



中度火干扰下不同火烧时间对喀纳斯泰加林土壤有机碳的影响

龙海川, 丁超, 李策, 包鹏程, 杜杰, 王卫霞

(新疆农业大学 林学与园艺学院/新疆教育厅干旱区林业生态与产业技术重点实验室, 新疆乌鲁木齐 830052)

摘要:土壤碳是高纬度地区森林生态系统最大的碳库,是森林生态系统碳循环的重要组成部分,土壤碳库发生微小的变化,都会对全球碳循环产生重要的影响。因此,研究中度火干扰后不同火烧时间对喀纳斯泰加林土壤有机碳的影响对掌握泰加林土壤碳循环具有重要意义。本文采用野外调查、采样及室内分析的方法,对喀纳斯不同火烧迹地的土壤有机含量进行测定并估算碳储量,研究中度火干扰下不同火烧时间对土壤有机碳含量及碳储量的影响。结果表明:中度火干扰下不同火烧时间的火烧迹地中土壤有机碳含量及碳储量均与对照土壤存在显著差异,且有机碳含量及碳储量均随着火烧后恢复时间的延长逐渐恢复并超过火烧前水平。

关键词:有机碳含量;碳储量;中度火干扰;喀纳斯

森林火灾是一种天然景象,同时火干扰也是一种影响力极强的生态因子,对森林生态系统的构成与进化起重要的作用^[1]。在生态系统中,火干扰会使大量的森林植物凋落物燃烧^[2],进而影响土壤的理化性质及微生物的分解过程。相反,土壤的物理性质、化学性质以及微生物降解过程的改变也会直接影响地上部分的生物量以及地上植物的生长^[3],这些生态过程会间接影响土壤有机碳的含量及有机碳储量,也有可能影响土壤有机质的产生和分解过程,进而对森林生态系统的碳循环过程产生巨大的影响^[4]。而森林土壤约占全球土壤有机碳的73%^[5],是陆地生态系统中最大的碳库,对于降低大气中温室气体浓度、减缓全球变暖,具有十分重要的作用。而在全球北部森林生态系统中,约有84%的碳储存在土壤中^[6]。由于土壤有机碳储量的巨大库容,因此,即使土壤碳库发生微小的变化,都会对全球碳循环产生重要的影响^[7-9]。

陆地生态系统碳库分配格局与动态变化是全球碳循环研究的焦点,森林土壤在全球碳循环中起着重要作用。温室效应导致的全球变暖及其对陆地生态系统的影响问题是近年全球地学界、生

态学界和环境学界共同关注的科学热点,估算土壤碳储量也是各国关注的关键问题。欧美等主要国家在20世纪90年代初期或中期就完成了全球和各自国家和区域的土壤碳库估计。如Dixon等^[5]对全球森林土壤碳储量进行了估测,约为787 Pg 碳。我国周玉荣等^[10]对中国的森林生态系统土壤碳储量进行研究,估算出我国森林土壤总碳储量大约为21.02 Pg。另外近年来我国很多研究学者对我国热带、亚热带及温带的天然林、次生林和人工林等主要森林类型的土壤碳储量和碳含量也进行了大量的研究^[11-19]。20世纪60年代国外有学者开始研究林火对土壤有机碳的各种影响,如Rashid等^[20]分别研究了火干扰对阿尔及利亚地中海地区的橡树林土壤有机碳的影响;Johnson等^[21]对北美不同程度森林火干扰的影响下土壤有机碳的具体变化进行了分析研究。但是对于泰加林土壤碳储量和碳含量的研究相对较少,而对新疆喀纳斯泰加林土壤碳储量和碳含量的研究目前尚属空白。鉴于此,本文以新疆喀纳斯泰加林中度火干扰下的不同火烧时间的火烧迹地为研究对象,分析研究中度火干扰下不同火烧时间对土壤有机碳含量及碳储量的影响,旨在为喀纳斯泰加林受火干扰后土壤系统碳循环提供一定的科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区喀纳斯位于四国交界的新疆阿尔泰山脉的中段地区,接壤的三国分别是蒙古国、哈萨克

收稿日期:2018-03-13

基金项目:国家级大学生创新训练计划资助项目(201610758062)。

第一作者简介:龙海川(1995-),男,在读学士,从事森林碳的研究。E-mail:1207875219@qq.com。

通讯作者:王卫霞(1981-),女,博士,副教授,从事森林生态经营与管理研究。E-mail:wangweixia0993@163.com。

斯坦和俄罗斯,占地 10 030 hm²,地理坐标为 N48°30′20″,E87°07′37″。属于寒温带大陆性气候,海拔 3 200 m 为雪线,3 200 m 以上主要为现代冰川与永久积雪覆盖的裸岩带,雪线之上土壤稀薄,几乎很少有植物可以生存;2 400~3 200 m 为冰缘亚高山寒冻苔原垫状草甸带,以高山草本植物和苔藓、地衣等高山垫状植被为主;海拔 1 300~2 400 m 为亚高山寒温带针叶林或山地棕色针叶林带,主要由针叶树种西伯利亚落叶松(*Larix sibirica* Ledeb)、西伯利亚冷杉(*Abies sibirica* Ledeb)、西伯利亚云杉(*Picea obovata* Ledeb)、西伯利亚红松(*Pinus sibirica* Mayr)组成^[22],湿润系数大,是典型的泰加林区,同时也是构成喀纳斯生态系统的主体,森林与草场相间是该地区独有的自然景观;海拔 800~1 500 m 为低山丘陵灌木草甸草原带、海拔 800 m 以下是山前冲洪积平原绿洲荒漠带,垂直分层明显,阿尔泰山 6~7 个垂直自然景观带的真貌。研究区具明显的山地气候特点,全年无夏季或者极短,春秋两季相连,所以冬季漫长且寒冷,夏季短暂温热,并伴有霜冻,晴天日数少,云天次数多,降雨多在下午或晚间,湿度适中,空气清新,年平均气温-0.2℃,极端最高气温 29.3℃,最低气温-37℃,无霜期 80~108 d,植物生长期集中在 5~8 月,年降水量为 1 000 mm 左右,最大降水带为海拔 2 100 m。

1.2 方法

1.2.1 样地的布设及土壤样品的采集 2016 年 6~8 月,采用典型样方法在喀纳斯自然保护区未受人为干扰的原始林中设置火干扰样方进行调查。依据林木火疤年龄分析和林木火疤的外在属性(火疤宽度、火疤高度及火疤深度)及耐火树种的残留比例,选择新疆喀纳斯中度火干扰烈度下不同火烧时间的泰加林火烧迹地,以临近未火烧样地作为对照样地,但考虑到喀纳斯地区并没有真正未火烧的样地,因此本研究中以距调查时火烧时间最长的样地为对照样地。通过调查,选择海拔、坡度、坡向等立地条件等基本一致的 1938 年、1948 年、1958 年、1972 年、1985 年共 5 个年份的火烧迹地作为研究区域,其中以 1938 年的火烧迹地作为对照样地。在每个火烧迹地及对照区域设置 1 个 20 m×20 m 的临时样地,在每个临时样地内随机设置 3 个采样点,挖土壤剖面,按照 0~10 cm 土层、10~25 cm 土层分层进行土壤样品采集。土壤容重及含水量采用环刀法取样测定,其他样品则在实验室内风干、研磨和过筛,

105℃下烘干至恒重,测定土壤容重^[23]。
1.2.2 土壤有机碳含量的测定 采用重铬酸钾-水浴加热法^[24]。
1.2.3 土壤有机碳储量的估算 不同土壤层次土壤有机碳储量 $S(g \cdot cm^{-2})$ 采用以容重 $BD(g \cdot cm^{-3})$ 、C 含量 $C(\%)$ 及土层厚度 $T(cm)$ 进行计算,其计算公式为^[25]:

$$S=BD \times C \times T。$$

1.2.4 数据分析 所有数据采用 SPSS18.0 和 Excel 2016 进行处理分析,不同火烧时间各火烧迹地土壤层次碳含量、碳储量差异显著性采用一元方差及 LSD 多重比较进行分析,所有数据均呈正态分布。

2 结果与分析

2.1 中度火干扰下不同火烧时间对土壤有机碳含量的影响

如表 1 所示,不同火烧时间下(0~10 cm 表层)的土壤有机碳含量均大于下层(10~25 cm 土层)中土壤有机碳含量。对同一土层不同火烧时间土壤有机碳含量进行方差分析,以 1938 年火烧迹地中土壤有机碳含量作为对照,在 0~10 cm 的土层中,不同火烧迹地的土壤有机碳含量均与对照土壤有机碳含量存在显著差异($P<0.05$),1948 年火烧迹地土壤有机碳含量显著高于其它年份火烧迹地,而 1958 年和 1985 年火烧迹地土壤有机碳含量差异不显著,但均显著低于对照土壤。10~25 cm 土层中只有 1948 年火烧迹地的土壤有机碳含量与对照土壤有机碳含量存在显著

表 1 不同火烧时间不同土层土壤有机碳含量
Table 1 Organic carbon content in different soil depths with different fire times

不同火烧时间 Different fire times	不同土层有机碳含量/(g·kg ⁻¹) Organic carbon content of different soil depths	
	0~10 cm	10~25 cm
1938(CK)	25.75±0.230 a	14.16±0.568 a
1948	42.01±0.557 b	18.33±0.990 b
1958	21.11±1.144 c	17.59±0.315 ab
1972	34.46±0.941 d	16.04±0.450 ab
1985	19.85±2.645 c	16.38±2.177 ab

数据为均值±标准误,同列中不同字母表示不同火烧时间之间差异显著($P<0.05$),下同。
The data is mean and standard error. Different letters indicate significant differences ($P<0.05$) among different fire times in the same column, the same below.

差异,其它火烧迹地土壤有机碳含量均与对照土壤差异不显著。土壤有机碳含量随着火烧后时间的恢复表现为逐渐增加的趋势,其中 1948 年火烧迹地土壤有机碳含量显著高于对照土壤,说明在中度火干扰下土壤有机碳含量随着时间的恢复逐渐恢复至火烧前水平甚至超过火烧前水平。

2.2 中度火干扰下不同火烧时间对土壤碳储量的影响

不同土壤层次土壤碳储量采用以容重、有机碳含量及土层厚度进行计算,由表 2 可以看出,与 1938 年对照土壤碳储量相比,在 0~10 cm 的土层中,1948 年、1958 年和 1972 年的土壤碳储量均显著高于对照($P<0.05$)。在 10~25 cm 的土层中,1972 年和 1985 年的土壤碳储量显著高于对照($P<0.05$)。从总体(0~25 cm)来说,与对照土壤相比,不同火烧时间的火烧迹地 0~25 cm 土层中土壤有机碳储量分别比对照增加了 38%、29%、70%和 22%总体趋势呈上升趋势。

表 2 不同火烧时间不同土层土壤有机碳储量

Table 2 Organic carbon storage in different soil depths with different fire times

不同火烧时间 Different fire times	不同土层有机碳储量/(t·hm ⁻²) Soil carbon storage of different soil depths		
	0~10 cm	10~25 cm	0~25 cm
1938(CK)	22.22±0.198 a	17.93±0.719 a	40.15±0.697 a
1948	30.46±0.403 b	25.13±1.357 ab	55.59±1.100 b
1958	30.45±1.650 b	21.37±0.383 ab	51.82±1.857 bc
1972	41.15±1.123 c	27.14±0.768 b	68.29±1.255 d
1985	21.93±2.923 a	27.12±3.605 b	49.05±1.829 c

3 讨论与结论

3.1 讨论

火烧后土壤中有有机质含量经过不同的恢复时间产生了不同的变化^[26]。本研究表明,火烧后土壤表层(0~10 cm)有机碳含量随着火后恢复年限增加呈现逐渐增加的趋势,并逐渐恢复到火烧前的状态,且在 1948 年的火烧迹地中土壤有机碳的含量显著大于对照土壤有机碳含量。10~25 cm 土壤有机碳含量表现与 0~10 cm 土壤相似,但随着火烧后时间的延长,土壤表层的有机碳含量明显高于 10~25 cm 土壤有机碳含量,这可能是因为地表具有枯枝落叶层,植被在经过中度火干扰之后,土壤上层影响剧烈,并且土壤表层的有机物分解者较多,加速了有机碳的分解,进而导致土壤表层有机碳含量的增加^[27]。

在本研究中,以 1938 年火烧迹地中土壤作为对照,不同火烧迹地中 0~25 cm 土壤碳储量除了 1972 年的火烧迹地外,其它火烧迹地的土壤碳储量均随着时间的延长逐渐恢复到火烧前水平并超过火烧前碳储量。其中 1972 年的有机碳储量的值偏高可能是因为火烧迹地在过火多年的天然林中受到了多种外界干扰,也可能是因为降雨导致结构产生误差或者是地形、植被类型、动物干扰和微生物分解等因素的影响。中度火干扰后随着地上森林生态系统生产力的逐渐恢复^[28-30],土壤有机碳含量及碳储量也随之增加。然而火干扰对土壤碳含量及碳储量的影响是一个非常复杂的过程,要想阐明火干扰对土壤碳的影响机理,还需要结合其它相关的生态因子进行大量的实验及长期的观测^[31]。

3.2 结论

中度火干扰下不同火烧时间的火烧迹地中 0~10 cm 土层土壤有机碳含量及碳储量均与对照土壤存在显著差异,总体趋势都呈现为有机碳含量及碳储量均随着火烧后恢复时间的延长逐渐恢复并超过火烧前水平。

土层 10~25 cm 有机碳含量及碳储量差异并不明显,所以得出结论中度火干扰对 0~10 cm 土层影响较大,而对 10~25 cm 的下层土干扰较小。

参考文献:

[1] 孙龙,赵俊,胡海清. 中度火干扰对白桦落叶松混交林土壤理化性质的影响[J]. 林业科学,2011,47(2):103-110.

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

[3] 孔健健,杨健. 林火对大兴安岭落叶松林土壤性质的短期与长期影响[J]. 生态学杂志,2014,33(6):1445-1450.

[4] 王艳霞,杨桂英,张政. 火干扰对森林土壤理化性质的影响[J]. 防护林科技,2012(4):1-3.

[5] Dixon R K, Brown S, Houghton R A, et al. Carbon pools and flux of global forest ecosystems[J]. Science, 1994, 263:185-190.

[6] 周剑芬,管东生. 森林土地利用变化及其对碳循环的影响[J]. 生态环境,2004,13(4):674-676.

[7] Schlesinger W H, Bernhardt E S. Biogeochemistry: An analysis of global change [J]. Academic Press, 1991 (6): 1445-1450.

[8] Trumbore S E, Chadwick O A, Amundson R. Rapid exchange between soil carbon and atmospheric carbon dioxide driven by temperature change [J]. Science, 1996, 272(5260):393-396.

[9] Kimble J M, Heath L S, Birdsey R, et al. The potential of US forest soils to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect[J]. CRC Press, 2003(1):135-142.

[10] 周玉荣,于振良,赵士洞. 我国主要森林生态系统碳储量和

- 碳平衡[J]. 植物生态学报, 2000, 24(5): 518-522.
- [11] 方运霆, 莫江明, Sandra B, 等. 鼎湖山自然保护区土壤有机碳贮量和分配特征[J]. 生态学报, 2004(1): 135-142.
- [12] 李强, 马明东, 陈暮初. 中亚热带 4 种森林类型土壤碳密度和碳贮量研究[J]. 浙江林业科技, 2007, 27(4): 8-12.
- [13] Wang Q K, Wang S L. Soil organic matter under different forest types in Southern China [J]. Geoderma, 2007, 142(3/4): 349-356.
- [14] 黄从德, 张健, 杨万勤, 等. 四川森林土壤有机碳储量的空间分布特征[J]. 生态学报, 2009, 29(3): 1217-1225.
- [15] Shi Z, Li Y Q, Wang S J, et al. Accelerated soil CO₂ efflux after conversion from secondary oak forest to pine plantation in southeastern China[J]. Ecological Research, 2009, 24(6): 1257-1265.
- [16] 孙文义, 郭胜利. 天然次生林与人工林对黄土丘陵沟壑区深层土壤有机碳氮的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(10): 2611-2620.
- [17] Wang H, Liu S R, Mo J M, et al. Soil organic carbon stock and chemical composition in four plantations of indigenous tree species in subtropical China[J]. Ecological Research, 2010, 25(6): 1071-1079.
- [18] Luan J W, Xiang C H, Liu S R, et al. Assessments of the impacts of Chinese fir plantation and natural regenerated forest on soil organic matter quality at Longmen Mountain, Sichuan, China [J]. Geoderma, 2010, 156 (3/4): 228-236.
- [19] Luan J W, Liu S R, Zhu X L, et al. Soil carbon stocks and fluxes in a warm-temperate oak chrono sequence in China[J]. Plant and Soil, 2011, 347(1-2): 243-253.
- [20] Rashid G H. Effects of fire on soil carbon and nitrogen in a mediterranean oak forest of algeria[J]. Plant and Soil, 1987, 103(1): 89-93.
- [21] Johnson D W, Curtis P S. Effects of forest management on soil C and N storage; meta- analysis[J]. Forest Ecology and Management, 2001, 140(2): 227-238.
- [22] 张芸芸. 新疆喀纳斯旅游区森林群落物种多样性特征研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2008.
- [23] 刘光崧. 中国生态系统研究网络观测与分析标准方法—土壤理化分析与剖面描述[M]. 北京: 中国标准出版社, 1996: 103-110.
- [24] 李媛, 程积民, 魏琳, 等. 云雾山典型草原火烧不同恢复年限土壤化学性质变化[J]. 生态学报, 2013, 33(7): 2131-2138.
- [25] 骆士寿, 陈步峰, 陈永富, 等. 海南岛霸王岭热带山地雨林采伐经营初期土壤碳氮储量[J]. 林业科学研究, 2000(2): 123-128.
- [26] 谷会岩, 金屿淞, 张芸慧, 等. 林火对大兴安岭偃松—兴安落叶松林土壤养分的影响[J]. 北京林业大学学报, 2016, 38(7): 48-54.
- [27] 孙龙, 赵俊, 胡海清. 中度火干扰对白桦落叶松混交林土壤理化性质的影响[J]. 林业科学, 2011, 47(02): 103-110.
- [28] Hicke J A, Asner G P, Kasischke E S, et al. Postfire response of North American boreal forest net primary productivity analyzed with satellite observations[J]. Global Change Biology, 2003, 9: 1145-1157.
- [29] Amiro B D, Mac Pherson J I, Desjardins R L. Boreas flight measurements of forest-fire effects on carbon dioxide and energy fluxes[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 1999, 96: 199-208.
- [30] Bond-Lamberty B, Wang C, Gower S T. Net primary production and net ecosystem production of a boreal black spruce wild fire chrono sequence[J]. Global Change Biology, 2004, 10: 473-487.
- [31] 宿海峰, 闫德民, 董木森, 等. 不同强度火烧对恢复植被生态系统碳储量的影响[J]. 森林防火, 2016(1): 1002-2511.

Effects of Different Fire Time on Soil Organic Carbon Under Moderate Fire Disturbance of Taiga Forests in Kanas

LONG Hai-chuan, DING Chao, LI Ce, BAO Peng-cheng, DU Jie, WANG Wei-xia

(College of Forestry Horticulture, Xinjiang Agricultural University, Key Laboratory of Forestry Ecology and Industry Technology in Arid Region, Education Department of Xinjiang, Urumqi 830052, China)

Abstract: Soil carbon is the largest carbon pool of forest ecosystem in high latitudes, and it is an important component of the carbon cycle in forest ecosystem, the minor changes in the soil carbon pool will have an important impact on the global carbon cycle. Therefore, study the effects of different fire time on soil organic carbon of Taiga forest is of great significance for mastering the carbon cycle in Taiga. In this paper, the soil organic contents of different burned areas in Kanas were measured by field investigation, sampling and indoor analysis, and the carbon storage was estimated. In addition, the effects of different fire times on soil organic carbon and carbon storage were studied under moderate fire disturbance. The results showed that the soil organic carbon and carbon storage in the burned areas under different fire time was significantly different from that of the control soil, and the organic carbon content and carbon storage increased with the prolongation of the recovery time after the fire and exceeded the pre-fire level.

Keywords: organic carbon content; carbon storage; moderate fire disturbance; Kanas