

采伐强度对长白山森林地上生物量和景观格局的长期影响*

王敏^{1,2} 贺红士^{1**} 梁宇¹ 吴志伟¹

(¹ 中国科学院沈阳应用生态研究所森林与土壤生态国家重点实验室, 沈阳 110164; ² 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要 采伐是驱动长白山森林景观变化的关键因子。本研究采用空间直观森林景观模型(LANDIS PRO 7.0)模拟长白山露水河林业局在5个不同采伐强度方案下的森林地上生物量和景观格局的长期动态变化。结果表明:1)采伐导致了树种产生不同程度的景观破碎化;2)采伐强度对森林地上生物量具有显著影响,采伐强度增大,地上生物量减小;采伐同样显著降低了不同树种的地上生物量,其中采伐对水曲柳、椴树和云杉的影响较大。因此,在模拟的前100年(2003—2103年),当采伐强度较高时,应优先采伐白桦和山杨,然后是水曲柳、云杉和椴树;当采伐强度较低时,水曲柳、云杉、椴树,白桦和山杨都可作为采伐树种。在模拟的后100年(2103—2203年),由于森林地上生物量呈现减小的变化趋势,应适当减小采伐强度,水曲柳、云杉、椴树,白桦和山杨都可作为采伐树种,从而为当地森林管理部门制定合理的管理措施提供科学的依据。

关键词 生物量; 森林景观格局; LANDIS PRO 7.0; 露水河林业局

中图分类号 S718.5 文献标识码 A 文章编号 1000-4890(2014)10-2581-07

Long-term effects of harvest intensity on forest above-ground biomass and landscape pattern of Changbai Mountain. WANG Min^{1,2}, HE Hong-shi^{1**}, LIANG Yu¹, WU Zhi-wei¹ (¹State Key Laboratory of Forest and Soil Ecology, Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110164, China; ²University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2014, **33**(10): 2581–2587.

Abstract: Harvest is the key factor driving Changbai Mountain forest landscape changes. This paper used spatially explicit models (LANDIS PRO 7.0) to simulate the long-term dynamic changes of forest above-ground biomass and landscape pattern of Lushuihe Forestry Bureau in Changbai Mountain under five levels of harvest intensity scenarios. The results showed that: 1) harvest led to different degrees of fragmentation of tree species; 2) harvest intensity had a significant effect on forest above-ground biomass. With the increase of the harvest intensity, the above-ground biomass decreased. Harvest also significantly reduced above-ground biomass of different tree species. Moreover, harvest had a greater effect on *Fraxinus mandshurica*, *Picea koraiensis*, and *Tilia amurensis*. Therefore, in the early simulation period (2003–2103), when a higher harvest intensity was carried out, *Betula platyphylla* and *Populus davidiana* could be harvested firstly, followed by *F. mandshurica*, *P. koraiensis*, and *T. amurensis*. When a lower harvest intensity was performed, tree species of *B. platyphylla*, *P. davidiana*, *F. mandshurica*, *P. koraiensis*, and *T. amurensis* could be harvested equally. In the late simulation period (2103–2203), harvest intensity should be reduced because forest above-ground biomass showed a trend of decrease, and *B. platyphylla*, *P. davidiana*, *F. mandshurica*, *P. koraiensis* and *T. amurensis* can also be harvested equally. The harvest strategies can provide help for the forest administrative department to develop reasonable measures.

Key words: biomass; forest landscape pattern; LANDIS PRO 7.0; Lushuihe Forestry Bureau.

* 国家科技支撑计划项目(2012BAD22B04)和国家自然科学基金项目(31300404和31370483)资助。

** 通讯作者 E-mail: heh@iae.ac.cn

收稿日期: 2014-01-23 接受日期: 2014-07-07

森林生态系统作为陆地上最大的自然生态系统,不仅能为人类提供木材,而且在维持陆地生态系统碳平衡、涵养水源、调节气候变化等方面发挥着积极的作用(Bengtsson *et al.*, 2000; Nadrowski *et al.*, 2010; 陈宏伟等, 2013)。然而,采伐使得森林资源锐减,质量下降,导致了一系列的生态和环境问题(如生物多样性下降、水土流失等),严重影响森林景观服务功能的发挥(胡喜生等, 2009)。研究表明,采伐将改变景观中不同树种之间的相互关系(Liu & Ashton, 1999),影响森林生物量及其变化(Sanderson *et al.*, 1999; Lewandowski & Heinz, 2003)。同时,采伐也是驱动森林景观格局变化的重要因素。采伐干扰比林火等自然干扰更能使森林景观发生大范围和高强度的异质化和破碎化(Ripple *et al.*, 2000)。了解采伐活动对森林地上生物量和景观格局变化的长期影响,有利于林业部门制定正确的管理方案,实现森林景观的长期可持续发展。

长白山是我国重要的林区之一。该地区由于受到多年不合理的人为开发和利用,生物多样性和森林质量明显下降,森林景观及生境破碎化严重,生态系统功能有所削弱,已严重威胁到长白山森林生态系统的完整性和稳定性。如何提高森林资源质量,维持长白山森林可持续发展成为亟需解决的问题(徐文铎等, 2004)。

本文以长白山露水河林业局为例,采用森林景观模型 LANDIS PRO 7.0,模拟在 5 个不同采伐强度方案下的森林地上生物量及其景观格局变化,分析采伐强度对森林景观动态变化的影响,为制定合理的森林管理政策,维持长白山森林的生态功能和社会经济效益提供参考。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

露水河林业局(127°29'E—128°02'E, 42°24'N—42°49'N)位于吉林省抚松县境内(图1),总面积为121295 km²。平均海拔600~800 m,总坡向为西北向。属于温带大陆性气候,冬夏风向更替明显,地带性植被为阔叶红松林。露水河林业局是长白山林区森林经营具有代表性的区域之一,主要从事木材和锯材生产。20世纪80年代之前,该局的采伐方式为大面积皆伐和径级伐,后改为择伐。由于脱离技术规程,采伐后森林没有得到有效的恢复,生态系统受到了很大的破坏。

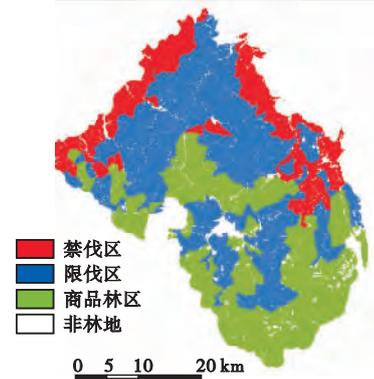


图1 露水河林业局地理位置及管理区示意图

Fig. 1 Geographic location and forest management area map in Lushuihe Forestry Bureau

1.2 研究方法

1.2.1 LANDIS PRO 7.0 模型 本研究应用空间直观森林景观模型 LANDIS PRO 7.0 模拟森林景观的树种组成及景观格局的时空变化。LANDIS PRO 7.0 可以在较大的空间($10^3 \sim 10^8 \text{ hm}^2$)和时间($10 \sim 10^3 \text{ a}$)尺度上模拟自然干扰(火、风倒、物种入侵和病虫害爆发)和人为干扰(采伐和种植)对森林景观演替动态的影响(Shao *et al.*, 1996)。LANDIS PRO 7.0 记录每个像元中每个树种在各个年龄段的株数,输出每个土地类型上各树种的株数、断面积、生物量和碳储量。LANDIS PRO 7.0 从树种水平、立地水平和景观水平上模拟森林演替和动态,模拟结果将更加真实。

1.2.2 LANDIS PRO 7.0 参数化 LANDIS PRO 7.0 模型的初始参数包括空间栅格图(物种组成图,土地类型图和管理区图)及相应的属性参数,包括物种属性、土地类型属性、物种生长曲线、物种组成属性(包括树种、年龄和株数与树种组成图相对应)和采伐参数(采伐方式、面积、轮伐期、年龄等)。本研究空间分辨率为 $90 \text{ m} \times 90 \text{ m}$,模拟时间步长为 5 a,模拟起始年为 2003 年,模拟到 2203 年。本研究中输出结果第 0 年为 2003 年,第 200 年为 2203 年。本文共模拟了 11 个物种。物种的主要属性(表 1)是参考已有文献资料(Shao *et al.*, 1996; He & Mladenoff, 1999; He *et al.*, 2002)及咨询当地工作人员完成。物种组成图和管理区图通过运用 ArcGIS 9.3 软件提取露水河林业局 2003 年林相图调查数据而获得。管理区包括禁伐区、限伐区和商品林区(图 1),其中禁伐区不允许采伐。土地类型图是根据地形条件划分为 7 个类型,分别是非林地、台地、平坡、

表 1 物种部分属性

Table 1 Partial properties of tree species

树种	寿命 (a)	成熟年龄 (a)	耐阴性	耐火性	种子有效 传播距离(m)	种子最大 传播距离(m)	萌发能力
红松 <i>Pinus koraiensis</i>	400	40	4	4	50	500	0
椴树 <i>Tilia amurensis</i>	300	30	4	2	100	100	0.1
落叶松 <i>Larix olgensis</i>	300	30	2	5	100	200	0
白桦 <i>Betula platyphylla</i>	150	15	1	1	20	400	0.6
杨树 <i>Populus davidiana</i>	150	10	2	1	-1	-1	0.7
色木 <i>Acer mono</i>	200	30	4	3	100	200	0.3
水曲柳 <i>Fraxinus mandshurica</i>	300	30	4	2	50	120	0.1
柞树 <i>Quercus liaotungensis</i>	300	30	2	3	40	100	0.5
云杉 <i>Picea koraiensis</i>	300	30	4	4	50	150	0
榆树 <i>Ulmus pumila</i>	250	30	3	3	300	1000	0.7
胡桃楸 <i>Juglans mandshurica</i>	250	30	2	4	50	100	0.9

萌发能力用萌发的概率表示,概率越高,萌发能力越强,取值范围为[0,1]。

阶地、阳坡、阴坡和陡坡。物种建群系数(SEC)用来定量树种对环境的适应性,SEC值越高表示物种在该土地类型单元上的建群可能性越高,参考长白山地区的研究结果给定(Zhao *et al.*, 2011)。森林生物量是参考 Jenkins 等(2004)的研究结果计算的,是基于胸径-生物量之间的回归关系模型来确定的森林生物量, LANDIS 模拟森林树种胸径的变化,进而计算出不同时期的森林生物量。

物种生长曲线主要来源于文献(胡云云等, 2009)和野外采样数据。物种组成属性主要依据林相图数据和长白山一元蓄积表计算获得。2013年8月在露水河林业局对研究区内20个样地进行调查,记录数据包括每公顷的截面积和株数,用于模型校正。

1.2.3 模拟方案 本文模拟了5个采伐方案(方案a-e),其中方案d为模拟现行采伐方案,采伐规则是禁伐区不采伐,限伐区每5年采伐蓄积为限伐区的5%,商品林区每5年采伐蓄积为商品林区的12%,由于研究区林业经营规程规定择伐条件下红松被禁伐,所以择伐时不采伐红松。同样地,方案a、方案b、方案c、方案e的采伐规则分别是限伐区每5年采伐蓄积为限伐区的0%、3%、4%和6%,商品林区每5年采伐蓄积为商品林区的0%、6%、9%和15%(表2)。研究中所有采伐以小班为单位,先采伐年龄最大的小班(成、过熟林),方式为择伐(参考自《长白山露水河林业局森林经营方案(2008)》)。

1.2.4 数据分析 采用景观格局指数软件 Fragstats 4.1 计算红松、云杉、山杨、白桦、椴树、水曲柳的斑块个数指数(NP)和聚集度指数(AI),因为这2

个指数可较好地说明斑块的数量及其空间分布,反映景观格局的变化,且广泛应用于景观格局的分析(管东生等, 2001;阿如旱和杨持, 2007;郭丽英等, 2009),同时本研究也计算了其他景观指数(如 Shannon 多样性指数(SHDI)、斑块密度指数(PD)和均匀度指数(SHEI)等),其结果与斑块个数指数(NP)和聚集度指数(AI)的分析结果是一致的,所以选取斑块个数指数(NP)和聚集度指数(AI)2个代表性的景观指数来描述5个方案下所选树种景观格局的变化。

2 结果与分析

2.1 采伐强度对森林地上生物量的影响

2.1.1 森林地上总生物量 模拟前期森林处于演替早期,中幼林所占比例较大,此时森林地上生物量较低。在无采伐方案下,随着森林自然演替,森林地上生物量逐渐恢复,在模拟前100a,地上生物量随时间增加而增加,模拟100a时达到最大值,模拟后100a,地上生物量随时间增加而减小,这可能是由于林龄增大,树木死亡的原因造成的。与无采伐方案相比,有采伐方案变化趋势与无采伐方案相同,但显著降低森林地上生物量,且采伐强度越大,地上生物量越小(图2)。

表 2 采伐模拟方案

Table 2 Harvest plans for modeling

方案	商品林区择伐(%)	限伐区择伐(%)
a	0	0
b	6	3
c	9	4
d	12	5
e	15	6

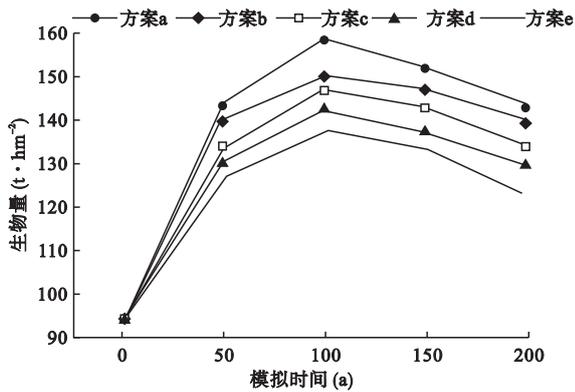


图2 不同采伐强度对森林地上生物量的长期影响
Fig.2 Effect of different harvest intensities on forest above-ground biomass

2.1.2 针叶树种地上生物量 红松在模拟的前100 a 采伐强度较小的方案 b、c 地上生物量比无采伐干扰下的方案 a 地上生物量大,采伐强度较大的方案 d、e 地上生物量比无采伐干扰下的方案 a 地上生物量小。红松在模拟100 a后,有采伐方案的地

上生物量均高于无采伐干扰下的方案。不同采伐方案之间,采伐强度越大,地上生物量越小;在整个模拟期间,采伐显著降低了云杉的地上生物量,且采伐强度越大,地上生物量减少的越多(图3)。

2.1.3 阔叶树种地上生物量 在整个模拟期间,与无采伐方案相比,采伐降低了水曲柳的地上生物量,且采伐强度越大,地上生物量越小;与无采伐方案相比,采伐同样降低了椴树的地上生物量,且采伐强度越大,地上生物量也越小(图3)。然而对于先锋树种,白桦和山杨在无采伐方案下,模拟前100 a,生物量随时间增加而增加,在模拟后100 a,生物量随时间增加而减少,模拟100 a时地上生物量达到最大值。采伐均减少了白桦和山杨的地上生物量,且采伐强度越大,地上生物量越小(图3)。

2.2 采伐强度对森林景观格局的影响

红松在有采伐条件下的斑块个数均高于无采伐方案的斑块个数,且随着采伐强度的增大斑块个数呈增加趋势。聚集度指数在有采伐条件下较小,且

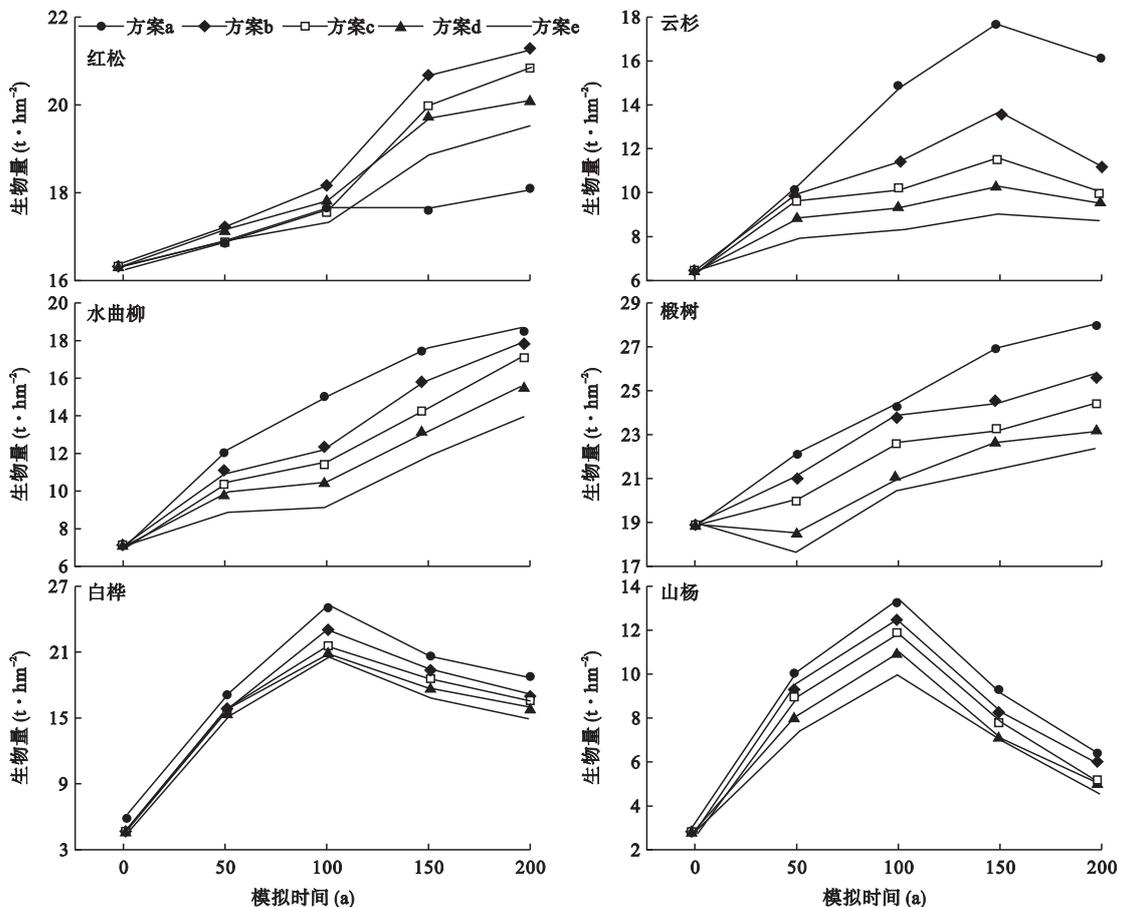


图3 不同采伐强对树种生物量的影响
Fig.3 Effect of different harvest intensities on biomass of major tree species

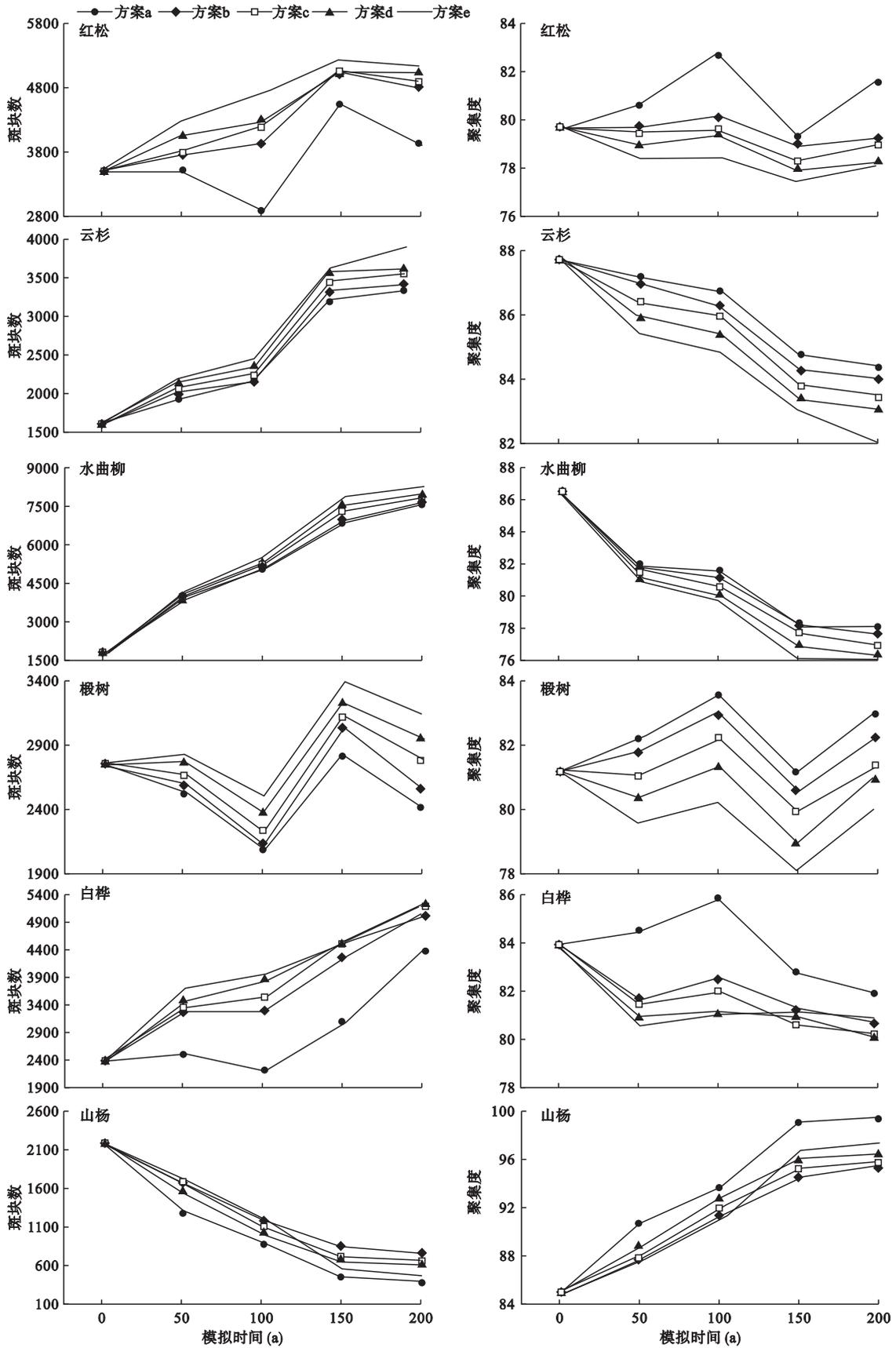


图 4 不同采伐强对树种景观格局的影响
 Fig. 4 Effect of different harvest intensities on landscape pattern

随着采伐强度的增大,聚集度指数减小;水曲柳、椴树、云杉在有采伐条件下的斑块个数要高于无采伐方案的斑块个数,同时聚集度指数均小于无采伐方案的聚集度指数,且采伐强度越大,斑块数越多,聚集度指数越小;白桦和山杨在有采伐条件下的斑块个数,与无采伐方案相比斑块个数均显著增多,但采伐间相互比较,方案 e 在模拟 150 年之后的斑块个数要比采伐强度相对较小的方案 b、c 和 d 斑块个数少;与无采伐干扰方案相比,白桦和山杨在有采伐条件下的聚集度指数显著降低,采伐间相互比较,方案 e 在模拟 150 a 后的聚集度指数要比采伐强度相对较小的方案 b、c 和 d 聚集度指数高(图 4)。总之,随着采伐强度的增大,树种的景观格局呈现显著的破碎化趋势。

3 讨论与结论

干扰(采伐、风倒等)对森林景观变化的影响是一个长期的过程,传统的定位观测很难探究大的时空尺度上干扰对森林景观的长期影响,而 LANDIS PRO 可用于分析大尺度的长期影响(He & Mladenoff, 1999),解决了传统研究上的不足,且可以有效地模拟森林景观动态变化(胡远满等, 2004; 李晓娜等, 2012)。本研究利用 2013 年露水河林业局 20 个样地调查数据(每公顷的截面积和株数)对模型进行校正,参数调整直到模拟结果与实际相近,这保证了本研究中不同采伐强度对长白山露水河林业局森林地上生物量和景观格局影响的研究的可靠性。

研究表明,红松在模拟 100 a 之后,有采伐方案的地上生物量高于无采伐下的方案,这是因为择伐方式下,红松是禁伐的,采伐减弱周围树种与其对光照和养分的竞争(齐麟等, 2009),促进了红松的更新和生长。不同采伐方案之间比较,采伐强度越大,地上生物量越小;采伐显著降低了云杉的地上生物量,说明云杉的地上生物量受采伐干扰影响较大;椴树和水曲柳在整个模拟过程中地上生物量呈现上升的趋势,这是由于椴树和水曲柳是红松的伴生物种,且椴树和水曲柳耐阴性较强;此外,由于白桦和山杨为本研究区的次生物种,所以在模拟前期其生长较好,但随着优势树种的进入,模拟后期白桦和山杨地上生物量将减小(图 3)。

不同树种地上生物量对同一采伐强度的响应存在显著差异,为保证有木可采,权衡采伐强度和采伐树种选择之间的关系,对森林景观管理具有重要的

意义。由于水曲柳、云杉和椴树对于采伐强度的响应要比白桦和山杨大,因此在模拟的前 100 a (2003—2103 年),当采伐强度较高时,应优先采伐白桦和山杨,其次是水曲柳、云杉和椴树;当采伐强度较低时,水曲柳、云杉、椴树,白桦和山杨都可作为采伐树种。在模拟的后 100 a (2103—2203 年),生物量呈现下降趋势(图 2),应减适当减小采伐强度,水曲柳、云杉、椴树,白桦和山杨都可作为采伐树种(图 3)。该采伐策略更有利于森林经营的可持续发展。

采伐是影响森林景观格局的关键因子(Zhao *et al.*, 2011)。采伐对红松的影响较大,采伐强度越大,红松的格局也越破碎。虽然红松在择伐方式下不采伐,但由于其他树种被采伐,先锋和优势树种的演替,改变了原有的地物类型,使得红松景观格局趋于破碎化;白桦和山杨采伐条件下的聚集度指数与无采伐方案相比聚集度指数显著降低,采伐方案间相互比较,方案 e 在模拟 150 a 之后的聚集度指数要比采伐强度相对较小的方案 b、c、d 聚集度指数高。这可能是因为,白桦和山杨为先锋物种,采伐强度较大时,导致有较大的采伐空隙,为白桦提供较大的生长空间,所以在模拟 150 a 之后方案 e 的斑块个数比方案 a、b、c 的斑块个数小,聚集度也相对较大,破碎化相对较小。

结合上述分析,本文主要结论如下:1)森林地上生物量呈现先增大后减小的趋势。采伐强度对森林地上生物量具有显著影响,采伐强度越大,地上生物量越少;2)采伐同样降低了不同树种的地上生物量,但影响程度存在较大差异,其中对水曲柳、椴树和云杉的影响较大;3)采伐使得各树种产生不同程度的破碎化;4)在模拟的前 100 a (2003—2103 年),当采伐强度较高时,应优先采伐白桦和山杨,然后是水曲柳、云杉和椴树;当采伐强度较低时,水曲柳、云杉、椴树、白桦和山杨都可作为采伐树种。在模拟的后 100 a (2103—2203 年),应适当减小采伐强度,水曲柳、云杉、椴树、白桦和山杨都可作为采伐树种。

此外,森林生态系统除了受到人为的干扰(采伐和造林等)外,还受到风、火、病虫害、物种入侵等自然干扰的影响(He & Mladenoff, 1999)。然而,这些过程在本研究中并未予以考虑,这可能会给研究结果带来一定的不确定性,这将在今后工作中进一步研究。

参考文献

- 阿如早,杨 持. 2007. 内蒙古多伦县土地沙漠化景观格局变化特征. *应用生态学报*, **18**(11): 2520 - 2525.
- 陈宏伟,胡远满,常 禹,等. 2013. 森林采伐方式对森林景观的影响模拟——以大兴安岭呼中林区为例. *生态学杂志*, **32**(7): 1888 - 1895.
- 管东生,钟晓燕,郑淑颖. 2001. 广州地区森林景观多样性分析. *生态学杂志*, **20**(4): 9 - 12.
- 郭丽英,王道龙,邱建军. 2009. 环渤海区域土地利用景观格局变化分析. *资源科学*, **31**(12): 2144 - 2149.
- 胡喜生,周新年,邱荣祖. 2009. 采伐对森林景观影响的研究进展. *北华大学学报: 自然科学版*, **10**(5): 442 - 447.
- 胡云云,亢新刚,赵俊卉. 2009. 长白山地区天然林林木年龄与胸径的变动关系. *东北林业大学学报*, **37**(11): 38 - 42.
- 胡远满,徐崇刚,常 禹,等. 2004. 空间直观景观模型 LANDIS 在大兴安岭呼中林区的应用. *生态学报*, **24**(9): 1846 - 1856.
- 李晓娜,贺红士,吴志伟,等. 2012. 大兴安岭北部森林景观对气候变化的响应. *应用生态学报*, **23**(12): 3227 - 3235.
- 齐 麟,代力民,于大炮,等. 2009. 采伐对长白山阔叶红松林乔木竞争关系的影响. *安徽农业科学*, **37**(27): 13317 - 13321.
- 徐文铎,何兴元,陈 玮,等. 2004. 长白山植被类型特征与演替规律的研究. *生态学杂志*, **23**(5): 162 - 174.
- Bengtsson J, Nilsson SG, France A, et al. 2000. Biodiversity, disturbances, ecosystem function and management of European forests. *Forest Ecology and Management*, **132**: 39 - 50.
- Liu JG, Ashton PS. 1999. Simulating effects of landscape context and timber harvest on tree species diversity. *Ecological Applications*, **9**: 186 - 201.
- Lewandowski I, Heinz A. 2003. Delayed harvest of miscanthus: Influences on biomass quantity and quality and environmental impacts of energy production. *European Journal of Agronomy*, **19**: 45 - 63.
- He HS, Hao ZQ, Larsen DR, et al. 2002. A simulation study of landscape scale forest succession in northeastern China. *Ecological Modelling*, **156**: 153 - 166.
- He HS, Mladenoff DJ. 1999. The effects of seed dispersal on the simulation of long-term forest landscape change. *Ecosystems*, **2**: 308 - 319.
- Jenkins JC, Chojnacky DC, Heath LS, et al. 2004. Comprehensive Database of Diameter-based Biomass Regressions for North American Tree Species. United States Department of Agriculture, General Technical Report NE, **319**: 1 - 45.
- Nadrowski K, Wirth C, Scherer-Lorenzen M. 2010. Is forest diversity driving ecosystem function and service? *Current Opinion in Environmental Sustainability*, **2**: 75 - 79.
- Sanderson MA, Read JC, Reed RL. 1999. Harvest management of switchgrass for biomass feedstock and forage production. *Agronomy Journal*, **91**: 5 - 10.
- Shao GF, Zhao G, Zhao S, et al. 1996. Forest cover types derived from landsat thematic mapper imagery for Changbai Mountain area of China. *Canadian Journal of Forest Research*, **26**: 206 - 216.
- Zhao FQ, Yang J, Liu ZH, et al. 2011. Balancing multiple objectives using a classification-based forest. *Environmental Management*, **48**: 1136 - 1147.

作者简介 王 敏,女,1988年生,硕士,研究方向为景观生态学和景观模型。E-mail: wangmin691@163.com
责任编辑 张 敏
