

火干扰下马尾松林物种多样性和土壤养分特征

刘发林¹, 张思玉²

(1. 中南林业科技大学 资源与环境学院, 湖南 长沙 410004; 2. 南京森林公安高等专科学校 治安系, 江苏 南京 210046)

摘要:研究了低强度火对马尾松次生林物种多样性的影响及不同火强度干扰下土壤化学性质 5 a 内的动态变化规律。结果表明,火干扰样地内物种和植物个体数目均高出对照样地,分别为对照样地的 118% 和 108%;对照样地内物种多样性指数 Gleason、Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数和 Pielou 均匀度分别为 3.01、11.21、10.30 和 0.74,火干扰样地对应的指数分别为 12.13、5.61、26.13 和 0.84,树冠层、灌木层、草本层的均匀度分别由 0.71、0.83、0.55 提高到 0.81、0.89、0.72。除有机质外,火干扰对土壤阴离子交换(CEC)、全 N、碱解 N、全 P、全 K 和速效 K 的影响持续期不长,大多在 2 a 左右恢复到火烧前的水平;火干扰强度对 I 层有机质、速效 P 含量和 II 层速效 P 含量的影响极显著($p < 0.05$),不同时间点 I 层土壤有机质(SOM)和 II 层速效 P 含量随火干扰影响的趋势有明显的差异($p < 0.05$),分别拟合了火干扰强度对 SOM 全 P、碱解 N 和速效 P 含量(火灾后第一年)的影响模型。

关键词:马尾松;物种多样性;土壤;化学性质;火干扰

中图分类号:S791.248.02

文献标识码:A

文章编号:1001-7461(2009)05-0036-05

Characters of Species Diversity and Soil Nutrition of *Pinus massoniana* Forest under Fire Disturbance

LIU Fa-lin¹, ZHANG Si-yu²

(1. College of Resources and Environment, Central South University of Forestry and Technology, Changsha, Hunan 410004, China;

2. Department of Public Security, Nanjing Forest Police College, Nanjing, Jiangsu 210046, China)

Abstract: Changes of species diversity and the dynamic rules of soil chemical properties in the stand of *Pinus massoniana* under fire disturbance with different intensities from 2001 to 2005 were investigated. The results showed that type and number of plant species in *P. massoniana* stand under fire disturbance were 18% and 8% respectively higher than those in control stand. The Gleason (I_{GL}) index, the Shannon-Wiener (I_{SW}) index, the Simpson (I_{SP}) index and the Pielou (J) of the were 10.30, 3.01, 11.21 and 0.74 respectively in the control stand, but those in the fire disturbed stand were 12.13, 5.61, 26.13 and 0.84 respectively. The values of J in crown canopy, shrub layer and herb layer increased from 0.71, 0.83, 0.55 to 0.81, 0.89, 0.72 respectively. Except for organic matters, the duration of the influence of fire disturbance on soil CEC, total N, hydrolyzable N, total P, total K and available K was not long. Usually, these indices would be restored in 2 years to the levels before fire disturbance. The influences on organic matter, available P in the first layer and available P in the second layers were extremely remarkable ($p < 0.05$). The influence tendency on organic matter in the first layer and available P in the second layer of different time was obviously ($p < 0.05$), then the models fire disturbance on SOM, total P, available N, available P (first year after fire) were fitted respectively separately under different intensities of fire.

Key words: *Pinus massoniana*; soil; chemical property; fire disturbance

收稿日期:2008-10-15 修回日期:2009-06-01

基金项目:国家自然科学基金项目(30671696);国家林业局科技项目(069320)。

作者简介:刘发林,男,讲师,博士研究生,主要从事林火生态的教学和科研工作。E-mail: liuf680@tom.com

马尾松(*Pinus massoniana*)群落是森林演替中的一种先锋群落,在南方用材林中占有重大比例^[1-2]。马尾松林分布区是我国森林火灾发生最频繁、火灾损失最严重的地区之一。早在1994年,中国生物多样性行动计划已经提出,森林火灾是威胁森林生物多样性的因素之一。Oleary等以林火干扰为影响生物社会之多样性因子进行研究,发现虽林火频度与生物多样性关系之结论不一,但林火确实对生物多样性造成影响^[3-6]。国内火干扰对生物多样性的影响研究报道很少^[7-8]。Jarrant R F等分别对西班牙和热带土壤N的动态受火灾的影响进行了研究^[9-10];王洪斌等研究了火灾对土壤C、N的变化^[11-13];戴伟等研究了4种森林类型土壤化学性质受火的影响^[14-17],但是对火干扰对土壤化学性质的影响持续期没有专题研究。林火作为一个生态因子对土壤的影响具有双重性,强度火干扰会导致养分流失,加速土壤侵蚀,导致土壤退化^[18]。因此,全面了解火干扰对土壤化学性质的影响具有重要的理论与实践意义,以充分发挥林火的有利方面,控制其不利影响,使其成为对生态系统有益的工具。部分学者甚至认为轻度火干扰对土壤的影响是有益的^[14]。但是国内外的研究主要集中在火灾后土壤碳、氮、磷的流失状况、土壤肥力变化,而土壤化学性

质在火干扰梯度上的变化规律研究未见报道。以未受火灾干扰与火干扰马尾松次生林为研究对象,探讨不同火干扰强度下土壤养分和物种多样性的变化规律,为确定南方马尾松林下计划烧除的火强度、火烧迹地土壤改良和恢复方法,为马尾松林火灾后的植被恢复和生态系统经营提供理论依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

试验样地设置在湖南省攸县黄丰桥林场,位于113°04'~113°43'E、27°06'~27°04'N,海拔在69~604 m之间,山丘岗平地地貌,主要成土母岩有板页岩、紫砂页岩和第四纪红色粘土等,属中亚热带季风湿润气候常绿阔叶林带,四季分明,雨水充足,土壤肥沃,年平均气温17.8℃,无霜期292 d,年降水量1410 mm左右。林场内主要林分种类有杉木人工林、马尾松人工林和马尾松-櫟木针阔混交林。

1.2 试验设计与采样处理

2007年1月发生森林火灾后,在火烧迹地内设置无火干扰、轻度、中度和强度火干扰样地4种类型(表1),分别代表3种不同强度火干扰和对照样。火强度按地表火烧剩余物、灰烬和灾后土壤标准分类^[19-20]。

表1 不同火干扰强度下马尾松林基本情况

Table 1 General information of *P. massoniana* plantation under different intensities of fire disturbance

火干扰强度	林龄/a	坡度/(°)	土壤类型	树高/m	郁闭度	植物种数
无火干扰	33~34	22	第四纪红色粘土	22.3	0.70	11
轻度火干扰	33~35	26	第四纪红色粘土	21.8	0.75	9
中度火干扰	32~34	25	第四纪红色粘土	20.7	0.65	6
强度火干扰	34~36	24	第四纪红色粘土	22.6	0.65	5

样地规格为20 m×30 m,火烧前属同一片马尾松-櫟木针阔混交林,林内植被、土壤条件一致,2007年4月上旬进行调查。每种样地分设5块样方,共20个样方。乔木样方为10 m×10 m,在同一样方内调查灌木层,其内设2个1 m×1 m的小样方调查草本层。共完成乔木样方20个,灌木样方20,草本样方40个。在每个样方中记录物种组成、数量、盖度、多度、高度;乔木种记录其胸径、冠幅等数量指标。土壤采样以典型取样法,在每种样地布设5块样地,每个样地内随机设3个点,按根系分布状况,每个点在0~22 cm深度采样。土壤样品经过风干,去除根系、石块后研磨过筛袋装,供分析使用。

1.3 数据统计分析

1.3.1 生物多样性指数 分乔木层、灌木层、草本层描述各个样地的生物多样性特点。各退化阶段植物的科、属、种数为5个样方中出现种类和数量的总

和。各样方乔木层和灌木层的多样性指数按乔、灌木样方资料计算;草本层的多样性指数则为2个草本样方多样性指数的平均值。多样性指数的计算方法依据生物多样性研究的原理与方法^[21]。

Gleason 丰富度指数(I_{GL})

$$I_{GL} = (S-1) / \ln A \quad (1)$$

其中:S代表物种数,A代表样地面积。

Shannon-Wiener 指数(I_{SW})

$$I_{SW} = - \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i \quad (2)$$

其中: $P_i = n_i / N$,代表第*i*个物种的相对多度, N 为所有的个体数之和, n_i 为第*i*个物种的个体数。

Simpson 指数(I_{SP})

$$I_{SP} = N(S-1) / \sum_{i=1}^S n_i(n_i-1) \quad (3)$$

其中: N 为所有的个体数之和, n_i 为第*i*个物种的个体数。

Pielou 均匀度(J)

$$J = I_{sw} / \log_2 S \quad (4)$$

其中: I_{sw} 同(2)式, S 同(1)式

1.3.2 土壤养分测定 测定项目包括土壤有机质(SOM)、阳离子交换量(CEC)、全 N、碱解 N、全 P、速效 P、全 K 和速效 K。测定方法分别为:有机质采用重铬酸钾氧化法测定、CEC 用乙酸铵法测定、全 N 采用半微量开氏法测定、碱解 N 采用碱解扩散法测定、全 P 采用钼蓝比色法测定、速效 P 采用 $\text{NH}_4\text{F-HCl}$ -钼锑抗比色法测定、全 K 采用 NaOH 熔融火焰光度法测定和速效 K 采用中性 NH_4OAc

浸提火焰光度法测定^[14]。

1.3.3 数据处理 试验设 3 次重复,数据均采用测定结果的平均值,利用 Excel2003 和 DPS 数据处理系统(Data Processing System)3.01 软件进行统计分析,差异检验选用 LSD 法,误差线为标准误差(SE)。

2 结果与分析

2.1 对照样地和火干扰样地的物种多样性分析

通过样地调查,分别记录各层的植物种类及不同种类的个体数(表 2)。

表 2 对照样地与火干扰样地物种多样性

Table 2 Species diversity of control and fire disturbance stands

样地类型	植物层次	物种数	个体总数	物种多样性指数			均匀度 J
				I_{GL}	I_{sw}	I_{SP}	
对照样地	树冠层	11	52	1.41	1.83	2.11	0.71
	灌木层	58	533	8.04	3.20	2.81	0.83
	草本及藤本	11	493	1.41	2.55	4.00	0.55
	所有植物	74	1 078	10.30	3.01	11.21	0.74
干扰样地	树冠层	14	55	1.83	3.02	4.82	0.81
	灌木层	63	573	8.75	5.52	3.77	0.89
	草本及藤本	16	543	2.12	3.40	14.08	0.72
	所有植物	87	1 171	12.13	5.61	26.13	0.84

由于中度、强度火干扰烧除地表大量的植物,使得生物多样性明显降低,因此只分析了低强度地表火与对照样地生物多样性变化。从表 2 可以看出,2 块对照样地中合计有 74 种植物,共 1 078 株,样方内所有植物的物种丰富度指数, I_{GL} 为 10.30, I_{sw} 为 3.01, I_{SP} 为 11.21, J 为 0.74。灌木层种数最多 58 种,占 78.3%,树冠层和草本层较少均为 11 种,只占 21.7%。灌木层的个体数最多,达 533 株,约占总数的 50%,冠层 52 株(其中马尾松 38 株),可见,冠层不但种数少而且个体数也少,所以物种多样性指数及均匀度都低,其 I_{GL} 为 1.41, I_{sw} 为 1.83, J 为 0.71。草本层个体数较多,但优势种明显,种间个体分布极不均匀,所以 I_{sw} 和 J 值都较低,分别为 2.55 和 0.55。灌木层个体分布相对草本层均匀, I_{sw} 和 J 值分别为 3.20 和 0.83。同样,从表 2 不难发现,火干扰样地内植物种数有 87 种,为对照样地的 118%,个体总数 1 171 株,为正常林的 108%。很明显,火干扰样地内物种和植物个体数目均增加,火干扰样地所有植物的 I_{GL} 为 12.13, I_{sw} 为 5.61, I_{SP} 为 26.13, J 为 0.84,均高出对照样地。就植物种数而言,乔、灌、草各层都有不同程度的增加,草本层增加最多,增加 10%,在火的作用下,火干扰样地比相似林分光照增强,温度增加,可溶性养分增多,适合多种灌木和草本植物入侵,尤其是阳性植物。从以上

分析可知,低强度的地表火干扰可以增加群落物种多样性和生态系统复杂性,对马尾松群落正向演替有促进作用,与有关研究结果一致。但是火灾后短期内,生物多样性有下降的现象,尤其是草本层下降明显。火干扰样地各层和所有植物的均匀度值显著提高,树冠层、灌木层、草本层的 J 值分别由 0.71、0.83、0.55 提高到 0.81、0.89、0.72,分析表明,低强度的地表火可以改善林地环境,利于优势木的生长,淘汰劣势木,使得林分各树种的分布更加合理。

2.2 不同火干扰强度下 SOM 及全量养分含量变化

由图 1 可知,不同火干扰强度烧除 SOM 的数量为:强度火干扰>中度火干扰>轻度火干扰>无火干扰,强度、中度、轻度火干扰分别烧毁无火干扰 88.4%、69.9%、37.8%,SOM 含量受火干扰强度的影响均达到极显著水平($p < 0.05$)。说明火干扰强度对 SOM 的影响极显著,火干扰强度越大,SOM 损失越多,火灾后第一年火干扰强度对 SOM 的影响模型为 $y = 31.5875 - 11.3975x + 1.0225x^2$ ($R = 0.9997$);不同火干扰强度损失全 N 顺序为:强度火干扰>中度火干扰>轻度火干扰>无火干扰,强度、中度、轻度火干扰比无火干扰分别损失 11.1%、51.2%、89.6%,全 N 含量受火干扰强度的影响均达到极显著水平($p < 0.05$)。由以上分析可知,土壤全 N 与火干扰强度关系紧密,随着火强度增大,

全 N 损失愈大,与前人研究结论一致^[22-23]。火干扰强度对全 P 的影响显著,随火干扰强度增大全 P 含量降低,强度、中度、轻度火干扰较无火干扰土壤降低 11.1%、51.2%、89.6%,火灾后第一年火干扰强度对全 P 含量的影响模型为 $y = 1.99 - 0.089x + 0.005x^2$ ($r = 0.9923$)。火干扰强度对全 K 影响显著,不同火干扰强度林地土壤全 K 的数量为:强度火干扰 > 中度火干扰 > 轻度火干扰 > 无火干扰,强度、中度、轻度火干扰分别较无火干扰样地全 K 增加 57.4%、100.4%、64.2%。

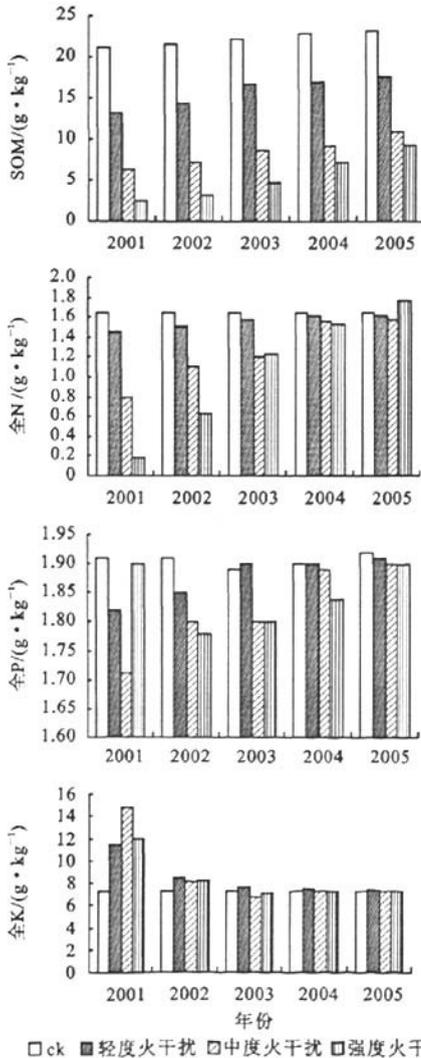


图 1 不同火干扰强度下土壤 SOM 及全量养分含量
Fig. 1 Content of soil organic matter and total nutrient under different fire disturbance intensities

2.3 不同火干扰强度下土壤 CEC 和有效养分含量

图 2 表明,火干扰强度对 CEC 无显著性差异,说明火干扰对 CEC 的影响不是很明显,火烧过后略微上升,因为大火烧去 SOM 后释放阳离子,阳离子

因降雨而流失,很快回到火烧之前的水平,说明火干扰后土壤 CEC 上升的持续期很短,一般在 1 a 左右,因为阳离子水溶性增加易于淋失,这与国内外学者的研究结果一致^[23-26]。火干扰强度对碱解 N 影响差异极显著,表明火干扰强度对碱解 N 含量影响明显,火干扰强度越大,碱解 N 含量越多,火灾后第

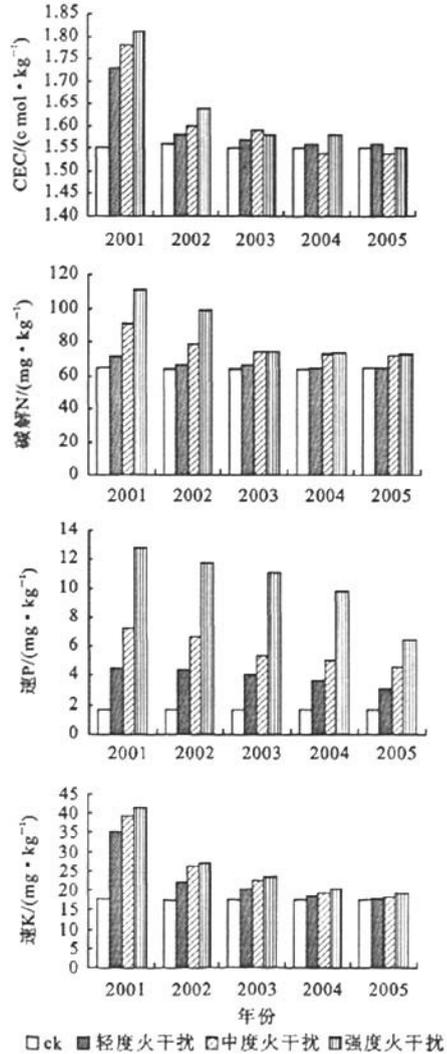


图 2 不同火干扰强度下土壤 CEC 和有效养分含量
Fig. 2 Soil CEC and available nutrients contents under different fire disturbance intensities

一年火干扰强度对碱解 N 的影响模型 $y = 12.105 + 4.087x + 1.085x^2$ ($r = 0.9923$)。火干扰强度对速效 P 含量的影响差异极显著,随火干扰强度增大速效 P 含量升高,火灾后第一年火干扰强度对速效 P 含量的影响模型为 $y = 0.9425 + 0.1855x + 0.6875x^2$ ($r = 0.9973$)。火干扰强度对 II 层速效 P 含量的影响呈极显著性差异,随火干扰强度增大速效 P 含量升高。与国内外的研究结果一致:森林火

灾后土壤速效 P 含量显著增加^[22-23]。

火干扰强度对速效 K 影响呈显著性差异,但中度与强度火干扰之间对速效 K 含量影响无明显差异,火干扰强度增大速效 K 含量有上升趋势。

3 结论与讨论

在立地条件、植被和人为活动基本一致的情况下,火干扰是造成生物多样性和土壤化学性质差异的主要原因。随着火干扰强度的增大,土壤 SOM 损失越大,不同火干扰强度烧除 SOM 的数量为:强度火干扰>中度火干扰>轻度火干扰>无火干扰;火烧后土壤全 N 大幅度下降,而速效 N 浓度和速效 N 占全 N 比例明显上升;全 P 含量下降,强度、中度、轻度火干扰较无火干扰土壤降低 11.1%、51.2%、89.6%;碱解 N 因火干扰强度的增加而升高;火干扰强度增大速效 P 和速效 K 含量升高;CEC 受火干扰强度的影响不明显。

火干扰强度对 SOM、全 N、全 K 和速效 K 的影响虽然差异显著,但 Duncan's 新复极差测验的多重比较显示轻度火干扰对全 N、碱解 N 影响不明显。另外,因为火灾后土壤化学性质的变化受综合因素的影响,只做了火灾后第一年火干扰强度对化学性质的影响模型。个别试验数据在进行方差检验时显著水平在 0.05 到 0.1 之间,进行了多重比较,对相应的变化作出解释,与有关学者的研究结果一致。

低强度地表火干扰对马尾松次生林中木本植物多样性影响不显著,但对马尾松林的稳定性和演替更新有促进作用。马尾松为阳性树种,在盖度较大的情况下更新不良,火干扰地中的灌木层马尾松个体数量增加,说明低强度地表火有利于马尾松林的更新。但是,如果高强度火会严重破坏林分的结构,群落就会发生逆行演替而难以恢复。分别拟合了火干扰强度对 SOM、全 P、碱解 N 和速效 P 含量影响的趋势模型,但是只模拟了灾后第一年的数据,对于火强度增大到什么程度(火强度临界值),火干扰作用超过马尾松次生林生态系统自身的调节能力有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 林业部林业区划办公室. 杉木、马尾松树种区域研究协作组. 主要树种种子区划研究[M]. 北京:中国林业出版社,1988:163-224.
- [2] 蔡秀珠. 人为干扰强度对马尾松人工林生物量及其分配的影响[J]. 中南林学院学报,2006,4(2):51-54.
- [3] LEARY O, MINNICH F, RICHARD A. Post fire recovery of creosote bush scrub vegetation in the western Colorado Desert [J]. *Madrono*, 1981,28(2):61-66.
- [4] 王伯荪. 植物群落学[M]. 北京:高等教育出版社,1987.
- [5] 马克平. 生物多样性的测度方法[M]//钱迎倩,马克平. 生物多样性研究的原理与方法. 北京:中国科学技术出版社,1994:141-165.
- [6] 黄建辉. 生态系统内的物种多样性对稳定性的影响[M]//钱迎倩,马克平. 生物多样性研究的原理与方法. 北京:中国科学技术出版社,1994:178-191.
- [7] 邱扬,李湛东,张玉钧,等. 火干扰对大兴安岭北部原始林下层植物多样性的影响[J]. 生态学报,2006,26(9):2863-2869.
- [8] LIU L J, GE J P. Effects of fire disturbance on the forest structure and succession in the natural broad-leaved/Korean pine forest[J]. *Journal of Forestry Research*, 2003,14(4):269-274.
- [9] TARRANT R F. Effect of slash burning on some physical soil properties[J]. *Forest Science*,1956,2(1):18-22.
- [10] TARRANT R F. Changes in some physical soil properties after a prescribed burning young ponderosa pine[J]. *Journal of Forestry*,1956,54(7):439-441.
- [11] 王洪斌. 森林火灾对土壤物理性质的影响[J]. 林业科技情报,2002(3):84-85.
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京:中国农业出版社,1981.
- [13] ALMENDROS G, MARTIN F, GONZALEZ-VILA F J. Effect of fire on humic and lipid fractions in a Dystric Xerochrept in Spain[J]. *Geoderma*,1988,42(2):115-127.
- [14] 戴伟. 人工油松林火烧前后土壤化学性质变化的研究[J]. 北京林业大学学报,1994,16(1):102-105.
- [15] ANDRIESE J P, KOOPMANS T T. A monitoring study on nutrient cycles in soils used for shifting cultivation under various climate conditions in tropical Asia: The influence of simulated burning on form and availability of plant nutrients[J]. *Agric Ecosys Environ*,1984,12(1):1-16.
- [16] BAUHUS J, KHANNA P K, RAISON R J. The effect of fire on carbon and nitrogen mineralization and nitrification in an Australian forest soil[J]. *Aust J Soil Res*,1993,31(5):621-639.
- [17] 陈华舜. 中国农业土壤论文集[C]. 上海:上海科学技术出版社,1962:275-296.
- [18] 沙丽清,邱学忠,甘建民,等. 云南保山西庄山地流域土地利用方式与土壤肥力关系研究[J]. 生态学杂志,2003(4):9-11.
- [19] HUFFMAN E L, MACDONALD L H, STEDNICK J D. Strength and persistence of fire-induced soil hydrophobicity under ponderosa and lodgepole pine, Colorado Front Range [J]. *Hydrol Proc*, 2001,15:2877-2892.
- [20] USDA Forest Service. Burned-area emergency rehabilitation handbook[M]. USDA, Washington DC, 1995.
- [21] 马克平,黄建辉,于顺利,等. 北京东灵山山区植物群落多样性的研究 II. 丰富度,均匀度和物种多样性指数[J]. 生态学报,1995,15(3):268-277.
- [22] 周瑞莲,张普金,徐长林. 高寒山区火烧土壤对其养分含量和酶活性的影响及灰色关联分析[J]. 土壤学报,1997,34(1):89-96.
- [23] ADEMS P W, BOYLE J R. Effect of fire on soil nutrients in clear-cut and whole-tree harvest in central Michigan[J]. *Soil Sci Soc Am J*,1980,44(4):847-850.
- [24] ALMENDROS G, GONZALEZ-VILA F J, MARTIN F. Fire-induced transformation of soil organic matter from an oak forest: an experimental approach to the effects of fire on humic substances[J]. *Soil Sci*,1990,149:158-168.
- [25] RAISON R J. Modification of the soil environment by vegetation fires, with particular reference to nitrogen transformations: a review[J]. *Plant and Soil*,1979,51:73-108.
- [26] SMITH D W. Concentration of soil nutrients before and after fire[J]. *Can J Soil Sci*,1970,50(1):17-29.