

DOI: 10.5846/stxb201112292009

李媛 程积民 魏琳 陈芙蓉. 云雾山典型草原火烧不同恢复年限土壤化学性质变化. 生态学报 2013, 33(7): 2131–2138.

Li Y, Cheng J M, Wei L, Chen F R. Changes of soil chemical properties after different burning years in typical steppe of Yunwun Mountains. Acta Ecologica Sinica 2013, 33(7): 2131–2138.

云雾山典型草原火烧不同恢复年限土壤化学性质变化

李媛¹, 程积民^{1,2,*}, 魏琳³, 陈芙蓉²

(1. 西北农林科技大学 动物科技学院 杨凌 712100; 2. 中国科学院 水利部水土保持研究所 杨凌 712100;

3. 西北农林科技大学 资源环境学院 杨凌 712100)

摘要: 云雾山典型草原处于黄土高原半干旱地区,也是草原火灾多发区,试验比较了未烧地与新烧地、火烧后 3 a 和火烧后 11 a 土壤有机碳(SOC)、全 N、全 P 和速效 K 含量的变化过程。测量的土壤深度为 50 cm,每 10 cm 一层,比较了 4 个样地 0—10 cm、10—20 cm、20—30 cm、30—40 cm、40—50 cm 土壤养分的变化。结果表明:(1)新烧地土壤剖面各层 SOC、全 N、全 P 和速效 K 含量都显著高于未烧地。(2)火烧后 3 a 样地土壤剖面各层 SOC、全 N、全 P 和速效 K 含量与未烧地差异不显著。(3)火烧后 11 a 样地土壤剖面各层全 N 含量都显著高于未烧地,SOC、全 P 和速效 K 含量除了 0—10 cm 层与未烧地差异不显著外,其它土层均显著增加。(4)4 个样地的土壤剖面各层从上到下 SOC、土壤全 N、全 P 和速效 K 含量呈递减趋势。(5)3 个火烧样地土壤表层(0—10 cm)的 pH 值和未烧地差异不显著。

关键词: 典型草原; 火烧; 火烧后年限; 土壤特性; 本氏针茅群落

Changes of soil chemical properties after different burning years in typical steppe of Yunwun Mountains

LI Yuan¹, CHENG Jimin^{1,2,*}, WEI Lin³, CHEN Furong²

1 College of Animal Science and Technology, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China

2 Chinese Academy of Science and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China

3 College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China

Abstract: The Yunwu Mountains are located in the typical steppe of the Loess Plateau, which is also the prairie fire pilosity area in the semiarid region of the plateau. Because of low rainfall, soil and water loss, and drought, the restoration of vegetation is difficult. Artificial grassland construction and pasture enclosure were used as restoration measures in this region by previous researchers, and achieved many positive effects. However, in recent years, because of long-term enclosure and lack of appropriate management, the grassland has apparently degenerated. This degeneration of vegetation cover is accompanied by accumulation of much plant litter. Because of the limited water, litter decomposition is limited, which seriously impacts on nutrient recycling in the ecosystems. After fire, organic matter is transformed into inorganic components that the vegetation can readily absorb. These inorganic components undergo a series of chemical changes in the soil. Fire may also affect the transport of water to be absorbed by plants.

In the present study, we mainly focused on the effect of fire on soil nutrient characteristics. Three *Stipa bungeana* communities were selected as experimental stands that had been burned in 2011 (new burning), 2009 (three years after burning) and 2000 (eleven years after burning). A nearby unburnt stand was selected as a control stand. In September

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项(XDA05050202); 林业公益性行业科研专项(200904056) 项目资助

收稿日期: 2011-12-29; 修订日期: 2012-08-20

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: gyzejm@ms.iswc.ac.cn

<http://www.ecologica.cn>

2011, soil nutrients were determined. The aim of this study was to investigate the characteristics of selected soil chemical properties in the different burning periods.

Changes in soil organic C (SOC), total N, total P and available K concentrations in the unburnt stand were contrasted with those in the stands which had been previously burnt in different years, including new burning, three years after burning, and eleven years after burning. The soils were sampled in 10cm layers to a depth of 50cm, and changes in soil nutrient concentrations were compared in the four stands in each of the 0—10cm, 10—20cm, 20—30cm, 30—40cm, and 40—50cm layers. The results were as follows: (1) SOC, total N, total P and available K concentrations at all depths in the newly burnt stand were significantly higher than in the unburnt stand ($P < 0.05$). (2) SOC, total N, total P and available K concentrations at all depths three years after burning stand showed no significant differences from concentrations in the unburnt stand ($P > 0.05$). (3) Total N concentrations at all depths eleven years after burning were significantly higher than in the unburnt stand ($P < 0.05$), and SOC, total P and available K concentrations at all depths, except for 0—10cm, were significantly higher than concentrations in the unburnt stand ($P < 0.05$). (4) In these four stands, SOC, total N, total P and available K concentrations decreased in the soil profile from the top to the bottom sampled layer. (5) The soil surface layer (0—10cm) had pH values of 7.9, 8.5 and 8.0 in the newly burnt stand, three years after burning and eleven years after burning respectively, which were not significantly different from the pH in the unburnt stand (pH=8.2) ($P > 0.05$). Overall, new burning and previous burning (up to eleven years previously) compared to no burning led to significant improvement in the measured soil nutrient concentrations compared with the unburnt stand, but had not changed significantly three years after burning, which may be related to rainfall after fire.

Key Words: Typical steppe; fire; years after burning; characteristics of soil; community of *Stipa bungeana*

半干旱地区草原频繁发生火灾是一种普遍现象。火烧对养分的循环和利用具有显著影响。火烧消耗了地上生物量、枯落物、以及土壤有机物,并将这些有机养分转换为无机形式^[1],或者以气体的形式挥发,或者以灰分的形式回归到生态系统中。然而,由于火烧的优点不明显,通常会夸大火烧的缺点,如增加土壤侵蚀、优良牧草的损失、毒草和适口性差的禾草的密度增加^[2]。

火烧的利弊,主要依赖于草地的植被类型和当地的气候条件。植被类型的不同,气候条件的变化,火烧后土壤的性质出现了变化。土壤是生态系统可持续性的重要组成部分,它为植物生长提供各种养分和支持。火烧以后,土壤的各种性质会发生较大变化,原因是火向土壤中施加了热量、灰烬,并且改变了土壤环境和微气候,土壤性质也可因植被和生物活性的改变而发生相应的变化^[3]。土壤化学性质的变化与耕作、土地利用方式以及经营措施等人为因素也密切相关^[4]。土壤的水分、酸度、温度和枯落物的输入是土壤物理性质和化学循环的重要推动者^[5]。而火烧干扰对这些因素的改变,最终影响了土壤的化学性质和养分循环。以往,在草地生态系统中,放牧、开垦、火烧、刈割、旅游开发等是最常见的干扰方式^[6],而关于黄土高原地区的典型草原,经历火烧干扰后土壤理化性质方面的研究相对较少,尤其是火烧后不同恢复年限土壤化学性质的变化就更少。

火烧能影响土壤的物理性质、化学性质、矿物学与生物学特性,这种影响可以是短期的、长期的或者永久性的,影响的程度主要取决于火的性质、火烧强度和火烧频率^[7]。本文以黄土高原云雾山典型草原为研究对象,比较了火烧后不同恢复年限土壤化学性质的变化,主要从火烧强度、土壤类型、立地条件和气候条件等方面揭示其影响机制,对黄土高原地区今后的火生态研究提供基础依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

本试验区位于宁夏固原东北部的云雾山草原自然保护区,东经 106°24′—106°28′,北纬 36°13′—36°19′,面积为 4000 hm²,海拔 1800—2100 m,年平均气温 5℃。年降雨量 400—450 mm,一般丰水年占 28.0%,平水

年占 35.5% 枯水年占 36.5% 7—9 月份降雨量占全年降雨量的 65%—75%。蒸发量 1330—1640 mm, ≥ 10 °C 积温 2100—3200 °C, 干燥度 1.5—2.0。地势为南低北高, 阳坡平缓, 阴坡较陡, 属温凉半干旱黄土覆盖的低山丘陵区, 无霜期 112—140 d, 土壤分为山地灰褐土和黑垆土两类。保护区主要植物类型以本氏针茅 (*Stipa bungeana*)、大针茅 (*Stipa grandis*)、白颖苔草 (*Carex rigesaeans*)、铁杆蒿 (*Artemisia sacrorum*)、百里香 (*Thymus mongolicus*) 为主, 伴生类型以星毛委陵菜 (*Potentilla acaulis*)、赖草 (*Leymus secalinus*)、花苜蓿 (*Melissitus ruthenicus*)、扁穗冰草为主 (*Agropyron cristatum*)^[8]。

1.2 试验样地情况

本研究在宁夏固原市云雾山草原自然保护区的核心区进行。由于人为原因曾多处着火, 于 2011 年 9 月, 选择 3 块火烧强度(烧死草比例约 30%)、坡度、坡向、海拔基本一致、原始自然植被均为本氏针茅群落的火烧迹为研究对象, 3 个火烧迹地相距 1.5—2 km, 分别于 2011 年(新烧)、2009 年(火烧后 3a)、2000 年(火烧后 11a) 各火烧 1 次。一块邻近的没有受到火烧影响的本氏针茅草地作为对试样地。试验样地的基本情况见表 1。

表 1 试验样地的基本情况
Table 1 The status of experimental field

样地类型 Stand pattern	未火烧 Unburning	新烧 New burning	火烧后 3a Three years after burning	火烧后 11a Eleven years after burning
面积 Area/hm ²	15	10	15	30
海拔 Altitude/m	2065	2099	2074	2039
坡度 Slope/(°)	15	15	14	20
地上生物量 Above ground biomass/(g/m ²)	212.11	242.01	189.75	293.26
土壤类型 Type of soil	灰褐土	灰褐土	灰褐土	灰褐土
过火时间 Years of burning	未过火	2011 年	2009 年	2000 年
火烧强度 Fire intensity	轻度火	轻度火	轻度火	轻度火
植物组成 Comparison of plant	本氏针茅, 大针茅, 白颖苔草, 花苜蓿, 等	本氏针茅, 大针茅, 白颖苔草, 赖草, 等	本氏针茅, 大针茅, 白颖苔草, 铁杆蒿, 等	本氏针茅, 大针茅, 白颖苔草, 赖草, 等

1.3 样本采集与处理

在每个样地内随机选择 3 个 30 m×30 m 的小区。分别在每个小区内呈“X”形, 取 5 个 50 cm×50 cm 的小样方, 每个小样方的地上植被齐地面剪掉, 然后分 0—10 cm、10—20 cm、20—30 cm、30—40 cm、40—50 cm 土层进行多点(3 个)混合取样, 土壤采集后将其中的根系等植物残体去除, 混合均匀后自然风干, 备用。

1.4 测定方法与原理

土壤有机 C 的测定采用重铬酸钾氧化法-外加热法; 土壤全 N 的测定采用半微量凯氏法; 土壤全 P 的测定采用酸溶-钼锑抗比色法; 土壤速效 K 的测定采用乙酸铵浸提-火焰光度法; 土壤 pH 值的测定: 电位法。

采用单因素方差分析 (SPSS16.0 软件) 研究火烧干扰对土壤化学性质的影响, 多重比较采用 Post-hoc LSD 检验, 显著水平设定为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 土壤有机 C 的变化

4 个样地 SOC 含量主要集中在土壤表层(0—10 cm), 且 0—50 cm 范围内, 各土层 SOC 含量从上到下递减梯度很明显(表 2)。土壤 0—10 cm 新烧地 SOC 含量显著高于火烧后 3 a、11 a 和对试样地 ($P < 0.05$), 说明火烧显著增加 0—10 cm 范围内 SOC 含量, 但这种增加只是暂时的, 火烧后 3 a、11 a 表层土壤有机 C 含量和对照差异并不显著 ($P > 0.05$)。土壤 10—20 cm、20—30 cm、30—40 cm、40—50 cm, SOC 含量的变化趋势相同, 表现为新烧和火烧后 11 a 样地 SOC 含量显著高于对照 ($P < 0.05$), 而火烧后 3 a 与对照差异不显著 ($P > 0.05$)。

0—50 cm 范围内, 新烧地各土层 SOC 含量都显著高于对照 ($P < 0.05$), 火烧后 3 a 和对照差异不显著 ($P >$

0.05) ,火烧后 11 a 除 0—10 cm 外 ,其它土层 SOC 含量也显著高于对照($P<0.05$)。

表 2 火烧不同恢复年限不同深度土壤有机 C 含量的变化/(g/kg)

Table 2 Soil organic carbon concentrations at different depths after different burning years

土壤深度/cm Soil depth	未火烧 Unburning	新烧 New burning	火烧后 3 a Three years after burning	火烧后 11 a Eleven years after burning
0—10	26.49(1.58) b	34.19(1.85) a	25.82(0.87) b	29.62(2.51) b
10—20	22.52(0.22) c	26.68(0.77) a	21.47(0.04) c	25.25(0.63) b
20—30	19.10(0.57) b	23.43(0.93) a	18.47(0.59) b	22.07(0.26) a
30—40	16.68(0.37) b	20.89(1.30) a	16.31(0.48) b	19.64(0.71) a
40—50	14.09(0.35) b	18.78(0.96) a	13.77(0.49) b	18.10(0.86) a

同一行不同字母表示差异达 5% 显著水平; 括号内为标准差

2.2 土壤全 N 的变化

和 SOC 一样 4 个样地土壤全 N 也主要集中在表层(0—10 cm)。土壤 0—10 cm、10—20 cm、20—30 cm、30—40 cm 新烧地土壤全 N 含量显著高于火烧后 3 a、11 a 和对照样地($P<0.05$) (表 3) ,火烧后 3 a 和对照差异不显著($P>0.05$) ,但火烧后 11 a 显著高于火烧后 3 a 和对照样地($P<0.05$)。土壤 40—50 cm 全 N 含量表现为新烧地和火烧后 11 a 样地显著高于对照($P<0.05$) ,火烧后 3 a 与对照差异不显著($P>0.05$) ,新烧地和火烧后 11 a 差异不显著($P>0.05$)。

0—50 cm 范围内 新烧地和火烧后 11 a 各土层全 N 含量都显著高于对照($P<0.05$) ,而火烧后 3 a 和对照无显著差异($P>0.05$)。

表 3 火烧不同恢复年限不同深度土壤全 N 含量的变化/(g/kg)

Table 3 Soil total N concentrations at different depths after different burning years

土壤深度/cm Soil depth	未火烧 Unburning	新烧 New burning	火烧后 3 a Three years after burning	火烧后 11 a Eleven years after burning
0—10	2.49(0.11) c	3.18(0.08) a	2.55(0.05) c	2.84(0.15) b
10—20	2.23(0.03) c	2.75(0.04) a	2.19(0.05) c	2.55(0.05) b
20—30	1.98(0.05) c	2.50(0.08) a	1.99(0.05) c	2.30(0.04) b
30—40	1.77(0.05) c	2.27(0.06) a	1.78(0.05) c	2.11(0.09) b
40—50	1.52(0.04) b	2.02(0.07) a	1.52(0.07) b	1.93(0.12) a

2.3 土壤全 P 的变化

4 个样地 0—50 cm 范围内 ,各土层全 P 含量呈递减趋势 ,但变化幅度不大(表 4)。土壤 0—10 cm 新烧地土壤全 P 含量显著高于火烧后 3 a 和对照样地($P<0.05$) ,火烧后 3 a 和 11 a 与对照都无显著差异($P>0.05$)。土壤 10—20 cm、20—30 cm、30—40 cm、40—50 cm 新烧地和火烧后 11 a 样地土壤全 P 含量显著高于对照($P<0.05$) ,火烧后 3 a 和对照无显著差异($P>0.05$) 新烧地和火烧后 11 a 无显著差异($P>0.05$)。

表 4 火烧不同恢复年限不同深度土壤全 P 含量的变化/(g/kg)

Table 4 Soil total P concentrations at different depths after different burning years

土壤深度/cm Soil depth	未火烧 Unburning	新烧 New burning	火烧后 3 a Three years after burning	火烧后 11 a Eleven years after burning
0—10	0.68(0.01) b	0.73(0.01) a	0.66(0.01) b	0.70(0.01) ab
10—20	0.66(0.01) b	0.70(0.01) a	0.65(0.01) b	0.69(0.01) a
20—30	0.64(0.02) b	0.69(0.01) a	0.62(0.01) b	0.69(0.01) a
30—40	0.61(0.01) b	0.68(0.00) a	0.60(0.01) b	0.68(0.01) a
40—50	0.59(0.01) b	0.66(0.01) a	0.59(0.04) b	0.68(0.01) a

0—50 cm 范围内,新烧地土壤各层全 P 含量都显著高于对照 ($P < 0.05$)。火烧后 11 a 除了 0—10 cm 其它土层全 P 含量都显著高于对照 ($P < 0.05$) ,火烧后 3 a 土壤各层全 P 含量和对照差异不显著 ($P > 0.05$)。

2.4 土壤速效 K 的变化

4 个样地中土壤速效 K 含量在表层最高,且 0—50 cm 范围内,各土层速效 K 含量呈递减趋势,变化幅度明显(表 5)。土壤 0—10 cm 新烧地土壤速效 K 含量显著高于对照 ($P < 0.05$) ,火烧后 3 a 和 11 a 样地与对照差异不显著 ($P > 0.05$)。土壤 10—20 cm 新烧地和火烧后 11 a 样地速效 K 含量显著高于对照 ($P < 0.05$) ,而火烧后 3 a 和对照差异不显著 ($P > 0.05$)。新烧地和火烧后 11 a 差异不显著 ($P > 0.05$)。20—30 cm、30—40 cm、40—50 cm 新烧地和火烧后 11 a 样地速效 K 含量显著高于对照 ($P < 0.05$) ,而火烧后 11 a 显著高于新烧地 ($P < 0.05$) ,火烧后 3 a 和对照无显著差异 ($P > 0.05$)。

表 5 火烧不同恢复年限不同深度土壤速效 K 含量的变化/(mg/kg)

Table 5 Available K concentrations at different depths after different burning years

土壤深度/cm Soil depth	未火烧 Unburning	新烧 New burning	火烧后 3 a Three years after burning	火烧后 11 a Eleven years after burning
0—10	238.80(28.64) b	325.34(36.11) a	300.70(30.11) ab	290.95(24.63) ab
10—20	169.55(6.36) b	197.23(8.22) a	165.73(18.19) b	199.98(8.95) a
20—30	117.80(3.23) c	139.90(8.34) b	117.25(10.07) c	160.22(9.75) a
30—40	96.93(2.10) c	114.92(7.02) b	98.29(6.01) c	136.72(4.37) a
40—50	80.63(1.47) c	103.80(2.73) b	84.92(3.31) c	121.22(2.59) a

2.5 土壤 pH 值的变化

4 个样地火烧后,土壤表层 0—10 cm 的平均 pH 值为:火烧后 3 a (8.5) > 未烧地 (8.2) > 火烧后 11 a (8.0) > 新烧地 (7.9) ,但各火烧样地和未烧地土壤 pH 值差异均不显著 ($P > 0.05$) ,而且 4 个样地土壤都偏碱性。

3 讨论

测定火烧后 SOC 的含量是研究土壤、判断土壤肥力状况以及恢复情况的一项重要工作。火后 SOC 含量的变化没有统一的结论,既有升高的报道,也有降低的报道,还有维持不变的报道^[9],这主要和火烧强度和火烧地土壤类型有关。Giacomo Certini 指出火烧对有机质的影响包括轻度挥发、碳化作用和完全氧化,这主要依赖于火烧强度^[7]。而本研究新烧地土壤各层有机碳含量显著高于未烧地,主要由于轻度火烧并未使有机质以气体形式大量挥发,相反,火烧后土壤温度升高,增加土壤生物活性和枯落物的分解,有利于改善土壤养分。Schmidt 认为火烧在黑钙土黑土层的形成中可能起到了十分重要的作用^[10],而这些黑土层的厚度在一定程度上代表了 SOC 的变化。本研究火烧迹地土壤都属于灰褐土,可以看到新烧地土壤各层 SOC、土壤全 N、全 P 和速效 K 含量都显著高于未烧地,这可能与灰褐土本身的物理特性有很大关系。本研究表明,火烧后 3 a 土壤各层 SOC 含量和未烧地差异不显著,可能由于火烧后气候干燥,风速等原因使土壤缺乏水分、灰分沉积减少及微生物量减小等,最终影响了土壤化学性质。但是随着时间的推移,生物体燃烧后的残体形成土壤黑碳,有助于形成稳定的土壤有机碳库^[11]。火烧后 11 a 土壤经历了长期的演替,土壤黑碳很有可能影响到 40—50 cm 土层。同时地上植被逐渐恢复,而凋落物也会逐渐增加,从而加速了 SOC 的恢复速度,因此火烧后 11 a SOC 含量除了表层差异不显著,其它土层均显著增加。表层 SOC 的这种特殊变化,可能与样地的坡度有一定关系。由表 1 可知火烧后 11 a 样地坡度比未烧地稍陡,由于黄土高原地区雨水多以暴雨出现,所以坡度越陡,表层养分的流失现象可能越严重,而且本试验在 9 月份中旬采样,基本经历了大部分雨季。

由于植物种类不同,火烧后土壤氮矿化度不同,土壤 N 含量变化不同。关于火烧后土壤全 N 含量的变化也没有统一的研究结果。宋启亮等^[12]指出大兴安岭土壤全 N 的含量在火烧后初期增加,随着时间的推移有所降低,后期又再次上升,并且含量超过火烧前的水平。本研究与其结果比较一致,发现新烧地土壤全 N

含量显著增加,但火烧后 3 a 全 N 含量和对照差异不显著,火烧后 11 a 全 N 含量显著高于对照,说明随着时间推移火烧对土壤全 N 含量产生影响。然而,由于火烧后 N 最容易挥发,也有报道指出火烧后土壤 N 含量减小。王丽^[13]对山地林火烧迹地土壤养分的动态变化研究指出火烧后土壤各层全 N 含量下降。商丽娜^[14]对湿地生态研究表明无论火烧当年还是次年,土壤草根层与腐殖质层全 N 含量都较未烧湿地低。导致这种截然不同结论的原因可能与火烧强度、火烧类型、立地条件、可燃物数量和质量以及火烧时的气候条件等因素有关。

火烧后 P 通过挥发和淋溶损失的部分很少,很多研究指出火烧对土壤全 P 含量没有显著影响。宋启亮等^[12]指出大兴安林火烧对土壤全 P 含量没有明显的影响。火烧对森林地表覆盖物和表层矿质土壤中全 P 浓度一般没有明显影响,只有火烧强度很大时会有一定的影响^[15]。但本研究表明,新烧地和火烧后 11 a 土壤全 P 含量显著高于未烧地,这可能与火烧迹地植被类型有关,有待进一步研究。

K 在土壤中流动性比较强,土壤速效钾含量水平是决定钾肥肥效的重要指标之一。国内的一些研究也证实了火烧后土壤中速效 K 含量会显著上升^[16-19]。孙明学^[20]指出中度火烧的土壤速效 K 含量高于未烧、轻度、重度火烧地。因此土壤速效 K 的含量也与火烧强度有关。本研究属于轻度火烧,结果表明当年火烧和火烧后 11 a 的土壤速效 K 含量比未烧地显著增加,可能由于火烧时有机物释放的基础阳离子较多,或者火烧后灰分的沉积和有机物的矿化作用,土壤表层温度升高都有利于速效 K 含量的逐渐增加^[21]。但也有报道指出,火烧后速效 K 含量减小。周道玮^[18]指出火烧地土壤速效 K 在剖面的各层上都低于未烧地。谷会岩等^[22]指出火烧 20 a 后 0—10 cm, 10—20 cm 土壤 K 的含量逐渐降低。孙毓鑫等^[23]指出火烧 3 a 后,桉林速效钾含量明显降低,可能由于火烧强度和气候条件的不同造成的。宋启亮等^[12]指出大兴安林火烧对土壤速效 K 含量没有明显的影响,且在不同火烧年限迹地之间无显著差异。本研究发现,只有火烧后 3 a 土壤剖面各层速效 K 含量和未烧地差异不显著,其它火烧年限土壤速效 K 含量和未烧地相比均有显著变化。

大量研究表明火烧后土壤 pH 值有所增加^[24-25],这种增加现象是由于土壤加热后导致有机酸变性造成的^[7]。本试验对 0—10 cm 表层土壤 pH 值研究表明,新烧地、火烧后 3 a 和火烧后 11 a 与未烧地差异不显著,和前人研究结果不一致。可能由于雨季后调查,使得这种增加不持久^[26]。

总之,火烧对土壤养分的影响取决于火烧强度、土壤类型、立地条件和气候条件等多种综合因素,同时当地气候、植被、地形等又决定火烧迹地土壤养分的恢复速度。本研究发现火烧当年和火烧后 11 a 土壤性质有所改善,只有火烧后 3 a 和对照无显著差异。主要原因,本试验属于轻度火烧,当年火烧后有机质不会以气体的形式大量挥发损失,相反火烧向土壤中施加了热量、残留了灰烬,并且改变了土壤基质的状况,有利于枯落物分解,向土壤输入养分。需要指出的是火烧当年土壤 40—50 cm 养分的增加,可能是由于土壤空间异质性造成的,也可能是由于火烧后,土壤物理性质,如孔隙度、容重的改变、雨水作用等综合因素影响到土壤深层养分的变化,最终结论需要经过动态监测,有待进一步研究。火烧后 3 a,由于火烧时气候干燥、风速等原因使土壤水分、灰分及微生物量减小等,导致土壤养分有所损失,所以土壤养分含量和对照差异不显著。火烧后 11 a,土壤养分和对照相比有所改善,主要由于火烧能影响生态系统中养分的浓度、有效性以及迁移性,并最终影响植物生长,植物逐渐恢复,枯落物随之增加,最终改善了土壤养分状况。

4 结论

典型草原火烧后不同恢复年限土壤各层养分含量差异较大。表现为:新烧地和火烧后 11 a 土壤剖面各层 SOC、全 N、全 P 和速效 K 含量都有增加趋势,而火烧后 3 a 土壤剖面各层 SOC、全 N、全 P 和速效 K 含量变化不显著。不同火烧年限,土壤表层 pH 值无显著变化。总之,当年火烧和火烧后 11 a,在一定程度上都会改善土壤养分,而火烧后 3 a 土壤养分无显著变化,所以从草原的长远发展来看,火烧对土壤的发展是有利的。致谢:感谢云雾山自然保护区管理处在样品采集过程中给予的支持和帮助。

References:

- [1] Certini G. Effects of fire on properties of forest soil. *Oecologia*, 2005, 143(1): 1-10.

<http://www.ecologica.cn>

- [2] Leigh J H , Noble J C. The role of fire in the management of rangelands in Australia // Gill A M , Groves R H , Noble I R eds. Fire and the Australian Biota. Canberra: Australian Academy of Science ,1981: 471-495.
- [3] Jiang Y , Zhuge Y P , Liang C , Zhang X D. Influences of vegetation burning on soil properties. Chinese Journal of Soil Science ,2003 ,34(1) : 65-69.
- [4] Schoenholtz S H , van Miegroet H , Burger J. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. Forest Ecology and Management ,2000 ,138(1/3) : 335-356.
- [5] Walse C , Berg B , Sverdrup H. Review and synthesis of experimental data on organic matter decomposition with respect to the effect of temperature , moisture , and acidity. Environmental Review ,1998 ,6(1) : 25-40.
- [6] Zheng W , Zhu J Z , Pan C D. The multi-scale response of grassland plant diversity on human interference. Grassland Science ,2009 ,26(8) : 72-80.
- [7] Certini G. Effects of fire on properties of forest soils: a review. Oecologia ,2005 ,143(1) : 1-10.
- [8] The Management Office of Grassland Natural Reservation in Ningxia Yunwu Mountains. A Collected Works on Scientific Investigation and Management in Ningxia Yunwu Reservation. Yinchuan: Ningxia People Press ,2001.
- [9] González P J A , González V F J , Almendros G , Knicker H. The effect of fire on soil organic matter. Environment International ,2004 ,30(6) : 855-870.
- [10] Schmidt M W I , Skjemstad J O , Gehrt E , Kögel-Knabner I. Charred organic carbon in German chernozemic soils. European Journal of Soil Science ,1999 ,50(2) : 351-365.
- [11] Baldock J A , Smerik R J. Chemical composition and bioavailability of thermally altered *Pinus resinosa* (Red pine) wood. Organic Geochemistry ,2002 ,33(9) : 1093-1109.
- [12] Song Q L , Dong X B , Li Y , Liu J M. Impacts of burning and logging disturbance on soil chemical properties of forest in Daxing'anling mountain region. Forest Engineering ,2010 ,26(5) : 4-7.
- [13] Wang L. Research on the dynamic change of soil nutrients in the burned area of mountain forest. Bulletin of Soil and Water Conservation ,2008 ,28(1) : 81-84.
- [14] Shang L N , Wu F Z , Yang Q , Jiang M , Liu J P. The effects of fire on the nutrient status of wetland soil in Sanjiang plain. Wetland Science ,2004 ,2(1) : 54-60.
- [15] Dymess C T , van Cleve K , Levison J D. The effect of wildfire on soil chemistry in four forest types in interior Alaska. Canadian Journal of Forest Research ,1989 ,19(11) : 1389-1396.
- [16] Chen H K. Fertilize // Zhu X M eds. China Agricultural Soil Proceedings. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press ,1962: 275-296.
- [17] Zhou R L , Zhang P J , Xu C L. Effect of burning turf on nutrient contents and enzymatic activities of alpine meadow soil and its grey relationship analysis. Acta Pedologica Sinica ,1997 ,34(1) : 89-96.
- [18] Zhou D W , Jiang S C , Tian H Y , Zhou W. Burning effects on soil water content following grassland burning in a Hulunbeier steppe. Journal of Northeast Normal University ,1999 , (1) : 112-117.
- [19] Li Z H , Jiang Q. The effects of fire on the nutrient states of Steppe soil. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Neimongol ,1994 ,25(4) : 444-449.
- [20] Song M X , Jia W W , Wu Y. Effect of forest fire on soil chemical properties in northern Daxing'an mountains. Journal of Northeast Forestry University ,2009 ,37(5) : 33-35.
- [21] Kennard D K , Gholz H L. Effects of high- and low-intensity fires on soil properties and plant growth in a Bolivian dry forest. Plant and Soil ,2001 ,234(1) : 119-129.
- [22] Gu H Y , Jin J B , Chen X W , Wang en , Zhou Y Y , Chai Y F. The long-term impacts on chemical properties of Larix gmelini forest on the northern slope of greater Hinggan mountains from a forest fire of varying fire intensity. Journal of Natural Resources ,2010 ,25(7) : 1115-1121.
- [23] Song Y X , Wu J P , Zhou L X , Lin Y B , Bo S L. Changes of soil nutrient contents after prescribed burning of forestland in Heshan city , Guangdong province. Chinese Journal of Applied Ecology ,2009 ,20(3) : 513-517.
- [24] Tang J L , Ou G J. Influence of fire on soil property under the canopy of Yunnan Pine. Journal of Beijing Forestry University ,1995 ,17(2) : 44-49.
- [25] Liang Y J , Ma W G , Zhang S , Liu W L , Yin Y M. Effect of burning on the chemical properties of soil in protective ground. Journal of Yanbian University ,2006 ,28(3) : 177-181.
- [26] Ulery A L , Graham R C , Amrhein C. Wood-ash composition and soil pH following intense burning. Soil Science ,1993 ,156(5) : 358-364.

参考文献:

- [3] 姜勇, 诸葛玉平, 梁超, 张旭东. 火烧对土壤性质的影响. 土壤通报, 2003, 34(1): 65-69.
- [6] 郑伟, 朱进忠, 潘存德. 草地植物多样性对人类干扰的多尺度响应. 草业科学, 2009, 26(8): 72-80.
- [8] 宁夏云雾山草原自然保护区管理处. 宁夏云雾山自然保护区科学考察与管理文集. 银川: 宁夏人民出版社, 2001.
- [12] 宋启亮, 董希斌, 李勇, 刘继明. 采伐干扰和火烧对大兴安岭森林土壤化学性质的影响. 森林工程, 2010, 26(5): 4-7.
- [13] 王丽, 嶋一徹. 山地林火烧迹地土壤养分的动态变化. 水土保持通报, 2008, 28(1): 81-85.
- [14] 商丽娜, 吴正方, 杨青, 姜明, 刘吉平. 火烧对三江平原湿地土壤养分状况的影响. 湿地科学, 2004, 2(1): 54-60.
- [16] 陈华葵. 施肥 // 朱显谟. 中国农业土壤论文集. 上海: 上海科技出版社, 1962: 275-296.
- [17] 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. 土壤学报, 1997, 34(1): 89-96.
- [18] 周道玮, 姜世成, 田洪艳, 周维. 草原火烧后土壤水分含量的变化. 东北师大学报: 自然科学版, 1999, (1): 112-117.
- [19] 李政海, 绛秋. 火烧对草原土壤养分状况的影响. 内蒙古大学学报: 自然科学版, 1994, 25(4): 444-449.
- [20] 孙明学, 贾炜玮, 吴瑶. 大兴安岭北部地区林火对土壤化学性质的影响. 东北林业大学学报, 2009, 37(5): 33-35.
- [22] 谷会岩, 金靖博, 陈祥伟, 王恩姮, 周一杨, 柴亚凡. 不同强度林火对大兴安岭北坡兴安落叶松林土壤化学性质的长期影响. 自然资源学报, 2010, 25(7): 1115-1121.
- [23] 孙毓鑫, 吴建平, 周丽霞, 林永标, 傅声雷. 广东鹤山火烧迹地植被恢复后土壤养分含量变化. 应用生态学报, 2009, 20(3): 513-517.
- [24] 唐季林, 欧国菁. 林火对云南松林土壤性质的影响. 北京林业大学学报, 1995, 17(2): 44-49.
- [25] 梁运江, 马文革, 张爽, 刘文利, 尹英敏. 灼烧对保护地土壤化学性质的影响. 延边大学学报, 2006, 28(3): 177-181.