DOI: 10.20103/j.stxb.202111113168
赵蔓,张晓曼,杨明洁.林火干扰对油松针叶林物种多样性与土壤理化性质的影响.生态学报,2023,43(18):7412-7421.
Zhao M, Zhang X M, Yang M J.Effects of Forest Fire Disturbance on Species Diversity and Soil Physicochemical Properties in *Pinus tabuliformis* Coniferous Forests.Acta Ecologica Sinica,2023,43(18):7412-7421.

林火干扰对油松针叶林物种多样性与土壤理化性质的影响

赵 蔓,张晓曼*,杨明洁
河北农业大学园林与旅游学院, 保定 071000

摘要:探究不同程度林火干扰对油松(*Pinus tabuliformis*)针叶次生林植物物种多样性特征与土壤理化性质的影响以及二者之间的关系,对灾后油松针叶次生林的可持续经营具有重要意义。采用典型样地调查法对山西省药林寺森林公园不同程度林火干扰后的油松次生林群落进行物种多样性分析,并测定土壤理化性质。结果表明:(1)在调查研究样方中共记录到维管植物 38 种,在不同程度林火干扰下物种种类表现为对照(CK)>重度>中度。(2)乔木层的 Simpson 指数、Margalef 指数与灌木层的 α 多样性指数在重度林火干扰后与 CK 相比显著升高;草本层的变化规律与灌木层相反。(3)样地群落稳定性表现为:中度>CK>重度。(4)在重度林火干扰后 0—10cm 土层中的含水率、有机质、全氮、碱解氮、速效磷含量与 CK 相比显著升高 35.42%、102.89%、29.41%、21.67%、48.50%,10—20cm 土层中的全氮、全磷、全钾、速效磷、速效钾含量与 CK 相比显著降低 54.17%、28.94%、7.47%、1.74%、14.13%。(5)冗余分析结果表明:0—10cm 土层中全氮、碱解氮、全磷及 10—20cm 土层中全氮、碱解氮、含水率能够更好的解释乔、灌、草本层物种多样性的差异。林火干扰后繁殖能力较强的物种占据优势种的地位;中度林火干扰使植被群落结构更具有稳定性;0—10cm 土层与 10—20cm 土层中的含水率、有机质、碱解氮含量在林火干扰后显著增加,而全磷、全钾含量显著降低;在修复火灾迹地时,可通过调节对于物种多样性具有显著影响的土壤环境因子(如氮与磷)来促进林下植被群落的生长。

关键词:林火干扰;物种多样性;土壤理化性质;油松

Effects of Forest Fire Disturbance on Species Diversity and Soil Physicochemical Properties in *Pinus tabuliformis* Coniferous Forests

ZHAO Man, ZHANG Xiaoman*, YANG Mingjie
College of Landscape Architecture and Tourism, Agricultural University of Hebei, Baoding 071000, *China*

Abstract: Exploring the effects of forest fire disturbance at different degree on plant species diversity characteristics and soil physicochemical properties in *Pinus tabuliformis* coniferous secondary forest and the relationship between the species diversity characteristics and soil physicochemical properties was important for the sustainable management of *Pinus tabuliformis* coniferous secondary forest after disasters. The species diversity and soil physicochemical properties of Pinus tabulaeformis secondary forest community after forest fire disturbance at different degree were analyzed by using typical plot survey method in Yaolin Temple Forest Park, Shanxi Province. The results showed that: (1) A total of 38 species of vascular plants were recorded in the survey and study sample. The species number showed control check (CK)>severe>medium under different levels of forest fire disturbance. (2) The Simpson index and Margalef index of tree layer and α diversity index of shrub layer were significantly increased compared with CK after severe forest fire disturbance. The pattern

基金项目:河北省自然科学基金面上项目(C2021204113); 河北省教育厅重点项目(ZD2016132)
收稿日期:2021-11-13; **网络出版日期**:2023-05-08
* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: zhangxiaoman1977@163.com

of change in the herbaceous layer was opposite to that of the shrub layer. (3) The stability of the community in the sample plot was moderate>CK>severe. (4) The moisture content, organic matter content, total N content, hydrolysable N content and available P content in 0—10 cm soil layer significantly increased by 35.42%, 102.89%, 29.41%, 21.67% and 48.50% compared with CK after severe forest fire disturbance. The total N content, total P content, total K content, available P content and available K content in 10—20 cm soil layer significantly decreased by 54.17%, 28.94%, 7.47%, 1.74% and 14.13% compared with CK after severe forest fire disturbance. (5) The results of the redundancy analysis showed that total N, hydrolysable N, total P in the 0—10 cm layer soil and total N, hydrolysable N, water content in the 10—20 cm layer soil can better explain the differences in species diversity in the tree, shrub and herb layers. The species with strongly reproductive ability after forest fire disturbance occupied the dominant position. The vegetation community structure was more stable after moderate forest fire disturbance. The moisture content, organic matter content and hydrolysable N content in the 0—10cm and 10—20cm soil layers increased significantly after forest fire disturbance, while total P content and total K content decreased significantly. The growth of understory vegetation community can be promoted by adjusting soil environmental factors (such as N and P) which have significant influence on species diversity in the restoration of fire areas.

Key Words: forest fire disturbance; species diversity; soil physicochemical properties; *Pinus tabuliformis*

林火干扰是北方针叶林生态系统的重要干扰因子之一,针叶林本身油脂性较高,极易发生森林火灾。林火最直观的危害就是对林木造成一定程度的伤亡,林下植被珍贵物种也会由于林火干扰数量减少甚至灭绝[1];但不同程度的林火干扰对林下物种多样性、森林群落结构、土壤养分及植被演替过程会产生不同的影响作用[2—5]。

国内外关于林火干扰的研究主要集中在土壤碳释放量估算、时空分布格局以及森林植被群落和土壤生态环境等方面。研究发现,重度林火干扰会抑制土壤微生物的生长,但轻度林火干扰对油松林内土壤微生物种类数量的增加有一定的促进作用[6];李威等研究发现植物群落的稳定性会随着林火干扰程度的增加而降低,但多样性指数在中度林火干扰时最高[7];王鼎分析比较了不同程度林火干扰后落叶松林土壤理化性质的变化规律,火强度、地形、土壤等环境因子对落叶松林植被群落特征会产生一定程度的影响[8]。

多数研究表明轻度、中度林火干扰有利于增加林下植被群落的物种多样性水平以及土壤养分含量,对灾后植被及土壤生态的恢复具有一定的促进作用。为此,本实验选取了山西省 2021—02—19 药林寺森林公园火灾迹地为研究对象,采用典型样地调查法,研究火灾发生 10 个月后油松次生林在不同程度林火干扰下,林地植被物种组成及其重要值、物种多样性、群落稳定性以及土壤理化性质,阐明物种多样性与土壤理化特征的关联性,为该地区灾后植被恢复和经营提供科学理论依据。

1　研究区域与研究方法

1.1　研究区概况

研究区位于山西省平定县药林寺森林公园(113°58′—113°60′ E,37°68′—37°70′ N),境内地貌以山地为主,属暖温带半湿润大陆性季风气候区,年平均气温 8—12℃,森林覆盖率达 78%,该地区在 2021 年 2 月 19 日发生森林火灾。受林火干扰的影响,现有植被类型较为单纯,乔木以油松(*Pinus tabuliformis*)、黄栌(*Cotinus coggygria* Scop.)、栓皮栎(*Quercus variabilis* Bl.)、辽东栎(*Quercus wutaishansea* Mary)等为主,林下层植物主要有狼牙刺(*Sophora davidii* (Franch.) Skeels)、黄刺玫(*Rosa xanthina* Lindl.)、蛇葡萄(*Ampelopsis sinica* (Mig.) W.T.Wang.)等。

1.2　研究方法

1.2.1　样地设置

本研究在充分踏查的基础上,依据林地在森林火灾后受害程度的差异划分林火干扰程度[9]。乔木死亡

判断以树皮烧焦、树干根部无发芽恢复为标准。林火干扰程度划分为重度林火干扰(乔木死亡率>70%)、中度林火干扰(30%<乔木死亡率≤70%),以周边未受到林火干扰的油松次生林为对照(以下简称 CK)。选取不同程度林火干扰的典型样地后记录每种类型样地的火烧特征、林地特征、海拔、坡度、坡向,每种类型样地重复 3 次,样地基本概况如表 1 所示。

表 1 研究样地基本概况

Table 1 Basic characteristics of the sampling plots

林火程度 Degree of forest fire	对照 Control check(CK)			中度林火干扰 Medium forest fire disturbance			重度林火干扰 Severe forest fire disturbance		
火烧特征 Fire characteristics	树木完好,地表无火烧痕迹			30%<乔木死亡率≤70%			乔木死亡率>70%,树皮烧焦,树根被烧		
样本量 Sample size	3			3			3		
乔木平均胸径 Average DBH of trees/cm	37.04			41.72			36.25		
乔木平均高度 Average height of trees/m	6.931			6.25			6.9		
平均海拔 Average elevation/m	1030.95			1078.66			1060.78		
坡度 Slope/(°)	15	45	35	21	15	30	35	45	33
坡向 Aspect	西南	南	东南	东南	东南	南	东	东南	东

1.2.2 植被调查方法

采用典型样地法,2022 年 4 月,在森林火灾发生 14 个月后,对林下物种植被的种类进行调查。在不同程度林火干扰中分别设置 3 个 20m×20m 的乔木样方,对样方内乔木进行每木检尺,记录乔木种类、数量、胸径、高度、冠幅;采取对角线法在每个乔木样方内设置 5 个 5m×5m 的灌木样方,每个灌木样方内设置 3 个 1m×1m 的草本样方,并详细记录样方内灌木与草本植物的种类、高度、冠幅、盖度、多度等指标。数据统计共 9 个乔木样方,45 个灌木样方,135 个草本样方。

1.2.3 重要值与 α 多样性指数计算方法

计算不同程度林火干扰下林地乔木、灌木、草本层内各个种的重要值[10],计算公式为:重要值=(相对多度+相对频度+相对优势度)/3。

计算不同程度林火干扰下林地乔木、灌木、草本层物种 α 多样性指数[11]。用以下公式计算得出:

Simpson 指数(优势度指数):

$$D = 1 - \sum_{i=1}^{s} (N_i(N_i - 1)/N(N - 1))$$

Shannon-Wiener 指数(多样性指数):

$$H' = - \sum_{i=1}^{s} (P_i \ln P_i)$$

Pielou 指数(均匀度指数):

$$E = H'/\ln S$$

Margalef 指数(丰富度指数):

$$D_{mg} = (S - 1)/\ln N$$

式中,N_i 为种 i 个体数;N 为全部物种个体数;S 为物种数目;P_i 为种 i 个体在全部个体中所占的比例。

1.2.4 植被群落稳定性测定方法

采用郑元润对 Godron 模型改进的群落稳定性测定方法[12],绘制不同程度林火干扰下林地植被群落稳定性曲线。

1.2.5　土壤理化性质的测定

在 9 个乔木样地内以“品”字取样法选取 3 个采样点,去除地表凋落物及腐殖质后,采取 0—10cm 土层土壤和 10—20cm 土层土壤各 1 份,共计 54 份土壤样本。土壤风干过筛后用于后续理化指标的测定。土壤含水率采用烘干法;pH 值采用电位法;土壤有机质含量采用重铬酸钾氧化—外加热法;全氮含量采用凯氏定氮法;全磷含量采用钼锑抗比色法;碱解氮含量采用碱解扩散法;速效磷含量采用钼蓝法;全钾、速效钾含量采用火焰光度计测定。

1.3　数据处理与分析

使用 Microsoft Excel 2010 对数据进行整理、绘制图表。采用 SPSS 22 软件对数据进行差异显著性分析,t 检验比较不同土层的差异显著性。运用 WPS Office、Origin Pro 2018c 等软件进行科学绘图。采用 Canoco 5.0 软件中的冗余分析(RDA)研究 α 多样性指数和土壤理化性质之间的关系。

2　结果分析

2.1　不同程度林火干扰下林地植被群落物种组成及重要值分析

如表 2,在调查研究样方中共记录到维管植物 38 种,在不同程度林火干扰下物种种类表现为 CK>重度>中度。乔木层中,油松的重要值随林火干扰程度的增加而降低。灌木层中,栎树苗、荆条、黄栌在重度和中度林火干扰后为明显的优势种,荆条的重要值随着林火干扰程度的降低而降低,在中度林火干扰中其主导地位被栎树苗所取代;在 CK 中,紫穗槐为明显优势种。草本层中,小红菊、胡枝子在重度林火干扰下为优势种;小红菊、堇菜在中度林火干扰下为优势种;天胡荽、狗尾草在 CK 中为优势种。

表 2　林地不同程度火烧迹地植被群落物种组成及其重要值

Table 2　Species composition and importance values of vegetation communities in different degree of burning in woodland

层次 Level	物种 Species	重要值 Important value		
		对照(CK) Control check	中度 Medium	重度 Severe
乔木层 Tree layer	辽东栎(*Quercus wutaishansea* Mary)	0.09	0.16	0.23
	栓皮栎(*Quercus variabilis* Bl.)	0.18	0.11	0.25
	油松(*Pinus tabuliformis*)	0.75	0.73	0.52
灌木层 Shrub layer	紫穗槐(*Amorpha fruticosa* L.)	0.25	—	—
	卫矛(*Euonymus alatus* (Thunb.) Sieb)	0.05	—	—
	榆树(*Ulmus pumila*L.)	—	0.03	0.05
	田菁(*Sesbania cannabina* (Retz.) Poir.)	0.14	—	—
	蛇葡萄(*Ampelopsis sinica*(Mig.)W.T.Wang.)	—	0.10	—
	桑(*Morus alba* L.)	0.07	—	—
	青蒿(*Artemisia caruifolia* Buch.—Ham. ex Roxb.)	0.13	—	—
	曼陀罗(*Datura stramonium* L.)	—	—	0.09
	栎树(*Quercus* L.)	—	0.29	0.13
	荆条(*Vitex negundo* L. var. *Heterophylla* (Franch.) Rehd.)	—	0.25	0.33
	荚蒾(*Viburnum dilatatum* Thunb.)	—	0.10	—
	黄栌(*Cotinus coggygria* Scop.)	—	0.21	0.11
	黄刺玫(*Rosa xanthina* Lindl.)	—	—	0.08
	柏木(*Cupressus funebris* Endl.)	0.07	—	—
	艾(*Artemisia argyi* Lévl. et Van.)	0.08	—	—
	扶芳藤(*Euonymus fortunei* (Turcz.) Hand.—Mazz.)	0.06	—	—
	地榆(*Sanguisorba officinalis* L.)	—	—	0.10
	地肤(*Kochia scoparia* (L.) Schrad.)	0.09	—	0.10

续表

层次 Level	物种 Species	重要值 Important value		
		对照（CK） Control check	中度 Medium	重度 Severe
草本层 Field layer	小红菊（*Chrysanthemum chanetii* H. Léveillé）	—	0.15	0.17
	委陵菜（*Potentilla chinensis* Ser.）	0.01	0.02	0.07
	牵牛（*Pharbitis nil*（Linn.）Choisy）	0.06	—	—
	牛筋草（*Eleusine indica*（L.）Gaertn.）	—	—	0.09
	藜（*Chenopodium album* L.）	0.05	—	—
	堇菜（*Viola verecumda* A.Gray）	—	0.20	0.03
	波罗花（*Incarvillea delavayi* Bur. et Franch.）	0.07	—	—
	胡枝子（*Lespedeza bicolor* Turcz.）	—	0.10	0.12
	狗尾草（*Setaria viridis*（L.）Beauv.）	0.10	0.15	0.11
	草木犀（*Melilotus officinalis*（L.）Pall.）	—	0.06	—
	艾草（*Artemisia argyi* Lévl. et Van.）	0.10	—	0.06
	沿阶草（*Ophiopogon bodinieri* Levl.）	0.07	—	—
	萱草（*Hemerocallis fulva*（L.）L.）	—	—	0.08
	溪黄草（*Rabdosia serra*（Maxim.）Hara）	0.07	—	—
	筒轴茅（*Rottboellia cochinchinensis*（Loureiro）Clayton）	0.05	—	—
	天胡荽（*Hydrocotyle sibthorpioides* Lam.）	0.18	—	—
	地榆（*Sanguisorba officinalis* L.）	—	—	0.07

林地内不同程度林火干扰下重要值均<0.05 的物种不记录在表格内，—为样地内不存在该种

2.2 不同程度林火干扰对林地植被物种多样性的影响

如图 1 所示，在 CK 与中度林火干扰下，α 多样性指数均表现为草本层>灌木层>乔木层；重度林火干扰下，α 多样性指数无明显变化规律。乔木层的 Shannon-wiener 指数、Pielou 指数均表现为 CK>重度>中度，Simpson 指数与 Margalef 指数均表现为在重度林火干扰下最高；灌木层的 Simpson 指数、Shannon-wiener 指数、Margalef 指数均表现为重度>CK>中度；草本层中，α 多样性指数均表现为在 CK 中最高，均存在显著性差异

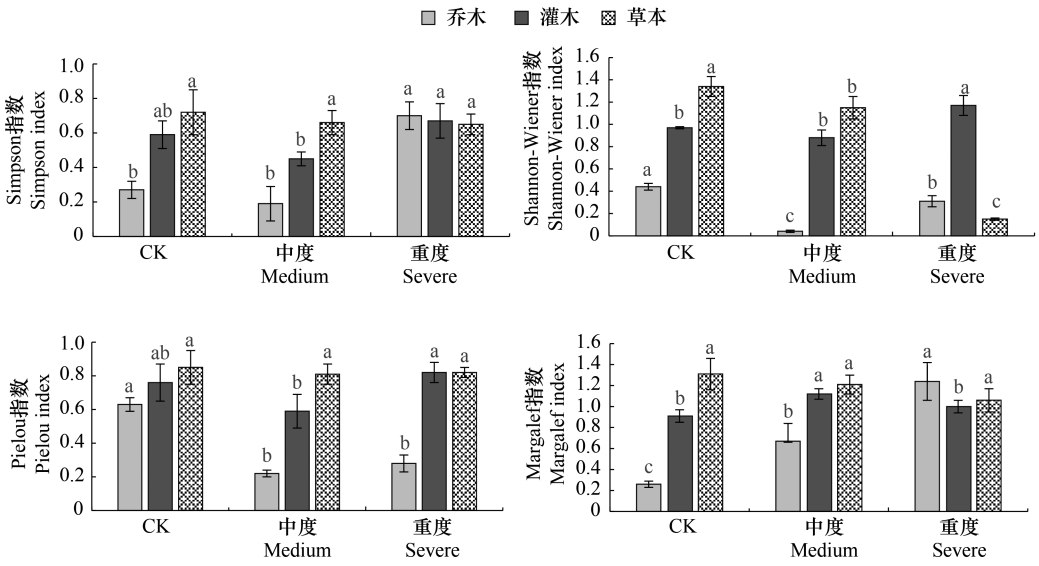

图 1 林火干扰对林地植被 α 多样性指数的影响

Fig.1 Effects of forest fire disturbance on α diversity index of two woodlands

不同小写字母表示同一层次不同程度林火干扰在 $P<0.05$ 水平差异显著

(P<0.05)。

2.3　不同程度林火干扰对林地植被群落稳定性的影响

如图 2,依据 Godron 模型法绘制出的不同程度林火干扰下植被群落稳定性模拟曲线与直线的交点位置判断油松林地在林火干扰后群落稳定性表现为:中度>CK>重度。

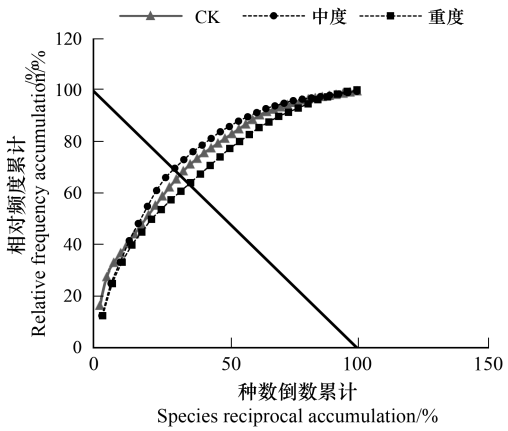

图 2　不同程度林火干扰下林地植被群落稳定性曲线

Fig. 2　Stability curves of forest vegetation communities under different degree of forest fire disturbance

2.4　不同程度林火干扰对林地土壤理化性质的影响

如表 3 所示,不同程度林火干扰下,土壤含水率、有机质、碱解氮、速效磷、速效钾含量均随土层的加深而降低。在 0—10cm 土层中,土壤含水率、有机质、全氮、碱解氮、速效磷含量在重度林火干扰后与 CK 相比显著升高 35.42%、102.89%、29.41%、21.67%、48.50%(P<0.05);在 10—20cm 土层中,全氮、全磷、全钾、速效磷、速效钾含量在重度林火干扰后与 CK 相比显著降低 54.17%、28.94%、7.47%、1.74%、14.13%(P<0.05)。

表 3　林火干扰对林下土壤理化性质的影响

Table 3　Effects of forest fire disturbance on physical and chemical properties of soil under forest

土壤因子 Soil factors	土层深度 Soil depth/cm	林火程度 Degree of forest fire		
		对照 Control check(CK)	中度 Medium	重度 Severe
含水率/%	0—10	17.53±2.36Ab	17.36±0.66Ab	23.74±2.09Aa
Moisture content	10—20	14.80±3.55Ab	17.15±1.92Ab	22.54±2.13Aa
pH	0—10	6.79±0.11Aa	6.42±0.14Ab	6.17±0.11Ac
	10—20	6.86±0.30Aa	6.33±0.15Ab	6.96±0.15Aa
有机质含量/(g/kg)	0—10	53.13±11.58Ab	101.57±9.98Aa	107.80±12.49Aa
Organic matter content	10—20	41.13±4.95Ac	71.87±9.98Ab	96.80±9.53Aa
全氮含量/(g/kg)	0—10	0.17±0.00Ac	0.19±0.01Ab	0.22±0.02Aa
Total N content	10—20	0.24±0.01Ab	0.31±0.03Aa	0.11±0.00Ac
全磷含量/(g/kg)	0—10	0.77±0.06Aa	0.65±0.09Aa	0.51±0.06Ab
Total P content	10—20	0.76±0.07Aa	0.48±0.01Bb	0.54±0.03Ab
全钾含量/(g/kg)	0—10	548.40±9.41Aa	480.03±8.41Ac	506.58±6.90Ab
Total K content	10—20	513.73±18.49Aa	488.15±5.63Aab	475.34±20.07Ab
碱解氮含量/(g/kg)	0—10	33.08±3.75Aa	23.92±5.35Ab	40.25±3.50Aa
Hydrolysable N content	10—20	6.58±2.31Ac	21.58±2.02Ab	37.92±5.35Aa
速效磷含量/(g/kg)	0—10	13.36±2.73Ab	16.53±1.25Aab	19.81±2.70Aa
Available P content	10—20	8.64±1.37Aa	10.83±1.78Aa	8.49±0.57Aa
速效钾含量/(g/kg)	0—10	223.69±4.28Aa	211.61±2.41Ac	217.67±1.12Ab
Available K content	10—20	199.56±16.67Ba	197.24±11.60Aa	171.37±7.72Ab

不同大写字母表示同一程度林火干扰不同土层在 P<0.05 水平差异显著,不同小写字母表示同一土层不同程度林火干扰在 P<0.05 水平差异显著

2.5　多样性指数特征与土壤理化特征 RDA 分析

为了进一步确定林火干扰后引起油松次生林物种发生显著变化的主要环境因子,首先计算土壤理化性质的方差膨胀因子。0—10cm 土层中 SWC、pH 值与 10—20cm 土层中 OM、TP 的方差膨胀因子均大于 20,具有较强的多重共线性,故将其去除。筛选环境因子后,在 0—10cm 土层与 10—20cm 土层中选择剩余共 14 个土壤理化因子作为解释变量与 D、H'、E、D_{mg} 4 个多样性指标,分乔木、灌木、草本 3 个层次,共 12 个种类作为响

应变量进行 RDA 排序。

由图 3 可知,在 0—10cm 土层中,RDA1 轴排序结果显示,TP、AP、AN 能够更好的解释乔、灌、草本层物种多样性的差异;RDA2 轴结果显示,TK、AK 是最重要的解释因子。在 RDA1 轴上,随着 TP、AP、AN 的增加,T.D、G.D、S.H'、G.H'、T.D_{mg}、G.D_{mg}均增加;在 RDA2 轴上,随着 TK、AK 的增加,S.D、T.H'、T.E、S.E、G.E、S.D_{mg}均增加。由图 4 可知,在 10—20cm 土层中,RDA1 轴主要反映了 TN、AK、TK、AN、SWC 含量的变化;RDA2 轴主要反映了 AP 含量、pH 值的变化。在 RDA1 轴上,随着 TN、AK、TK、AN、SWC 的增加,T.D、G.D、S.H'、G.H'、T.D_{mg}、G.D_{mg}均增加;在 RDA2 轴上,随着 AP 含量、pH 值的增加,S.D、T.H'、T.E、S.E、G.E、S.D_{mg}均增加。

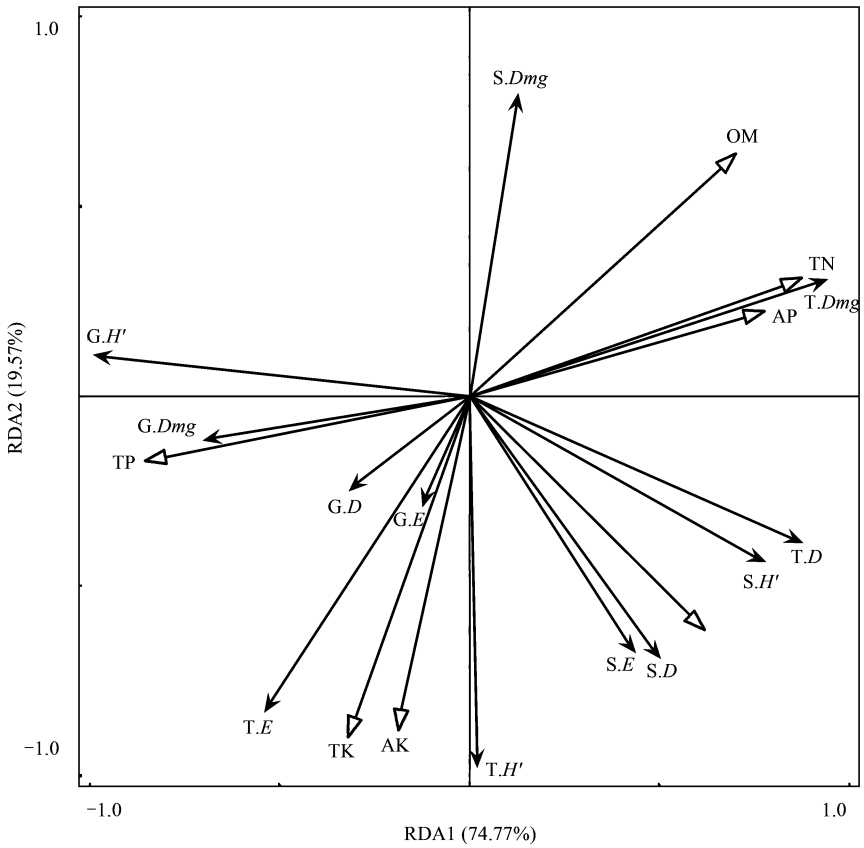

图 3 物种多样性与 0—10cm 土层土壤理化因子的冗余分析(RDA)排序图

Fig.3 Redundancy analysis (RDA) ordination map of species diversity and 0—10cm layer soil physicochemical factors

3 讨论

3.1 不同程度林火干扰下油松林群落物种多样性与稳定性特征

乔木层中,油松的重要值在林火干扰后逐渐降低,而栎属植物的重要值增加,在样地中萌发成为优势种,这说明栎属植物的抗林火干扰能力较强,研究表明这与植物自身生理学特性有关,不同植物功能群应对干扰能力也存在显著性差异[13—14];而针叶树种恢复与定植能力较弱,短期内无法完成恢复,阔叶树种的落种定植与恢复能力较强,这也解释了林火干扰后灌木层中栎属植物重要值升高的原因[8]。草本层中,林火干扰会打破原优势种的优势地位,不同的一年生草本物种重新竞争生态位,如小红菊在中度、重度林火干扰后成为绝对优势种,暂时提高了草本层的物种多样性[15]。林地灌木层的 α 多样性指数在重度林火干扰后与 CK 相比显著增加,这是因为在重度火干扰后,乔木层和灌木层的郁闭度大幅度降低,给外来物种的入侵提供了生存空间,表现出重度林火干扰后物种多样性上升[15]。

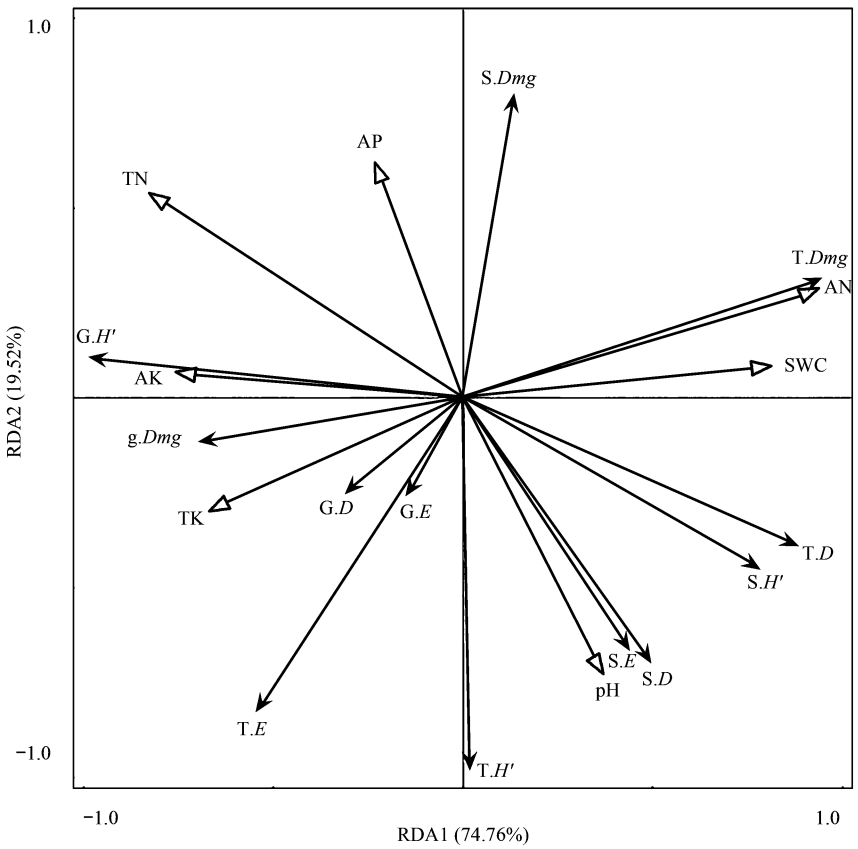

图 4　物种多样性与 10—20cm 土层土壤理化因子的冗余分析(RDA)排序图

Fig.4　Redundancy analysis (RDA) ordination map of species diversity and 10—20cm layer soil physicochemical factors

T.*D*:乔木层 Simpson 指数;S.*D*:灌木层 Simpson 指数;G.*D*:草本层 Simpson 指数;T.*H*′:乔木层 Shannon-Wiener 指数;S.*H*′:灌木层 Shannon-Wiener 指数;G.*H*′:草本层 Shannon-Wiener 指数;T.*E*:乔木层 Pielou 指数;S.*E*:灌木层 Pielou 指数;G.*E*:草本层 Pielou 指数;T.D_{mg}:乔木层 Margalef 指数;S.D_{mg}:灌木层 Margalef 指数;G.D_{mg}:草本层 Margalef 指数;SWC:含水率;pH:pH 值;OM:有机质;TN:全氮;TP:全磷;TK:全钾;AN:碱解氮;AP:速效磷;AK:速效钾

本研究中,林火干扰后群落稳定性表现为:中度>CK>重度,大部分研究也表明中度林火干扰后的植物群落更具有稳定性,这是由于中度林火干扰后,火烧迹地内留有一部分绝对优势种,抗干扰能力较强,同时迹地内为一部分迁入物种留下大面积生存空间,迁入物种与原有物种经过竞争,两者之间逐渐形成更加稳定的关系[16]。

3.2　不同程度林火干扰下油松林土壤理化特征

有研究表明,林火干扰后首先定植的喜阳物种能够充分吸收和利用土壤中的养分,同时周转速率较快,养分归还速率也会提高[17]。本研究中,10—20cm 土层中土壤 pH 值随林火干扰程度增强呈现先降低后升高的趋势,重度林火干扰后土壤 pH 值均高于 CK,这可能是因为重度林火干扰影响到深层土壤,使土壤中大量未离解的有机酸分解[18];但也有研究证明针叶林凋落物酸性较高,因此表层土壤 pH 值较低[19]。有部分研究认为林火干扰减少了土壤有机质的含量[20],本研究中不同土层土壤有机质含量均随林火干扰程度增强而增加,与 Nigussie 等[21]研究结论一致,这是因为火烧后,燃烧后的灰烬与未完全燃烧的植物残体混入土壤使土壤中的有机质显著增加。0—10cm 土层土壤全氮含量总体上低于 10—20cm 土层土壤,10—20cm 土层土壤经过重度林火干扰后全氮含量也低于 CK 样地,全氮一定程度上受温度影响,温度较高时会引起全氮的挥发。经过重度林火干扰后,林地不同土层土壤全磷含量相比 CK 样地显著降低,这是因为土壤中的磷大部分是以有机态积累和贮藏在土壤中,重度火烧之后由于缺少植被的覆盖,土壤中的磷极易发生流失[22]。大部分研究发现

火烧后全钾含量升高[22],与本研究结果相悖;这可能是由于钾的流动性较强,无法得出稳定结论,有待进一步研究。碱解氮的含量与土壤有机质含量有关,能较好反映出近期内土壤氮素的供应状况。重度林火干扰后土壤碱解氮含量相比 CK 明显增多,与刘发林等人[23]研究结论相同。林地表层土速效磷含量随林火干扰程度增加而升高,在 10—20cm 土层中变化不明显,具有一定的表聚效应[22]。速效钾可以被植物所利用,它能够较为准确的反映土壤中钾素的供应情况。林火干扰使速效钾含量与 CK 相比显著降低,另外钾在土壤中的流动性较强,很容易因为雨水冲刷被淋溶流失[24]。

3.3 油松林下植被物种多样性与土壤理化性质的相关性

土壤理化性质与群落结构和多样性之间联系紧密,其对物种多样性的贡献较大,且一直是生态学的研究热点[25—26]。林火干扰下乔灌草植物物种的改变以及生长空间的重新分配等会影响林下小生境的形成和土壤表层养分性质的改变,因而土壤因子与物种多样性的关系也较为复杂[27]。大部分研究发现,磷是影响林下物种多样性的显著因子,本研究中表层土的 TP 与 AP 是影响物种多样性的主导因子,与大部分研究相一致[28—29]。10—20cm 土层中,钾与氮的含量对物种多样性的影响较为显著,钾作为植物生长所必需的元素,其含量的增长可促进植物的生长发育,使物种多样性提升,因此多样性指数与钾含量呈显著正相关[30];而土壤有机质的增加会使有机质矿化,从而提高土壤氮含量,因此二者均与物种多样性呈正相关[31]。

4 结论

综上所述,不同程度林火干扰会影响药林寺森林公园油松针叶次生林植被物种多样性特征以及土壤理化性质特征:林火干扰后优势种的地位发生改变,一些传播能力较快的物种重要值上升;中度林火干扰具有一定的生态效益,使植被群落结构更具有稳定性;在修复林火干扰迹地时,可通过调节对于物种多样性具有显著影响的土壤环境因子来促进林下植被群落的生长发育,从而提升植被物种多样性。

参考文献(References):

[1] 焦小梅. 兴安落叶松林火烧迹地幼苗更新特征及其对土壤养分的响应[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2020.

[2] 李秀珍, 王绪高, 胡远满, 孔繁花, 解伏菊. 林火因子对大兴安岭森林植被演替的影响. 福建林学院学报, 2004, 24(2): 182-187.

[3] 孙家宝, 张海林, 胡海清. 火干扰强度对兴安落叶松林物种组成及多样性的影响. 森林工程, 2009, 25(6): 1-5.

[4] Bartels S F, Chen H Y H. Is understory plant species diversity driven by resource quantity or resource heterogeneity? Ecology, 2010, 91(7): 1931-1938.

[5] Barbier S, Gosselin F, Balandier P. Influence of tree species on understory vegetation diversity and mechanisms involved—a critical review for temperate and boreal forests. Forest Ecology and Management, 2008, 254(1): 1-15.

[6] 李艺锋. 林火干扰油松林间土壤微生物群落变化分析. 天津农林科技, 2022(1): 15-17, 20.

[7] 李威, 周梅, 赵鹏武, 田金龙, 王梓璇, 赵威, 高岩. 大兴安岭东麓火烧迹地恢复初期植被特征. 东北林业大学学报, 2020, 48(1): 51-55.

[8] 王鼎, 周梅, 赵鹏武, 王梓璇, 葛鹏, 张波, 石亮, 舒洋. 森林火灾后兴安落叶松林植被群落乔木更新状况研究. 林业资源管理, 2016(6): 64-70.

[9] 胡海清, 魏书精, 孙龙. 大兴安岭呼中区 2010 年森林火灾碳排放的计量估算. 林业科学, 2012, 48(10): 109-119.

[10] 褚燕琴. 林火干扰对辽河源油松林植被特征的影响[D]. 北京: 北京林业大学, 2017.

[11] 彭剑华, 肖泽鑫, 詹潮安, 杨海东, 谭一波, 吴凯胜. 广东南澳岛中华楠群落结构及种间相关性分析. 华南农业大学学报, 2010, 31(4): 90-94.

[12] 马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法 Ⅰα 多样性的测度方法(下). 生物多样性, 1994, 2(4): 231-239.

[13] 郑元润. 森林群落稳定性研究方法初探. 林业科学, 2000, 36(5): 28-32.

[14] Bergeron Y. Species and stand dynamics in the mixed woods of quebec′s southern boreal forest. Ecology, 2000, 81(6): 1500-1516.

[15] 苏天成,王姚瑶,向琳,喻静,陈聪琳,王琴,王芳,郝建锋.营林措施对成都绕城高速路域杨树人工林群落结构和物种多样性的影响. 应用与环境生物学报, 2022, 28(05): 1144-1150.

[16] 覃炳醒. 林火干扰对大兴安岭典型林型植被特征的影响[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2012.

[17] 李瑞霞, 闵建刚, 彭婷婷, 刘娜, 郝俊鹏, 王东, 关庆伟. 间伐对马尾松人工林植被物种多样性的影响. 西北农林科技大学学报: 自然科

学版, 2013, 41(3): 61-68.
[18] 杨健, 孔健健, 刘波. 林火干扰对北方针叶林林下植被的影响. 植物生态学报, 2013, 37(5): 474-480.
[19] 赵彬, 孙龙, 胡海清, 孙志虎. 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. 自然资源学报, 2011, 26(3): 450-459.
[20] Kutiel P, Naveh Z. The effect of fire on nutrients in a pine forest soil. Plant and Soil, 1987, 104(2): 269-274.
[21] Nigussie A, Kissi E. Impact of biomass burning on selected physicochemical properties of nitisol in jimma zone, southwestern Ethiopia. International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science, 2011, 1: 394-401.
[22] 孙明学. 塔河林区林火对土壤性质与植被恢复的影响[D]. 北京: 北京林业大学, 2011.
[23] 张喜, 朱军, 崔迎春, 霍达, 王莉莉, 吴鹏, 陈骏, 潘德权, 杨春华. 火烧对黔中喀斯特山地马尾松林土壤理化性质的影响. 生态学报, 2011, 31(19): 5809-5817.
[24] 刘发林, 张思玉. 火干扰下马尾松林物种多样性和土壤养分特征. 西北林学院学报, 2009, 24(5): 36-40.
[25] 谷会岩, 金靖博, 陈祥伟, 王恩姮, 周一杨, 柴亚凡. 不同火烧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): 1114-1121.
[26] Delgado-Baquerizo M, Powell J R, Hamonts K, Reith F, Mele P, Brown M V, Dennis P G, Ferrari B C, Fitzgerald A, Young A, Singh B K, Bissett A. Circular linkages between soil biodiversity, fertility and plant productivity are limited to topsoil at the continental scale. The New Phytologist, 2017, 215(3): 1186-1196.
[27] 曾歆花, 张万军, 宋以刚, 璩芳, 赵昕. 河北太行山低山丘陵区植被恢复过程中物种多样性与土壤养分变化. 生态学杂志, 2013, 32(4): 852-858.
[28] 李婷婷, 唐永彬, 周润惠, 余飞燕, 董洪君, 王敏, 郝建锋. 云顶山不同人工林林下植物多样性及其与土壤理化性质的关系. 生态学报, 2021, 41(3): 1168-1177.
[29] Jiang Y, Zang R G, Letcher S G, Ding Y, Huang Y F, Lu X H, Huang J H, Liu W D, Zhang Z D. Associations between plant composition/diversity and the abiotic environment across six vegetation types in a biodiversity hotspot of Hainan Island, China. Plant and Soil, 2016, 403(1): 21-35.
[30] 何冰, 薛刚, 张小全, 许晓敬, 姚健, 杨铁钊. 有机酸对土壤钾素活化过程的化学分析. 土壤, 2015, 47(1): 74-79.
[31] 杨秉珣, 刘泉, 王彬. 嘉陵江流域不同类型植被多样性与土壤养分和酶活性的关系. 水土保持研究, 2016, 23(6): 45-51, 58.