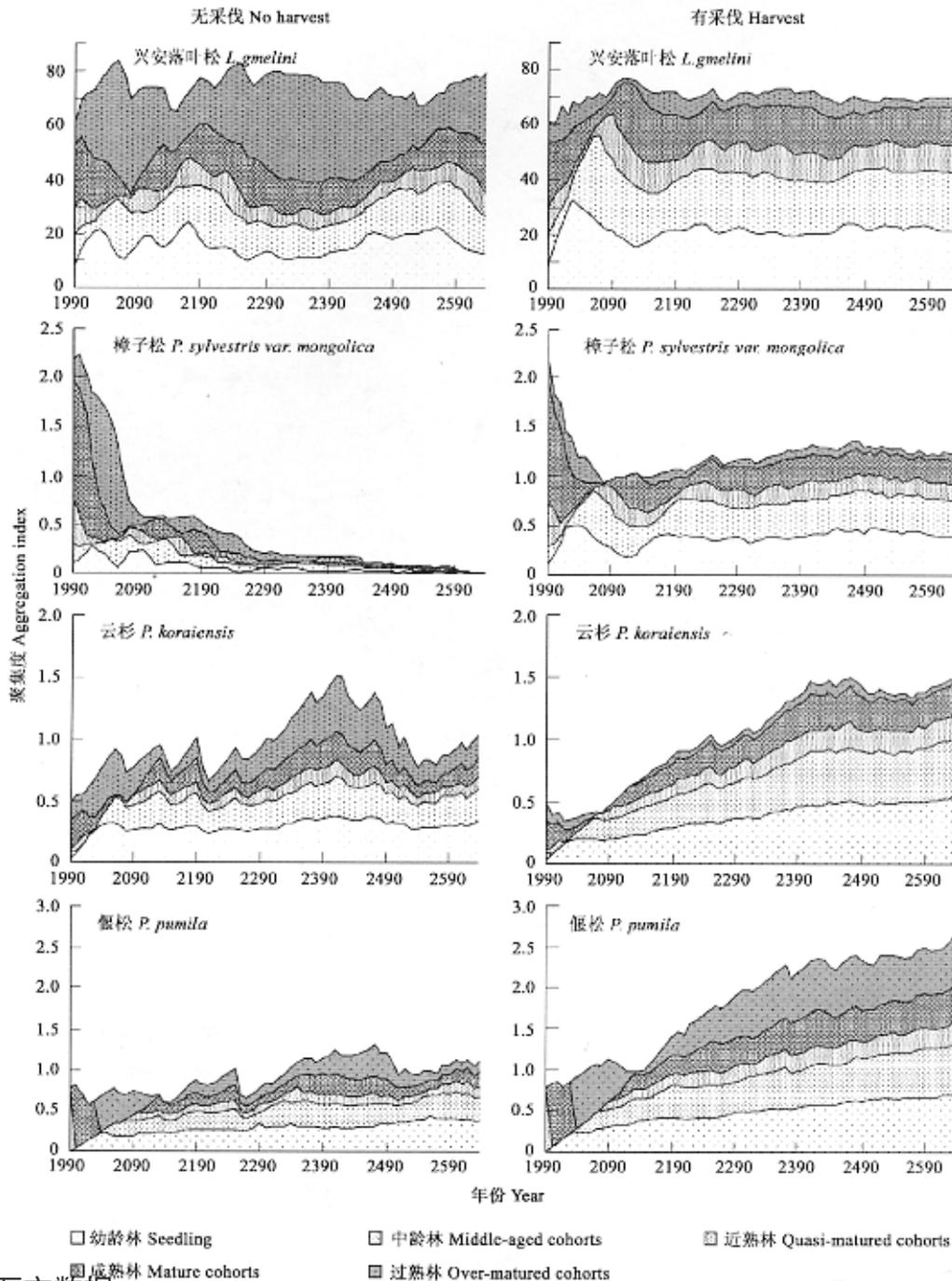


图 8 不同模拟年物种分布的聚集度指数

Fig. 8 Species aggregation index at different simulation year

3.2.2 物种空间分布格局 对所有物种,无采伐预案下的聚集度指数的波动要比有采伐预案的大(图 9)。无采伐预案下的高强度大面积火烧使大量的物种在同一时间清走,形成大的火烧迹地斑块,使物种分布的聚集度降低。有采伐预案下的小面积低强度的火烧和一定程度上的均匀采伐(每 10a 采伐 16.6%的面积)使物种分布的聚集程度保持相对稳定。在无采伐预案下,兴安落叶松、云杉、白桦、山杨和钻天柳的聚集程度在大部分时间内都要比有采伐预案高,说明采伐能使物种分布的聚集程度降低。樟子松、偃松和甜杨的聚集程度在大部分时间内要比有采伐预案低。有采伐预案下的小面积低强度火烧及对大量高耐阴性和高耐火性物种的采伐使樟子松、偃松和甜杨获得了更大的生态位,分布面积相对无采伐预案大量增加。由于幼树都在母树附近建群,因此其聚集程度增加。

3.2.3 种群年龄结构 通过 LANDIS 模型模拟可输出各物种的 10 年龄组在不同模拟年的空间分布,彩版 1 给出了兴安落叶松和白桦的 10 年龄组在无采伐预案下和有采伐预案下不同模拟年的分布。从图中可直观的看出,有采伐预案下的树种年龄要比无采伐预案小。用 APACK 计算出每 10a 各年龄组的面积百分比,根据大兴安岭林区的龄级划分标准(表 3)可获得各树种不



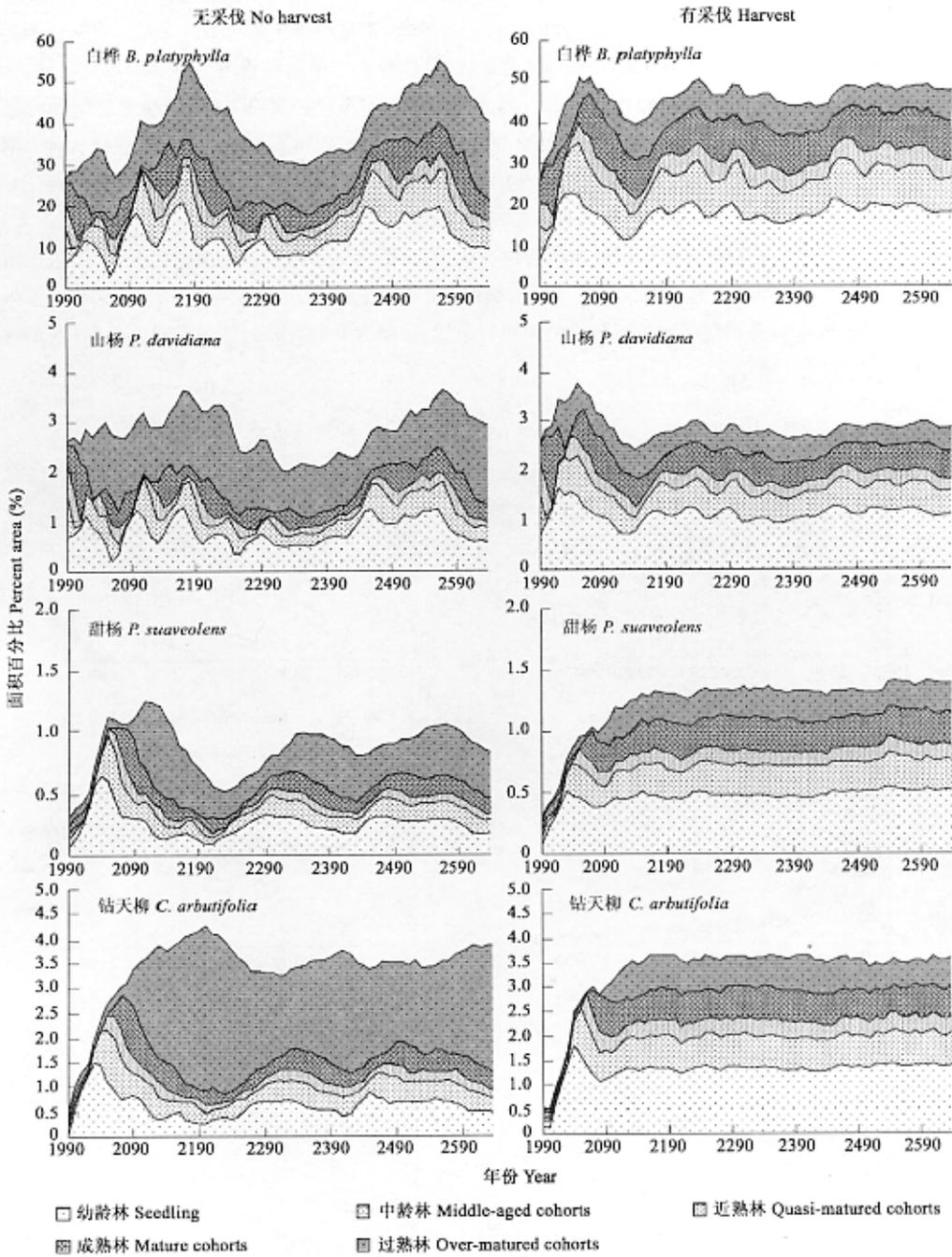


图 9 物种的龄组组成

Fig. 9 Species age cohort composition

同龄级(幼龄林、中龄林、近熟林、成熟林和过熟林)在有采伐和无采伐预案下不同模拟年的面积百分比(图9)。图9表明,物种各龄级的面积百分比的波动幅度在有采伐预案下要比在无采伐预案下小。无采伐预案下大面积高强度的火烧是其产生大幅度波动的主要原因。甜杨和钻天柳在模拟初期都出现了大幅度地增长,这是由基于小班的随机赋值法引起^[16]。所有树种的幼龄林、中龄林、近熟林和成熟林的面积百分比在无采伐预案下要比在有采伐预案下小;除偃松外,所有树种的过熟林面积在无采伐预案下要比在有采伐预案下大。这说明,采伐能大大降低过熟林的面积,而增加幼龄林、中龄林、近熟林和成熟林的面积。从种群生态学的角度考虑,把幼龄林和中龄林看作繁殖前期,把近熟林和成熟林看作繁殖中期,把过熟林看作繁殖后期。在有采伐预案下,当演替达到稳定状态时,所有种群的年龄结构都为金字塔型结构,属增长型种群。采伐不断取走增长型种群的繁殖后期和中期的个体,使各种群的分布达到稳定状态。在无采伐预案下,樟子松为下降型种群,偃松为增长型种群,其它所有种群为稳定

型种群。但是,无采伐预案下的大面积高强度火烧,使稳定型种群也出现了较大的波动。

4 讨论

空间直观景观模型模拟的目标是预测长期的空间格局的变化。由于缺乏大的空间尺度上的长期监测数据,很难对空间直观景观模型进行验证^[2,19]。当然,遥感等大尺度的监测数据的出现,使空间直观景观模型的验证成为可能。但是,由于遥感数据不可能获得精确的物种和年龄信息,而且其时间跨度太小($<100a$),模型的完全验证也是不可能的。Loehle 提出了一种假设检验的模型验证方法^[20]。该方法在对生态系统模型进行验证时强调模型对生物和生态过程的实现。

LANDIS 模型已经过例行的模型评价程序评价,如灵敏度分析、不确定性分析和模型结构分析^[3,14]。模型结构的有效性已在众多应用中得到体现^[3,5,7],因此,本研究不再对模型结构的有效性进行验证。本研究通过对火模拟、物种分布和物种组成的生态或生物学实现对模型进行验证。

4.1 火模拟的实现

无采伐时,由于积累了大量的可燃物(活木、倒木及枯枝落叶),一旦引发火,火烧蔓延速度和火烧强度都会很大。而在有采伐时,由于采伐能不断地清走可燃物,火烧蔓延速度和火烧强度都会比无采伐时小。LANDIS 模型模拟结果表明,有采伐预案下的 10a 平均火烧面积要远低于无采伐预案下的,与实际情况相符。LANDIS 模型模拟的有采伐时的 10a 平均火烧面积为 1 749 600m²,与实际的偏差为 7.27%,火烧轮回期为 631a,与实际的偏差为 2.89%;无采伐时的 10a 平均火烧面积为 4 722 300 m²,与实际的偏差为 1.39%,火烧轮回期为 318a,与实际的偏差为 2.02%,这说明 LANDIS 能有效地模拟该地区的火干扰。

4.2 物种分布的实现

环境因子比如气候、土壤和地貌决定土地类型的边界。土地类型的边界通常可通过植被表现出来。LANDIS 模拟的结果表明,兴安落叶松和白桦的分布几乎遍布整个研究区,偃松只在大于 1000m 的亚高山区出现,钻天柳与甜杨林则分布在河岸两旁。这些模型模拟结果与前人的研究结果都是一致的^[9,10,12,21]。

4.3 物种组成的实现

徐化成指出^[12],在大兴安岭林区,乔木层以兴安落叶松为绝对优势树种。当有白桦共生时,白桦可以组成落叶松林的第 2 层。LANDIS 模型模拟的结果表明:在有采伐和无采伐下的所有模拟年,兴安落叶松的面积百分比都高于 60%,是该地区的绝对优势种;白桦的面积百分比在有采伐和无采伐下的所有模拟年都高于 20%,是阔叶树种的优势种。这说明 LANDIS 模型对物种组成的模拟结果与实际情况及前人的研究相一致。

5 结论

森林景观变化是一个长期的渐变过程。直接或间接的人为活动能长时间(几十到几百年)影响森林景观的结构。本研究表明,采伐能完全改变各种群的年龄结构,降低种群分布的聚集度,但是对各种群的分布面积并没有很大的影响。自然干扰(包括风倒、火烧和病虫害等)也是影响森林景观结构的主要因子。本研究表明:在无采伐预案下,火干扰会引起各种群的分布面积强烈波动,但是对种群的年龄结构没有很大影响;在无采伐预案下,火干扰对种群分布的面积和年龄结构都没有很大的影响。这说明,在没有人为干扰(采伐)的情况下,火干扰是呼中林区森林景观变化的主导因素。一旦有了人为干扰,采伐开始取代火干扰成为影响森林景观变化的主导因素。

从群落演替的角度看,在有采伐预案下,各种群为增长型种群,增长量通过采伐取走,群落处于演替的干扰顶极状态;在无采伐预案下,各种群为稳定型种群,大面积高强度的火烧使群落产生较大的波动。在有采伐预案下,生物的增长量通过采伐被人类有效地利用;在无采伐预案下,生物的增长量通过死亡、分解和火烧消耗,而且大面积高强度的火烧会对人类的生命和财产造成很大的破坏。从该角度而言,采伐是人类管理森林景观的有效方式之一。

References:

- [1] Xu C G, Hu Y M, Chang Y, *et al.* Mechanism and Application of a Spatially Explicit Landscape Model-LANDIS I. Mechanism. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, **15**(5):837~844.
- [2] He H S, Hao Z Q, Larsen D R, *et al.* Simulation study of landscape scale forest succession in northeastern China. *Ecological Modelling*, 2002, **156**:153~166.
- [3] He H S, Mladenoff D J. Spatially explicit and stochastic simulation of forest landscape fire disturbance and succession. *Ecology*, 1999, **80**:81~99.
- [4] He H S, Mladenoff D J, Gustafson E J. Study of landscape change under forest harvesting and climate warming-induced fire disturbance. *Forest Management*, 2002, **155**:257~270.
- [5] Franklin J, Syphard A D, Mladenoff D J, *et al.* Simulating the effects of different fire regimes on plant functional groups in Southern

California. *Ecological Modelling*, 2001, **142**: 261~283.

- [6] He H S, Mladenoff D J, Gustafson E J. The effects of various harvesting scenarios on forest landscape under climate warming, *Third Annual National Integrated Ecosystem Modeling Project Meeting*, Raleigh, NC, USA, 2000.
- [7] Shifley S R, Thompson F R, Larsen D R, et al. Modeling forest landscape change in the Missouri Ozarks under alternative management practices. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2000, **27**: 7~24.
- [8] Akcakaya H R E. Linking population-level risk assessment with landscape and habitat models. *The Science of the Total Environment*, 2001, **274**: 283~291.
- [9] Zhou Y L, ed. *Vegetation of Da Xing'an Ling in China*. Beijing: Science Press, 1991.
- [10] Zhao K T, Li Y C, Zhang G L. The development and protection of *Pinus pumila* forest in Da Hingan Mountain. *Territory and Natural Resources Study*, 1997, **2**: 55~59.
- [11] Ai C L, Wang C D, Ai S H. Study on the seed dispersal of *Larix gmelini*. *Forestry science and technology*, 1985, **4**: 2~5.
- [12] Xu H C ed. *Da Xing'an Ling Mountains forests in China*. Beijing: Science Press, 1998.
- [13] Hu H Q, Yao S R, Shang D Y. The characteristics and effect of the forest fire in Northeast China. *Forest Fire Prevention*, 1991, **31** (4): 13~16.
- [14] Mladenoff D J, He H S. Design and behavior of LANDIS, an object-oriented model of forest landscape disturbance and succession. In: Mladenoff D J, Baker W L eds. *Advances in Spatial Modeling of Forest Landscape Change: Approaches and Applications*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1999. 1~13.
- [15] Wang H Q, Wu J C, Yang W B, et al. Study on the exploitation of "old-man" tree. *Forestry Science and Technology*, 1991, **16**(3): 11~14.
- [16] Xu C G, Hu Y M, Chang Y, et al. The effect of cell-level uncertainty on spatially explicit landscape model simulation. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, **24**(9): 1938~1949.
- [17] Mladenoff D J, DeZonia B. APACK 2.14 Users Guide, 2000.
- [18] He H S, DeZonia B, Mladenoff D J. An aggregation index (AI) to quantify spatial patterns of landscapes. *Landscape Ecology*, 2000, **0**: 1~11.
- [19] Xu C G, Hu Y M, Chang Y, et al. Validation of Spatially Explicit Landscape Model. *Chinese Journal of Ecology*, 2003, **22**(6): 127~131.
- [20] Loehle C. A hypothesis testing framework for evaluating ecosystem model performance. *Ecological Modeling*, 1997, **97**: 153~165.
- [21] Committee for Huzhong Records compilation. *Records for Huzhong Area*, Hefei: Huanshan Press, 1993.

参考文献:

- [1] 徐崇刚, 胡远满, 常禹, 等. 空间直观景观模型 LANDIS 的运行机制及其应用 I. 运行机制. *应用生态学报*, 2004, **15**(5): 837~844.
- [9] 周以良. 大兴安岭植被. 北京: 科学出版社, 1991.
- [10] 赵垦田, 李玉昌, 张桂玲. 大兴安岭偃松资源及其开发利用与保护. *国土与自然资源研究*, 1997, 55~59.
- [11] 艾春霖, 王慈德, 艾淑华. 兴安落叶松种子传播特性的研究. *林业科技*, 1985, **4**: 2~5.
- [12] 徐化成. 中国大兴安岭森林. 北京: 科学出版社, 1998.
- [13] 胡海清, 姚树人, 尚德雁. 东北林区林火的特点与作用. *森林防火*, 1991, **31**(4): 13~16.
- [15] 王浩前, 吴具才, 杨文彬, 等. 兴安落叶松“老头林”经营利用的探讨. *林业科技*, 1991, **16**(3): 11~14.
- [16] 徐崇刚, 胡远满, 常禹, 等. 像元尺度上的不确定性对空间景观直观模型模拟的影响评价. *生态学报*, 2004, **24**(9): 1938~1949.
- [19] 徐崇刚, 胡远满, 常禹, 等. 空间直观景观模型的验证方法. *生态学杂志*, 2003, **22**(6): 127~131.
- [21] 呼中区志编撰委员会编. 呼中区志. 合肥: 黄山书社出版, 1993.

胡远满, 等: 空间直观景观模型 LANDIS 在大兴安岭呼中林区的应用

HU Yuan-Man, *et al.*: Application of spatially explicit landscape Model-LANDIS: A case researches in Huzhong area, Mt. Daxing'anling

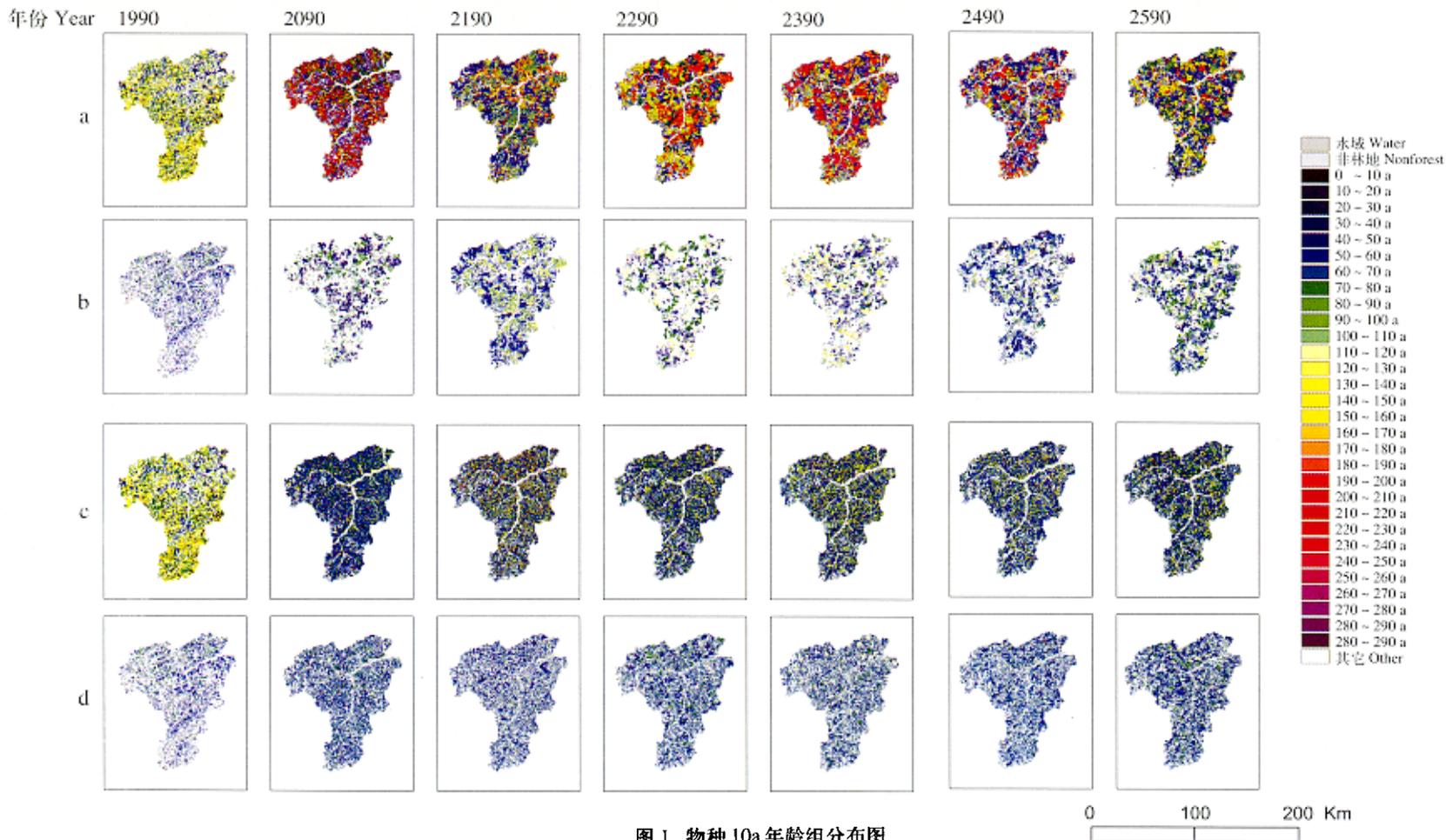


图 1 物种 10a 年龄组分布图
Plate 1 10 year age cohorts distribution

- a: 无采伐预案下兴安落叶松 10a 年龄组分布图 10 year age cohorts distribution maps under the scenario without harvest for *L. gmelini* respectively
- b: 无采伐预案下白桦 10a 年龄组分布图 10 year age cohorts distribution maps under the scenario without harvest for *B. platyphylla* respectively
- c: 有采伐预案下兴安落叶松 10a 年龄组分布图 10 year age cohorts distribution maps under the scenario with harvest for *L. gmelini* respectively
- d: 有采伐预案下白桦 10a 年龄组分布图 10 year age cohorts distribution maps under the scenario with harvest for *B. platyphylla* respectively