

炼山对华西雨屏区杉木林采伐迹地土壤理化特征的影响

唐小智¹ 孙泽平² 兰立达¹ 李兴红¹ 蒲永波¹ 李德文¹

(1. 四川省林业调查规划院, 四川 成都 610081; 2. 旺苍县林业和园林局, 四川 旺苍 628200)

摘要: 炼山在华西雨屏区造林时广泛应用, 杉木林采伐迹地炼山后的土壤理化性质研究鲜有报道。本文以华西雨屏区 28 a 生杉木林(对照)及其采伐迹地为研究对象, 通过传统的炼山方式后采样测定土壤 pH 值、全 N、P、K 及其有效性以及 Ca 和 Mg 含量等, 旨在阐明炼山对华西雨屏区杉木采伐迹地土壤的理化性质短期效应。结果表明: 炼山能显著提高土壤 pH 值, 能显著增加土壤 0~40 cm 层的全 N 含量。不同土层的 P 含量对炼山的响应不同, 炼山后表层土(0~20 cm)的全 K 含量呈现先增加后减少的趋势, 中层土(20 cm~40 cm)是先下降、后增加, 底层土(40 cm~60 cm)持续下降。炼山后土壤中速效 N、有效 P 的含量均先增加、后降低, 而速效 K 的含量先下降, 后增加。炼山后的土壤表层 Ca 含量显著增加, 但对土壤中层和底层土的 Ca 含量影响趋势无规律。土壤各层中的 Mg 含量在炼山后明显下降。

关键词: 炼山; 杉木人工林; 土壤养分; 华西雨屏区

中图分类号: S714 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-5508(2013)05-0029-08

Effects of Slash Burning on Soil Physical and Chemical Traits of Chinese Fir Plantations in the Rainy Area of Southwest China

TANG Xiao-zhi¹ SUN Ze-ping² LAN Li-da¹ LI Xing-hong¹
PU Yong-bo¹ LI De-wen¹

(1. Sichuan Forest Inventory and Plan Institute, Chengdu 610081, China;

2. Wangchang Forestry and Garden Administration Bureau, Wangchang 628200, China)

Abstract: Slash burning, a traditional land-clearing method, has been widely applied in planting in Rainy Area of Southwest China fir forest. Slash burning not only burns the harvesting residues and the ground vegetation, but also changes nutrients in soil. In this paper, the slash burning experiment was conducted on the deforested land of the 28-old-year Chinese fir forest, aiming to study its short-term effects on soil nutrients. The results showed that (1) Slash burning significantly increased pH value of soil. (2) After slash burning, total soil N, P and Ca concentrations in soil were significantly increased. After 9 months, total soil N, P and Ca concentrations in soil were slightly increased. After slash burning, K and Mg in soil increased at first and then decreased; after 9 months, total K concentration of 20 cm~40 cm layer increased than that of the control, and total K concentration in the other layers decreased than that in the control. Mg concentration of 0~20 cm layer significantly increased, and Mg concentration of the other layers decreased than that of the control. (3) At the beginning of slash burning, soil available N concentration slightly increased. After 7 months, it increased significantly, and soil available N concentration increased higher than the control after 9 months. After slash burning, available P concentration was sig-

收稿日期: 2013-05-31

作者简介: 唐小智(1966-), 男, 硕士, 高级工程师, 从事林业调查规划设计工作。

nificantly higher than that of control. Soil available K concentration in the soil of 20 cm ~40 cm, 40 cm ~60 cm in early slash burning decreased, and then increased. After 9 months, available K in 20 cm ~40 cm soil was less than that in control, but that in the other two layers was higher than that in control.

Key words: Slash burning, Chinese fir plantation, Soil nutrient, Rainy Area of Southwest China

中国是世界上人工林面积最大的国家,目前人工林面积已达到 $0.62 \times 10^4 \text{ hm}^2$,占森林总面积的 $1/3$ ^[1]。杉木(*Cunninghamia lanceolata*)是我国亚热带地区特有的用材树种,栽培历史悠久^[2],目前的栽培面积达 $835 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。

炼山作为传统的营林方式在我国南方林区广泛应用,炼山引起的有关生态问题已引起了林业专家的极大关注,并进行了各项研究^[3]。土壤养分是林木生长的根本,土壤中养分存在的差异直接影响到林木的生长快慢与生长质量。因此,对土壤养分的充分理解是人工林培育中的重点之一。过去的大多数研究表明,烧山后的土壤全 N、全 K、有效 K 明显高于未烧林地,但有效 N、全 P 和有机质低于未烧林地^[4]。何斌等^[5]的研究发现,炼山后的土壤表层(0~10 cm) pH 值上升,全 N 含量减少了 7.03%,全 P 和全 K 的浓度则分别升高了 6.35% 和 5.53%,土壤底层(20 cm~40 cm)的全量养分受到的影响很小,含量无显著变化。薛立等、Rolf 等的研究表明,炼山迹地土壤中全 N、全 P、全 K 较杉木林地整体呈下降趋势,但下降程度不同^[6~7]。因此,研究区域水热条件、研究对象以及炼山强度等不同而造成研究结果多样化。

华西雨屏区为四川盆地西部边缘独特的自然地理区域。东西宽 50 km~70 km,南北长 400 km~450 km,总面积约 2.5 万 km^2 ,是中国年平均降雨量最大,日照时间最短的地区,是分布于我国比较罕见的气候地理单元,生物多样性异常丰富,拥有大量珍稀独特的动植物。同时,该区域的人口密度也相当高,人为活动频繁,天然植被大面积采伐后营造人工杉木林、柳杉林、水杉林和各种桉树林。因此,人工林采伐迹地炼山后再营造人工林是非常普遍的营林模式之一。但是,中国最大降雨量之一的华西雨屏区的炼山对人工林采伐迹地土壤理化性质的影响研究鲜有报道。本文以位于华西雨屏区的洪雅林场 28 a 生杉木人工林(对照)及其采伐迹地为研究对象,采用当地典型的炼山方式对杉木林采伐迹地进行炼山,研究炼山后 1 d、3 个月、7 个月和 9 个月后的不同深度的土壤 pH 值、全 N、全 P、全 K、Ca、Mg 及其有效养分的动态变化,以期回答炼山对杉木林

采伐迹地土壤理化性质的影响,为华西雨屏区的林业造林实践提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

洪雅林场隶属于四川省眉山市洪雅县,地处四川盆地西南边缘,邛崃山支脉,峨眉山系大相岭东坡的青衣江南岸,其地理坐标为 $102^{\circ}49' \sim 103^{\circ}32' \text{ E}$ 、 $29^{\circ}24' \sim 30^{\circ}00' \text{ N}$,海拔范围为 900 m~3 522 m,区域年平均气温为 8.0°C ,年降雨量可达到 2 400 mm。洪雅林场总面积 65 921.1 hm^2 ,其中天然林面积 52 673.9 hm^2 ,占有林地的 80.9%,人工林面积 12 385.0 hm^2 ,占有林地的 19.1%。

1.2 炼山处理

2011 年 9 月对洪雅县林场目禅寺工区一块约 10.0 hm^2 的 28 a 生杉木林进行实地踏查后,设立了沿等高线长 1 000 m、垂直等高线宽 30 m、总面积 3.0 hm^2 的样地($103^{\circ}15.272' \text{ E}$ 、 $29^{\circ}41.434' \text{ N}$,海拔 930 m~960 m,东北坡向,坡度 15°)。样地边界确定后,垂直等高线把样地一分为二,设置两个 1.5 hm^2 的样块(分别记为 A、B 样块)。2011 年 9 月对 B 样块(简称 SB)进行了皆伐,并于 2012 年 3 月初实施了当地传统的炼山模式。另外, A 样块未采伐,作为对照(简称 CK)

1.3 土样采集与制备

在样块 A 内设置对角线,对角线的交叉点、对角线的两端顶点以及交叉点与顶点的中间分别设置为土样采集固定点(共计 9 个),每土样采集点按照 0~20 cm(简称土壤表层,下同)、20 cm~40 cm(简称土壤中层,下同)、40 cm~60 cm(简称土壤底层,下同)分层取样,然后把 9 个点的同一层土壤混合均匀,其对应的标记为 CK-d1、CK-d2 和 CK-d3。样块 B 的土样采集点布置与样块 A 相似,对应标记为 SB-d1、SB-d2 和 SB-d3。土壤样品采集后带回实验室自然风干、过筛后备用。土样采集时间分别是炼山 1 d 后(3 月)、炼山 3 个月(6 月,生长高峰期)、7 个月(10 月,生长末期)和 9 个月(12 月,生长停止期)后。

1.4 土壤理化指标分析方法

(1) pH 值

将土样与去离子水以 2.5:1 混合 振荡静止 0.5 h 后用 pH 计直接测定。

(2) 全 N、P 和 K

全 N 用半微量凯氏法测定。全 P 用钼锑抗比色法测定。全 K 用火焰光度计测定。

(3) 速效 N、K 和有效 P

速效 N 用碱解扩散法测定。速效 K 火焰光度计测定。有效 P 用钼蓝比色法测定。

(4) Ca 和 Mg

Ca 和 Mg 含量用原子吸收分光光度法测定

1.5 统计分析方法

用 SPSS11.0 软件进行方差分析 (One-way ANOVA) 平均值间的多重比较采用 Duncan's 检验。用 OriginPro 8.0 分析软件作图。

2 结果与分析

2.1 pH 值

炼山 1 d、3 个月、7 个月和 9 个月后 表层土和 中层土的 pH 值提高显著 除炼山 9 个月后外 土壤 底层的 pH 值增加也显著(图 1)。炼山 1 d 后 土壤 表层、中层和底层的 pH 值分别比对照增加了 18.59%、14.01% 和 8.59%。炼山 3 个月后 土壤表 层、中层和底层的 pH 值分别比对照的增加 19.98%、13.00% 和 3.10%; 炼山 7 个月后 土壤表 层、中层和底层的 pH 值分别比对照的增加 11.52%、7.76% 和 6.76%; 炼山 9 个月后 土壤表 层、中层和底层的 pH 值分别比对照增加 13.41%、 11.22% 和 4.30%。以上结果表明 炼山对土壤 pH 值有显著影响 尤其是土壤的表层。

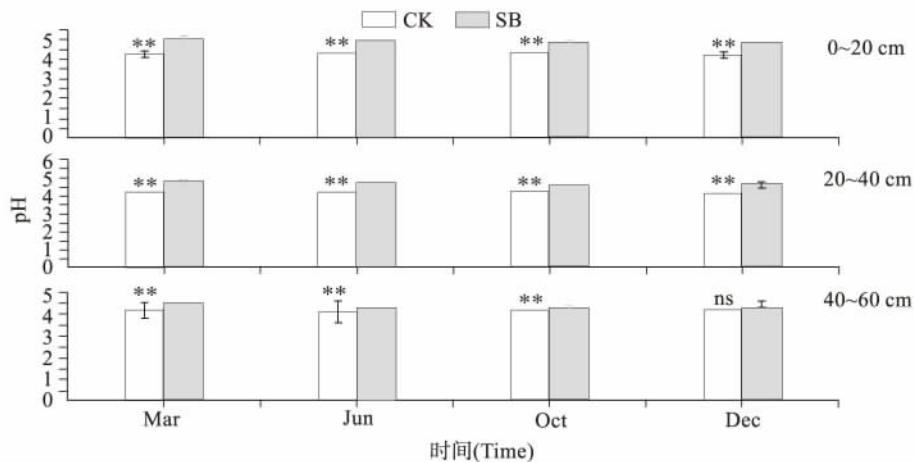


图 1 炼山对土壤 pH 值的影响

Fig. 1 Effects of slash burning on pH value

** $P < 0.01$; * $P < 0.05$; ns $P \geq 0.05$; 下同。 ** $P < 0.01$; * $P < 0.05$; ns $P \geq 0.05$

The same below

2.2 全 N 与速效 N

(1) 全 N

与对照相比 炼山 1 d、3 个月、7 个月和 9 个月 后 炼山土壤的表层和 中层全 N 含量有显著增加; 除炼山后 9 个月外 炼山土壤底层土的全 N 含量也 显著增加(图 2)。说明炼山能在短期内能显著增加 土壤的全 N 含量 尤其是土壤表层。

炼山 1 d 后 土壤表层、中层和底层的全 N 含量 比对照的对应层分别增加了 27.02%、47.68% 和 27.27%; 炼山 3 个月后的土壤表层、中层和底层的全 N 含量比对照的对应层分别增加了 42.24%、 36.20% 和 43.52%; 炼山 7 个月后的土壤表层、中

层和底层的全 N 含量比对照的对应层分别增加了 20.00%、71.86% 和 72.09%; 炼山 9 个月后的土壤 表层、中层和底层的全 N 含量比对照分别增加 19.51%、86.21% 和 1.76%。其中 以土壤中层(20 cm~40 cm)的全 N 含量增加最多 说明炼山对土壤 全 N 含量影响最大的是土壤中层。这可能是表层 土在炼山时 高温挥发部分 N 而在炼山后 随着雨 水的冲刷和下渗 使表层土的 N 损失加剧 而中层 恰好是下渗积累层。

(2) 速效 N

与对照相比 炼山 1 d、3 个月、7 个月和 9 个月 后的土壤表层、中层和底层速效 N 含量均显著升

高,尤其是土壤中层(图3)。从图3也可以看出,炼山7个月后(10月),土壤的速效N与对照之间差异最大。

炼山1d后,土壤表层、中层和底层土的速效N含量分别比对照的对应层增加了30.92%、50.60%和35.90%;炼山3个月后,土壤表层、中层和底层土的速效N含量分别比对照的对应层增加了36.00%、33.97%和57.53%;炼山7个月后,土壤表

层、中层和底层土的速效N含量分别比对照的对应层增加了56.32%、111.28%和126.73%;炼山9个月后,土壤表层、中层和底层土的速效N含量分别比对照的对应层增加了9.19%、58.43%和35.78%。土壤速效N的变化趋势与土壤全N含量的变化趋势一致,都是土壤中层的增长量最大,表层增加最少。

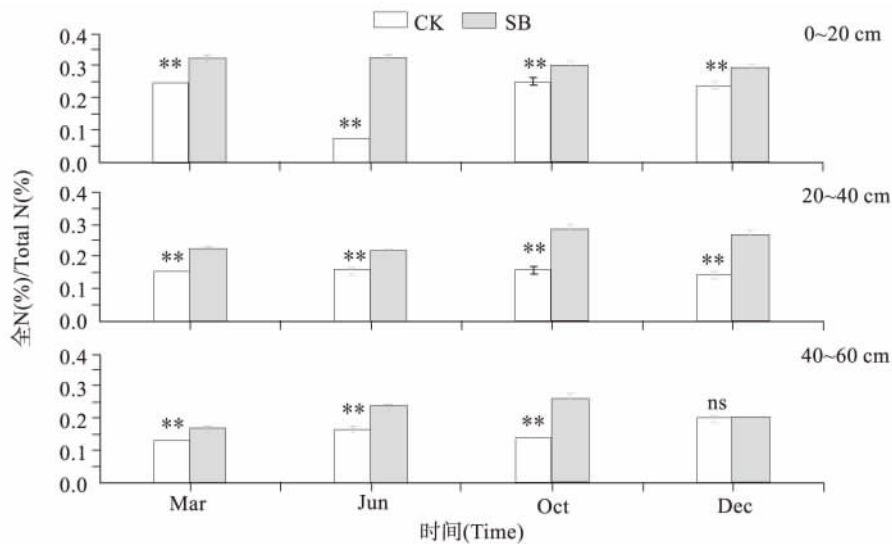


图2 炼山对土壤全N含量的影响

Fig. 2 Effects of slash burning on total N concentration in soil

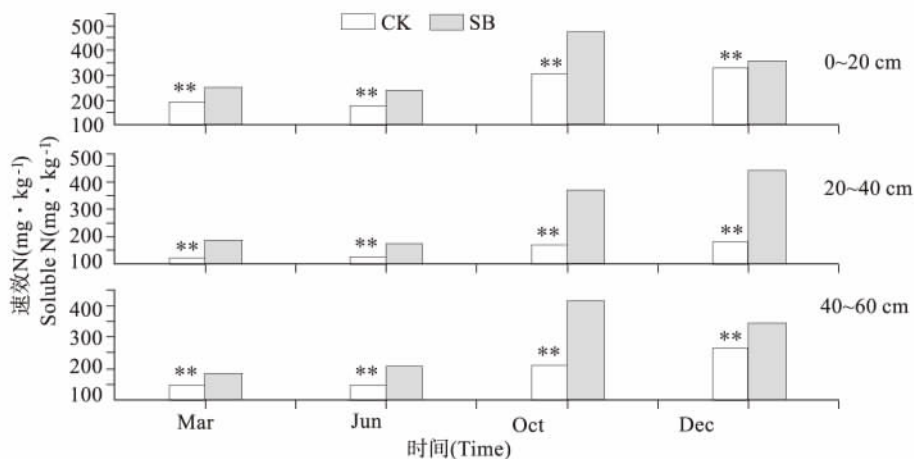


图3 炼山对土壤速效N含量的影响

Fig. 3 Effects of slash burning on available N concentration in soil

2.3 全P和有效P

(1) 全P

与对照相比,土壤表层全P含量显著增加(图4);在炼山后的不同时期,土壤中层全P含量没有统一的变化趋势,有增有降(图4)。说明炼山后的雨水淋溶、地被物覆盖对全P的影响较大。土壤底层全P含量除炼山后1天与对照有显著差异外,其

余阶段均没有显著差异(图4)。

炼山后1d,土壤表层、中层和底层的全P含量分别比对照增加了13.51%、4.39%和-1.99%;炼山3个月后,土壤表层、中层和底层的全P含量分别比对照分别增加了6.07%、-18.94%和-0.03%;炼山7个月后,土壤表层、中层和底层的全P含量分别比对照分别增加了6.36%、9.83%和1.11%;炼

山 9 个月后, 土壤表层、中层和底层的全 P 含量比对照分别增加了 3.84%、36.28% 和 -0.29%。这些

结果说明了炼山后, 雨水淋溶加速, 使 P 堆积在土壤中层。

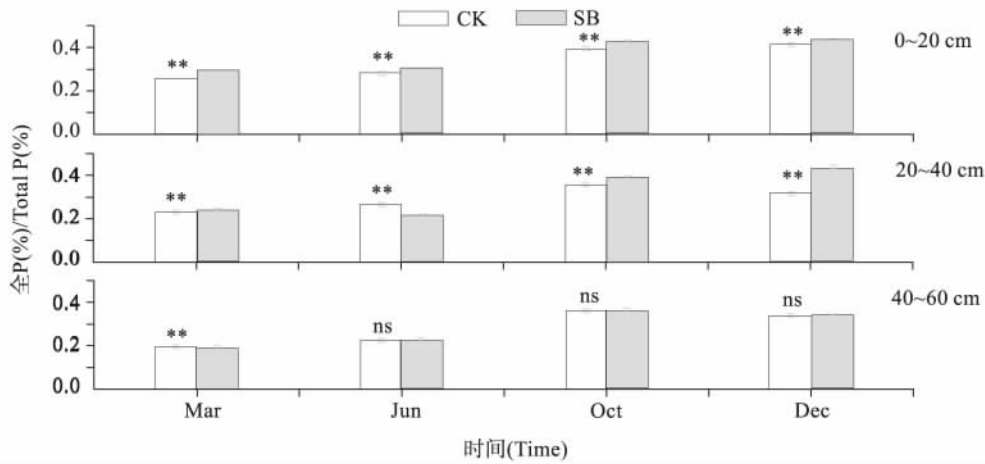


图 4 炼山对土壤全 P 含量的影响

Fig. 4 Effects of slash burning on total P concentration in soil

(2) 有效 P

与对照相比, 炼山后的土壤表层、中层和底层的有效 P 均有显著的增加, 但随着时间的延长, 表层

土和底层土的有效 P 含量差异越来越小, 而中层土的有效 P 含量差异越来越大(图 5)。说明炼山对土壤有效 P 的影响非常明显。

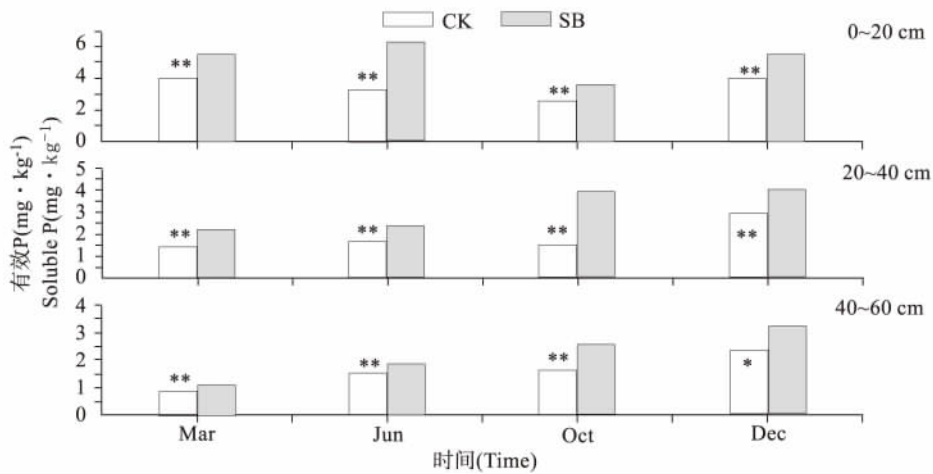


图 5 炼山对土壤有效 P 含量的影响

Fig. 5 Effects of slash burning on available P concentration in soil

炼山 1 d 后, 土壤表层、中层和底层有效 P 分别比对照的对应层增加了 38.38%、44.97% 和 29.55%; 炼山 3 个月后, 土壤表层、中层和底层有效 P 分别比对照的对应层增加了 90.61%、42.26% 和 27.81%; 炼山 7 个月后, 土壤表层、中层和底层有效 P 分别比对照的对应层增加了 46.94%、59.46% 和 55.83%; 炼山 9 个月后, 分别增加了 8.84%、98.59% 和 16.01%。总体趋势均是土壤中层的增长量最大, 说明土壤中层是一个“养分累积层”。

2.4 全 K 和速效 K

(1) 全 K

与对照相比, 炼山后土壤表层、中层和底层全 K

含量均有显著性变化, 总体变化趋势是含量降低(图 6)。炼山 1 d 后, 土壤表层、中层和底层全 K 含量分别比对照的对应土壤层增加了 1.89%、-15.41% 和 -27.57%; 炼山 3 个月后, 分别降低了 10.20%、16.13% 和 16.15%; 炼山 7 个月后, 土壤表层和底层全 K 含量分别比对照的对应土壤层降低 8.22% 和 16.66%, 中层土比对照增加了 1.70%; 炼山 9 个月后, 其变化百分比分别是 -14.29%、3.54% 和 -4.78%。由此可见, 土壤全 K 的雨水淋溶作用也非常明显, 表层土的 K 快速淋溶下渗, 导致中层和底层土壤的全 K 含量快速增加。

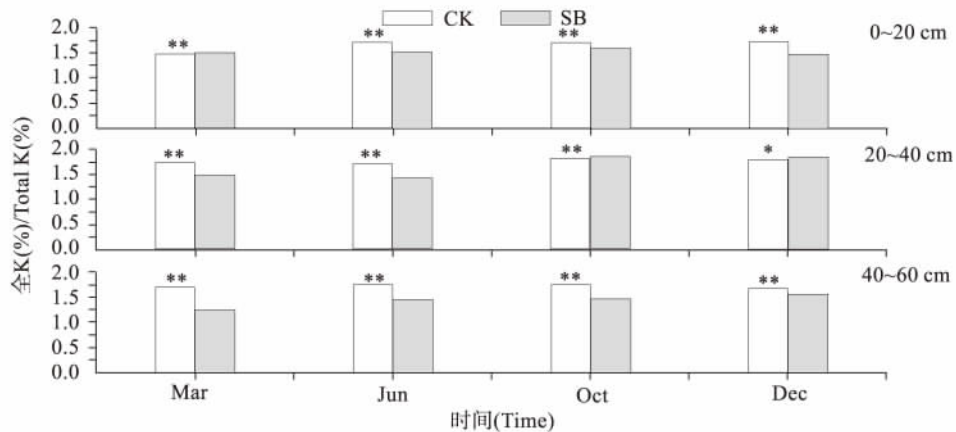


图6 炼山对土壤全K含量的影响

Fig. 6 Effects of slash burning on total K concentration in soil

(2) 速效K

与对照相比,炼山1 d后的土壤表层速效K显著降低,但随着炼山后的自然恢复,土壤表层速效K反而有显著增加(图7)。土壤中层的变化趋势,与表层不同,炼山后1 d和3个月,速效K有显著降低,但炼山7个月后显著增加,而炼山9个月后,又显著下降(图7)。土壤底层的速效K变化规律相对稳定,即炼山后先迅速的显著降低,然后又迅速的显著增加(图7)。

炼山1 d后,土壤表层、中层和底层的速效K含量分别比对照土壤的对应层降低了1.62%、33.31%和37.31%;炼山3个月后,土壤表层、中层和底层的速效K含量分别比对照相比的变化值是17.18%、-27.38%和-26.25%;炼山7个月后,土壤表层、中层和底层的速效K含量分别比对照增加了24.96%、5.45%和22.58%;炼山9个月后,分别增加了12.86%、-13.51%和14.40%。

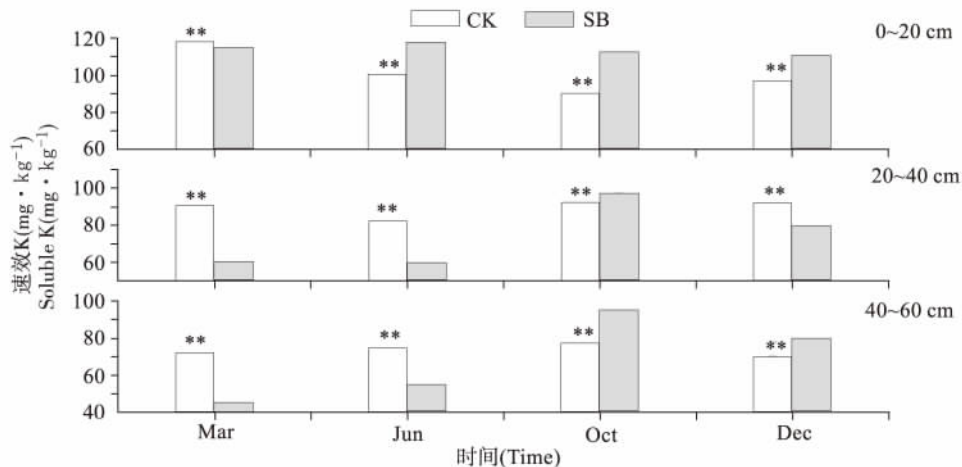


图7 炼山对土壤速效K含量的影响

Fig. 7 Effects of slash burning on available K concentration in soil

2.5 Ca和Mg含量

(1) Ca含量

与对照相比,炼山后的土壤表层Ca含量显著增加;土壤中层和底层的Ca含量,在时间上无明显的变化规律(图8)。

炼山1 d后,土壤表层、中层和底层的Ca含量比对照的对应土层分别增加了16.50%、9.99%和-6.42%;炼山3个月后,土壤表层、中层和底层的

Ca含量比对照的对应土层分别增加了11.10%、-13.11%和3.2%;炼山7个月后,土壤表层、中层和底层的Ca含量比对照的对应土层分别增加了25.13%、56.24%和20.47%;炼山9个月后,分别增加了22.04%、31.10%和-13.31%,说明Ca的雨水淋溶明显,表层土的Ca含量降低,而中层土的Ca含量快速增加。

(2) Mg含量

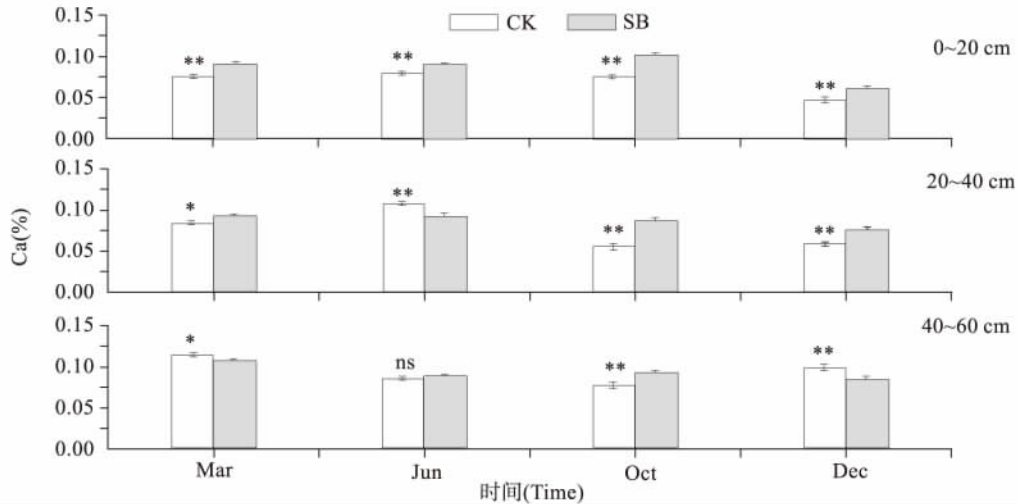


图8 炼山对土壤 Ca 含量的影响

Fig. 8 Effects of slash burning on Ca content in soil

与对照相比, 炼山 1 d 后的土壤表层 Mg 含量先显著降低, 后显著升高(图 9)。炼山后的各个采样期, 土壤中层和底层的 Mg 含量均显著降低(图 9)。炼山 1 d 后, 土壤表层、中层和底层的 Mg 含量分别比对照的对应层降低了 38.50%、39.04% 和 41.63%; 炼山 3 个月后, 土壤表层、中层和底层的

Mg 含量与对照相比的变化值分别是 -33.12%、-38.25% 和 -44.89%; 炼山 7 个月后, 土壤表层、中层和底层的 Mg 含量与对照相比的变化值分别是 45.51%、-6.28% 和 -34.57%; 炼山 9 个月后, 土壤表层、中层和底层的 Mg 含量与对照相比分别增加了 19.44%、-33.82% 和 -6.03%。

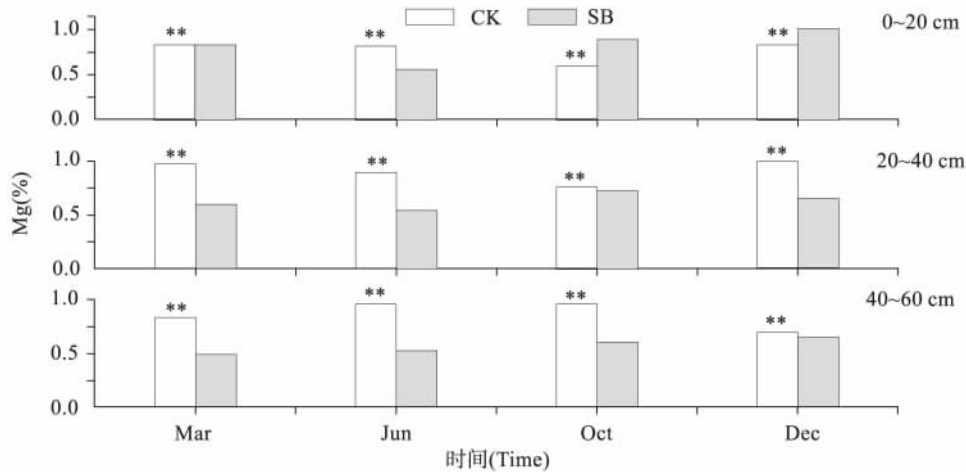


图9 炼山对土壤 Mg 含量的影响

Fig. 9 Effects of slash burning on Mg content in soil

3 结论与讨论

(1) 全量养分

本研究表明, 炼山后的土壤全 N 含量较对照有显著增加, 与过去的研究结果一致^[8-13]。炼山初期, 火烧在短时间内, 将采伐剩余物和地表覆盖物分解, 火烧后的灰分留在土壤表层, 一些燃耗不完全的残体中也含有一部分 N 元素, 这部分 N 元素可能进入土壤, 增加了土壤全 N 的含量, 由于华西雨屏区夏季降雨强度较大, 残留在土壤的灰分被降雨带

走, 使土壤全 N 含量低于炼山初期。

炼山早期, 土壤全 P 含量明显增加; 随着炼山后的时间推移, 土壤全 P 的含量慢慢恢复到未炼山的水平, 与过去的研究结果一致^[5, 14]。其原因可能是炼山初期的高温不足以达到 P 挥发的温度^[15], 大量的全 P 元素进入土壤, 导致炼山初期土壤全 P 含量的明显增加, 此后由于土壤表层覆盖物较少, 土壤大面的裸露, 降水增加了雨水淋溶, 引起的水土流失带走一部分 P 元素, 导致炼山 9 个月后土壤全 P 与对照的土壤含量没有显著性差异。

土壤全 K 含量在炼山过后有显著性减少, 只有

20 cm~40 cm 土层在炼山 7 个月含量有所增加, 炼山 9 个月后比对照略高, 与薛立^[6] 研究结果一致。炼山时, 林地残落物中的 K 元素被迅速燃烧释放出来, 此时的 K 元素很容易呈游离状态, 稍有降雨就极易流失, 而且极易下渗, 故 20 cm~40 cm 土层中全 K 含量会随着时间推移而增加, 由于本次试验持续的时间不长, 40 cm~60 cm 土层中全 K 的含量是否会持续增加, 需要对其进一步的观察和研究。

炼山过后, 土壤 Ca 含量较对照有所增加, 与过去的研究结果一致^[16]。炼山后的灰分进入土壤增加了土壤中 Ca 含量, 炼山产生的高温, 使得土壤中部分有机酸氧化, 增加了部分 Ca 离子的强度, 加上炼山使土壤 pH 值升高, 增加了 Ca 离子的可利用性, 这可能是炼山后 Ca 元素增加的原因。土壤表层 Mg 含量先减小后增加, 土壤中层和底层均减小, 与过去的研究结果不一致^[16]。这可能是由于土壤中微生物的存在, 增加了 Mg²⁺ 的转化, 使得土壤中 Mg 的含量减少。

(2) 速效养分

炼山过后, 土壤速效 N、有效 P、速效 K 有明显增加, 与过去的研究结果一致^[3, 17~18]。炼山时, 火烧使土壤覆盖的采伐剩余物中含的有机质大量矿质化, 并且火烧引起的高温, 可能会对土壤中一部分氮素转化为碱解氮; 炼山后, 地表上燃烧采伐剩余物留下的灰分进入土壤, 使得土壤中的速效 N 养分有明显的增加, 由于土壤中有有机质的含量减少, 炼山迹地种植的植物吸收的 N 增加, 加上土壤中的淋溶和雨水的侵蚀, 可能是导致后期土壤速效 N 减少的原因^[19]。炼山燃烧采伐剩余物及地表覆盖的植物产生的灰分进入土壤增加其含量, 炼山使得原酸性土壤的 pH 值提高, 使得土壤中有效磷的转化或者释放的过程更加有利, 土壤中有效 P 的含量在炼山初期持续增加。华西雨屏区降雨比较频繁, 土壤中可溶性铁和亚铁的含量增加, 对 P 的固定作用加强, 可能是土壤中有效 P 含量有下降趋势的原因。本实验结果与刘正刚等的研究不一致^[19], 这可能是由于炼山时是否处于雨季, 炼山迹地上的植物种类不同所造成的。

总之, 炼山能显著增加杉木林采伐迹地的土壤 pH 值。炼山能显著增加土壤 0~40 cm 层的全 N 含量; 炼山对不同土层的 P 含量影响不同, 没有一致的变化规律。炼山后, 表层土的全 K 含量呈现先增加后减少的趋势, 中层土是先下降、后增加, 底层土持续下降。炼山后土壤中速效 N、有效 P 的含量均为先持续增加, 然后略有减少的变化趋势, 而速效 K 的含量先有所下降, 随后呈增加趋势。炼山后的土

壤表层 Ca 含量显著增加; 但对土壤中层和底层土的 Ca 含量影响没有一致性的变化趋势。土壤各层中的 Mg 含量在炼山过后明显下降。

参考文献:

- [1] 周霆, 盛伟彤. 关于我国人工林可持续问题 [J]. 世界林业研究, 2008, 21(3): 49~53.
- [2] 杨明, 汪思龙, 张伟东, 等. 杉木人工林生物量与养分积累动态 [J]. 应用生态学报, 2010, 21(7): 1674~1680.
- [3] 陈雄. 杉木林采伐迹地不炼山造杉木实验研究 [J]. 林业科技, 2011, 22(8): 32~33.
- [4] Chen S, Peng S, Chen B, et al. Effects of fire disturbance on the soil physical and chemical properties and vegetation of *Pinus massoniana* forest in south subtropical area [J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30: 184~189.
- [5] 何斌, 袁霞, 刘运华, 等. 马尾松采伐迹地炼山前后土壤养分变化的研究 [J]. 广西农业生物科学, 2002, 21(3): 216~218.
- [6] 薛立, 向文静, 何跃君, 等. 不同林地清理方式对杉木林土壤肥力的影响 [J]. 应用生态学报, 2005, 16(8): 1417~1421.
- [7] Sommer R, Vlek PLG, de Abreu Sá TD, et al. Nutrient balance of shifting cultivation by burning or mulching in the Eastern Amazon—evidence for subsoil nutrient accumulation [J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2004, 68: 257~271.
- [8] 刘永刚, 胡光辉, 闫争亮, 等. 炼山与未炼山清理对 2 年生巨尾桉人工林林木生长量及其群落灌草层植物种类组成的影响 [J]. 西部林业科技, 2009, 38(4): 68~69.
- [9] 林文龙. 炼山对物种多样性和土壤肥力的影响 [J]. 林业科技开发, 2002, 16(增): 37~38.
- [10] 方志伟. 炼山对杉木人工林群落学特征影响的研究 [J]. 林业科学, 2001, 27(1): 208~210.
- [11] 马祥庆, 汪荣溪, 陈友力, 等. 不同林地清理方式对杉木萌芽更新的影响研究 [J]. 福建林业科技, 1994, 21(2): 15~18.
- [12] Malmström A, Persson T, Ahlström K, et al. Dynamics of soil meso- and macrofauna during a 5-year period after clear-cut burning in a boreal forest [J]. Applied Soil Ecology, 2009, 43: 61~74.
- [13] Wu LC, Shinzato T, Kudo T, et al. Characteristics of a 20-year-old evergreen broad-leaved forest restocked by natural regeneration after clearcut-burning [J]. Annals of Forest Science, 2008, 65(5): 9.
- [14] 刘正刚, 尹武骏. 炼山对巨桉林地土壤全磷和有效磷的影响 [J]. 湖北农业科技, 2011, 50(14): 2838~2840.
- [15] 郭剑芬, 杨玉盛, 陈光水, 等. 采伐和火烧对森林氮动态的影响 [J]. 生态学报, 2008, 28(9): 4460~4464.
- [16] Christian PG, Robert LS, Ingrid CD, et al. The effects of slash burning on ecosystem nutrients during the land preparation phase of shifting cultivation [J]. Plant and Soil, 2000, 220: 247~260.
- [17] Scheuner ET, Makeschin F, Wells ED, et al. Short-term impacts of harvesting and burning disturbances on physical and chemical characteristics of forest soils in western Newfoundland, Canada [J]. European Journal of Forest Research, 2004, 123: 321~330.
- [18] 黄云玲. 炼山对不同立地 5 年生杉木幼林生长的影响 [J]. 江西林业科技, 2006, 1: 7~9.
- [19] 刘正刚, 尹武君. 炼山对巨桉林地土壤全磷和有效磷含量的影响 [J]. 湖北农业科学, 2011, 50(14): 2838~2840.