

太行山南段火烧迹地不同恢复期草本群落多样性研究

林荣木^{1,2}, 武帅楷^{2,3}, 金山², 燕树杰^{1,2}, 郝嘉鑫^{1,2}, 张桂萍^{2*}

(1. 山西师范大学 生命科学学院, 山西 太原 030031;

2. 长治学院 生命科学系, 山西 长治 046011;

3. 山西农业大学 草业学院, 山西 太谷 030801)

摘要:以太行山南段火烧迹地不同恢复期草本植物群落为研究对象,通过“空间代替时间法”和样方法对火烧迹地草本植物群落进行调查,分析火烧迹地草本植物群落的物种多样性、分类和排序。结果表明:(1)随着火烧迹地植被恢复期增加,草本植物群落的科、属、种数上均显示出先升高后降低的趋势,科的数量从样点S1—S5依次为27、25、27、31和18科,属的数量从S1—S5依次为70、65、67、79和38属,种的数量从S1—S5依次为79、89、85、99和50种。(2)就科、属、种组成结构来看,菊科、豆科、禾本科为优势科,蒿属、董菜属、委陵菜属为优势属,大披针茎草、京芒草和小红菊为主要优势种。(3)随着群落演替的进行,物种丰富度、Shannon-Wiener指数和Simpson指数均呈现先上升后下降的趋势,在恢复9年期出现峰值,分别为(10.70±3.38)、(2.09±0.39)和(0.84±0.07);Pielou均匀度指数在恢复8年后出现峰值(0.91±0.05)。(4)双向指示种分析(Two-way Indicators Species Analysis, TWINSpan)数量分类将研究地的草本植物群落分为8个群丛,即京芒草+大披针茎草+小红菊群丛、京芒草+大披针茎草+白莲蒿群丛、大披针茎草+白莲蒿+小红菊群丛、小红菊+大披针茎草+截叶铁扫帚群丛、大披针茎草+小红菊+草木樨群丛、大披针茎草+野青茅+小红菊群丛、大披针茎草+小红菊+牻牛儿苗群丛及大披针茎草+斜茎黄耆群丛。(5)除趋势对应分析(Detrended Correspondence Analysis, DCA)排序表明,坡向和坡位是影响太行山南段火烧迹地草本植物群落分布的主要环境因子。

关键词:火烧迹地;物种组成;物种多样性;数量分类;DCA排序

中图分类号:S718.5;S762.8

文献标志码:A

文章编号:0253-2395(2024)03-0637-10

Diversity of the Herb Communities at Different Recovery Stage in the Burned Areas of Southern Taihang Mountains, Shanxi

LIN Rongmu^{1,2}, WU Shuaikai^{2,3}, JIN Shan², YAN Shujie^{1,2}, HAO Jiabin^{1,2}, ZHANG Guiping^{2*}

(1. College of Life Sciences, Shanxi Normal University, Taiyuan 030031, China;

2. Department of Life Science, Changzhi University, Changzhi 046011, China;

3. College of Grassland Science, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China)

Abstract: The herbaceous plant communities in different recovery periods of burned areas in the southern section of Taihang Mountain, Shanxi, were studied by species diversity, classification and ordination. The results showed that: (1) With the increase of vegetation recovery period in the burned areas, the numbers of families from sample 1 to sample 5 were 27, 25, 27, 31 and 18, the numbers of genera from sample 1 to sample 5 were 70, 65, 67, 79 and 38, and the numbers of species from sample 1 to sample 5 were 79, 89, 85, 99 and 50. (2) In terms of the composition structure of families, genera and species, Asteraceae, Fabaceae, and Poaceae are the

收稿日期:2023-12-13;接受日期:2024-02-19

基金项目:山西省1331重点学科建设项目(1331KSC);山西省重点学科建设项目(FSKSC)

作者简介:林荣木(1998-),男,福建漳州人,硕士研究生,研究方向为植物生态学研究。E-mail:2629705878@qq.com

* 通信作者:张桂萍(ZHANG Guiping),E-mail:2492317678@qq.com

引文格式:林荣木,武帅楷,金山,等.太行山南段火烧迹地不同恢复期草本群落多样性研究[J].山西大学学报(自然科学版),2024,47(3):637-646. DOI:10.13451/j.sxu.ns.2024008

dominant families, *Artemisia*, *Viola*, and *Potentilla* are the dominant genus, and *Carex lanceolata*, *Achnatherum pekinense* and *Chrysanthemum Chanetii* are the main dominant species. (3) With the succession of communities, species richness, Shannon-Wiener index and Simpson index showed a trend of increasing firstly and then of decreasing. Their peaks were (10.70 ± 3.38) , (2.09 ± 0.39) , (0.84 ± 0.07) in 9 years recovery, respectively. The Pielou uniformity index peaked (0.91 ± 0.05) after 8 years recovery. (4) The herbaceous plant communities were divided into 4 grades and 8 groups by Two-way Indicators Species Analysis (TWINSpan), including Ass. *Achnatherum pekinense* + *Carex lanceolata* + *Chrysanthemum chanetii* association, Ass. *Achnatherum pekinense* + *Carex lanceolata* + *Artemisia stechmanniana* association, Ass. *Carex lanceolata* + *Artemisia stechmanniana* + *Chrysanthemum chanetii* association, Ass. *Chrysanthemum chanetii* + *Carex lanceolata* + *Lespedeza cuneata* association, Ass. *Carex lanceolata* + *Chrysanthemum chanetii* + *Melilotus officinalis* association, Ass. *Carex lanceolata* + *Deyeuxia pyramidalis* + *Chrysanthemum chanetii* association, Ass. *Carex lanceolata* + *Chrysanthemum chanetii* + *Erodium stephanianum* association and Ass. *Carex lanceolata* + *Astragalus laxmannii* association. (5) The results of Detrended Correspondence Analysis (DCA) ordination showed that the slope aspect and slope position were the main environmental factors affecting the distribution of herbaceous plant communities in the burned area of the southern Taihang Mountains.

Key words: burned area; species composition; species diversity; quantitative classification; DCA ordination

0 引言

火干扰是自然生态系统中重要的干扰因子之一,具有突发性强、灾难性大、控制难度高和波及范围广等特点。火干扰是影响北方针叶林植被动态、结构和生态系统功能的重要驱动因素^[1-2]。它不仅影响土壤生态系统的理化性质^[3]和结构组成^[4],也影响土壤微生物群落^[5]和动物群落特征^[6],特别是对植物群落的影响更为显著^[7-8]。太行山是华北地区森林资源较为丰富的区域,是京津地区和华北平原重要的生态屏障和水源涵养地。由于该地区年降水量较少,空气湿度较低,森林火险等级较高,加之该区植物群落的优势种油松(*Pinus tabulaeformis*)富含油脂,可燃性较强,间接助推了火险等级和火灾程度^[9-10]。目前,关于火干扰对森林植被的影响已引起业内人士高度关注,包括火干扰对植物群落物种组成的影响^[11]、群落的恢复与演替^[12]、生态系统的功能与修复^[13-14]等方面。

火烧迹地植被的恢复是生态系统恢复和重建的基础^[15]。随着火烧迹地植被的恢复和演替,植物群落的时空异质性和功能稳定性发生着更替和变化。物种多样性的变化是衡量火烧迹地植物群落恢复的重要指标之一^[16],它不仅能反映其内部结构的多样性和空间异质性,还能反映群落功能的动态变化和生态系统的稳定^[17-18]。分析火烧迹地不同恢复阶段植物群落的物种组成和物种多样性变化既可

以预测火后植物种群结构和功能变化,也可以为灾后生态系统的恢复和重建提供指导^[19]。本研究采用物种多样性、双向指示种分析(Two-way Indicators Species Analysis, TWINSpan)和除趋势对应分析(Detrended Correspondence Analysis, DCA)等方法,对山西境内太行山南段火烧迹地的物种多样性、分类和排序进行研究,探究其群落物种组成、发展变化及其与环境之间的生态关系,以期对太行山南段火烧迹地植被恢复、重建和生态保护提供科学依据。

1 研究区概况

太行山南段是山西与河南、河北的天然分界线,地处 $112^{\circ}26' \sim 113^{\circ}35' E$, $35^{\circ}10' \sim 37^{\circ}08' N$,属暖温带半湿润大陆性季风气候。年均温 $5^{\circ} C \sim 11^{\circ} C$,无霜期 $165 d \sim 200 d$,年平均降水量约 $503 mm \sim 673 mm$ ^[20]。太行山南段火烧迹地的地形以山地为主,夏季炎热多雨,冬季寒冷干燥。主要森林植被类型为油松(*Pinus tabulaeformis*)林、辽东栎(*Quercus wutaishanica*)林和山杨(*Populus davidiana*)林等,灌丛主要有黄刺玫(*Rosa xanthina*)灌丛、三裂绣线菊(*Spiraea trilobata*)灌丛、虎榛子(*Ostryopsis davidiana*)灌丛等^[21]。

于2021年在山西境内的太行山南段选择5个不同恢复期的火烧迹地样点进行调査,分别为榆社县社城镇(S1)、沁源县王陶镇(S2)、壶

关县石坡乡(S3)、陵川县棋子山(S4)和长治市老顶山(S5)。这五个样点分别于2020年、2019年、2014年、2013年和2007年发生过森林火灾。

2 研究方法

2.1 样点的调查

以“空间代替时间法”和样方法对火烧迹地不同恢复期的植物群落多样性进行调查。在5个不同恢复期的火烧迹地中设置样地,在每个样点中,基本按照等距取样法设置5个“100 m×100 m”的调查样地,每个样地内划分坡上、坡中、坡下3个坡位,在每个坡位设置3个“10 m×10 m”的样格;每个“10 m×10 m”的样格中沿对角线设置3个“1 m×1 m”的样方。野外共记录125个样方。依据群落学调查原则,记录小样方内草本植物的种名、多度、盖度、高度等指标,同时使用GPS、指南针测量记录每个样方的经纬度、海拔、坡向、坡度等生境特征。共记录163种植物。

2.2 数据处理

基于野外调查数据,分别计算火烧迹地内植物的相对多度、相对高度、相对盖度,并计算其重要值,这样就构成了125×163的数据矩阵。利用重要值计算草本植物群落的 α 多样性指数,并进行方差分析。用生态数据多元分析软件PC-ORD for Windows (Version 5.0)中的TWINSPAN进行植物群落数量分类,用样方和物种数据进行DCA排序。

用Shannon-Wiener指数、Simpson指数、物种丰富度指数、Pielou指数来计算群落的物种多样性。各指数计算公式如下^[22]:

物种丰富度指数

$$S = \text{总种数}, \quad (1)$$

Shannon-Wiener指数

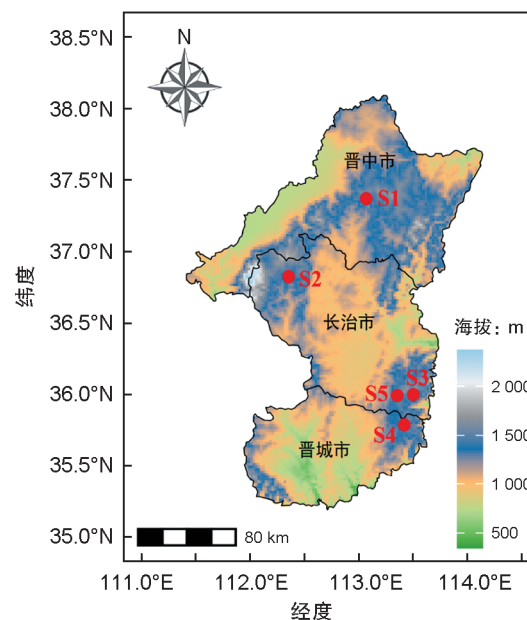


图1 研究区位置

注:S1(榆社县社城镇)、S2(沁源县王陶镇)、S3(壶关县石坡乡)、S4(陵川县棋子山)和S5(长治市老顶山)。

Fig. 1 Location of study area

$$H' = -\sum_{i=1}^S (P_i \ln P_i), \quad (2)$$

Simpson指数

$$D = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2, \quad (3)$$

Pielou指数

$$J = H' / \ln S, \quad (4)$$

式中 P_i 为第 i 个物种的相对重要值, $P_i = (\text{相对高度} + \text{相对多度} + \text{相对盖度}) / 3$ ^[23]。

3 结果与分析

3.1 草本植物群落物种组成

3.1.1 草本植物的科属种组成

调查样点中共记录草本植物40科117属163种(图2)。统计结果表明,随着火烧迹地恢复期的增加,草本群落物种组成在科、属、种数上均显示出先升高后降低的趋势。在所调查的

表1 调查样点概况

Table 1 Survey of sample points

研究地	经度E	纬度N	海拔/m	坡度/(°)	恢复时间/a	样方数
榆社县社城镇	113°45.87"	37°22'9.59"	1 447	26	2	25
沁源县王陶镇	112°21'12.16"	36°49'24.12"	1 529	27	3	25
壶关县石坡乡	113°30'5.15"	35°59'56.07"	1 572	30	8	25
陵川县棋子山	113°25'6.53"	35°47'12.64"	1 521	28	9	25
长治市老顶山	113°21'9.12"	35°59'31.33"	1 573	28	15	25

样点中科的数量从S1到S5依次为27、25、27、31和18科,其中,菊科(30种)、豆科(10种)、禾本科(9种)、蔷薇科(8种)所含物种数较多,其他科所含物种数较少。属的组成从S1到S5依次为70、65、67、79和38属,其中,蒿属(*Artemisia*)(7种)、堇菜属(*Viola*)(6种)、委陵菜属(*Potentilla*)(5种)和胡枝子属(*Lespedeza*)(4种)所含种数较多,其余属大多只有一个物种。种的数量从S1到S5依次为79、89、85、99和50种。

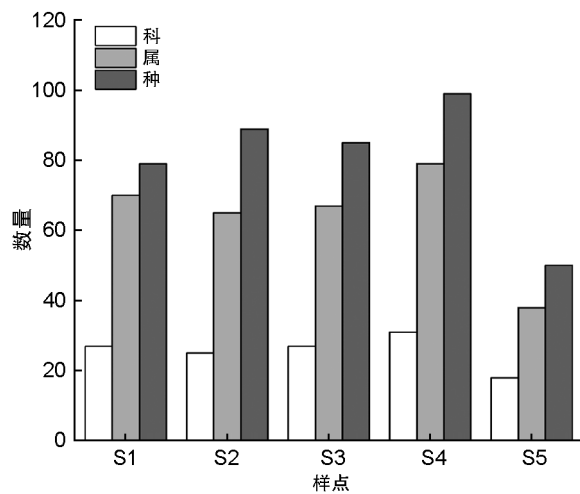


图2 太行山南段火烧迹地不同样点的物种组成
注:S1(榆社县社城镇)、S2(沁源县王陶镇)、S3(壶关县石坡乡)、S4(陵川县棋子山)和S5(长治市老顶山)。

Fig. 2 Species composition of different sites in burned area in the southern section of Taihang Mountains

3.1.2 草本植物优势种组成

根据实际的调查情况,将火烧迹地中每个样点的平均重要值大于5.00%的物种确定为优势种。总体来看,火烧迹地5个恢复期草本植物优势种物种组成具有一定的相似性,大披针藁草(*Carex lanceolata*)、小红菊(*Chrysanthemum chanetii*)、京芒草(*Achnatherum pekinense*)和牻牛儿苗(*Erodium stephanianum*)为不同恢复期草本群落的优势种,其优势度合计超过50%。但就不同恢复期群落优势种组成来看,大披针藁草和京芒草的优势度随着恢复期的延长呈现增长趋势,从S1到S5,大披针藁草和京芒草分别从22%和15%增加到45%和35%;而小红菊和牻牛儿苗的优势度随着恢复期的延长呈现下降趋势,从S1到S5,小红菊和

牻牛儿苗分别从32%和25%下降到18%和5%,表明大披针藁草和京芒草是该区域草本植物群落的建群种和优势种,而小红菊、牻牛儿苗是火烧干扰后首先进入火烧迹地的物种之一,随着群落演替的进行其优势度逐渐减少。调查样点的主要伴生种为野青茅(*Deyouxia pyramidalis*)、芥苳(*Adenophora tracheloides*)、白莲蒿(*A. stechmanniana*)、地榆(*Sanguisorba officinalis*)等。

3.2 火烧迹地群落数量分类结构

TWINSPAN分类结果表明,125个草本群落样方分为8个群丛(图3)。

I. 京芒草+大披针藁草+小红菊群丛(Ass. *Achnatherum pekinense* + *Carex lanceolata* + *Chrysanthemum chanetii*association)。该群落有51、102、103、104、106和107等14个样方,主要分布在S5,火烧恢复时间为15年,该群丛平均盖度约50%,优势种为京芒草、大披针藁草和小红菊,平均分盖度分别约14%、12%和8%,主要伴生种有白莲蒿、山韭(*Allium senescens*)、西山委陵菜(*P. sischanensis*)、中华隐子草(*Cleistogenes hackelii*)、石沙参(*Adenophora polyantha*)、南山堇菜(*V. chaerophylloides*)和大丁草(*Leibnitzia anandria*)等。

II. 京芒草+大披针藁草+白莲蒿群丛(Ass. *Achnatherum pekinense* + *Carex lanceolata* + *Artemisia stechmanniana*)。该群落有12、14、68、69、101和105等15个样方,主要分布在S5,火烧恢复时间为15年,该群丛平均盖度约50%,优势种为京芒草、大披针藁草和白莲蒿,平均分盖度分别约12%、11%和8%,主要伴生种有小红菊、败酱(*Patrinia scabiosifolia*)、西山委陵菜、甘菊(*C. lavandulifolium*)、茜草(*Rubia cordifolia*)、华北前胡(*Peucedanum harrismithii*)、铃铃香青(*Anaphalis hancockii*)和北柴胡(*Bupleurum chinense*)等。

III. 大披针藁草+白莲蒿+小红菊群丛(Ass. *Carex lanceolata* + *Artemisia stechmanniana* + *Chrysanthemum chanetii*association)。该群落有36、52、53、54、55和56等25个样方,主要分布在S3和S4,火烧恢复时间分别为8和9年,该群丛平均盖度约75%,优势种为大披针

藁草、白莲蒿和小红菊,平均分盖度分别约20%、9%和8%,主要伴生种有京芒草、白羊草(*Bothriochloa ischaemum*)、铃铃香青、驴欺口(*Echinops davuricus*)、截叶铁扫帚(*L. cuneata*)、山韭和霞草(*Silene aprica*)等。

IV. 小红菊+大披针藁草+截叶铁扫帚群丛(Ass. *Chrysanthemum chaneti*association + *Carex lanceolata* + *Lespedeza cuneata*)。该群落有57、58、59、60、61和63等16个样方,分布在S3和S4,火烧恢复时间分别为8和9年,该群丛平均盖度约60%,优势种为小红菊、大披针藁草和截叶铁扫帚,平均分盖度分别约13%、11%和3%,主要伴生种有白莲蒿、京芒草、驴欺口、野艾蒿(*A. lavandulifolia*)、地榆、华北米蒿(*A. giraldii*)和风毛菊(*Saussurea japonica*)等。

V. 大披针藁草+小红菊+草木樨群丛(Ass. *Carex lanceolata* + *Chrysanthemum chaneti*association + *Melilotus officinalis*)。该群落有7、10、13、15、16和17等9个样方,分布在S1,火烧恢复时间为2年,该群丛平均盖度约35%,优势种为大披针藁草、小红菊和草木樨,平均分盖度分别约7%、5%和5%,主要伴生种有少

花米口袋(*Gueldenstaedtia verna*)、南山堇菜、白莲蒿和苍术(*Atractylodes lancea*)等。

VI. 大披针藁草+野青茅+小红菊群丛(Ass. *Carex lanceolata* + *Deyeuxia pyramidalis* + *Chrysanthemum chaneti*association)。该群落有1、2、3、4、5和8等18个样方,主要分布在S1,火烧恢复时间为2年,该群丛平均盖度约65%,优势种为大披针藁草、野青茅和小红菊,平均分盖度分别约15%、14%和12%,主要伴生种有少花米口袋、地榆、小藜(*Chenopodium ficifolium*)、小苜蓿(*Medicago minima*)、石沙参和白莲蒿等。

VII. 大披针藁草+小红菊+牻牛儿苗群丛(Ass. *Carex lanceolata* + *Chrysanthemum chaneti*association + *Erodium stephanianum*)。该群落有6、26、31、32、33和34等18个样方,主要分布在S2,火烧恢复时间为3年,该群丛平均盖度约50%,优势种为大披针藁草、小红菊和牻牛儿苗,平均分盖度分别约15%、9%和5%,主要伴生种有芥苳、兴安胡枝子(*L. davurica*)、地榆、少花米口袋、斑叶堇菜(*V. variegata*)和桃叶鸦葱(*Scorzonera sinensis*)等。

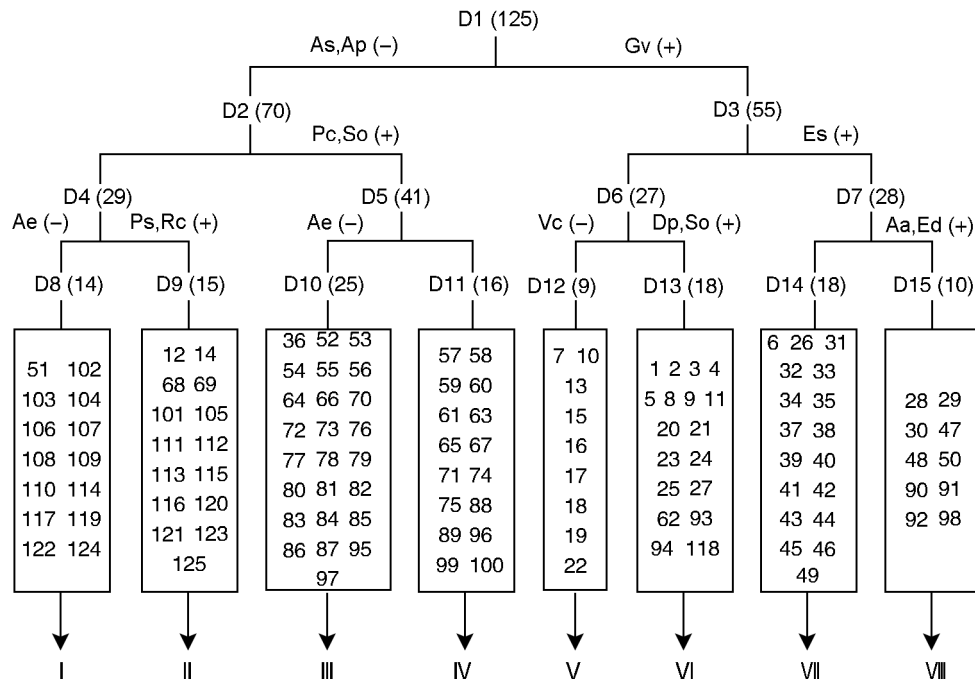


图3 太行山南段火烧迹地不同样点 TWINSpan 分类树状图

注: Aa: 斜茎黄耆; Ae: 山韭; Ap: 京芒草; As: 白莲蒿; Dp: 野青茅; Ed: 驴欺口; Es: 牻牛儿苗; Gv: 少花米口袋; Pc: 委陵菜; So: 地榆; Ps: 败酱; Rc: 茜草; Vc: 南山堇菜。

Fig. 3 TWINSpan classification dendrogram of different points in the burned area of the southern section of Taihang Mountains

Ⅷ. 大披针藁草+斜茎黄耆群丛 (Ass. *Carex lanceolata* + *Astragalus laxmannii*)。该群落有 28、29、30、47、48 和 50 等 10 个样方, 主要分布在 S2, 火烧恢复时间为 3 年, 该群丛平均盖度约 40%, 优势种为大披针藁草和斜茎黄耆, 平均分盖度分别约 15% 和 5%, 主要伴生种有小红菊、茅茛、截叶铁扫帚、野青茅、兴安胡枝子和华北前胡等。

3.3 DCA 排序分析

从二维排序图可以看出(图 4), TWINS-PAN 分类中样方的群落聚组与样方的 DCA 排序结果具有一定的相关性。TWINS-PAN 分类结果所得的群落类型在 DCA 二维排序图中有自己的分布范围, 说明 DCA 排序能较好呈现出各样方之间和样方与环境之间的关系。从排序轴看, 第一轴基本反映了坡向的变化, 从左到右, 植物群落的坡向由半阴坡向半阳坡的变化; 第二轴主要反映了坡位的梯度变化, 从下往上, 群落所在的坡位逐渐降低。可见, 样点的 DCA 二维排序图反映了生境的空间梯度和植物群落结构, 与 TWINS-PAN 分类结果较为匹配。

3.4 草本群落恢复过程中 α 多样性的变化

对不同恢复期草本群落 α 多样性指数研究结果显示, 随着群落演替的进行, 物种丰富度呈现先上升后下降的趋势, 在恢复 9 年期出现

峰值 (10.70±3.38)。Shannon-Wiener 指数和 Simpson 指数也表现出相似的单峰型变化趋势(图 5), 在恢复 9 年后分别出现峰值 (2.09±0.39) 和 (0.84±0.07)。Pielou 均匀度指数在恢复 8 年后出现峰值 (0.91±0.05), 后下降最终趋于平稳。

4 讨论

4.1 物种组成特征

随着火烧迹地植物群落演替的进行, 群落的物种组成和不同物种在不同恢复期的优势度发生改变。就科属种组成来看, 不同火烧迹地中的优势科均为菊科、豆科、禾本科等, 其中, 菊科 30 种、豆科 10 种、禾本科 9 种。权重占比较大, 科属相对集中, 这与传统分类学中的大科成分相符。优势属主要为蒿属、委陵菜属和堇菜属。优势种主要为大披针藁草、小红菊和京芒草。另外, 随着火干扰后植被的修复, 不同恢复期草本植物科属种的数量呈现出先升后降的趋势。

4.2 α-多样性指数

本研究结果表明, 火烧迹地草本群落的 α 多样性指数总体呈现出先扬后抑的变化趋势。具体来看, Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数和丰富度指数在火烧干扰 9 年后达到最高, 随后下降; Pielou 指数在火烧干扰 8 年后达到最高。

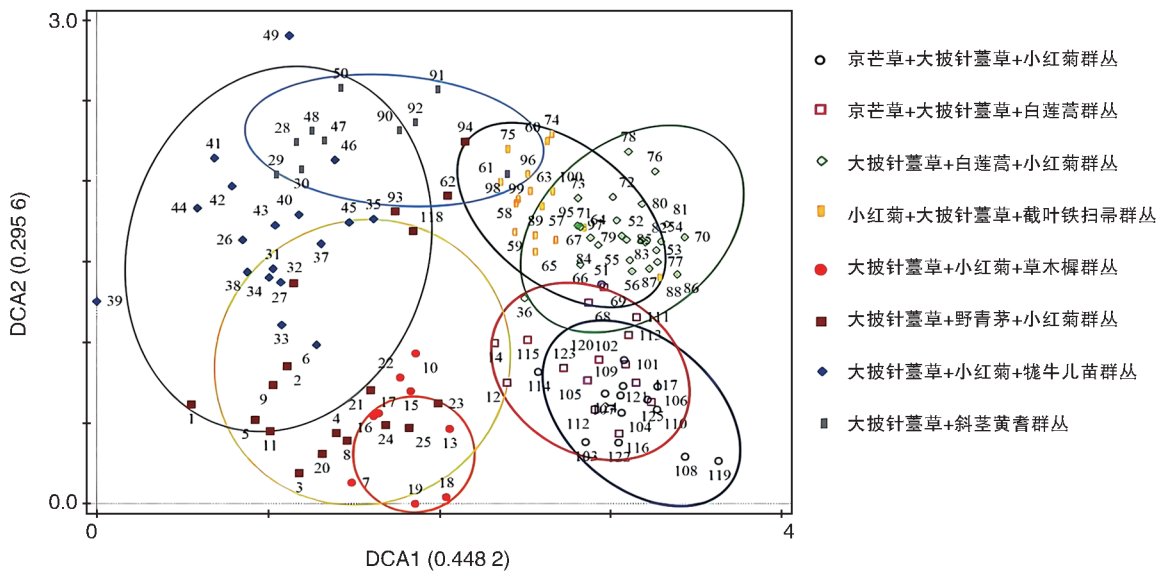
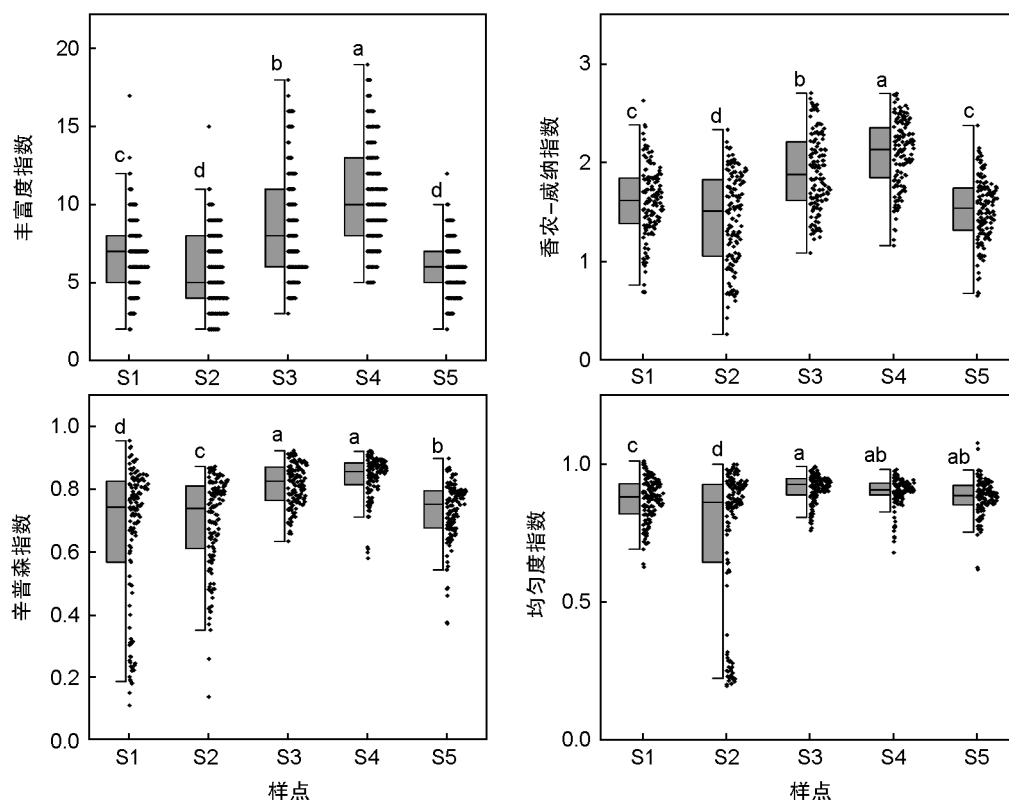


图 4 太行山南段火烧迹地不同样点的 DCA 二维排序图

Fig. 4 DCA two-dimensional ordination diagram of different points in the burned area of the southern section of Taihang Mountains



注:图中a、b、c、d不同字母表示具有显著差异($P < 0.05$)。

图5 太行山南段火烧迹地不同样点多样性指数

Fig. 5 The diversity index of different points in the burned area of the southern Taihang Mountains

群落演替早期,一方面,由于火烧干扰烧毁了植物的地上部分,只有部分残存的地下繁殖体(如根茎类)可以生长繁殖。另一方面,火烧干扰严重破坏了土壤的理化性质,使一些敏感性较强的植物难以生长,只有喜阳耐旱植物可以生长。因此,演替早期物种多样性各指数相对较低。随着植被演替的进行,火烧迹地草本层的环境逐步得以改善,土壤养分、光照和水分等因素更为适宜,为植物的生长提供了条件^[24-25],植物多样性达到最高。进一步发展到演替中后期,随着物种多样性的进一步增加,种间竞争加剧,部分生态位高度重叠的物种相互竞争,优胜劣汰,如阳生耐旱的草本植物减少等,导致火烧迹地草本植物多样性减少,群落的物种多样性达到相对稳定阶段^[26]。

4.3 数量分类与排序

TWINSPAN 数量分类将研究区的草本植物群落划分为8种群落类型。DCA 排序第一轴主要反映坡向变化;第二轴主要反映了坡位的变化。运用 TWINSPAN 分类所划分的群落在

DCA 排序图上有各自的分布范围和界限,表明 DCA 排序能较好地反应各样方之间和样方与环境之间的关系。

DCA 排序结果可以反映研究样地的水分、光照、温度、土壤因子等条件的变化。王景升、张峰等的研究表明,DCA 第一轴反映水分环境梯度,第二轴反映温度环境梯度^[27-28],朱彦鹏等的研究结果显示 DCA 第一轴和第二轴分别反映光照梯度和土壤厚度变化^[29],姚帅臣、陈云等的研究结果则反映了植被群落主要受海拔高度和群落坡向的影响较大^[30-31]。本研究 DCA 排序结果显示坡向和坡位因子是影响太行山南段火烧迹地草本植物群落分布的主要因素。从半阴坡到半阳坡,群落类型逐渐变化,最左边是大披针藁草+小红菊+牻牛儿苗群丛,最右边则是大披针藁草+白莲蒿+小红菊群丛。在半阳坡上,可能热量在更大的程度上影响了群落的组成和空间分布。随着坡位由坡下到坡上变化,植物群落的分布也在改变,最下边是大披针藁草+斜茎黄耆群丛,最上边

是大披针藁草+小红菊+草木樨群丛。不同坡位之间有海拔差异,海拔的变化范围为0~126 m,海拔可能通过调节局部的水热分配,使群落组成改变,从而影响群落的分布格局。

5 结论

(1)研究区共记录草本植物40科117属163种。随着火烧迹地植被恢复期增加,草本植物群落的科、属、种数量均显示出先升高后降低的趋势。在不同恢复期的火烧迹地中菊科、豆科和禾本科占绝对优势。优势属主要为蒿属、堇菜属和委陵菜属,大披针藁草、小红菊和京芒草为主要优势种。

(2)随着群落演替的进行,火烧迹地不同恢复期的物种丰富度、Shannon-Wiener指数和Simpson指数均呈现先上升后下降的趋势,在恢复9年期出现峰值;Pielou均匀度指数在恢复8年后出现峰值。

(3)TWINSpan数量分类将研究地的草本群落分为8个群丛,即京芒草+大披针藁草+小红菊群丛、京芒草+大披针藁草+白莲蒿群丛、大披针藁草+白莲蒿+小红菊群丛、小红菊+大披针藁草+截叶铁扫帚群丛、大披针藁草+小红菊+草木樨群丛、大披针藁草+野青茅+小红菊群丛、大披针藁草+小红菊+牻牛儿苗群丛及大披针藁草+斜茎黄耆群丛。DCA排序反映了太行山南段火烧迹地草本植物群落分布与环境因子的关系。结果表明,坡向和坡位对研究区草本植物群落分布有显著影响。

参考文献:

[1] 陈宝,刘志华,房磊.基于多端元光谱混合分析方法的大兴安岭火后植被盖度恢复研究[J].生态学报,2019,39(22):8630-8638. DOI: 10.5846/stxb201809212064.
CHEN B, LIU Z H, FANG L. Forest Recovery after Wildfire Disturbance in Great Xing'an Mountains by Multiple Endmember Spectral Mixture Analysis[J]. *Acta Ecol Sin*, 2019, 39(22): 8630-8638. DOI: 10.5846/stxb201809212064.

[2] 邱扬,杜建林,王晓军.植被动态的格局与过程[J].山西大学学报(自然科学版),1997,20(4):88-99.
QIU Y, DU J L, WANG X J. Pattern and Process of Vegetation Dynamics[J]. *J Shanxi Univ Nat Sci Ed*,

1997, 20(4): 88-99.

[3] 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[J].生态学报,2023,43(18):7412-7421. DOI: 10.20103/j.stxb.20211113168.
ZHAO M, ZHANG X M, YANG M J. Effects of Forest Fire Disturbance on Species Diversity and Soil Physicochemical Properties in *Pinus tabulaeformis* Coniferous Forests[J]. *Acta Ecol Sin*, 2023, 43(18): 7412-7421. DOI: 10.20103/j.stxb.20211113168.

[4] 孙龙,孙奥博,胡同欣.火干扰对森林生态系统土壤呼吸组分的影响研究进展[J].生态学报,2021,41(17):7073-7083. DOI: 10.5846/stxb202008102079.
SUN L, SUN A B, HUTONG X. Research Progress on Effects of Fire Disturbance on Soil Respiration Components in Forest Ecosystems[J]. *Acta Ecol Sin*, 2021, 41(17): 7073-7083. DOI: 10.5846/stxb202008102079.

[5] 林英华,卢萍,赵鲁安,等.大兴安岭森林沼泽类型与火干扰对土壤微生物群落影响[J].林业科学研究,2016,29(1):93-102. DOI: 10.13275/j.cnki.lykxyj.2016.01.014.
LIN Y H, LU P, ZHAO L A, et al. The Effect of Forest Marsh and Fire Disturbance on Soil Microbial in Greater Xing'an Mountain[J]. *For Res*, 2016, 29(1): 93-102. DOI: 10.13275/j.cnki.lykxyj.2016.01.014.

[6] 李发扬,李滢钰,蒋文妮,等.火后恢复时间影响大兴安岭寒温带森林内部与边缘鸟类多样性[J].生物多样性,2023,31(7):62-74. DOI: 10.17520/biods.2022665.
LI F Y, LI Y Y, JIANG W N, et al. How Forest Fires Affect Bird Diversity over Time in Boreal Forest Interiors and Edges in the Greater Khingan Mountains [J]. *Biodivers Sci*, 2023, 31(7): 62-74. DOI: 10.17520/biods.2022665.

[7] 赵蔓,张晓曼,杨明洁.林火干扰对栓皮栎-辽东栎混交林植物多样性与土壤理化性质的影响[J].生态环境学报,2023,32(10):1732-1740. DOI: 10.16258/j.cnki.1674-5906.2023.10.002.
ZHAO M, ZHANG X M, YANG M J. Effects of Forest Fire Disturbance on Species Diversity and Soil Physicochemical Properties of *Quercus variabilis* and *Quercus Wutaishansea* Mixed Forests[J]. *Ecol Environ Sci*, 2023, 32(10): 1732-1740. DOI: 10.16258/j.cnki.1674-5906.2023.10.002.

[8] 武秀娟,奥小平.油松林火烧迹地恢复初期林下植被特征[J].西北林学院学报,2022,37(5):155-161. DOI: 10.3969/j.issn.1001-7461.2022.05.22.
WU X J, AO X P. The Characteristics of Understory Vegetation in the Early Stage of Restoration of Burned *Pinus tabulaeformis* Forests[J]. *J Northwest For Univ*, 2022, 37(5): 155-161. DOI: 10.3969/j.issn.1001-7461.2022.05.22.

- [9] 张殷波, 秦浩, 孟庆欣, 等. 太行山森林群落物种多样性空间格局及其影响因素[J]. 应用与环境生物学报, 2022, **28**(2): 331-338. DOI: 10.19675/j.cnki.1006-687x.2020.11014.
- ZHANG Y B, QIN H, MENG Q X, *et al.* Spatial Patterns of and Factors Influencing Species Diversity in the Forest Communities of China's Taihang Mountains[J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2022, **28**(2): 331-338. DOI: 10.19675/j.cnki.1006-687x.2020.11014.
- [10] 朱敏, 刘晓东, 李璇皓, 等. 北京西山油松林可燃物调控的影响评价[J]. 生态学报, 2015, **35**(13): 4483-4491. DOI: 10.5846/stxb201412262579.
- ZHU M, LIU X D, LI X H, *et al.* Assessment of the Impact of Fuel Management in *Pinus Tabulaeformis* Forests in the Beijing West Mountain Area[J]. *Acta Ecol Sin*, 2015, **35**(13): 4483-4491. DOI: 10.5846/stxb201412262579.
- [11] 常明. 火烧后亚高山草甸恢复过程中物种组成和群落特征变化规律的研究[J]. 草地学报, 2021, **29**(6): 1286-1293. DOI: 10.11733/j.issn.1007-0435.2021.06.019.
- CHANG M. Study on the Species Composition and Community Characteristics of Subalpine Meadow during Restoration After a Fire[J]. *Acta Agrestia Sin*, 2021, **29**(6): 1286-1293. DOI: 10.11733/j.issn.1007-0435.2021.06.019.
- [12] 赵俊. 大兴安岭火烧迹地森林自然恢复过程的研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2009.
- ZHAO J. Study on Natural Restoration Process of Forest in Burned Area of Daxinganling[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2009.
- [13] SCALON M C, ROSSATTO D R. Ground Layer Cerrado Plants Sustain Higher Maximum Photosynthetic Rates After Medium-term Fire Events[J]. *Flora*, 2021, **285**: 151962. DOI: 10.1016/j.flora.2021.151962.
- [14] 胡同欣, 史哲, 孙龙. 火干扰对森林凋落物分解的影响研究进展[J]. 世界林业研究, 2023, **36**(2): 51-57. DOI: 10.13348/j.cnki.sjlyyj.2023.0003.y.
- HUTONG X, SHI Z, SUN L. Research Progress in the Effects of Fire Disturbance on Forest Litter Decomposition[J]. *World For Res*, 2023, **36**(2): 51-57. DOI: 10.13348/j.cnki.sjlyyj.2023.0003.y.
- [15] 孙桂芬. 森林火烧迹地识别及植被恢复卫星遥感监测方法[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2018.
- SUN G F. Satellite Remote Sensing Monitoring Method for Forest Fire Site Identification and Vegetation Restoration[D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2018.
- [16] 周晓雷, 杨富强, 田青, 等. 青藏高原东北边缘云杉-巴山冷杉林火烧迹地植物群落演替的数量研究[J]. 林业科学
- 研究, 2023, **36**(2): 119-132. DOI: 10.12403/j.1001-1498.20220435.
- ZHOU X L, YANG F Q, TIAN Q, *et al.* Plant Community Succession in the Burned Area of *Picea asperata-Abies fargesii* Forest on the Northeastern Edge of the Qinghai-tibetan Plateau[J]. *For Res*, 2023, **36**(2): 119-132. DOI: 10.12403/j.1001-1498.20220435.
- [17] 王鼎, 王梓璇, 冯倩倩, 等. 重度火烧对兴安落叶松林群落物种组成及多样性的影响[J]. 水土保持通报, 2017, **37**(6): 56-61. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2017.06.009.
- WANG D, WANG Z X, FENG Q Q, *et al.* Species Composition and Diversity of Severe Burned Phytocoenosium After Different Regenerate Years[J]. *Bull Soil Water Conserv*, 2017, **37**(6): 56-61. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2017.06.009.
- [18] 蓝俊杰, 刘艳红. 中度火干扰后兴安落叶松群落物种组成及多样性变化[J]. 东北林业大学学报, 2022, **50**(7): 22-27. DOI: 10.13759/j.cnki.dlxb.2022.07.001.
- LAN J J, LIU Y H. Species Composition and Diversity of *Larix gmelinii* Community in Burned Area[J]. *J Northeast For Univ*, 2022, **50**(7): 22-27. DOI: 10.13759/j.cnki.dlxb.2022.07.001.
- [19] 石亮, 周梅, 王鼎, 等. 林火干扰对兴安落叶松林下植被多样性和生物量的影响[J]. 东北林业大学学报, 2016, **44**(1): 44-47. DOI: 10.13759/j.cnki.dlxb.20160105.028.
- SHI L, ZHOU M, WANG D, *et al.* Effects of Forest Fire on Understory Vegetation Diversity and Biomass of *Larix gmelini* Forest[J]. *J Northeast For Univ*, 2016, **44**(1): 44-47. DOI: 10.13759/j.cnki.dlxb.20160105.028.
- [20] 郭华, 张桂萍, 铁军, 等. 太行山南段油松群落物种多样性研究[J]. 植物科学学报, 2015, **33**(2): 151-157. DOI: 10.11913/PSJ.2095-0837.2015.20151.
- GUO H, ZHANG G P, TIE J, *et al.* Analysis on Species Diversity of *Pinus Tabulaeformis* Forest Communities in the Southern Taihang Mountains[J]. *Plant Sci J*, 2015, **33**(2): 151-157. DOI: 10.11913/PSJ.2095-0837.2015.20151.
- [21] 郭佳佳, 张雷廷, 车建芳, 等. 太行山南段连翘群落结构及其影响因子研究[J]. 生态学报, 2021, **41**(21): 8589-8601. DOI: 10.5846/stxb201911242543.
- GUO J J, ZHANG L T, CHE J F, *et al.* Analysis of *Forsythia suspensa* Community Structure and Influencing Factors in the Southern Section of Taihang Mountain[J]. *Acta Ecol Sin*, 2021, **41**(21): 8589-8601. DOI: 10.5846/stxb201911242543.
- [22] 马克平, 黄建辉, 于顺利, 等. 北京东灵山地区植物群落多样性的研究II丰富度、均匀度和物种多样性指数[J]. 生态学报, 1995, **15**(3): 268-277.
- MA K P, HUANG J H, YU S L, *et al.* Study on Plant

- Community Diversity in Dongling Mountain Area of Beijing II. Abundance, Evenness and Species Diversity Index[J]. *Acta Ecol Sin*, 1995, **15**(3): 268-277.
- [23] 吕自立, 刘彬, 常凤, 等. 巴音布鲁克高寒草甸植物功能多样性与生态系统多功能性关系沿海拔梯度的变化[J]. *植物生态学报*, 2023, **47**(6): 822-832. DOI: 10.17521/cjpe.2022.0195.
- LÜ Z L, LIU B, CHANG F, *et al.* Relationship Between Plant Functional Diversity and Ecosystem Multifunctionality in Bayanbulak Alpine Meadow Along an Altitude Gradient[J]. *Chin J Plant Ecol*, 2023, **47**(6): 822-832. DOI: 10.17521/cjpe.2022.0195.
- [24] 陈小雪, 李红丽, 董智, 等. 不同火烧强度迹地林下灌草层物种多样性及其与土壤因子的关系[J]. *西北植物学报*, 2020, **40**(1): 130-140. DOI: 10.7606/j.issn.1000-4025.2020.01.0130.
- CHEN X X, LI H L, DONG Z, *et al.* Relationship of Shurbs and Herbs Species Diversity Under Different Fire Intensities with Soil Factors[J]. *Acta Bot Boreali Occidentalia Sin*, 2020, **40**(1): 130-140. DOI: 10.7606/j.issn.1000-4025.2020.01.0130.
- [25] NILSSON M C, WARDLE D A. Understory Vegetation as a Forest Ecosystem Driver: Evidence from the Northern Swedish Boreal Forest[J]. *Front Ecol Environ*, 2005, **3**(8): 421. DOI: 10.2307/3868658.
- [26] 王鼎, 周梅, 赵鹏武, 等. 不同林型兴安落叶松林火烧迹地物种组成及多样性研究[J]. *西北植物学报*, 2017, **37**(4): 767-772. DOI: 10.7606/j.issn.1000-4025.2017.04.0767.
- WANG D, ZHOU M, ZHAO P W, *et al.* Study on Species Composition and Diversity in Burned Phytocoenosium of Different Forest Types[J]. *Acta Bot Boreali Occidentalia Sin*, 2017, **37**(4): 767-772. DOI: 10.7606/j.issn.1000-4025.2017.04.0767.
- [27] 王景升, 姚帅臣, 普穷, 等. 藏北高原草地群落的数量分类与排序[J]. *生态学报*, 2016, **36**(21): 6889-6896. DOI: 10.5846/stxb201504240848.
- WANG J S, YAO S C, PU Q, *et al.* Quantitative Classification and Ordination of Grassland Communities on the Northern Tibetan Plateau[J]. *Acta Ecol Sin*, 2016, **36**(21): 6889-6896. DOI: 10.5846/stxb201504240848.
- [28] 张峰, 张金屯, 张峰. 历山自然保护区猪尾沟森林群落植被格局及环境解释[J]. *生态学报*, 2003, **23**(3): 421-427.
- ZHANG F, ZHANG J, ZHANG F. Pattern of Forest Vegetation and Its Environmental Interpretation in Zh Uweigou, Lishan Mountain Nature Reserve[J]. *Acta Ecol Sin*, 2003, **23**(3): 421-427.
- [29] 朱彦鹏, 梁军, 孙志强, 等. 昆崙山森林群落数量分类、排序及多样性垂直格局[J]. *林业科学*, 2013, **49**(4): 54-61. DOI: 10.11707/j.1001-7488.20130408.
- ZHU Y P, LIANG J, SUN Z Q, *et al.* Numerical Classification, Ordination and Species Diversity along Elevation Gradients of the Forest Community in Kunyu Mountain[J]. *Sci Silvae Sin*, 2013, **49**(4): 54-61. DOI: 10.11707/j.1001-7488.20130408.
- [30] 姚帅臣, 王景升, 丁陆彬, 等. 拉萨河谷草地群落的数量分类与排序[J]. *生态学报*, 2018, **38**(13): 4779-4788. DOI: 10.5846/stxb201708121455.
- YAO S C, WANG J S, DING L B, *et al.* Quantitative Classification and Ordination of Grassland Communities in Lhasa River Valley[J]. *Acta Ecol Sin*, 2018, **38**(13): 4779-4788. DOI: 10.5846/stxb201708121455.
- [31] 陈云, 王海亮, 韩军旺, 等. 小秦岭森林群落数量分类、排序及多样性垂直格局[J]. *生态学报*, 2014, **34**(8): 2068-2075. DOI: 10.5846/stxb201308162093.
- CHEN Y, WANG H L, HAN J W, *et al.* Numerical Classification, Ordination and Species Diversity along Elevation Gradients of the Forest Community in Xiaoqinling[J]. *Acta Ecol Sin*, 2014, **34**(8): 2068-2075. DOI: 10.5846/stxb201308162093.