

采伐干扰对帽儿山地区天然次生林土壤表层温度空间异质性的影响*

谷加存¹ 王政权^{1**} 韩有志² 王向荣¹ 梅莉¹ 张秀娟¹ 程云环¹

(¹ 东北林业大学林学院, 哈尔滨 150040; ² 山西农业大学林学院, 山西太谷 030801)

【摘要】 研究了不同强度采伐干扰对土壤表层(3~5 cm)温度空间异质性和空间格局的影响。在帽儿山地区天然次生林内, 设置3块不同强度采伐干扰处理样地: A(对照)、B(按基面积的50%随机采伐)和C(皆伐), 分别布设不同空间距离(0.5~56 m)的取样点160、154和154个, 比较了干扰以后2年内春季和夏季(共4次)土壤表层温度的空间异质性和空间格局特征。结果表明, 森林采伐后, 土壤表层平均温度显著增加(相差0.6~4.2 °C, $P < 0.001$), 与干扰强度存在一定程度正相关, 温度波动范围加大。采伐干扰导致土壤表层温度空间异质性程度和变异尺度增加, 并随干扰强度加大而增大, 小尺度上的空间异质性也出现增加现象, 但土壤温度空间变异尺度主要体现在 <20 m 范围内, 空间异质性组成受干扰影响较小。经Kriging法对土壤表层温度空间格局模拟, 发现采伐干扰样地土壤表层温度的空间格局强度较对照林地大, 温度等值线密集, 其差异春季比夏季明显。采伐干扰样地的年际间相同季节土壤表层温度格局较相似, 而对照样地则呈较均匀的分布格局。

关键词 土壤温度 采伐 空间异质性 空间格局 地统计学 天然次生林

文章编号 1001-9332(2006)12-2248-07 **中图分类号** S718.51 **文献标识码** A

Effects of cutting intensity on spatial heterogeneity of topsoil temperature in secondary forest in Maershan region of Heilongjiang Province. GU Jiacun¹, WANG Zhengquan¹, HAN Youzhi², WANG Xiangrong¹, MEI Li¹, ZHANG Xiujuan¹, CHENG Yunhuan¹ (¹College of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China; ²College of Forestry, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, Shanxi, China). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2006, 17(12): 2248 ~ 2254.

This paper studied the effects of different cutting intensity on the spatial heterogeneity of topsoil (3~5 cm) temperature in the secondary forest in Maershan region of Heilongjiang Province. Three treatments were installed, i. e., no cutting (treatment A), 50% of randomly cutting (treatment B), and clear cutting (treatment C). Based on the requirements of geostatistic analysis, there were 160, 154 and 154 sampling points with a spatial distance of 0.5~56 m in the treatments A, B and C, respectively. Topsoil temperature was measured by thermometer in spring and summer during the two years after cutting, and the spatial heterogeneity of the temperature was analyzed by semivariogram and Kriging arithmetic. The results showed that after cutting, the mean value of topsoil temperature had an increase of 0.6~4.2 °C ($P < 0.001$), and correlated positively with cutting intensity. The spatial heterogeneity and variation degree of topsoil temperature also increased with the increasing intensity of cutting. As for the small scale spatial heterogeneity of topsoil temperature, it was also increased after cutting, but the scale was mainly within the range of <20 m and the composition of spatial heterogeneity was slightly affected. The comparison of Kriging maps suggested that in treatments B and C, the spatial pattern strength of topsoil temperature was enhanced, and the difference between treatments B and C and treatment A was larger in spring than in summer. In treatments B and C, topsoil temperature fluctuated and had similar distribution patterns in the same seasons; while in treatment A, the temperature had a relatively even distribution within the year.

Key words Soil temperature, Cutting, Spatial heterogeneity, Geostatistics, Secondary forest.

1 引言

土壤温度作为重要的植物生活因子,对树木蒸腾和光合作用^[15]、种子萌发^[19]、根系的呼吸^[3]、土壤养分和水分有效性及生物活动有着不同程度的影响^[16,21,25]。土壤温度具有明显的时空异质性特点,其日变化和季节变化主要受气候因子控制,而不同空间位置土壤温度的变化主要受地形因子、土壤物理

因子和地表植被以及凋落物等因子的影响^[6,17,23]。干扰是引起森林生态系统结构和功能发生变化的重要因子^[26]。自然干扰(如飓风)或人为干扰(如采伐)通过影响林木个体的空间分布、群落内的植被组成和结构,引起与植被特征相关的太阳辐射能、地

* 国家自然科学基金项目(30070132)和国家自然科学基金重点资助项目(30130160)。

** 通讯联系人。E-mail: wzqsilv@126.com
2005-12-31 收稿,2006-09-22 接受。

表蒸发散、地表空气流动速度等因子在系统内的重新分配,导致土壤温度的时、空分布特征发生变化^[5,13].而这些变化在一定程度上影响着土壤资源的有效性(如氮矿化)、群落内的物种更新、种间竞争和生物多样性的维持等群落的结构和功能特征^[19,22].因此,对土壤温度空间变异特征的研究有助于更好地理解解释植物的更新、生长发育以及与此有关的群落动态过程和机制.

目前,国内外对林地土壤温度的研究主要集中在自然干扰后形成的林窗以及采伐迹地的生境条件下,土壤温度的时、空动态和相关生物、非生物特征差异的研究.如对不同林窗间小气候要素的比较^[9],林窗内近地层温度的时空变化^[24],林窗内外物种多样性和密度分布的差异^[11],林缘效应对土壤温度空间变异的影响^[13],采伐迹地与林内土壤温度的差异^[20],采伐前后土壤热状况或者平均温度的差异^[5,7]等方面.但是,对森林采伐后群落尺度上土壤温度的空间异质性和空间格局的变化还不清楚,而这一过程对土壤中有机的分解和矿化、种子的萌发和幼苗的初期生长具有重要影响,特别是在温带森林中,温度季节变化明显,土壤温度的高低和空间异质性特征对某些温度敏感种繁殖体的萌发与休眠、侵入与定居,以及个体的空间分布有很大作用,从而进一步对种群的动态、群落的发育和演替、生态系统的多样性和稳定性产生潜在影响.为此,本文以我国东北林区帽儿山地区天然次生林林分为研究对象,通过不同强度的采伐干扰处理,连续2年(春、夏季共4次)对土壤表层(3~5 cm)温度的空间异质性和格局动态进行了定量研究,旨在探讨不同采伐干扰对土壤表层温度的影响程度和季节变化;分析土壤表层温度的空间异质性和格局与采伐干扰强度的关系,以深刻地认识植被动态变化与土壤温度空间格局之间的联系,以及干扰对森林生态系统过程(如土壤矿化过程)的影响.

2 研究地区与研究方法

2.1 自然概况

研究地点设在东北林业大学帽儿山实验林场尖砬沟森林培育实验站(45°21′~45°25′N,127°30′~127°34′E).该区为低山丘陵区,属温带大陆性季风气候.年平均气温2.8℃,1月均温-19.6℃,7月均温20.9℃,≥10℃的积温2000~2500℃.5月份,20 cm以上土壤表层平均温度大于5℃,到10月份降至5℃以下.年平均降水量723 mm,年平均蒸发量1094 mm.样地海拔高340 m,地形平缓.土壤为暗棕壤,平均土层厚度40~50 cm.

该地区的地带性植被为原始阔叶红松(*Pinus koraiensis*)林,目前是遭破坏后形成的次生林,平均林龄为70~80年,平均树高24.6 m.试验地林分冠层主要树种为水曲柳(*Fraxinus mandshurica*).其它树种有黄波罗(*Phellodendron amurense*)、胡桃楸(*Juglans mandshurica*)、白桦(*Betula platyphylloides*)等;灌木树种以暴马丁香(*Syringa amurensis*)、早花忍冬(*Lonicera praeflorens*)、瘤枝卫矛(*Evonymus pauciflorus*)等为主;草本植物主要为木贼(*Hippochaete hymale*)、毛缘苔草(*Carex campylorhina*)和铃兰(*Coenocorypha keiskei*)等.

2.2 研究方法

2.2.1 样点设置和土壤温度测定 2001年5月上旬进行了野外踏查,秋季进行林分基本状况调查.在同一林分中设置50 m×50 m试验地3块(相距10~15 m),每块周围均设置宽度为10 m的缓冲区.样地A(对照):没有进行采伐干扰;样地B:按胸高断面面积的50%随机伐除乔木,并清除大的灌木;样地C:采取皆伐处理.依据地统计学理论及空间格局分析的取样方法^[18],首先在每块试验地内设置规则(4 m×4 m)的取样点,然后随机选取2个8 m×8 m的小样方,在其内布设2 m×2 m,1 m×1 m和0.5 m×0.5 m的格子样方,在网格线的交叉点处取样.各样地内选取样点为:样地A 160个,样地B和样地C各154个,取样图参见文献^[4].

采用轻便插入式地温计^[10]进行土壤表层(3~5 cm)温度测定,土层插入深度为3~5 cm(每个温度计以红色记号笔作好深度标记),为方便读数,稍倾斜为宜,并保持方向一致.测定时间分别为2002年5月22日、8月28日;2003年的6月1日、8月26日,每次均在约9:00开始.为尽量减少温度日变化所造成的误差,整个温度的测定在1 h内完成.此外,在土壤温度测定期间,于林地内随机设置4个参考温度计,每隔30 min读数1次,以减少土壤温度计算时,因温度短时变化引起的误差.

2.2.2 数据分析 通过频数分布统计,分析土壤表层(3~5 cm)温度在不同采伐干扰样地、不同季节测定时期内的数量分布特征;计算每个样地土壤表层温度的平均值和方差,以此作为评价各样地内土壤温度平均状况和非空间变异的基本指标.在方差分析基础上,利用多重比较方法(LSD),检验采伐干扰后,不同处理样地间土壤表层平均温度的差异显著性.分别采用变异函数和Kriging空间局部插值法对土壤表层温度的空间异质性和空间格局定量化.通过比较变异函数理论模型参数:块金值 C_0 (nugget)、基台值 $C_0 + C$ (sill)、结构方差比 $C/(C_0 + C)$ (structural variance ratio)和变程 a (range)^[4,8],分析林内植被在不同强度采伐干扰下,土壤表层温度的空间异质性特征的差异和动态.块段克立格(block kriging)法被用来估计、模拟和比较土壤表层温度的空间分布特征.土壤温度数据的空间分析通过地统计软件(Gs+ 5.1, Gamma Design)来实现,其中理论模型选择的步长(lag)范围为0.5~25 m,样点对数最小为80、最大为2192,平均值大于400.

3 结果与分析

3.1 土壤表层温度变化特征

土壤表层(3~5 cm)温度的变化特征受采伐干扰强度和季节的影响。尽管土壤表层温度频数变化均呈近似正态分布(图1),但在2002和2003年的春季(5月或6月),采伐干扰样地B和C内土壤温度的变化特征与对照样地(A)明显不同。采伐样地内土壤温度的变化范围相对较大(4~19℃),对照样地内土壤温度则较为集中(5~10℃)。在2年里的夏季(8月),3块样地内土壤表层温度的变化范围均相对较小。同期比较发现,2002和2003年春季,样地A土壤表层温度较低的点(<8℃)分别占样本总数的40.8%和44.6%,而样地B为3.2%和10.5%,样地C则分别为0%和7.2%。每年夏季,采伐干扰样地内取样点中土温较高的点所占比例仍大于对照样地(图1)。

林木采伐以后,样地B和C与样地A相比,土壤表层平均温度升高,样本方差和变异系数增大(图1)。采伐后的第1年,样地A、样地B和C内土

壤春夏季混合平均值分别为12.1℃、14.9℃和15.6℃,而第2年则分别为11.4℃、13.5℃和13.2℃,而且采伐样地中相同季节的土壤平均温度均显著地高于对照样地(相差0.6~4.2℃, $P < 0.001$)。样地C的土壤平均温度在4次测定中,有3次 \geq 样地B,尽管相差很小(<2℃),但除2002年夏季外,二者平均值的差异均极显著($P < 0.001$)。干扰样地内的取样方差和变异系数,4次测定中有3次高于对照样地(图1),表明采伐干扰有增加样地内表层土壤温度变异的趋势,但干扰样地(B、C)之间的关系并无规律性。

3.2 采伐干扰对土壤表层温度空间异质性的影响

采伐干扰引起土壤表层温度的空间异质性发生明显变化。由表1、图2可以看出,除2002年夏季(8月)外,样地B和样地C内土壤表层温度变异函数的块金值(C_0)均比样地A大,表明采伐干扰后,小尺度上的空间异质性和随机影响增加。无论是春季还是夏季,样地B和样地C内土壤表层温度的基台值(2.196~5.359和1.92~8.10),均比样地A高

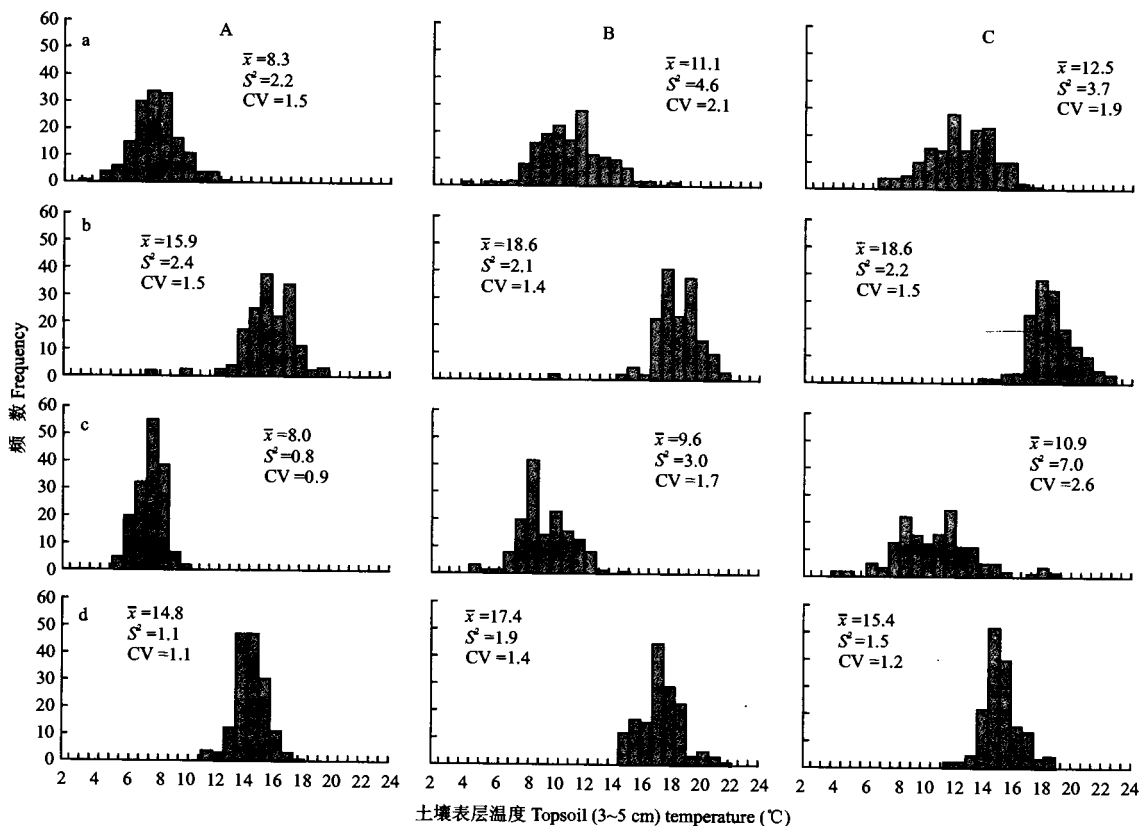


图1 不同采伐干扰样地土壤表层(3~5 cm)温度频数分布
 Fig. 1 Frequency distributions for topsoil (3~5 cm) temperature in three plots.
 A: 样地A(对照) Plot A (control), B: 样地B(采伐50%) Plot B (50% cutting), C: 样地C(皆伐) Plot C (clear cutting); a) 2002.05.22, b) 2002.08.28, c) 2003.06.01, d) 2003.08.26. 下同 The same below.

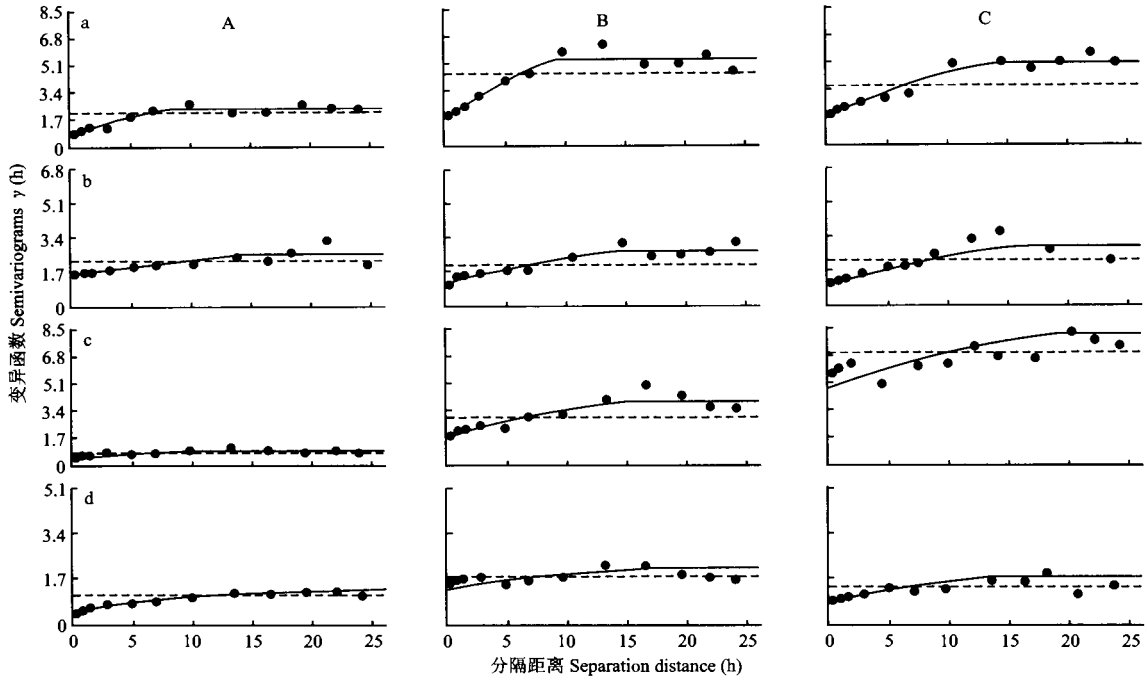


图2 土壤表层(3~5 cm)温度变异函数
 Fig.2 Semivariograms for topsoil (3~5 cm) temperature in three plots.

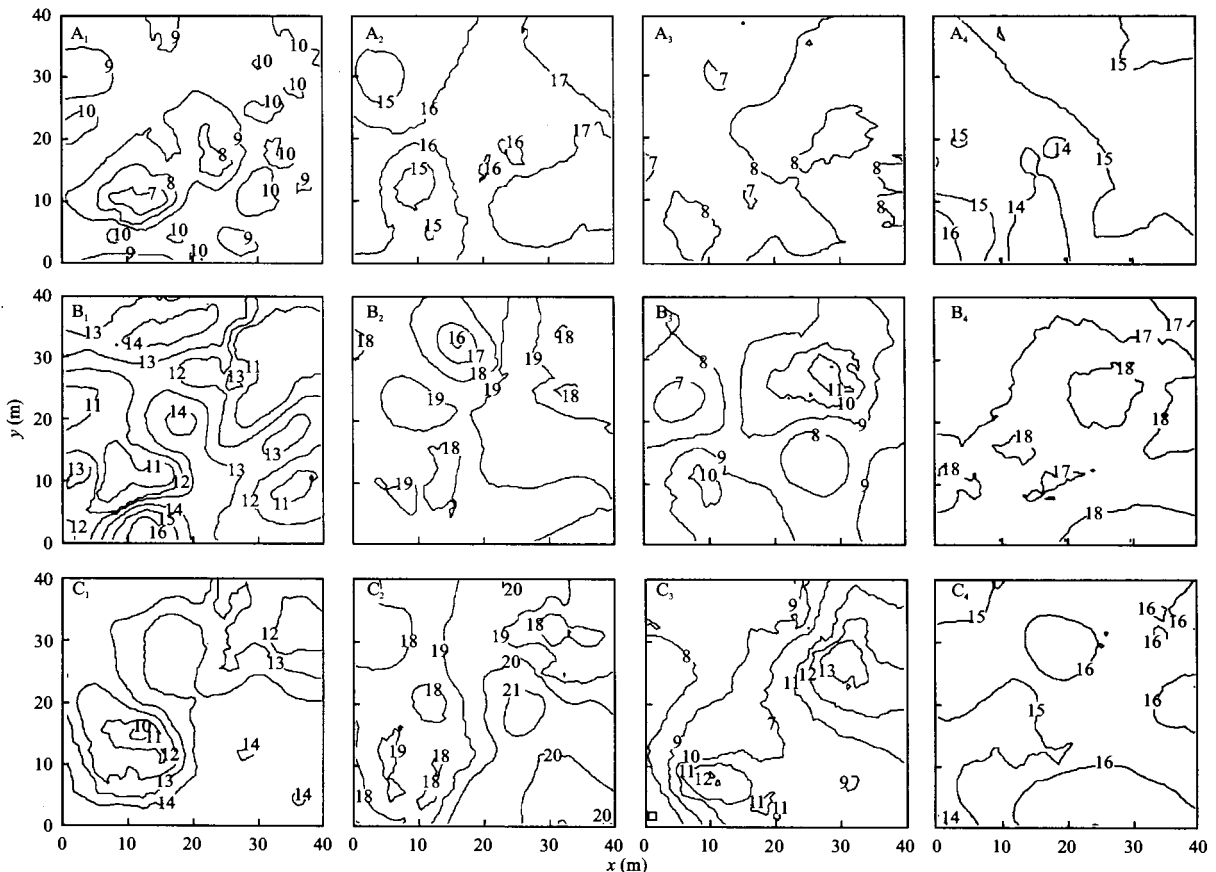


图3 土壤表层(3~5 cm)温度空间分布格局
 Fig.3 Spatial patterns for topsoil (3~5 cm) temperature in three plots during 2002 and 2003.
 1~4 分别代表2002年春、夏和2003年春、夏季节 Number 1~4 represented the spring and summer of both 2002 and 2003 respectively.

(0.957 ~ 2.58). 采伐干扰样地 B、C 的土壤表层温度空间自相关范围均大于样地 A, 夏季的变程大于春季. 土壤表层温度的空间异质性主要受到空间自相关(结构)因素的影响, 结构因素分别能够解释样地 A 内 41.1% ~ 66.6%、样地 B 内 37.2% ~ 69.6% 和样地 C 内 41.2% ~ 65.4% 的空间变异. 在同一季节, 土壤表层温度的变异函数参数并没有随采伐干扰强度(采伐 50% 和皆伐)发生有规律的增减, 但其 2 年的平均块金值、基台值和变程均表现出随采伐强度增加而逐渐增大的趋势.

3.3 采伐干扰对土壤表层温度空间格局的影响

采伐干扰后, 土壤表层(3 ~ 5 cm)温度的空间格局强度明显大于对对照样地, 而且春季的差异比夏季更明显, 但是 2 种采伐处理之间的差异较小(图 3). 在 2002 年和 2003 年的春季(5 月或 6 月), 样地 B 和样地 C 内土壤表层温度的空间格局较强, 表现为斑块边界过渡明显, 等温线密集, 而且样地 C 土壤温度的梯度分布更明显(图 3B₁、C₁; B₃、C₃). 样地 A 内土壤表层温度分布较均匀, 格局强度弱(图 3A₁、A₃), 表现为 2002 年春季在温度较低的大斑块上散落着小的“热点”(≥10 °C), 而在 2003 年春季则表现为在温度稍高的大斑块上分布着一些小的“冷点”(≤8 °C). 2 年中的夏季, 采伐干扰样地 B、C 内土壤温度斑块数量较多(3 ~ 8 个), 对对照样地内相对较少(2 ~ 5 个), 而且干扰样地内温度斑块边界变化复杂(图 3A₂ ~ C₂; A₄ ~ C₄).

从土壤表层温度空间格局的季节动态来看, 样地 A 内温度格局在 2 年里的春季出现热点(图 3A₁)和冷点(图 3A₃)现象, 但总体上比较稳定, 呈现出均匀分布特征. 同一采伐干扰样地(B 或 C)内土壤温度的格局在 1 年中春季和夏季明显不同, 春季格局较强, 而夏季较弱(图 3B₁、B₂; C₁、C₂; B₃、B₄; C₃、C₄), 需要指出的是, 干扰样地土壤温度空间格局强度特征在年际间相同季节则较为相似.

4 讨 论

4.1 采伐干扰对土壤表层温度平均水平的影响

林木采伐以后, 样地 B 和样地 C 内土壤表层温度显著升高(图 1), 与一些研究者的结论相一致^[6, 20]. 这主要是由于干扰后林冠层的消失(样地 C)或减少(样地 B), 导致太阳直接辐射增加, 土壤表层温度随之升高; 此外, 未受干扰的林内风速一般较空旷地小, 与大气的热量交换差^[23], 土壤表层较湿润, 且容积热容量大^[7], 促使林内地表温度比采

伐迹地低. 在景观尺度上, 土壤表层(10 cm)的温度对植被的叶面积指数和地上凋落物量的变化很敏感^[6]. 许炼烽等^[20]对海南岛次生林不同采伐方式迹地土壤温度与林下的比较发现, 采伐后土壤表层(5 cm)温度明显增高, 林下与迹地年地表平均温度相差 3 °C. 在本研究中, 样地 B 2 年内里的土壤平均温度比样地 A 高 2.44 °C, 而样地 C 则较其高 2.65 °C, 与其研究结果类似. 样地 C 内土壤温度在采伐后第 2 年(2003 年)夏季与样地 A 相差较小(0.67 °C), 可能是样地 A 内草本、灌木和根桩萌条生长迅速, 植被盖度迅速恢复, 庇荫作用大大增强, 土壤表层温度环境近乎同林下一致, 因此二者的差值较小.

Hashimoto 等^[5]研究发现, 在不同土层深度(0.5 ~ 3 m)上, 皆伐仅增加了平均温度和最高温度, 对最小温度不产生影响. 本研究结果表明, 采伐样地与对对照样地之间最高与最低温度相差不大(数据未给出), 但频数统计显示, 采伐以后(图 1), 取样同期样地(B、C)内土壤表层温度较高的点所占比例均比对对照样地大. 在北半球北部山区的春季和夏初, 土壤温度普遍低于 8 °C, 在这个阈值以下土壤温度的动态变化很可能影响树木的生长^[11]. 由此可以认为, 在本研究区内(年均气温 2.8 °C), 观测温度高的点所占的比例(如本文选定阈值为 8 °C)要比单纯观测平均温度(或最高温度)的增量更有实际意义. 土壤温度方差和变异系数的变化表明(图 1), 采伐干扰样地内(B、C)不同样点温度值在春季差异明显大于对对照样地, 而夏季差异较小. 这可能是春季采伐迹地上植被覆盖和地被物分布不均匀、以及土壤水分等方面存在较大差异, 引起各样点的土壤热量状况差异明显, 从而在温度值上有所反映; 在夏季, 地表植被生长茂盛, 土壤接受到的太阳辐射较弱且均匀, 因而样地内的温度变异明显下降.

4.2 采伐干扰对土壤表层温度空间异质性的影响

采伐干扰后, 土壤表层温度异质性程度增加, 且空间自相关范围增大. 在观测的 2 年里, 样地 B 和样地 C 内土壤表层温度变异函数的基台值和变程均明显高于对对照样地(表 1、图 2). 究其原因, 土壤表层温度变化的能量几乎全部来自太阳辐射, 春季测定时对对照样地内树木几乎没有展叶, 而夏季林冠层则较为茂密而均匀, 两种情况均导致光线较为均匀地透射在林地上, 而其他因子如微地形、土壤质地、湿度等对土壤温度的影响远比太阳辐射的作用小得多. 因此, 土壤表层温度的空间异质性弱, 且有

高大乔木存在,容易形成一些小的林下微生境,使得土壤温度的空间自相关的距离相对较小.而在样地 B 和样地 C 内,林地草本植物在春季和夏季可获得的光照均比对照样地多,土壤有机质分解加快,适宜的土壤条件促使草本植物生长迅速.而在植物个体尺度上,由于不同种类的草本植物在植株高度、冠幅上的差异,其对土壤表层温度的庇荫能力有所差异,从而导致土壤温度空间异质性明显增加;从整个样地(群落尺度)上看,大量分布的草本植物斑块使得采伐干扰样地内土壤温度的变程更大. Redding 等^[13]研究表明,林地内植被覆盖对土壤表层(2 cm)温度的影响起决定性作用. Oliver 等^[12]比较了落叶林至裸地上的日太阳辐射、土壤温度和土壤热通量变化,发现植被特征对土壤温度有显著影响.本研究也表明,不同采伐干扰处理造成了植物群落在植被组成、结构特征上的差异,很可能导致土壤表层温度空间异质性特征不同.

表 1 各样地土壤表层(3~5 cm)温度变异函数的参数
Table 1 Parameters of semivariogram for topsoil (3~5 cm) in three plots

样地 Plot	日期 Date	模型 Model	块金值 Nugget (C_0)	基台值 Sill ($C+C_0$)	变程 Range (a)	结构 方差比 Ratio $C/(C+C_0)$	R^2
A	2002.05.22	Sph	0.789	2.365	10.01	0.666	0.923
	2002.08.28	Sph	1.520	2.580	18.70	0.411	0.635
	2003.06.01	Sph	0.423	0.957	13.90	0.558	0.768
	2003.08.26	Sph	0.515	1.278	17.82	0.597	0.944
	平均 Mean		0.812	1.795	15.11	0.558	
B	2002.05.22	Sph	1.630	5.359	10.75	0.696	0.915
	2002.08.28	Sph	1.327	2.876	18.89	0.539	0.889
	2003.06.01	Sph	1.775	3.992	17.92	0.555	0.801
	2003.08.26	Sph	1.380	2.196	21.80	0.372	0.34
	平均 Mean		1.528	3.606	17.34	0.541	
C	2002.05.22	Sph	1.760	5.088	16.90	0.654	0.941
	2002.08.28	Sph	0.931	2.948	19.23	0.684	0.751
	2003.06.01	Sph	4.760	8.100	22.30	0.412	0.624
	2003.08.26	Sph	0.862	1.920	18.40	0.551	0.568
	平均 Mean		2.078	4.514	19.21	0.580	

C: 结构方差 Structural variation, Sph: 球状模型 Spherical model.

森林采伐干扰后,土壤表层的水分^[4]、温度(本文)的平均水平和空间异质性特征发生明显的改变,可能对相关的土壤物理或生化过程(如有机质分解、氮的矿化)产生影响,而这对于进一步研究植物群落的发育、演替和异质性特征有重要的参考价值.采伐干扰后,土壤表层温度 2 年的平均块金值、基台值和变程均表现出随采伐强度而逐渐增大的趋势(表 1),也表明低矮的草本植物和灌木比高大乔木更容易增加土壤表层温度的空间异质性和尺度.在干扰样地(B、C)内,土壤表层温度变异函数的块金值和基台值,由春季到夏季呈现由高到低的变化,而对照样地内块金值和基台值的变化恰恰相反(表

1),表明采伐干扰对土壤温度空间异质性特征的季节变化亦有重要的影响.

4.3 采伐干扰对土壤表层温度空间格局的影响

在采伐干扰样地内,春季土壤表层(3~5 cm)温度具有较强的空间格局(图 3 B₁、B₃;C₁、C₃),夏季则相对较弱(图 3 B₂、B₄;C₂、C₄),而对照样地土壤温度的空间格局在 2 年里的春、夏季均很弱(图 3 A₁~A₄).这可能是由于在春季,采伐迹地(B、C)内光照、土温和水分条件适宜,阳性草本萌发、生长迅速,但由于物种在生长节律、个体特征等方面的差异,形成了庇荫特性不同、面积大小不一的植被斑块,以及相对应的土壤温度斑块的镶嵌分布,格局强度较大;在夏季,植物已充分展叶,较均匀地覆盖地表,使得太阳辐射对地表温度的影响较为均一,土壤温度表现出弱的空间格局.而在对照样地内,土壤温度的空间异质性较低,格局相对较弱.由此可见,地表的植被特征对土壤热量的空间分配起着重要的再调节作用^[2].此外,在采伐作业过程不可避免地影响到地表凋落物层的分布和厚度,从而引起干扰样地(B、C)被伐木附近与其他位置上,枯枝落叶对太阳辐射能反射和吸收能力的强烈差异,进而增加了土壤温度的空间异质性,表现为空间格局强度较大(图 3).

在同一采伐干扰样地内(B 或 C),土壤表层温度的空间格局特征在相同季节(春或夏季)比同年不同季节(春季和夏季比)更为相似,这可能是由于同一样地在相同季节,太阳辐射、林内空气温度、植被生长特征比较接近,从而表现出空间格局跨年际相似的特点. Schwarz 等^[14]对北美红云杉(*Picea rubens*)人工林的研究发现,土壤表层(5 cm)最低温度春季(4~5 月)的波动趋势与同年秋季(9~11 月)明显不同,但是在其观测 2 年中的相同季节,则具有相同的变化趋势(春季升高,秋季降低),表明某个或某些控制土壤温度变化的生态学因子,在相同季节没有发生较大的变化,这可能是导致土壤温度格局特征相似的重要原因之一.此外,干扰样地内春季与夏季土壤温度格局特征的明显差异,也在一定程度上揭示了植物的生长节律、个体特征对土壤温度的空间变异有重要影响.

5 结 论

5.1 采伐干扰有明显增加土壤表层平均温度的作用,且与干扰强度存在正相关.因林冠层的消失和减少,导致干扰样地土壤表层平均温度显著的高于对

照(相差 0.6~4.2 °C, $P < 0.001$), 皆伐样地(C)内土壤平均温度亦比采伐 50% 样地(B)高($P < 0.001$, 但 2002 年夏季不显著)。采伐干扰引起土壤表层温度的波动幅度和方差增大, 而且这种效应在春季比夏季更明显。

5.2 土壤表层温度空间异质性程度和变异尺度均在采伐后增加, 并有随干扰强度增加而增大的趋势。这与干扰后地表植物恢复过程中的生长节律和植株类型、分布特征有关。此外, 小尺度上土壤温度的空间异质性(块金值)在干扰后也有所增加。土壤表层温度的空间异质性主要受空间自相关(结构)因素影响, 且受干扰强度影响不明显。

5.3 采伐干扰增加了土壤表层温度的空间格局强度, 且在春季尤为明显。采伐样地(B、C)内春季土壤温度空间格局强度大, 等温线密集, 梯度变化明显, 而对照样地内则格局强度较弱。这种差异随干扰强度加大而增加。夏季各样地土壤温度的格局均较春季弱, 各处理之间差异很小。采伐干扰样地一年中春季和夏季温度格局特征明显不同, 但年际间相同季节则具有一定的相似性, 而对照样地 2 年里则呈现出稳定的均匀分布特征。

参考文献

- An S-Q (安树青), Hong B-G (洪必恭), Li Z-Y (李朝阳), et al. 1997. Environmental and vegetation studies of the gaps of secondary forests on Zijin Mountain. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, **8**(3): 245~249 (in Chinese)
- Bhattia JS, Fleming RL, Fosterb NW, et al. 2000. Simulations of pre- and post-harvest soil temperature, soil moisture, and snowpack for jack pine: Comparison with field observations. *For Ecol Manage*, **138**: 413~426
- Burton AJ, Pregitzer KS, Ruess RW, et al. 2002. Root respiration in North American forests: Effects of nitrogen concentration and temperature across biomes. *Oecologia*, **131**: 559~568
- Gu J-C (谷加存), Wang Z-Q (王政权), Han Y-Z (韩有志), et al. 2005. Effects of harvesting on spatial heterogeneity of soil moisture in secondary forests of Maershan region. *Acta Ecol Sin (生态学报)*, **25**(8): 2001~2009 (in Chinese)
- Hashimoto S, Suzuki M. 2004. The impact of forest clear-cutting on soil temperature: A comparison between before and after cutting, and between clear-cut and control sites. *J For Res*, **9**: 125~132
- Kang S, Kim S, Oh S, et al. 2000. Predicting spatial and temporal patterns of soil temperature based on topography, surface cover and air temperature. *For Ecol Manage*, **136**: 173~184
- Kang W-X (康文星), Yan W-D (闫文德). 2003. The effect of forest harvest on the soil thermal regime in the watershed of Chinese fir. *Sci Silvae Sin (林业科学)*, **39**(5): 156~160 (in Chinese)
- Kirshbaum MUF. 1995. The temperature dependence of soil organic matter decomposition, and the effect of global warming on soil organic C storage. *Soil Biol Biochem*, **27**: 753~760
- Li H-B (李哈尔滨), Wang Z-Q (王政权), Wang Q-C (王庆成). 1998. Theory and methodology of spatial heterogeneity quantification. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, **9**(6): 651~657 (in Chinese)
- Liu G-S (刘光崧), ed. 1996. Determination of Forest Soil Temperature. In: *Soil Physical and Chemical Analysis Description of Soil Profile*. Beijing: China Standard Press. 134~135 (in Chinese)
- Mellander PE, Bishop K, Lundmark T. 2004. The influence of soil temperature on transpiration: A plot scale manipulation in a young Scots pine stand. *For Ecol Manage*, **195**: 15~28
- Oliver SA, Oliver HR, Wallace JS, et al. 1987. Soil heat flux and temperature variation with vegetation, soil type and climate. *Agric For Meteorol*, **39**: 257~269
- Redding TE, Hope GD, Fortin MJ, et al. 2003. Spatial patterns of soil temperature and moisture across subalpine forest-clearcut edges in the southern interior of British Columbia. *Can J Soil Sci*, **83**: 121~130
- Schwarz PA, Fahey TJ, Dawson TE. 1997. Seasonal air and soil temperature effects on photosynthesis in red spruce (*Picea rubens*) saplings. *Tree Physiol*, **17**: 187~194
- Su W-H (苏文华), Zhang G-F (张光飞). 2002. The effect of soil and air temperature on photosynthesis and transpiration of *Primula sinopurpurea*. *Acta Bot Boreali-Occid Sin (西北植物学报)*, **22**(4): 824~830 (in Chinese)
- Wang M (王森), Ji L-Z (姬兰柱), Li Q-R (李秋荣), et al. 2003. Effects of soil temperature and moisture on soil respiration in different forest types in Changbai Mountain. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, **14**(8): 1234~1238 (in Chinese)
- Wang X-P (王新平), Li X-R (李新荣), Zhang J-G (张景光), et al. 2002. Variation of soil temperature and thermal diffusivity in vegetated and bare sand dunes in arid desert region. *J Desert Res (中国沙漠)*, **22**(4): 344~349 (in Chinese)
- Wang Z-Q (王政权). 1999. Geostatistics and Its Application in Ecology. Beijing: Science Press. 96~100 (in Chinese)
- Wu Y (吴彦), Liu Q (刘庆), He H (何海), et al. 2004. Effects of light and temperature on seed germination of *Picea asperata* and *Betula albo-sinensis*. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, **15**(10): 1703~1710 (in Chinese)
- Xu L-F (许炼烽), Zhu W-K (朱伍坤). 1996. The utilization of tropical secondary forest and the change of soil physical properties. *Acta Ecol Sin (生态学报)*, **16**(6): 652~659 (in Chinese)
- Zak DR, Holmes WE, MacDonald NW et al. 1999. Soil temperature, matric potential, and the kinetics of microbial respiration and nitrogen mineralization. *Soil Sci Soc Am J*, **63**: 575~584
- Zhang R-G (臧润国). 2002. Measurement and analysis on light and temperature regimes in different patch types of forest cycle in a tropical mountain rain forest, Hainan Island. *J Beijing For Univ (北京林业大学学报)*, **24**(5/6): 125~130 (in Chinese)
- Zhang B-G (张秉刚), Luo B-S (骆伯胜), Zhuo M-N (卓慕宁), et al. 1998. Dynamics changes of soil temperature in the south subtropical region and the significance. *Trop Subtrop Soil Sci (热带亚热带土壤科学)*, **7**(2): 143~153 (in Chinese)
- Zhang Y-P (张一平), Wang J-X (王进欣), Ma Y-X (马友鑫), et al. 2002. The temporal-spatial distribution of temperature on the surface roughness of the tropical secondary forest gap in Xishuangbanna, Yunnan Province. *Sci Silvae Sin (林业科学)*, **38**(6): 1~5 (in Chinese)
- Zhou C-P (周才平), Ouyang H (欧阳华). 2001. Influence of temperature and moisture on soil nitrogen mineralization under two types of forest in Changbai Mountain. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, **12**(4): 505~508 (in Chinese)
- Zhu J-J (朱教君), Liu Z-G (刘足根). 2004. A review on disturbance ecology of forest. *Chin J Appl Ecol (应用生态学报)*, **15**(10): 1703~1710 (in Chinese)

作者简介 谷加存,男,1979年生,硕士,助教。主要从事树木生理、森林生态系统和森林培育研究,发表论文4篇。Tel: 0451-82190614; E-mail: gjchun001@yahoo.com.cn

责任编辑 李凤琴