

大兴安岭西北坡火烧迹地湿地格局变化 及其影响因子研究

解伏菊^{1,2,3}, 肖 笃宁¹, 李秀珍¹, 胡远满¹, 王绪高^{1,3}

(1. 中国科学院沈阳应用生态研究所, 辽宁 沈阳 110016; 2. 济南大学城市发展学院, 山东 济南 250002;
3 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 选取大兴安岭 1987 年特大森林火灾主要过火区的图强林业局育英和奋斗两林场作为研究区, 利用地理信息系统软件, 对其火后湿地格局变化以及森林水文功能恢复状况进行了分析。结果显示, 与过火前相比湿地面积增加了 77.56%, 且分布趋于集中; 森林的平均水文调节能力已得到初步恢复, 但具有较高调节能力的林地所占面积有所减少; 森林的水文调节能力、地形因子以及火烧强度对湿地分布格局的变化均有明显影响。在森林水文调节功能下降地区、地势较低的谷地, 坡度平缓的坡地以及火烧强度较大的地区, 湿地面积增加明显。

关键词: 水文调节能力; 湿地格局; 地形因子; 火烧强度; 恢复

中图分类号: X171.1 文献标识码: A 文章编号: 1001-6791(2007)02-0175-07

水文响应与景观表面特性是紧密相连的。而且, 当环境干扰引起景观表面特性发生改变时, 水文响应也随之发生变化^[1]。林火, 作为森林生态系统重要的干扰因子之一, 显著地改变了森林景观的组成与格局, 进而影响森林的生态水文功能。目前, 火后森林水文响应方面的研究主要集中于径流量的变化、水土流失、土壤化学性质的改变等方面^[2~6]。

大兴安岭地区的地形主要以低缓山地与宽浅的河谷为主, 河谷中广布的沼泽湿地是本区自然环境的重要特征, 对环境变化极为敏感。而水分条件和地形则是决定沼泽化过程的主要因素。1987 年 5 月 6 日发生在大兴安岭的特大森林火灾, 总过火面积达 1.33 万 km²。大火使林区形成了由不同的火烧强度区与未过火区构成的异质镶嵌体。森林景观的格局与质量均发生了巨大改变。火后初期, 许多学者对林区的水文状况、沼泽可能存在的潜在变化, 进行了研究和预测。如蔡体久等对火后河川径流的变化进行了定点观测, 发现火烧后初期阶段, 河流径流量增加; 随着植被的恢复, 径流量经历了先减少再逐渐增加直至恢复到火前水平的过程^[7]。杨永兴, 赵魁义等研究后认为大火后沼泽面积将扩大, 不同的地貌条件使沼泽的演变趋势变得复杂: 沟谷、低洼地沼泽呈现分布扩大, 沼泽化程度加重的趋势。而较陡的坡地、分水岭上沼泽则显露出分布缩小, 沼泽化程度减轻的趋势^[8,9]。特大森林火灾已经过去十几年了, 森林景观已逐步得到恢复, 但对森林的水文调节功能恢复状况, 沼泽湿地的格局演变等问题却一直缺乏深入的研究。本文在地理信息系统软件的支持下, 借助于景观指数, 对“5.6”大火的过火区图强林业局的育英、奋斗两林场的火烧前后沼泽分布格局进行对比, 探讨火后沼泽的变化规律; 利用森林水源涵养整体扩散模型比较火烧前后森林水文调节功能的恢复状况; 并通过对火烧强度、地形因子与森林水源涵养功能变化、沼泽格局变化的叠加, 探寻各因子对湿地格局变化的影响。

收稿日期: 2005 12 01; 修订日期: 2006 03 31

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40671013; 40331008); 中国科学院知识创新工程资助项目 (KSCX2-SW-133); 中俄自然资源与生态环境联合研究中心专项资助项目

作者简介: 解伏菊 (1969-), 女, 山东龙口人, 高级讲师, 博士研究生, 主要从事景观生态学以及 GIS 应用方面的研究。

E-mail: xfjshsj@163.com

通讯作者: 李秀珍, E-mail: lixz@iae.ac.cn

1 研究区概况

本研究选取大兴安岭北坡“5·6”火灾区图强林业局中部的育英、奋斗两林场为研究区。总面积约 1 200 km², “5·6”大火过火面积达 1 050 km², 占总面积的 87.5%。图强林业局位于我国北部边陲, 大兴安岭北坡, 黑龙江上游, 阿木尔河流域, 隶属黑龙江省漠河县。地理坐标为 122°18′05″E~123°29′00″E, 52°15′55″N~53°33′40″N; 东与阿木尔林业局交界, 西与西林吉、富克山林业局毗邻, 南与满归林业局接壤, 北以黑龙江与俄罗斯隔江相望, 东西宽约 60 km, 南北长约 150 km, 总面积约 4 023 km²; 该局属于大兴安岭北部起伏和缓的中山丘陵地区, 山顶浑圆, 沟谷宽阔。地势南高北低, 东陡西缓。海拔最低 270 m, 最高 1 210 m, 平均约 500 m; 本区属于寒温带大陆性气候, 冬季严寒漫长, 夏季短暂炎热, 雨热同期。年均气温 -4.94℃, 最低温达 -53℃; 年平均降水量 432.0 mm, 主要集中于 6~8 月; 本区的森林属寒温带森林, 分布最广的树种有兴安落叶松(*Larix gmelinii*)、樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica*)、白桦(*Betula platyphylla*), 其次为云杉(*Picea koraiensis*)、山杨(*Populus davidiana*)等。土壤以棕色针叶林土为主, 土层较薄, 一般为 10~30 cm。

2 研究方法

2.1 数据来源

1987(火烧前), 2000 年林相图及相应的森林资源调查二类清查数据库; 1987 年火烧强度图; 1986 年 10 月与 2000 年 9 月的 Landsat 卫星遥感影像数据; 1:10 万地形图; 野外调查资料。

2.2 方法

在地理信息系统软件的支持下, 将 1987 年(火烧前)与 2000 年两期林相图转化为数字化林相图并与相应的数据库联接, 辅以两期卫星遥感影像的信息, 分别形成两个时期的湿地分布图(图 1)。选取两时期湿地的总面积, 平均斑块面积, 斑块数, 斑块密度以及聚集度指数(Aggregation Index, AI)等格局指标, 对火烧前后的沼泽湿地格局变化进行分析。

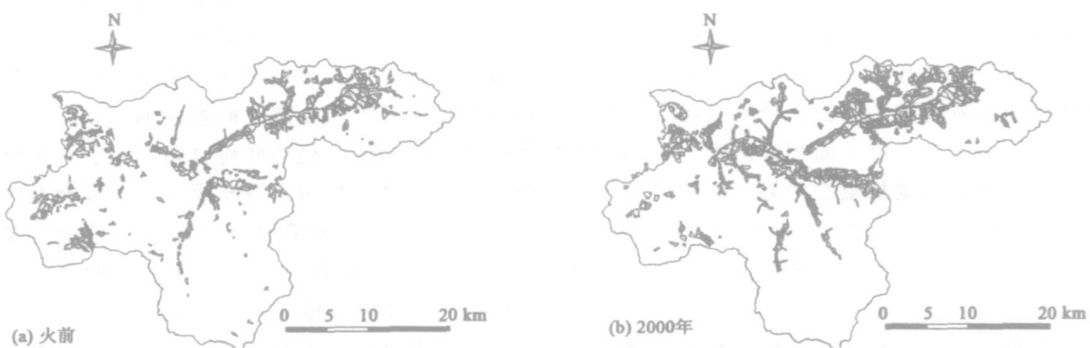


图 1 火前与 2000 年湿地分布图

Fig. 1 Wetland distribution prefire and in 2000

森林水源涵养效益的表达方法有两种: 一种是使用林地与非林地的河流径流曲线积分差标识或用森林水平衡法推定, 这种方法在理论上是严格的, 但鉴于研究区缺乏连续的水文观测数据, 实际研究中无法实现。另一种方法是基于林冠截流、树干截流、枯枝落叶截流以及土壤贮水对大气降水再分配, 从而起到调节径流作用的基础, 逐项计算其水分调节能力。这一方法虽然理论上不严格, 但实际测定容易^[10]。本文采用郎璞玫等对黑龙江省森林所建立的生态效益整体扩散模型中的水源涵养整体扩散模型^[11, 12], 对研究区内火烧前后森林的水文效应的变化进行研究。该模型由林冠截流、枯枝落叶截流以及土壤毛细管孔隙贮水量三部分组成。模型中

的自变量集由区域自变量集和林分自变量集构成。区域自变量集包括经度、纬度、降水量、海拔等。由于研究区仅限于两个林场，面积相对较小，经纬度取固定值，即研究区中心点的地理坐标，经度 122.82°E，52.89°N；降雨量取漠河气象站 20 年平均值，为 430.5 mm；海拔则来源于基于 1:10 万地形图生成的 DEM。林分自变量集包括林分类型、龄组、郁闭度等，数据来源于林相图数据库。这里假设无林地的水分调节能力为 0。利用地理信息系统软件的计算功能，生成火前与 2000 年的水文调节能力分布图(图 2)。

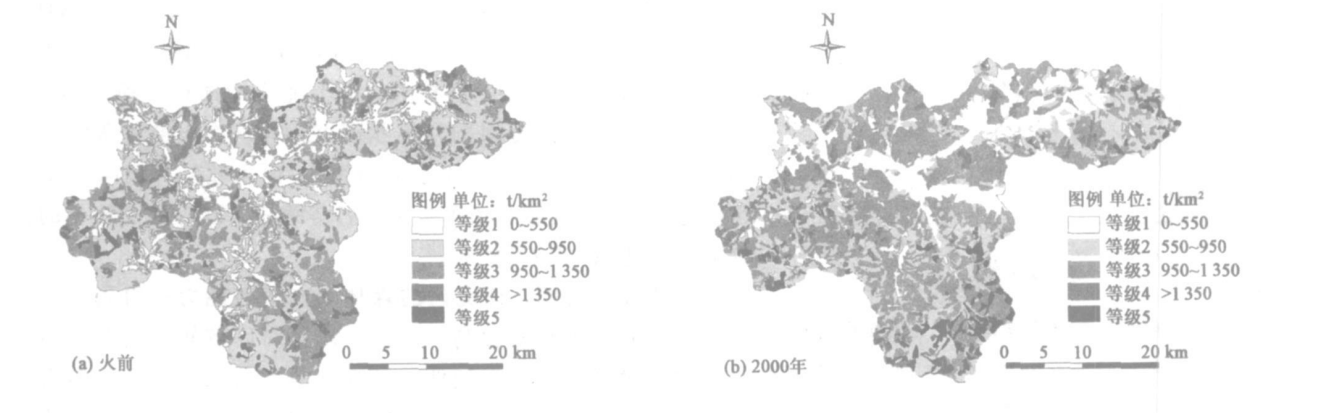


图 2 火前与 2000 年的水文调节能力分布图

Fig. 2 Distribution of regulating capacity of forest hydrology pre fire and in 2000

表 1 地形因子的分类标准

Table 1 Criterion of terrain factors

地形因子	等级 (类型)	划分标准
坡度	平坡	5°以下
	缓坡	5°~15°
	斜坡	15°~25°
	陡坡	25°~35°
	急坡	大于 35°
坡向	阴坡	北坡、东北坡
	半阴坡	西北坡、东坡
	半阳坡	西坡、东南坡
	阳坡	西南坡、南坡
	无坡向	宽谷、平地
坡位	谷	山麓谷地坡度<5°、河岸或溪流两岸带状地带、谷地低洼排水不畅或沼泽化地带、宽阔河谷地带
	下坡位	海拔 900 m 以下山地，自山麓至 1/3 高度处的各坡向
	中坡位	海拔 900 m 以下山地，自 1/3 至 2/3 高度处的各坡向
	上坡位	海拔 900 m 以下山地，2/3 高度至山顶的各坡向
	岭脊	海拔 900 m 以上的山岭顶部的各个坡向

在地理信息系统软件的支持下，由 DEM 分别生成坡度、坡向图，由林相图提取坡位图，并按(表 1)标准对其进行分类。将森林水文调节能力图、火烧强度图、坡度、坡向图以及坡位图与湿地格局变化图叠加，探讨各影响因子对湿地格局变化的影响(表 2)。

表 2 火烧前后湿地格局的变化

Table 2 Change of wetland pattern pre and post fire

湿地格局	1987 年(火前)	2000 年	变化/ %
总面积/ km ²	115.44	204.98	77.56
平均面积/ km ²	0.69	2.73	295.65
斑块数/ 个	167.00	75.00	-55.09
斑块密度/(个·km ⁻²)	1.45	0.37	-74.48
AI	93.04	96.78	4.02

3 结果与分析

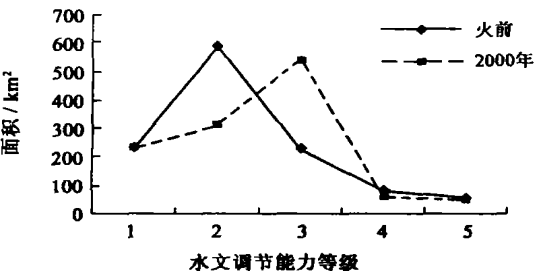
3.1 沼泽湿地格局的变化

由表 2 可以看出，火烧前与 2000 年相比湿地的分布格局发生了显著变化。湿地总面积由火烧前的 115.44 km² 增加到 2000 年的 204.98 km²，增幅达 77.56%；其中新增加湿地约 123.94 km²，原有湿地减少 34.40 km²。平均斑块面积由火前的 0.69 km² 增加到 2.73 km²，斑块个数则减少了 92 个，相应的斑块密度降低了 74.48%；聚集度指数则增加了 4.02%。以上结果表明，火后湿地面积大幅度增加，湿地的破碎化程度降低，湿地格局由分散趋向于集中连片分布。湿地增加的方向

式主要以原有沼泽为核心向外扩散、连通,导致斑块面积增加,斑块数量减少,分布趋向集中(图 1)。

3.2 森林水文调节能力的变化

研究区有林地 2000 年的平均森林水文调节能力达到 626.11 t/km²,比火前的 589.04 t/km²增加了 6.3%(图 2)。从调节能力的等级构成来看(图 3),具有较高调节能力的林地(等级 4,5)面积由火前的 137.14 km²减少为 116.58 km²,且由火前较分散的格局转变为集中分布于南端的未火烧区(图 2);所占面积最大的等级由火前的



等级 2 提高到等级 3,2000 年等级 3 的面积高达 44.62%;等级 1 的面积略有下降(由火前的 244.83 km²下降到 2000 年的 232.91 km²)。火前与 2000 年的森林水文调节能力的面积转换显示,森林水文调节能力各等级的恢复状况并不均匀,火前各等级向等级 3 的转化比重均最大,其次是等级 2;而由较低等级向等级 4,5 转化的很少;在转化为等级 1 的各等级中,以等级 2 转化的比重最大,达 16.08%(表 3)。

以上结果说明,研究区的森林水文调节能力已得到了初步恢复,平均水平略有提高。但由于恢复时间较短,具有较高调节能力的林地比例仍然较低。等级 3 的大面积增加主要与火后同期更新的林地具有相近的林龄、相似的郁闭度等与水文调节变量有关,等级 1 面积有所下降得益于火后大规模的植树造林措施,使一部分宜林荒地变为林地。

表 3 2000 年火烧前后森林水文调节能力等级分布变化
Table 3 Change of regulating capacity of forest hydrology pre and post fire in 2000

等		级											
1		2		3		4		5		合计			
面积/km ²	占百分比/%	面积/km ²	占百分比/%	面积/km ²	占百分比/%	面积/km ²	占百分比/%	面积/km ²	占百分比/%	面积/km ²	占百分比/%	面积/km ²	占百分比/%
116.78	47.70	26.87	10.97	96.96	39.60	4.06	1.66	0.16	0.07	244.83	100		
95.22	16.08	194.43	32.84	251.5	42.48	31.3	5.29	19.6	3.31	592.05	100		
15.04	6.59	63.00	27.60	109.26	47.87	15.41	6.75	25.55	11.19	228.26	100		
3.75	4.61	17.27	21.22	50.66	62.23	6.90	8.48	2.82	3.46	81.40	100		
2.12	3.80	14.75	26.46	28.09	50.40	4.86	8.72	5.92	10.62	55.74	100		
232.91	78.79	316.32	119.09	536.47	242.58	62.53	30.9	54.05	28.65	1202.28			

3.3 湿地格局变化及影响因素分析

3.3.1 森林水文调节能力与湿地变化

将森林水文调节能力分布图与湿地分布图叠加后发现,新增湿地全部分布于 2000 年森林水文调节能力等级 1 的区域内,其中由火前等级 1 转化为湿地的占 18.21%,由森林的水文调节能力等级 2 转化而来的占 67.92%,由等级 3 转化而来的占 10.47%,其他等级合计贡献 3.4%(表 4)。可见,95% 以上的新增湿地来源于火前森林水文调节能力较低的地区,尤以等级 1 与等级 2 为主。通过林相图信息以及野外调查发现,在转化为湿地的火前等级 1 中有约 90% 的面积来自于没有得到更新的采伐迹地。可见,人类活动也是导致森林水文调节功能下降和湿地变化的重要原因。转化为湿地的火前调节能力为等级 2 的林地主要分布于原有沼泽的边缘,由于立地条件较差,林木生长不良,火烧后立地条件进一步恶化,难以恢复为林地,随着水分截流能力下降,降水积聚于地势低洼地区,加之缺乏有效的植被蒸腾作用^[13,14],使这部分地区演变为湿地。在消失的湿地中,分别有 39.87% 和 46.82% 的森林水文调节能力达到等级 2 和等级 3 的水平,仅有约 2.4% 的湿地转化为荒地,另有 7.05% 作为预备造林地(表 5)。这说明,这部分湿地已主要转变为有林地,调查发现,转化为林地的湿地大多属于立地条件较好的宜林沼泽,随着火后实施的营林政策转向以植树造林为主,这部分湿地随之被改造为林地。综上所述,虽然森林水文调节能力已得到全面恢复,但由于火后恢复状况空间分布不均匀,改变了湿地的分布格局,而人类活动也在一定程度上加剧了湿地分布格局的变化。

表 4 火后新增湿地与森林水文调节能力等级转化的关系 km²

Table 4 Relationship of increased wetland post fire and transformation of regulating capacity of forest hydrology

新增湿地	火烧前后均为等级 1	等级 2→等级 1	等级 3→等级 1	等级 4→等级 1	等级 5→等级 1
123.93	22.56	84.17	12.98	2.89	1.33
100%	18.21%	67.92%	10.47%	2.33%	1.07%

表 5 火后湿地减少与森林水文调节能力等级转化的关系 km²

Table 5 Relationship of decreased wetland post fire and transformation of regulating capacity of forest hydrology

减少湿地	火烧前后均为等级 1		等级 2→等级 1	等级 3→等级 1	等级 4→等级 1	等级 5→等级 1
	预备造林地	荒地				
34.39	2.58	0.67	13.71	16.10	1.31	0.02
100%	7.05%	2.40%	39.87%	46.82%	3.81%	0.05%

3.3.2 地形与湿地变化

由图 4 可以看出，坡度对湿地变化具有明显的影响，湿地面积在平坡上增加最大，达 65.58 km²；其次是缓坡，增加了 22.66 km²；其他坡度上增加较少；除了无坡向地湿地增加较大之外(增加了 23.48 km²)，其他各坡向的变化差异较小；谷地、下坡位以及中坡位湿地面积明显增加，分别增加了 24.43 km²，33.45 km² 和 22.85 km²。这一结果与火后初期的预测具有一定的一致性^[9]，即地势低洼，坡度较小的地区，沼泽化将会加重，沼泽面积扩大。但坡向的影响不明显，阳坡、半阳坡湿地分布甚至比阴坡、半阴坡略大。坡向主要通过影响光照条件对林地的蒸发散进行调控，从而影响湿地的分布。火后迅速大规模的造林，使林区郁闭速度加快，各坡向上的透光条件差异不大，是各坡向湿地变化差异不大的主要原因。

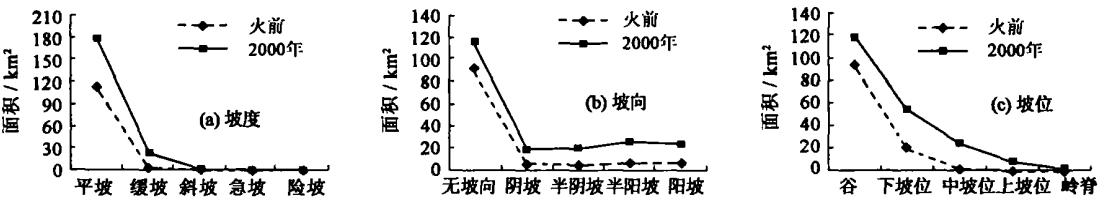
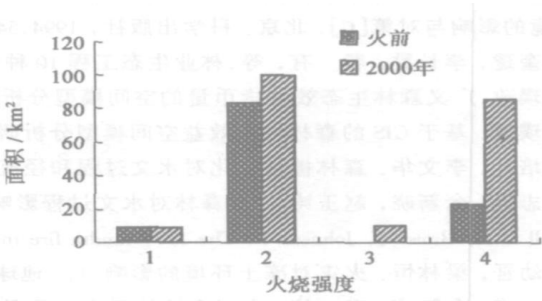


图 4 地形因子与湿地变化
Fig 4 Terrain factors and wetland change

3.3.3 火烧强度与湿地变化

将火烧强度图与火烧前后沼泽分布图叠加可以看出(图 5)，中度与重度火烧区沼泽面积均有大幅度增加，增幅分别达 4722.73%和 278.71%；轻度火烧区沼泽面积只增加了 19.98%；未火烧区沼泽面积则减少了 4.54%。

以上结果表明，火烧强度与沼泽分布具有明显的相关性，随着火烧强度的增大，沼泽面积也呈增加的趋势。这一结果可以从几方面得以解释：一是火烧强度越强，林木受损越严重，水文调节能力下降幅度越大。2000 年新增的调节能力等级 1 的区域几乎全部分布于火烧区。其中，中度与重度火烧区分别比火前增加了 344.55%与 116.75%，轻度火烧区增长了 21.01%，而未火烧区则只增加了 1.88%；二是吸水能力强的有机质部分被烧毁，导致地表过湿；三是冻土融深加大，地下冰融化加剧所致^[15-17]。火烧强度越高，有机质损失越大，冻土融深越大，这也成



1 未火烧; 2 轻度火烧; 3 中度火烧 4 重度火烧

图 5 不同火烧强度区火烧前后沼泽面积的分布

Fig. 5 Area distribution of wetland in various burned area pre and post fire

为沼泽化的另一重要水源。未火烧区沼泽面积减少则与火后对宜林沼泽地的改造有关。可见,火烧强度是通过改变森林的水文调节能力以及冻土性状,进而影响了湿地的分布格局。冻土与湿地的关系,已引起了相关学者的关注^[17,18],但火烧后冻土的变化对沼泽湿地格局的影响还缺乏定量的研究,这也将是今后探讨的课题。

4 结 论

1987 年特大森林火灾后大兴安岭湿地格局发生了较大的变化,不仅湿地面积显著增加而且呈现集中连片分布的特点。湿地格局的变化是多个影响因素共同作用的结果。火烧强度是湿地格局变化的重要引致因子,随着火烧强度的增加,森林水文调节能力降低幅度越大,湿地面积增加越显著,而未火烧区则变化很微弱。森林水文调节能力的变化则直接影响到湿地水分来源。虽然火后森林的平均水文调节能力已初步恢复,但仍存在两方面的问题:由于恢复时间较短,具有较高调节能力的林地所占比重较小;调节能力恢复格局不均匀。由等级 2 转化为等级 1 的部分成为新增湿地的主要来源。地形是影响湿地格局的另一重要因素,坡度较小的平、缓坡、谷地以及中下坡位,无坡向地易于积水,因而湿地增加明显。冻土是本研究区重要的自然环境因子之一,火后的变化对湿地格局所产生的影响有待于进一步深入研究。

参考文献:

- [1] Beeson P C, Martens S N, Breshears D D. Simulating overland flow following wildfire: mapping vulnerability to landscape disturbance[J]. *Hydrological Processes*, 2001, 15: 2917– 2930.
- [2] Morris S E, Moses T A. Forest fire and natural soil erosion regime in the Colorado Front Range[J]. *Annals of the Association of American Geographers*, 1987, 77: 245– 254.
- [3] Iglesias T, Cala V, Gonzalez J. Mineralogical and chemical modifications in the soils affected by a forest fire in the Mediterranean area[J]. *Science of the Total Environment*, 1997, 204(1): 89– 96.
- [4] Meyer G A, Wells S G. Fire related sedimentation events on alluvial fans, Yellowstone National Park, U S A[J]. *Journal of Sedimentary Research*, 1997, 67: 776– 791.
- [5] Wilson C J. Effects of logging and fire on runoff and erosion on highly erodible granitic soils in Tasmania[J]. *Water Resources Research*, 1999, 35: 3531– 3546.
- [6] Legleiter C J, Lawrence R L, Fonstad M A, *et al.* Fluvial response a decade after wildfire in the northern Yellowstone ecosystem: a spatially explicit analysis[J]. *Geomorphology*, 2003, 54(3– 4): 119– 136.
- [7] 蔡体久,周晓峰,杨文化.大兴安岭森林火灾对河川径流的影响[J]. *林业科学*, 1995, 31(5): 403– 407.
- [8] 杨永兴,赵魁义,张文芬,等.试论火生态因子在沼泽生态系统形成、发育中的功能—以大兴安岭地区“5.6”特大森林火灾为例[A]. 赵魁义,张文芬,周幼吾,等.大兴安岭森林火灾对环境的影响与对策[C]. 北京:科学出版社,1994. 17– 24.
- [9] 赵魁义,张文芬,杨永兴.“5.6”特大火灾对森林沼泽的影响与对策[A]. 赵魁义,张文芬,周幼吾,等.大兴安岭森林火灾对环境的影响与对策[C]. 北京:科学出版社,1994. 54– 63.
- [10] 郎奎建,李长胜,殷有,等.林业生态工程 10 种森林生态效益计量理论和方法[J]. *东北林业大学学报*, 2000, 28(1): 1– 7.
- [11] 郎璞玫.广义森林生态效益货币量的空间模型分析[J]. *生态学报*, 2003, 23(7): 1356– 1362.
- [12] 郎璞玫.基于 GIS 的森林生态效益空间模型分析研究[D]. 北京:北京林业大学,2001.
- [13] 石培礼,李文华.森林植被变化对水文过程和径流的影响效应[J]. *自然资源学报*, 2001, 16(5): 481– 486.
- [14] 张志强,余新晓,赵玉涛,等.森林对水文过程影响研究进展[J]. *应用生态学报*, 2003, 14(1): 113– 116.
- [15] Hall D K, Brown J, Johnson L. The 1977 tundra fire in the Kokolik river area of Alaska[J]. *Arctic*, 1978, 31: 54– 58.
- [16] 周幼吾,梁林恒.火灾对冻土环境的影响[J]. *地球科学进展*, 1991, 6(1): 62– 66.
- [17] 周梅,余新晓,冯林.大兴安岭林区冻土及湿地对生态环境的作用[J]. *北京林业大学学报*, 2003, 25(6): 91– 93.
- [18] 孙广友.试论沼泽与冻土的共生机理——以中国大小兴安岭地区为例[J]. *冰川冻土*, 2000, 22(4): 309– 316.

Wetland pattern change and affecting factors in the burned area of northern Great Hing'an mountains^{*}

XIE Fur ju^{1,2,3}, XIAO Du ning¹, LI Xi r zhen¹, HU Yua n man¹, WANG Xi r gao^{1,3}

(1. *Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China;*

2. *Jinan University, Jinan 250002, China;*

3. *Graduated School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)*

Abstract: The catastrophic forest fire on the northern slope of Great Hing'an Mountains in 1987 greatly affects the ecological environment. Wetland, as one of the important attributes, is very sensitive to the environment change. The Yuying and Fendou farms administered by Tuqiang forestry bureau, one of the mainly burned area in 1987 fire, are selected as the study area to reveal the wetland pattern change and the restoration of the regulating capacity of forest hydrology post-fire with GIS software. The results show that the total area of wetland increases by 77.56% with convergence tendency compared with that of pre-fire, and the average regulating capacity of forest hydrology restores a lot, but the area of high regulating capacity of forest hydrology decreases. The regulating capacity of forest hydrology, terrain factors and fire severity is related to the wetland pattern change. The increase of wetland is remarkable in valley, gentle slope and severe burned area, and also in area with decreasing regulating capacity of forest hydrology.

Key words: regulating capacity of hydrology; wetland pattern; terrain factors; fire severity; restoration

^{*} The study is financially supported by the National Natural Science Foundation of China(No.40671013, 40331008).