doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 03. 014

不同干扰类型下的白桦次生林土壤理化性质研究

于晓雨[1],铁 牛[1,2],萨如拉[1],呼日查[1]
(1. 内蒙古农业大学 林学院,内蒙古 呼和浩特 010019; 2. 内蒙古林业科学研究院,内蒙古 呼和浩特 010019)

摘要:研究内蒙古大兴安岭地区不同干扰类型下白桦次生林土壤理化性质特征,在内蒙古根河市选取 3 种干扰类型的白桦次生林样地的不同土层土壤作为研究对象,对土壤理化性质进行测量分析,探究不同干扰类型对土壤理化性质的影响。研究结果表明,白桦次生林在不同干扰方式下土壤理化性质存在显著差异。其中人工条带改造后的白桦次生林土壤 pH 值增大,火烧后白桦次生林容重增大,土壤有机碳、全氮、全磷、全钾、速效磷、速效钾含量在人工条带改造后显著增高,采伐干扰样地白桦次生林样地土壤含水量、速效氮含量最高。不同干扰类型的白桦次生林样地土壤理化性质间相关性不同。人工条带改造干扰样地白桦次生林土壤综合指数较高,火干扰样地白桦次生林土壤综合指数较低。

关键词:大兴安岭;白桦;次生林;干扰类型;土壤;理化性质

中图分类号:S792. 153;S714. 2 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-3168(2023)03-0078-07

引文格式:于晓雨,铁牛,萨如拉,等. 不同干扰类型下的白桦次生林土壤理化性质研究[J]. 林业调查规划,2023,48(3):78-84. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 03. 014

YU Xiaoyu, TIE Niu, SA Rula, et al. Soil Physical and Chemical Properties of *Betula platyphylla* Secondary Forest under Different Disturbance Types[J]. Forest Inventory and Planning,2023,48(3):78-84. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 03. 014

Soil Physical and Chemical Properties of *Betula platyphylla* Secondary Forest under Different Disturbance Types

YU Xiaoyu[1], TIE Niu[1,2], SA Rula[1], HU Richa[1]
(1. Forestry College, Inner Mongolia Agricultural Universit, Hohhot 010019, China;
2. Inner Mongolia Academy of Forestry, Hohhot 010019, China)

Abstract: To study soil physical and chemical properties of *Betula platyphylla* secondary forest under different disturbance types in the Greater Khingan Mountains of Inner Mongolia, this paper selected different soil layers of three disturbance types in sample plots of Genhe City, tested and analyzed the soil physical and chemical properties, and explored the impact of different disturbances on soil physical and chemical properties. The results showed that the soil physical and chemical properties of *Betula platyphylla* secondary forest were significantly different under different disturbance types. The mean value of soil pH value in the secondary forest disturbed by artificial strip transformation increased, the bulk density of the secondary forest disturbed by fire increased, the content of soil organic carbon, total nitrogen, total phosphorus, total potassium, available phosphorus, and available potassium increased significantly disturbed by artificial

收稿日期:2022-01-14.
基金项目:内蒙古自治区科技计划项目(2020GG0067).
第一作者:于晓雨(1998-),女,内蒙古呼伦贝尔人,硕士研究生. 研究方向为退化生态系统的土壤修复过程. Email:yuxiaoyu1998@163. com
责任作者:铁牛(1973-),男,内蒙古兴安盟人,博士,教授. 研究方向为土壤生态学. Email:wangtieniu@126. com

strip transformation, and the soil water content and available nitrogen content disturbed by logging were the highest. The correlation of soil physical and chemical properties of *Betula platyphylla* secondary forest under different disturbance types was different. The soil comprehensive index of the secondary forest disturbed by the artificial strip transformation was higher, while that disturbed by fire was lower.

Key words: Greater Khingan Mountains; *Betula platyphylla*; secondary forest; disturbance type; soil; physical and chemical properties

火干扰是影响森林生态系统功能、土壤结构和地球化学循环的主要方式,也是影响林分更新的主要因子[1]。火烧引起森林表层土壤温度升高,土壤入渗率降低[2],进而影响土壤养分循环[3]。人为干扰将使土壤理化性质发生变化,改变土壤含水量、pH 等[4]。近年,国内外许多研究表明不同干扰对土壤理化性质具有显著影响[5]。采伐干扰是重要的人为干扰方式,采伐林木后,土壤和植被均遭到破坏,使原有的土壤功能发生改变,阻碍土壤养分循环,土壤中菌根和微生物活动也受到限制,长期影响土壤功能和结构并改变林下土壤的理化性质[6-10],进而影响地上林木的生长发育。林下土壤是森林生态系统的重要组成部分,为林木生长提供必需的营养物质。长期维持并提高森林土壤肥力可提高森林生态系统的稳定性,促进林业可持续发展。以大兴安岭地区不同干扰类型的白桦次生林样地土壤为研究对象,通过设置不同干扰类型样地并在不同土壤剖面取样调查,对其土壤理化性质特征进行研究,探究不同干扰类型的白桦次生林与土壤理化性质间的相互关系,将对大兴安岭白桦次生林的恢复更新以及保护具有重要意义。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

研究区选在内蒙古自治区呼伦贝尔根河市,位于大兴安岭北段西坡,地理坐标为东经 120°12′~122°55′,北纬 50°20′~52°30′,东与鄂伦春自治旗为邻,西与额尔古纳市接壤,南连牙克石市,北接黑龙江省大兴安岭地区漠河市、呼中区。南北直线距离最长达 240.4 km,东西直线距离最宽达 198.8 km,总面积 2.001 万km^2。根河是中国纬度最高的城市之一,平均海拔 800 m。年均降水量 500 mm,主要集中在 6—9 月,年均温-5.3℃,极端低温-58℃,年封冻期 210 d 以上,森林覆盖率 75%。土壤为棕色针叶林土,质地较轻,含砂粒及石砾较多,土壤呈酸性,pH 为 4.5~6.5,上部土层较酸,下部土层呈微酸至中性。优势树种为兴安落叶松(*Larix gmelinii*),并伴生有白桦(*Betula platyphylla*)、山杨(*Populus davidiana*)等乔木。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置

样地设于内蒙古自治区呼伦贝尔根河市,选取研究区内 3 种不同干扰类型的白桦次生林样地:火干扰样地(H1、H2)两块,人工条带改造干扰样地(M1、M2)两块,采伐干扰样地(S1、S2、S3、S4)4 块,共 8 块 30 m×30 m 样地,在样地内进行每木调查。记录各样地的经纬度、海拔、坡度、坡向、坡位等地形信息。样地基本情况见表 1。

1.2.2 土壤样品采集与测定

土壤样品采集时间为 2020 年 8 月,在根河市所

表 1　不同干扰类型样地的白桦次生林固定样地基本概况

Tab. 1　General situation of fixed plots in *Betula platyphylla* secondary forest under different disturbance types

样地	经纬度	平均海拔/m	坡向	坡度/(°)	郁闭度	平均树高/m	平均胸径/cm	株树密度/(株·hm^{-2})
M1	121°03′23.180″E,50°34′31.036″N	705.1	东坡	8.0	0.600	16.36	14.63	2500
M2	121°03′22.005″E,50°34′32.309″N	710.0	东坡	8.0	0.600	13.27	7.81	2175
H1	121°40′5.39″E,51°5′47.66″N	940.0	东坡	4.0	0.300	5.29	6.49	675
H2	121°40′5.33″E,51°5′47.02″N	950.0	东坡	2.3	0.440	7.22	5.96	525
S1	121°32′20.536″E,50°54′36.154″N	969.0	西南坡	2.0	0.760	17.69	13.69	2000
S2	121°32′20.880″E,50°54′36.73″N	972.6	西坡	2.0	0.642	17.69	19.28	1675
S3	121°32′19.513″E,50°54′19.892″N	740.0	西南坡	2.0	0.643	10.68	7.69	1875
S4	121°32′15.55″E,50°54′18.61″N	910.0	西南坡	4.5	0.600	9.78	8.68	1800

选研究区内选取的 8 块 30 m × 30 m 固定样地中，每块样地内按对角线三点挖取土壤剖面，各样点垂直分层（0 ~ 10 cm 和 10 ~ 20 cm）采集土壤样品，共 48 份，各土壤样品过直径 2 mm 筛网，去除可见的植物物质和小石子，用样品袋编号密封，并取环刀土用于土壤含水量和容重的测定。将新鲜土壤带回实验室，整理后用于理化性质的测定。

理化性质的测定方法与仪器如表 2 所示。

表 2 土壤理化性质测定方法与仪器

Tab. 2 Determination methods and instruments for soil physical and chemical properties

理化性质	测定方法与仪器
含水量（SWC）	环刀烘干法
容重（BD）	环刀烘干法
pH	电位测定法
有机质含量	重铬酸钾法
全氮含量	高氯酸—硫酸消化法，开氏定氮仪
全磷含量	高氯酸—硫酸消化法，分光光度计
全钾含量	氢氟酸—高氯酸消化法，原子吸收仪
速效氮含量	氯化钠溶液浸提，开氏定氮仪
速效磷含量	碳酸氢钠溶液浸提，分光光度计
速效钾含量	醋酸铵溶液浸提，原子吸收仪
机械组成	激光粒度分布仪法

1.2.3 统计方法

1）采用 one-way ANOVA，分析不同干扰类型白桦次生林土壤氮组分、磷组分、钾组分及 pH 间的差异性，显著性水平设为 0.05。土壤理化性质相关性通过 Pearson 双尾检验法进行分析。运用 Excel 2016 整理数据，使用软件 SPSS 23.0 进行数据统计分析。

2）采用升型（公式（1））、降型分布函数（公式（2））公式，利用软件 SPSS 23.0 计算各个因子的主成分贡献率、累计贡献率，根据主成分的分析结果来确定各个因子载荷。公式分别为：

$$F(X_i) = (X_i - X_{i\min}) / (X_{i\max} - X_{i\min}) \quad (1)$$

$$F(X_{ii}) = (X_{i\max} - X_i) / (X_{i\max} - X_{i\min}) \quad (2)$$

式中：$F(X_i)$ 为各土壤因子隶属度值；X_i 为土壤各因子的值；$X_{i\max}$ 为第 i 项土壤因子中的最大值；$X_{i\min}$ 为第 i 项土壤因子中的最小值。

土壤质量因子权重计算公式为：

$$W_i = C_i / \sum_{i=1}^{n} C_i \quad (3)$$

式中：C_i 为第 i 项土壤质量因子的因子载荷。

计算土壤各隶属度，采用综合指标值 SQI 的计算公式，计算不同干扰类型下白桦次生林土壤质量，公式为：

$$\mathrm{SQI} = \sum_{i=1}^{n} W_i \times F(X_i) \quad (4)$$

2 结果与分析

2.1 不同干扰类型样地白桦次生林土壤理化性质特征

2.1.1 土壤有机碳特征

不同干扰类型样地白桦次生林 0 ~ 10 cm 土层内土壤有机碳含量在垂直方向变化规律为随着土层的加深，不同干扰类型下白桦次生林土壤有机碳含量均呈减少趋势，说明白桦次生林土壤有机碳具有表层富集性（图 1）。

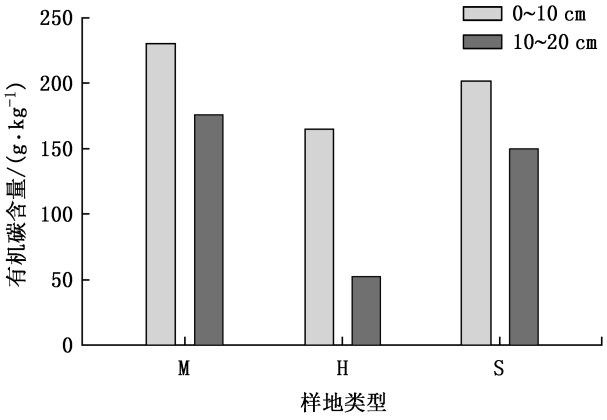

图 1 不同干扰类型样地白桦次生林土壤有机碳含量

Fig. 1 Soil organic carbon content of *Betula platyphylla* secondary forest under different disturbance types

3 种干扰类型样地白桦次生林土壤有机碳含量无显著性差异，在 0 ~ 10 cm、10 ~ 20 cm 土层内有机碳含量大小依次为：人工条带改造干扰样地（M）> 采伐干扰样地（S）> 火干扰样地（H）。土壤有机碳含量特征表现：随着林下枯落物的增加和分解，白桦次生林的更新恢复，补充了土壤表层有机质[11-12]。可见人工条带改造干扰有利于林下土壤有机物质的增加，而火干扰则相反。

2.1.2 不同干扰类型样地白桦次生林其他土壤理化性质特征

不同干扰类型样地白桦次生林其他土壤理化性质统计见表 3，表 4。

由表 3 可知，研究区内不同干扰类型样地白桦次生林在 0 ~ 10 cm、10 ~ 20 cm 土层土壤 pH 均表现为

表 3　不同干扰类型样地白桦次生林土壤物理性质

Tab. 3　Soil physical properties of *Betula platyphylla* secondary forest under different disturbance types

样地类型	土层厚度/cm	pH	土壤容重/(g·cm^{-3})	含水量/%	总孔隙度/%
M	0~10	6.31±0.15a	0.95±0.09ab	33.24±6.28a	73.16±3.49a
	10~20	6.46±0.15a	0.71±0.12b	41.00±5.57a	64.30±4.54a
H	0~10	5.36±0.24b	1.62±0.28ab	23.13±11.13a	47.10±10.69b
	10~20	5.61±0.17b	1.40±0.18ab	33.5±5.57a	39.13±6.86b
S	0~10	5.27±0.39ab	1.32±0.37a	42.63±13.67a	58.96±13.98ab
	10~20	5.49±0.37ab	1.09±0.36a	49.75±12.27a	50.36±13.52ab
F 值	0~10	13.86	4.16	2.53	4.18
	10~20	14.60	5.84	5.39	5.85
P 值	0~10	<0.001	0.009	0.059	0.008
	10~20	<0.001	0.002	0.053	0.002

注:不同小写字母表示各指标在同一土层不同干扰样地白桦次生林的差异显著性($P<0.05$)。下同。

弱酸性,在 0~10 cm、10~20 cm 土层土壤 pH 均表现为:人工条带改造干扰样地 > 火干扰样地 > 采伐干扰样地,在垂直方向上,同一干扰类型样地白桦次生林土壤 pH 会随着土壤深度的增加而增加,整个研究的土壤剖面中,采伐干扰和火干扰样地的白桦次生林土壤 pH 显著低于人工条带改造干扰样地的白桦次生林($P<0.05$)。可见,人工条带改造干扰将引起林分 pH 值的明显上升。在 0~10 cm、10~20 cm 土层土壤 BD 值均表现为:火干扰样地 > 采伐干扰样地 > 人工条带改造干扰样地,火干扰样地的白桦次生林 BD 值显著高于人工条带改造干扰样地的白桦次生林($P<0.05$)。火干扰样地白桦次生林土壤含水量最低,采伐干扰样地白桦次生林土壤含水量最高。在 0~10 cm、10~20 cm 土层深度土壤含水量均表现为:采伐干扰样地 > 人工条带改造干扰样地 > 火干扰样地,3 种干扰类型样地白桦次生林土壤含水量并无显著性差异。其中土壤容重越大的含水量越小。在 0~10 cm、10~20 cm 土层土壤总孔隙度均表现为:人工条带改造干扰样地 > 采伐干扰样地 > 火干扰样地。

表 4　不同干扰类型样地白桦次生林土壤化学性质

Tab. 4　Soil chemical properties of *Betula platyphylla* secondary forest under different disturbance types

样地类型	土层厚度/cm	有机质/(g·kg^{-1})	全氮/(g·kg^{-1})	全磷/(g·kg^{-1})	全钾/(mg·kg^{-1})	速效氮/(mg·kg^{-1})	速效磷/(mg·kg^{-1})	速效钾/(mg·kg^{-1})
M	0~10	133.40±13.31a	1.35±0.33a	1.71±0.08a	23.57±1.42a	20.80±2.00b	50.92±9.85a	364.15±28.76a
	10~20	101.94±9.03a	1.07±0.13a	1.64±0.11a	24.46±1.15a	10.52±2.46b	29.40±11.56a	451.80±146.76a
H	0~10	95.79±68.37a	0.45±0.30b	0.87±0.27b	22.98±2.63a	24.23±4.07ab	36.89±23.86a	182.65±97.15b
	10~20	30.52±12.11a	0.18±0.05b	0.83±0.25b	24.32±0.54a	16.34±2.66ab	19.73±12.59a	216.42±87.49b
S	0~10	116.74±78.76a	0.80±0.65ab	0.80±0.46b	22.73±3.99a	29.49±5.06a	36.22±23.15a	315.56±135.38ab
	10~20	86.90±69.59a	0.55±0.53ab	0.82±0.41b	23.59±5.46a	24.14±4.51a	24.27±24.81a	353.53±130.13ab
F 值	0~10	4.03	4.36	3.29	1.39	4.84	0.73	2.25
	10~20	7.15	6.07	4.80	1.26	6.98	0.59	2.55
P 值	0~10	0.100	0.007	0.003	0.276	0.040	0.650	0.004
	10~20	0.100	0.001	0.004	0.330	0.001	0.760	0.008

由表 4 可知,在 0~10 cm、10~20 cm 土层土壤有机质含量均表现为:人工条带改造干扰样地 > 采伐干扰样地 > 火干扰样地,且在垂直方向上土壤有机质含量随土层的加深显著减少,3 种干扰类型样地土壤有机质含量无显著性差异。在 0~10 cm、10~20 cm 土层内土壤全氮含量均表现为:人工条带改造干扰样地 > 采伐干扰样地 > 火干扰样地,人工条带改造干扰显著高于采伐干扰($P<0.05$),且在垂直方向上,土壤全氮含量随土层的加深显著减少;在 0~10 cm、10~20 cm 土层内土壤全磷含量均表现为:人工条带改造干扰样地 > 火干扰样地 > 采伐干扰样地,人工条带改造干扰显著高于火干扰和采伐干扰($P<0.05$),且在垂直方向上,全磷含量随土层的加深显著减少;表层土壤全钾含量在 3 种干扰下无显著性差异,在 0~10 cm、10~20 cm 土层内全钾含量大小依次为:人工条带改造干扰样地 > 火干扰样地 > 采

伐干扰样地,且随着土层的加深而升高。由表 4 可知,在 0~10 cm、10~20 cm 土层土壤速效氮含量均表现为:采伐干扰样地 > 火干扰样地 > 人工条带改造干扰样地,火干扰显著高于人工条带改造干扰($P < 0.05$),且在垂直方向上,速效氮含量随着土层的加深而减少;3 种干扰条件下白桦次生林土壤表层速效磷含量间不存在显著性差异,在 0~10 cm、10~20 cm 土层内速效磷含量大小均表现为:人工条带改造干扰样地 > 采伐干扰样地 > 火干扰样地,且在垂直方向上,速效磷含量随着土层的加深显著降低,大约是上层土壤的 1/2;在 0~10 cm、10~20 cm 土层土壤速效钾含量均表现为:人工条带改造干扰样地 > 采伐干扰样地 > 火干扰样地,在土壤表层速效钾含量人工条带改造干扰显著大于火干扰($P < 0.05$),且在垂直方向上,速效钾含量随着土层的加深而显著升高。

2.2 不同干扰类型样地白桦次生林土壤理化性质相关性分析

对不同干扰类型样地白桦次生林土壤理化性质进行相关性分析,结果见表 5。

表 5 不同干扰类型样地白桦次生林土壤理化性质相关性分析

Tab.5 Correlation of soil physical and chemical properties of *Betula platyphylla* secondary forest under different disturbance types

理化性质	有机碳	全氮	全磷	全钾	速效氮	速效磷	速效钾	容重	孔隙度	pH
有机碳	1									
全氮	0.742**	1								
全磷	0.443*	0.649**	1							
全钾	−0.796**	−0.523**	−0.318	1						
速效氮	0.292	−0.084	−0.161	−0.437*	1					
速效磷	0.419*	0.384	0.722**	−0.383	0.130	1				
速效钾	0.393	0.406*	0.524**	−0.149	0.389	0.357	1			
容重	−0.635**	−0.784**	−0.593**	0.482*	−0.096	−0.310	−0.586**	1		
总孔隙度	0.624**	0.733**	0.591**	−0.473*	0.102	0.296	0.583**	−974**	1	
pH 值	0.300	0.504*	0.582**	0.107	−0.392	0.222	0.568**	0.535**	−0.542**	1

注:** 表示在 0.01 级别(双尾),相关性极显著。* 表示在 0.05 级别(双尾),相关性显著。

如表 5 可知,土壤有机碳与土壤容重和全钾呈极显著负相关($P < 0.01$),与全氮、总孔隙度呈极显著正相关($P < 0.01$),与全磷、速效磷表现显著正相关($P < 0.05$);土壤全氮与全钾、容重呈极显著负相关($P < 0.01$),与全磷、总孔隙度呈极显著正相关($P < 0.01$),与速效钾表现显著正相关($P < 0.05$);土壤全磷与容重呈极显著负相关($P < 0.01$),与速效磷、速效钾、总孔隙度呈极显著正相关($P < 0.01$);土壤全钾与速效氮、总孔隙度表现显著负相关($P < 0.05$),与容重表现显著正相关($P < 0.05$);速效钾与容重呈极显著负相关($P < 0.01$),与总孔隙度呈极显著正相关($P < 0.01$);土壤容重与总孔隙度呈极显著负相关($P < 0.01$)。

2.3 不同干扰类型样地白桦次生林的土壤质量综合评价

不同干扰类型样地白桦次生林的土壤理化性质有显著区别,用统计分析方法计算土壤肥力综合指标值[11],进而比较不同干扰类型的白桦次生林土壤质量。通过公式(1)、(2)计算得出各土壤因子的隶属度值(表 6)。选择 0~20 cm 土层土壤有机碳、全磷、全氮、全钾、速效氮、pH 作为土壤质量因子。各土壤化学因子的计算使用升型分布函数;土壤物理因子的计算使用降型分布函数。

表 6 不同干扰类型样地白桦次生林各土壤因子隶属度值

Tab.6 Membership degree of soil factors in *Betula platyphylla* secondary forest under different disturbance types

样地类型	土层深度/cm	有机碳	全氮	全磷	全钾	速效氮	pH
M	0~10	0.575	0.811	0.482	0.232	0.544	0.083
	10~20	0.087	0.369	0.479	0.905	0.677	0.712
H	0~10	0.125	0.348	0.448	0.399	0.372	0.554
	10~20	0.603	0.063	0.028	0.357	0.669	0.192
S	0~10	0.314	0.390	0.434	0.656	0.364	0.598
	10~20	0.674	0.304	0.209	0.346	0.634	0.495

选取土壤因子:$X1$(pH)、$X2$(有机碳)、$X3$(全氮)、$X4$(全磷)、$X5$(全钾)、$X6$(速效氮)。使用软

件 SPSS 23.0 计算不同土壤因子的累积贡献率以及权重系数,以代表其重要程度。不同干扰类型下白桦次生林土壤因子的方差贡献率见表 7,可知前两个主成分的方差累积贡献率达到 73.551%,可包含所有土壤因子的绝大部分信息,然后计算得出各土壤因子权重。

表 7　方差贡献率

Tab. 7　Variance contribution rate

成分	初始特征值			提取载荷平方和			旋转载荷平方和		
	特征根	方差百分比	累积贡献率/%	特征根	方差百分比	累积贡献率/%	总计	方差百分比	累积贡献率/%
*X*1	2.712	45.203	45.203	2.712	45.203	45.203	2.712	45.193	45.193
*X*2	1.701	28.348	73.551	1.701	28.348	73.551	1.701	28.358	73.551
*X*3	0.728	12.128	85.679						
*X*4	0.473	7.885	93.564						
*X*5	0.234	3.901	97.465						
*X*6	0.152	2.535	100.000						

通过 SPSS 23.0 计算方差贡献率以及累积贡献率时,将获得主成分 1、2 的载荷数数值,把载荷数数值带入公式(3)中,得出权重值(表 8)。

表 8　载荷数数值和指标权重

Tab. 8　Load number and index weight

因子	主成分 1	主成分 2	权重值	因子	主成分 1	主成分 2	权重值
*X*1	−0.646	0.579	0.006	*X*4	−0.479	−0.734	0.310
*X*2	0.811	−0.028	0.156	*X*5	−0.120	0.858	0.096
*X*3	0.922	−0.071	0.187	*X*6	0.737	0.290	0.245

各土壤因子的隶属度值及权重代入公式(4)可得出不同干扰类型样地白桦次生林土壤质量的平均综合指标值 SQI,如图 2。

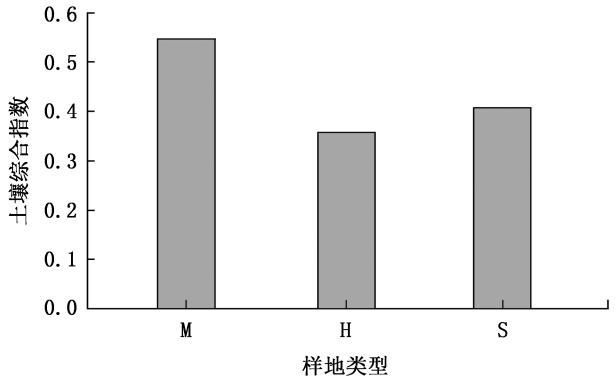

图 2　土壤综合指数

Fig. 2　Soil composite index

由图 2 可知,人工条带改造干扰样地白桦次生林土壤综合指数为 0.55,火干扰采伐干扰样地白桦次生林土壤综合指数分别为 0.36 和 0.41。土壤综合指数代表土壤质量的高低,结果表明,人工条带改造干扰样地白桦次生林土壤质量最好,火干扰样地白桦次生林土壤质量最差。

3　结论与讨论

1)不同干扰类型样地白桦次生林土壤理化性质存在一定差异性。人工条带改造干扰样地白桦次生林土壤 pH 值、总孔隙度、有机碳、全氮、全磷、全钾、速效磷、速效钾均值最高,火干扰样地白桦次生林容重最大,采伐干扰样地白桦次生林土壤含水量、速效氮均值最高。由此可知人工条带改造干扰和采伐干扰样地白桦次生林土壤肥力相对较优,火干扰样地白桦次生林土壤肥力相对较差。

2)Pearson 相关性分析表明,土壤有机碳与土壤物理性质以及 N、P、K 等元素含量均存在不同程度的相关性。

3)通过计算土壤综合指数,得出人工条带改造干扰样地白桦次生林土壤综合指数较高、火干扰样地白桦次生林土壤综合指数较低,人工条带改造干扰样地白桦次生林土壤质量最好,火干扰样地白桦次生林土壤质量最差。

有研究表明最合适植物生长的土壤 pH 为 5.2~6.8,可见该研究区内 3 个样地土壤 pH 较适合植物生长。森林进行采伐后硝化作用增强,土壤中酸性物质得到积累,导致土壤表层 pH 逐渐减小[12]。火干扰后森林土壤 pH 一般呈上升趋势,说明土壤碱性增强了,这是因为经过火干扰后,灰分中 K^+、Ca^+、Mg^+等输

入土壤,从而中和了土壤的酸性根物质[13]。土壤容重方面有研究表明,人为干扰下土壤压实作用显著,使容重增大,并且土壤养分含量分布不均,可以说明人为干扰对土壤养分变化具有较大影响[14]。火干扰使土壤容重加大。土壤容重对火干扰的响应大于人为干扰,火干扰后使土壤斥水性增大[15]。

与第二次国家土壤养分含量分级标准[16]对照可知,研究区内土壤有机碳与全量养分含量均处于全国中上水平,钾元素含量最高;速效钾含量较高,速效氮、速效磷含量中等。火干扰对土壤全氮含量无显著影响,土壤全钾含量对于 3 种干扰的响应并不明显,与甘静静等[17]研究结果一致。人为干扰将影响土壤速效氮含量,土壤速效磷含量对于 3 种干扰的响应并不明显。火干扰在森林土壤物理和化学性质的变化中发挥重要作用,火干扰对表层土壤理化性质的影响较大[18]。

土壤理化性质相关性分析结果表明土壤各元素间有机物质积累与循环过程关系紧密,且有机物质积累有助于改善土壤的结构及土壤养分状况[19-20],使得土壤质量变好。根据计算出的土壤 SQI 值可知人工条带改造干扰下白桦次生林土壤质量较高,火干扰下白桦次生林土壤质量相对较低。

根据以上研究结果,建议在今后的经营过程中,在火干扰或采伐干扰下林地植被恢复过程中,根据土壤肥力情况和干扰后的林地土壤养分消耗情况,科学合理地制定森林经营管理方法,使土壤与林下植被和林木协同发展,发挥土壤巨大优势。本研究只对一段时间内不同干扰类型下白桦次生林土壤养分进行研究,干扰类型仅是影响土壤质量的因素之一,气候条件、林分因子、土壤微生物多样性等同为重要因素,所以进行土壤质量评价时要多方面考虑。要进一步系统地研究土壤养分消耗及植被恢复情况,后期可为不同干扰类型下次生林样地人工恢复土壤肥力提供科学依据及有效措施。

参考文献:

[1] CERTINI G. Effects of fire on properties of forest soils: A review[J]. Oecologia, 2005, 143(1): 1-10.

[2] ROBICHAUD P R, HUNGERFORD R D. Water repellency by laboratory burning of four northern rocky mountain forest soils[J]. Journal of Hydrology, 2000(9): 207-219.

[3] 赵彬,孙龙,胡海清,等. 兴安落叶松林火后对土壤养分和土壤微生物生物量的影响[J]. 自然资源学报,2011,26(3):450-459.

[4] WEI C, SONG X, CHEN J. Sensitivity analysis of swat modelon changes of landscape pattern: A case study from LaoGuanhe watershed in Danjiangkou reservoir area[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(2): 517-525.

[5] 李晓明,韩霁昌,李娟. 典型半干旱区土壤盐分高光谱特征反演[J]. 光谱学与光谱分析,2014, 34(4):1081-1084.

[6] 秦远好,谢德体,魏朝富,等. 土壤生态环境对游憩活动冲击的响应研究[J]. 水土保持学报,2006,20(3):61-65.

[7] 庞学勇,刘庆,刘世全,等. 人为干扰对川西亚高山针叶林土壤物理性质的影响[J]. 应用与环境生物学报,2002,8(6):583-587.

[8] 许忠学,张登清,高文韬,等. 不同采伐方式对林地土壤养分的影响[J]. 吉林林学院学报,1996,12(2):109-115.

[9] 郑丽凤,周新年,巫志龙,等. 天然林不同强度采伐 10 a 后林地土壤理化性质分析[J]. 林业科学研究,2008,21(1):106-109.

[10] 巫志龙,周新年,郑丽凤,等. 天然林择伐 10 a 后林地土壤理化性质研究[J]. 山地学报,2008,26(2):180-184.

[11] 鞠敏睿. 不同土地类型土壤质量评价[J]. 水土保持应用技术,2016(6):1673-5366.

[12] 于楠楠,马世明,刘瑞龙,等. 内蒙古苏木山华北落叶松人工林土壤养分变化规律[J]. 干旱区资源与环境,2019,33(11):190-194.

[13] 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.

[14] LUUK F, FILOMENA D, IRMGARD E. A conceptual framework for the assessment of multiple functions of agro-ecosystems: A case study of Trásos Montes olive groves[J]. Journal of Rural Studies, 2008, 25(1): 141-155.

[15] GIOVANNINI G, LUCCHESI S, GIACHETTI M. Effect of heating on some physical and chemical parameters related to soil aggregation and erodibility[J]. Soil Science, 1988, 146(4): 255-261.

[16] 全国土壤普查办公室. 中国土壤普查技术[M]. 北京: 农业出版社,1992.

[17] 甘静静. 木荷次生林林地土壤特性与林木生长关系研究[D]. 长沙:中南林业科技大学,2014.

[18] 殷秀琴,宋博,邱丽丽. 红松阔叶混交林凋落物土壤动物土壤系统中 N、P、K 的动态特征[J]. 生态学报,2007(1):129-133.

[19] 纪文婧,程小琴,韩海荣,等. 山西太岳山好地方典型植被类型土壤理化特征[J]. 生态学杂志,2016,35(1):141-148.

[20] 高君亮,罗凤敏,高永,等. 农牧交错带不同土地利用类型土壤碳氮磷生态化学计量特征[J]. 生态学报,2019,39(15):5594-5602.

责任编辑: 陈旭