

豫西伏牛山区油松林地表可燃物研究

何晓旭¹, 段绍光^{1,2*}, 胡志东³

(1. 河南农业大学 林学院, 河南 郑州 450002; 2. 河南省林业厅, 河南 郑州 450003; 3. 南京森林警管学院, 江苏南京 210046)

摘要: 利用豫西栾川和西峡 2 县的 102 块样地野外调查资料, 选取 9 个分别代表地表可燃物、地形、环境的指标, 用线性相关分析法对油松纯林地表细小可燃物负荷量的时空变化规律进行分析。结果表明: 油松地表可燃物负荷量与龄级、坡度和郁闭度相关性极其显著; 其随着坡度增大而减小, 随着龄级、郁闭度增大整体呈现线性增加趋势, 但上层可燃物负荷量在第Ⅳ龄级时稍有减少后再增加。30 a 左右的油松林地表可燃物负荷量最大。最终建立的上层可燃物负荷量预测模型为: $M_1 = 793.533 + 7.774X_1 - 17.863X_3$, 下层可燃物负荷量预测模型为: $M_2 = 1082.972 + 13.514X_1 + 902.509X_2 - 34.197X_3$ 。

关键词: 油松林; 地表可燃物负荷量; 相关性分析; 线性回归分析

中图分类号: S762.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-7461(2013)02-0143-04

Dead Surface Fuel Loading of *Pinus tabulaeformis* Forest in Henan West Funiu Mountains

HE Xiao-xu¹, DUAN Shao-guang^{1,2*}

(1. College of Forestry, Henan Agricultural University, Zhengzhou, Henan 45000, China;

2. Department of Forestry of Henan Province, Zhengzhou, Henan 450003, China;

3. Nanjing Forest Police College, Nanjing, Jiangsu 210046, China)

Abstract: Based on the data of field investigation on 102 sampling plots, 9 indices which represented surface fuel loading, terrain, and environment were selected to investigate the regularities of spatial and temporal variations of the loading capacity of the fine fuels on the surface of *Pinus tabulaeformis* forest by linear correlation method. Most significant correlations were found between the surface fuel loading and age class, slope, and the canopy density. The loading capacity decreased with the increase of slope degree, and tended to decrease with the increase of age class and canopy density, except that the loadings slightly decreased first and then began to increase at the age class of IV. The maximum loading capacity appeared in 30-year forest. The models of the loadings of the up and bottom layers were established as $M_1 = 793.533 + 7.774X_1 - 17.863X_3$ and $M_2 = 1082.972 + 13.514X_1 + 902.509X_2 - 34.197X_3$, respectively.

Key words: *Pinus tabulaeformis* forest; dead surface fuel loading; correlation analysis; linear regression analysis

作为一个自然生态因子, 林火对维持森林生态系统多样性和森林健康起着举足轻重的作用^[1]。林火发生的 3 要素包括可燃物、温度和氧气, 其中可燃物是人类目前唯一能够掌控的林火因子, 是林火燃烧的物质基础, 构成林火行为的主体。掌握森林地表可燃物的变化特征和分布情况, 对林火发生和行

为预报有重大的现实意义^[2]。调查地点选择了分布在伏牛山区的栾川县和西峡县, 该区域属暖温带大陆性季风气候, 冬长夏短, 雨量较多, 是河南省森林资源主要分布区, 二类调查数据显示, 2 县森林覆盖率达 80% 左右。从 20 世纪 50 年代起, 油松就是 2 县飞播造林的主要树种, 对该地区的油松林地表枯

收稿日期: 2012-08-13 修回日期: 2012-11-28

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金。

作者简介: 何晓旭, 女, 硕士在读, 主要研究方向: 森林防火。

* 通信作者: 段绍光, 男, 教授级高级工程师, 主要研究方向: 森林可持续经营与管理。E-mail: guangds@163.com

落物负荷量调查,研究其分布特征,可以为当地火险预测提供可靠基础,在预防森林火灾和制定防火措施方面具有重要意义。通过对西峡和栾川 2 县的 102 块油松样地野外调查,分析了油松纯林地表可燃物载量和含水率与龄级、郁闭度和坡度等因子的相关性,在此基础上,建立了可燃物载量模型,可为当地确定森林火险等级提供科学依据。

1 研究数据获取

1.1 外业调查

依据豫西伏牛山区森林类型的分布,根据不同的年龄、坡度、郁闭度,选择有代表性的油松林地作为调查标准地。调查标准地面积设置为 20 m×20 m,调查记录样地的坡度、海拔、胸径、树高、郁闭度等因子,林下调查的主要对象为地表枯死可燃物层。在调查标准地里等距布设 3 块小样方,面积为 2 m×2 m。按上层枯落物(当年枯枝落叶层:较干燥,颜色较浅的未分解松针和油松小枝,含枯死杂草)、下层枯落物(半分解层:较潮湿,深颜色的半分解落叶和半分解油松枝条)2 类分别收集小样方里的枯落物进行称重,记录当时重量(湿重);同时,在 3 个小样方中分别取少量各类样品,整理为一个样品后称取湿重,并将样品带回实验室进行含水率的测定。

在油松地表可燃物负荷量的外业调查中,所选油松林以 10 a 为龄级划分标准,经调查和筛选,最终获得了 102 组有效标准地数据。其中由于第 V 龄级及其以上的成熟油松林数量较少,只选取了 6 个标准地(表 1)。

表 1 各龄级标准地个数					
Table 1 Number of sample plots for each age class					
龄级	I	II	III	IV	V
	(1~10)	(11~20)	(21~30)	(31~40)	(≤41)
标准地/个	21	30	21	24	6

1.2 实验室试验与负荷量计算

在实验室内,把采集的样品入烘干至恒重的信封中,再放进烘箱,在 103℃ 下进行烘干 24~48 h,至样品恒重为止,称量得到样品的干重。计算样品的相对含水率公式^[3]:

$$RMC = \frac{(WH - WD)}{WH} \times 100\%$$

(1)

式中:RMC 是相对含水率,WH 为可燃物湿重,WD 为可燃物烘干后的绝干重量。用已知的样品相对含水率和 3 个小样方相对应种类的可燃物湿重,运用式(1)可得到每个小样方 2 类可燃物的负荷量(kg/m²)。综合 3 个小样方的负荷量和面积,求出平均值,推算调查标准地的地表 2 类可燃物负荷量(kg/

hm²)。调查样地可燃物负荷量计算公式为:

$$M_i = \frac{\sum_{i=1}^3 M_i}{3} \times 1\,000$$

(2)

式中:M_i 为第 i 个样方的负荷量(kg/hm²)。由式(2)可以分别计算出 102 块调查样地当年落叶层和半分解层的可燃物负荷量。

2 结果与分析

2.1 地表可燃物载量的时空分布规律与分析

研究发现油松纯林地表可燃物负荷量与龄级总体呈线性相关,随着龄级的增加,树木平均树高和胸径相应增加,树木生长茂盛,林分生长量加快,进而导致地表枯落物增多。

上层可燃物负荷量最大值出现在第 III 龄级,为 765.90 kg/hm²,但在第 IV 龄级时上层地表可燃物负荷量有所下降,随后又小幅上升(图 1)。上层可燃物如此变化的原因是在林分生长初期,随着油松林生长,林分生长量增大,导致地面枯落物负荷量增加,但是林分逐渐成熟,生长至第 IV 龄级左右时,郁闭度逐渐增大,树冠相互遮荫,单株树木冠量不再随树木胸径增加而增大,反而有所减小,故上层可燃物负荷量反而减小;而到了第 V 龄级,油松进入郁闭后的加速生长期,所以随着龄级增大会导致大量枯落物脱落,使上层可燃物负荷量增大,所以上层可燃物负荷量在第 IV 龄级稍有减少之后又增大^[4-7]。

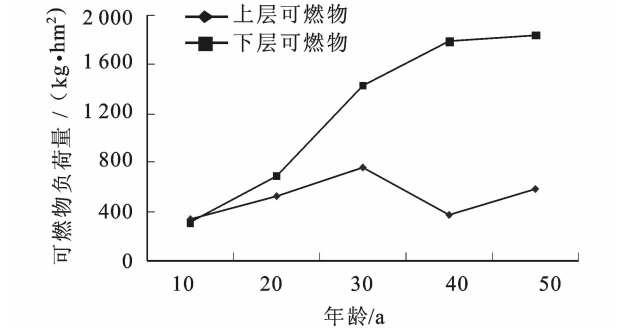


图 1 可燃物负荷量随龄级变化规律
Fig. 1 Regularities of the loadings of surface fuels with forest age

下层可燃物负荷量随着龄级增大而逐渐增加(图 1),第 V 龄级的油松林下层可燃物负荷量达到 1 839.28 kg/hm²。下层可燃物负荷量受到上层环境的影响较小,并且所调查的标准地在生长期内没有抚育措施,所以排除人为影响;随着郁闭度的增大,林下土壤温度降低,影响了微生物的活动强度,使下层可燃物分解速度降低,从而使下层可燃物负荷量逐渐累积^[8]。

随着坡度增大,土壤贫瘠,水土流失情况逐渐严重,林木生长量差,落在地面的枯枝落叶少,相应的

地表可燃物负荷量也减小。实际外业调查中,很多坡度大龄级小的标准地几乎不存在半分解层。

2.2 相关性分析

选用对地表枯死可燃物负荷量有影响的林分因子 2 个,即龄级 X_1 、郁闭度 X_2 ;地形因子 1 个,坡度 X_3 ;上下层可燃物厚度(X_4 、 X_5);因河南省油松主要

分布在 800 m 以上山地,调查地所在的地区海拔差异不明显,所以去掉海拔因子。应用线性相关分析各因子与上、下层可燃物负荷量(M_1 、 M_2)、含水率(M_3 、 M_4)之间的相关系数 R ,对计算结果的解释主要是判定 0 假设是否成立,当 $p<0.01$ 或 0.05 时,则拒绝相关系数为 0 的假设,认为 2 个变量之间是相关的。

表 2 相关系数计算结果
Table 2 Results of correlation analysis

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	M_1	M_2	M_3	M_4
X_1	1								
X_2	0.358**	1							
X_3	0.091	-0.209*	1						
X_4	-0.084	0.168	-0.183	1					
X_5	0.416**	0.368**	0.270**	0.220*	1				
M_1	0.398**	0.364**	-0.572**	0.148	0.102	1			
M_2	0.475**	0.539**	-0.321**	0.080	0.418**	0.385**	1		
M_3	0.130	0.041	0.223*	0.063	0.135	-0.030	-0.073	1	
M_4	0.483**	0.276**	0.364**	0.026	0.489**	0.105	0.183	0.455**	1

注: * 表示相关性在 $p(0.05)$ 水平显著, ** 表明相关性在 $P(0.01)$ 水平显著。

由相关系数可知,下层可燃物含水率与龄级、郁闭度、坡度及下层可燃物厚度显著相关;上下层可燃物负荷量与龄级、郁闭度 2 个因子均呈显著正相关关系,而与坡度呈显著负相关关系;而上层可燃物含水率与各影响因子的相关关系都不显著。

对于无显著关系的因子进行原因分析,经过查阅资料发现气温、相对湿度和风速等因子对可燃物含水率影响较大,而龄级、坡度等因子与其并无显著关系。曲智林^[9]等人关于可燃物含水率的研究中也得出了相似的结论。

2.3 建立预测模型

上层可燃物负荷量的估测模型。和曲智林^[9]等人对湿地松、长叶松的研究结果相似,认为油松纯林地表可燃物负荷量是线性增加的,用 SPSS18.0 对因变量 M_1 与自变量 X_1 、 X_2 、 X_3 进行回归分析得到方程:

$$M_1=715.729+7.188X_1+117.366X_2-17.224X_3$$

(3)

$R^2=0.538$,对方程(1)进行 t 值检验:
 $|t_1|=5.432, |t_2|=1.144, |t_3|=8.026$
查 t 分布表知 $1.658<t_{0.05}(n-2)=t_{0.05}(100)<1.671$,故考虑在回归模型中去掉与 M_1 关系不显著的变量 X_2 即郁闭度,再次回归得方程:

$$M_1=793.533+7.774X_1-17.863X_3$$

(4)

方程(4)参数 t 值检验显示均显著,将此方程作为预测上层可燃物负荷量的最终模型。

同理,建立下层可燃物负荷量预测模型如下:

$$M_2=1082.972+13.514X_1+902.509X_2-34.197X_3$$

(5)

由式(4)、式(5)可见郁闭度对下层可燃物负荷量的影响明显于对上层可燃物负荷量的影响。

3 结论与讨论

油松人工纯林地表可燃物负荷量随坡度增大而减小,随龄级、郁闭度增大呈现增加趋势,且相关性极其显著。地表可燃物负荷量在第Ⅳ林龄时稍下降后又小幅上升,但总体呈现第Ⅲ龄级的油松林地表可燃物负荷量最大。下层可燃物含水率与龄级、郁闭度、坡度、下层可燃物厚度等因子都呈显著相关关系^[10]。

建立油松林上层可燃物负荷量的预测模型为:
 $M_1=793.533+7.774X_1-17.863X_3$,下层可燃物负荷量的预测模型为:
 $M_2=1082.972+13.514X_1+902.509X_2-34.197X_3$ 。

郁闭度对下层可燃物负荷量的影响明显高于对上层可燃物负荷量的影响。

调查地的人工油松林最大年龄在 50 a 左右,所以所选油松林在龄组上没有涉及到过熟林^[11](>61 a),在龄级梯度上存在不足;所选样地全部分布在豫西伏牛山区,存在地域限制,尚不具有在河南省内推广的条件,这些都有待在以后的研究中给予补充完善,以扩大地表可燃物预测模型的适用范围,更好地为森林防火工作提供优质服务。

参考文献:

[1] TAYHLOR A H,SKINNER C N. Fire history and landscape dynamics in a late-successional reserve, Klamath mountains, California,USA[J]. Forest Ecology and Management, 1998, 111(2):285-301.

[2] 胡海清,张格,吴学伟. 基于遥感的塔河林业局森林可燃物类型划分[J]. 东北林业大学学报,2007,35(7):20-21,26.
HU H Q,ZHANG G,WU X W. Type classification of forest fuel in tahe forestry bureau based on remote sensing[J]. Journal of Northeast Forestry University,2007,35(7):20-21,26. (in Chinese)

[3] 郭利峰,牛树奎. 北京八达岭人工油松林地表枯死可燃物负重量研究[J]. 林业资源管理,2007,10(5):53.
GUO L F,NIU S K. Study on dead surface fuel loading of *Pinus tabulaeformis* forest of badaling forest center in Beijing [J]. Forest Resources Management,2007,10 (5):53.

[4] 周志权. 辽东 3 种主要林型地被可燃物载量的研究[J]. 东北林业大学学报,2000,28(1):32-34.
ZHOU Z Q. Laodong capacity of fuels of ground cover for three major forest types in Eastern Liaoning[J]. Journal of Northeast Forestry University,2000,28(1):32-34.

[5] 王月,高国平. 辽宁西北部地区森林地被可燃物及其燃烧性的研究[J]. 沈阳农业大学学报,2006,37(5):716-719.
WANG Y,GAO G P. Combustible ground cover and combustibility of forest in Northwest Liaoning Province[J]. Journal of Shenyang Agricultural University,2006,37(5):716-719. (in Chinese)

[6] 肖云丹,纪平. 黔南森林火险因子数据库的设计[J]. 西北林学院学报,2012,27(2):127-130.
XIAO Y D,JI P. Design of forest fire factor data warehouse for Qiannan of Guizhou[J]. Journal of Northwest Forestry University,2012,27(2):127-130. (in Chinese)

[7] 张国防,陈志平. 杉樟混交林地表可燃物载量动态研究[J]. 江西农业大学学报,2004-4,26(2):176-180.
ZHANG G F,CHEN Z P. A study on the dynamic model of surface fuel loading of the mixed forest of fir and sassafras[J]. Acta Agriculhurae Universitatis Jiangxiensis. 2004,26(2):176-180. (in Chinese)

[8] 高国平,魏振红. 温度对细小可燃物平衡含水率和时滞的影响[J]. 西北林学院学报,2010,25(4):110-114.
GAO G P,WEI Z H. Influence of temperature on equilibrium moisture content and timelag of fine fules [J]. Journal of Northwest Forestry University,2010,25(4):110-114. (in Chinese)

[9] 曲智林,李昱烨. 可燃物含水率实时变化的预测模型[J]. 东北林业大学学报,2010,38(6):66-71.
QU Z L,LI Y Y. Real-time prediction model of forest fuel moisture[J]. Journal of Northeast Forestry University,2010,38(6):66-71. (in Chinese)

[10] 高国平,周志权,王忠友. 森林可燃物研究综述[J]. 辽宁林业科技,1998(4):34-35.

[11] 陈宏伟,常禹. 大兴安岭呼中林区森林死可燃物载量及其影响因子[J]. 生态学杂志,2008,27(1):50-5.
CHEN H W,CHANG Y. Load of forest surface dead fuel in Huzhong area of Daxing'anling Mountains and relevant affecting factors [J]. Chinese Journal of Ecology,2008,27(1):50-55. (in Chinese)

[12] 亢新刚. 森林资源经营管理[M]. 北京:中国林业出版社,2001.

(上接第 124 页)

[12] GUEN V le,GARCIA D,DOAR F,*et al.* A rubber tree's durable resistance to *Microcyclus ulei* is conferred by a qualitative gene and a major quantitative resistance factor[J]. Tree Genetics and Genomes,2011,7(5):877-889.

[13] AROKIARAJ P,LEELAWATHY R,YEANG H Y. The supervirulence plasmid pToK47 from *Agrobacterium tumefaciens* A281 improves transformation efficiency of *Hevea brasiliensis*[J]. American Journal of Biochemistry and Biotechnology,2009,5(3):137-141.

[14] LECLERCQ J,LARDET L,MARTIN F,*et al.* The green fluorescent protein as an efficient selection marker for *Agrobacterium tumefaciens*-mediated transformation in *Hevea brasiliensis* (Mu ll. Arg)[J]. Plant Cell Rep. ,2010,29:513-522.

[15] LARDET L,LECLERCQ J,BE NISTAN E,*et al.* Variation in GUS activity in vegetatively propagated *Hevea brasiliensis* transgenic plants[J]. Plant Cell Rep. ,2011(30):1847-1856.

[16] 龙青娥,华玉伟,高战,等. 利用 EST-SSRs 标记分析巴西橡胶树魏克汉种质的遗传多样性及遗传分化[J]. 热带作物学报,2010,31(6):873-880.
LONG Q Y,HUA Y W,GAO Z,*et al.* Genetic diversity and differentiation analysis of rubber tree Wickham germplasm (*Hevea brasiliensis*) with EST-SSRs[J]. Chinese Journal of Tropical Crops,2010,31(6):873-880. (in Chinese)

[17] HUA Y W,HUANG T D,HUANG H S. Micropropagation of self-rooting juvenile clones by secondary somatic embryogenesis in *Hevea brasiliensis* [J]. Plant Breeding,2010,129(2):202-207.

[18] 黄天带,李哲,孙爱花,等. 根癌农杆菌介导的橡胶树花药愈伤组织遗传转化体系的建立[J]. 作物学报,2010,36(10):1691-1697.

[19] HUANG T D,LI Z,SUN A H,*et al.* Establishment of agrobacterium tumefaciens-mediated anther calli transformation system in *Hevea brasiliensis* [J]. Agronomica Sinica,2010,36(10):1691-1697. (in Chinese)

[20] 洪磊,王颖,张秀娟,等. 农杆菌介导法遗传转化巴西橡胶树转化条件的研究[J]. 现代农业科学,2009,16(5):38-40.
HONG L,WANG Y,ZHANG X J,*et al.* Study on the conditions of the agrobacterium-mediated genetic transformation for *Hevea brasiliensis* [J]. Modern Agricultural Sciences,2009,16(5):38-40. (in Chinese)

[21] 洪磊,王颖,陈雄庭,等. 基因枪法获得 GAI 转基因橡胶树植株的研究[J]. 热带亚热带植物学报,2010,18(2):165-169.
HONG L,WANG Y,CHEN X T,*et al.* Studies on GAI transgenic plants of *Hevea brasiliensis* by particle bombardment [J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany,2010,18(2):165-169. (in Chinese)

[22] 高和琼,庄南生,王英,等. 橡胶树两个品种的核型分析[J]. 武汉植物学研究,2009,27(5):537-540.
GAO H Q,ZHUANG N S,WANG Y,*et al.* Karyotype analysis of two varieties in *Hevea brasiliensis*[J]. Journal of Wuhan Botanical Research,2009,27(5):537-540.

[23] 邱海燕,王英,高和琼,等. 4 个巴西橡胶树无性系的核型分析[J]. 热带作物学报,2010,31(4):509-513.
QIU H Y,WANG Y,GAO H Q,*et al.* Karyotype analysis of four *Hevea brasiliensis* cultivars[J]. Chinese Journal of Tropical Crops,2010,31(4):509-513. (in Chinese)