

doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 02. 006

林分密度对蒙古栎林下草本植物多样性的影响研究

王义贺¹, 郭鑫², 姜海燕¹, 丛林¹, 张旭州¹, 史东明¹, 白慧¹

(1. 内蒙古农业大学林学院, 内蒙古 呼和浩特 010018; 2. 呼和浩特市新华公园管理处, 内蒙古 呼和浩特 010030)

摘要:以内蒙古赤峰市阿鲁科尔沁旗沙日温都栎林自然保护区蒙古栎林为主要研究对象, 研究不同林分密度对林下草本植物多样性的影响。结果表明, 研究区内共有 13 科、14 属、16 种草本植物; Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数、Pielou 均匀度指数和物种丰富度指数均随着林分密度的增加呈先增大后减小的趋势, 当林分密度为 750 株/hm² 时, 林下草本植物多样性指数达到最大值; 林分密度与 Shannon-Wiener 多样性指数、Pielou 均匀度指数、Simpson 多样性指数、物种丰富度指数、树高、胸径均呈极显著负相关, 与郁闭度呈极显著正相关, 与枝下高不相关。综上所述, 最合理的蒙古栎林密度为 750 株/hm², 该密度下最有利于蒙古栎林及林下草本植物生长发育。

关键词:林分密度; 蒙古栎林; 草本植物多样性; 物种组成

中图分类号: S758. 58; S792. 186; Q944; Q16 文献标识码: A 文章编号: 1671-3168(2023)02-0040-06

引文格式: 王义贺, 郭鑫, 姜海燕, 等. 林分密度对蒙古栎林下草本植物多样性的影响研究[J]. 林业调查规划, 2023, 48(2): 40-45, 56. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 02. 006

WANG Yihe, GUO Xin, JIANG Haiyan, et al. Effects of Stand Density on Diversity of Understory Herbs in *Quercus mongolica* Forest[J]. Forest Inventory and Planning, 2023, 48(2): 40-45, 56. doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2023. 02. 006

Effects of Stand Density on Diversity of Understory Herbs in *Quercus mongolica* Forest

WANG Yihe¹, GUO Xin², JIANG Haiyan¹, CONG Lin¹, ZHANG Xuzhou¹,
SHI Dongming¹, BAI Hui¹

(1. College of Forestry, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China;
2. Hohhot Administration of Xinhua Park, Hohhot 010030, China)

Abstract: The effects of different stand densities on the diversity of understory herbs were studied based on the case of *Quercus mongolica* forest in Shariwendu Nature Reserve in Ar Horqin Banner, Chifeng City, Inner Mongolia. The results showed that there were 16 species, 14 genera and 13 families of herbs in the study area; the Simpson index, Shannon-Wiener index, Pielou evenness index and species richness of plant diversity first increased and then decreased with the increase of stand density. When the stand density was 750 plants/hm², the diversity index of understory herbs reached the maximum. Stand density was negatively correlated with Shannon-Wiener index, Pielou evenness index, Simpson diversity index, species richness, tree height and DBH, positively correlated with canopy density, and not correlated with branch height. In conclusion, the most reasonable density of *Quercus mongolica* forest was 750 plants/

收稿日期: 2021-11-03.

基金项目: 阿鲁科尔沁旗生物多样性专项调查与保护规划服务项目(AQJYZX-2018TP047-FW).

第一作者: 王义贺(1995-), 男, 内蒙古通辽人, 硕士研究生. 研究方向为森林保护. Email: 1536835041@qq.com

责任作者: 姜海燕(1975-), 女, 内蒙古呼和浩特人, 副教授. 研究方向为大型真菌、植物及微生物. Email: 1562669233@qq.com

hm², which was most conducive to the growth and development and understory herbs.

Key words: stand density; *Quercus mongolica* forest; diversity of herbs; species composition

林分密度是衡量林木间隙的拥挤合理程度、林木对其所需要占用的空间利用合理程度以及人工林群落结构合理程度的重要指标,除影响林木分配利用环境资源外,还可通过控制乔木层截留的光照和水分影响林下植被的生长与分布,并且与林木成材后产量大小有直接关系。对林分密度进行合理控制也是一种重要的营林技术方法,适宜的林分密度对提升森林生态系统的功能性和稳定性有重大意义。改变林分密度可显著影响林下植被生物多样性,而林下植被生物多样性具有维持森林生态系统基本功能稳定和增加林下生物物种多样性等不可替代的重要作用,除此之外,对有效提高林下土壤中有机质元素含量,进而改善林下土壤的理化功能性质也有一定作用。目前,已有研究表明不同林分密度对马尾松人工林、巨桉人工林、华北落叶松人工林等林下植物丰富度指数、多样性指数等有不同影响。因此,对于不同林分密度对特定林型群落结构和植物多样性的影响规律,应开展针对性研究^[1]。

蒙古栎(*Quercus mongolica*)又称柞树,为国家二级珍贵林木树种,乔木,属于壳斗科、栎属,以东北地区为主要分布地区,内蒙古大部为原产地,是我国温带地区落叶阔叶林及针阔混交林中的主要组成树种^[2]。蒙古栎喜光、耐寒、耐旱和耐瘠薄,因其根系发达、材质坚硬、抗腐,常被用来营造高山防风林和水源涵养林。目前研究集中在蒙古栎繁殖技术^[3-4]、生态学特性^[5-8]、生理学特性^[9-11]以及良种选育^[12-16]等方面,但对蒙古栎林分密度与其林下草本植物多样性的相关研究还未展开讨论,且蒙古栎林种群结构严重退化,生产功能及群落生态功能低下,如何通过合理调整栎林林分密度,改善栎林分布和群落生态结构,提高蒙古栎林种群生态功能,进而对其起到一定的保护作用是当前亟待解决的栎林科学管理问题。以沙日温都栎林自然保护区的蒙古栎天然林为主要研究对象,通过分析比较不同蒙古栎林分密度对其林下草本植物多样性的影响,筛选出最适宜于蒙古栎林及其林下草本植物生长发育的林分密度,为科学保护和管理蒙古栎林提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

内蒙古沙日温都自然保护区地处大兴安岭南

部,内蒙古赤峰市阿鲁科尔沁旗西部。地理坐标为东经 119°31'04"~119°44'07",北纬 44°05'51"~44°04'41",总面积 4 740 hm²,位于中国东部高纬度地区,属典型温带大陆性季风气候,年均温 6.8℃,降水量在 196.9~561.1 mm,受蒙古高压、反气旋环流及地形影响常年盛行西北风。沙日温都自然保护区是国家重点生态功能区科尔沁草原生态功能区的重要组成部分,是西拉沐沦河下游重要水源涵养地,是内蒙古自治区仅存的大兴安岭南端山地山前低山丘陵的森林、灌丛-草原生态系统类型自然保护区。沙日温都自然保护区植被茂盛,植被覆盖率达 80%。主要建群种有蒙古栎(*Quercus mongolica*)和华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)。灌木有山杏(*Armeniaca sibirica*)、绣线菊(*Spiraea salicifolia*)等。草本植物有狗尾草(*Setaria viridis*)、小花鬼针草(*Bidens parviflora*)、唐松草(*Thalictrum aquilegifolium*)、冷蒿(*Artemisia frigida*)等。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置

根据杨爱芳^[17]选取样地的方法,在沙日温都自然保护区内选取生长环境相似、具有代表性的不同林分密度蒙古栎林样地,不同密度蒙古栎林设 3 个 20 m×20 m 样地,设置 9 个 1 m×1 m 草本植物样地,对各样地内的乔木进行每木检尺,测定枝下高和郁闭度,采用 DQL-10A 测高罗盘仪测量树高、胸径尺在树高 1.3 m 处测量胸径。记录草本植物的种类、盖度和株(丛)数等。使用全球定位系统(GPS)对调查样地进行定位,同时记录各样地的海拔、坡度和坡向等信息。样地林分基本特征见表 1。

1.2.2 物种多样性分析指标

本研究采用重要值(IV)、Simpson 指数(D)、Shannon-Wiener 指数(H)、Pielou 均匀度指数(Jsw)、物种丰富度指数(R)等指标对不同密度的蒙古栎林下草本植物多样性进行分析^[18]。计算公式分别为:

$$IV = (RD + RC + RF) / 3 \quad (1)$$

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

$$H = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i \quad (3)$$

$$Jsw = (- \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i) / \ln S \quad (4)$$

表 1 不同密度蒙古栎林分基本特征

Tab. 1 Basic characteristics of *Quercus mongolica* stands with different densities

样地	密度/ (株· hm ⁻²)	海拔 /m	坡向	平均 树高 /m	平均 胸径 /cm	平均枝 下高 /m	郁闭 度
D1	700	820~840	东北	9.8	19.0	1.3	0.65
D2	750	820~840	东北	10.2	19.3	1.8	0.72
D3	800	820~840	东北	9.9	18.6	1.9	0.75
D4	850	850~870	西北	8.7	18.1	2.0	0.80
D5	900	850~870	西北	8.4	17.3	1.1	0.85
D6	950	850~870	西北	8.6	17.1	0.9	0.88
D7	1000	895~915	西北	8.1	16.8	1.3	0.89
D8	1050	895~915	西北	8.5	16.3	1.5	0.92
D9	1100	895~915	西北	7.6	16.2	1.2	0.95

$$R = S \quad (5)$$

式中:RD 为相对密度;RC 为相对盖度;RF 为相对频度; s 为植物种类; P_i 为某植物 i 的个体数占群落植物总数的比例; S 为每一样方中的物种总数。

1.2.3 数据处理

基本数据分析和绘图采用 Microsoft Excel 2010 软件,单因素方差分析采用 IBM SPSS 23 软件,显著性检验采用 LSD 法。

2 结果与分析

2.1 不同林分密度蒙古栎对林下草本植物物种组成的影响

蒙古栎林下草本植物物种组成及科属种数量见表 2 和图 1。

表 2 蒙古栎林下草本植物物种组成

Tab. 2 Composition of understory herbs in *Quercus mongolica* forest

序号	科	属	种	各物种占比/%
1	菊科 Asteraceae	蒿属 <i>Artemisia</i>	冷蒿 <i>Artemisia frigida</i> Willd. 艾 <i>Artemisia argyi</i> Lévl. et Van. 白莲蒿 <i>Artemisia stechmanniana</i> Bess.	18.75
2	蔷薇科 Rosaceae	地榆属 <i>Sanguisorba</i> 委陵菜属 <i>Potentilla</i>	地榆 <i>Sanguisorba officinalis</i> L. 朝天委陵菜 <i>Potentilla supina</i> L.	12.50
3	菊科 Asteraceae	鬼针草属 <i>Bidens</i>	小花鬼针草 <i>Bidens parviflora</i> Willd.	6.25
4	石竹科 Caryophyllaceae	石竹属 <i>Dianthus</i>	石竹 <i>Dianthus chinensis</i> L.	6.25
5	石蒜科 Amaryllidaceae	葱属 <i>Allium</i>	野韭 <i>Allium ramosum</i> L.	6.25
6	莎草科 Cyperaceae	蒿属 <i>Artemisia</i>	细杆沙蒿 <i>Artemisia macilenta</i> (Maxim.) Krasch.	6.25
7	茜草科 Rubiaceae	茜草属 <i>Rubia</i>	茜草 <i>Rubia cordifolia</i> L.	6.25
8	毛茛科 Ranunculaceae	唐松草属 <i>Thalictrum</i>	东亚唐松草 <i>Thalictrum minus</i> var. <i>hypoleucum</i>	6.25
9	禾本科 Poaceae	狗尾草属 <i>Setaria</i>	狗尾草 <i>Setaria viridis</i> (L.) Beauv.	6.25
10	豆科 Fabaceae	胡枝子属 <i>Lespedeza</i>	胡枝子 <i>Lespedeza bicolor</i> Turcz.	6.25
11	唇形科 Lamiaceae	糙苏属 <i>Phlomis</i>	糙苏 <i>Phlomis umbrosa</i> Turcz.	6.25
12	菖蒲科 Acoraceae	菖蒲属 <i>Acorus</i>	菖蒲 <i>Acorus calamus</i> L.	6.25
13	败酱科 Caprifoliaceae	败酱属 <i>Patrinia</i>	岩败酱 <i>Patrinia rupestris</i> (Pall.) Juss.	6.25

由表 2 可知,在选取的蒙古栎林样地中共调查到 13 科、14 属、16 种草本植物,其中菊科 3 种,占草本植物物种的 18.75%;蔷薇科有 2 种,占草本植物物种的 12.50%;石竹科、石蒜科、莎草科等其余 11 个科均只有 1 个物种,均占草本植物物种的 9.10%。

由图 1 可知,在不同林分密度下,其林下草本植物科属种数量随着林分密度增加呈先增多后减少的

趋势,科有 9~13 科,属有 10~14 属,种有 12~15 种,在林分密度为 750 株/hm² 时均达到最大值,为 13 科、14 属、15 种。

2.2 不同林分密度蒙古栎对林下草本植物优势种及重要值的影响

不同样地中林下草本植物优势种及重要值统计见表 3。

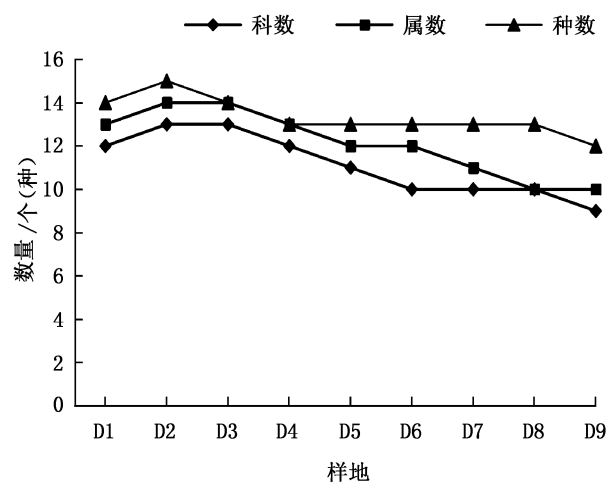


图 1 不同林分密度蒙古栎林下草本植物科属种数量
Fig. 1 Number of understory herbs families, genera, and species in *Quercus mongolica* forest with different stand densities

表 3 不同密度蒙古栎林下草本植物优势种重要值
Tab. 3 Important value of dominant species of understory herbs in *Quercus mongolica* forest with different stand densities

样地	优势种	重要值
D1	艾 <i>Artemisia argyi</i> Lévl. et Van.	0. 2230
	细杆沙蒿 <i>Artemisia macilenta</i> (Maxim.) Krasch.	0. 2011
	狗尾草 <i>Setaria viridis</i> (L.) Beauv	0. 1873
	白莲蒿 <i>Artemisia stechmanniana</i> Bess.	0. 1547
	胡枝子 <i>Lespedeza bicolor</i> Turcz.	0. 0963
D2	艾 <i>Artemisia argyi</i> Lévl. et Van.	0. 3012
	狗尾草 <i>Setaria viridis</i> (L.) Beauv	0. 2144
	细杆沙蒿 <i>Artemisia macilenta</i> (Maxim.) Krasch.	0. 2010
	白莲蒿 <i>Artemisia stechmanniana</i> Bess.	0. 1123
D3	野韭 <i>Allium ramosum</i> L.	0. 0851
	艾 <i>Artemisia argyi</i> Lévl. et Van.	0. 2152
	狗尾草 <i>Setaria viridis</i> (L.) Beauv	0. 1986
	细杆沙蒿 <i>Artemisia macilenta</i> (Maxim.) Krasch.	0. 1533
	胡枝子 <i>Lespedeza bicolor</i> Turcz	0. 0837
D4	野韭 <i>Allium ramosum</i> L.	0. 0255
	朝天委陵菜 <i>Potentilla supina</i> L.	0. 2873
	狗尾草 <i>Setaria viridis</i> (L.) Beauv	0. 2532
	野韭 <i>Allium ramosum</i> L.	0. 1856
	地榆 <i>Sanguisorba officinalis</i> L.	0. 1275
D5	艾 <i>Artemisia argyi</i> Lévl. et Van.	0. 0561
	地榆 <i>Sanguisorba officinalis</i> L.	0. 3015
	朝天委陵菜 <i>Potentilla supina</i> L.	0. 2893

续表 3

样地	优势种	重要值
D6	野韭 <i>Allium ramosum</i> L.	0. 2032
	狗尾草 <i>Setaria viridis</i> (L.) Beauv	0. 1756
	茜草 <i>Rubia cordifolia</i> L.	0. 0914
	东亚唐松草 <i>Thalictrum minus</i> var. <i>hypoleucum</i>	0. 2101
	狗尾草 <i>Setaria viridis</i> (L.) Beauv	0. 1873
D7	地榆 <i>Sanguisorba officinalis</i> L.	0. 1109
	朝天委陵菜 <i>Potentilla supina</i> L.	0. 0850
	小花鬼针草 <i>Bidens parviflora</i> Willd.	0. 0510
	小花鬼针草 <i>Bidens parviflora</i> Willd.	0. 2087
	东亚唐松草 <i>Thalictrum minus</i> var. <i>hypoleucum</i>	0. 1853
D8	茜草 <i>Rubia cordifolia</i> L.	0. 1542
	糙苏 <i>Phlomis umbrosa</i> Turcz.	0. 0987
	狗尾草 <i>Setaria viridis</i> (L.) Beauv	0. 0213
	茜草 <i>Rubia cordifolia</i> L.	0. 1850
	糙苏 <i>Phlomis umbrosa</i> Turcz.	0. 1762
D9	小花鬼针草 <i>Bidens parviflora</i> Willd.	0. 1024
	狗尾草 <i>Setaria viridis</i> (L.) Beauv	0. 0563
	东亚唐松草 <i>Thalictrum minus</i> var. <i>hypoleucum</i>	0. 0094
	糙苏 <i>Phlomis umbrosa</i> Turcz.	0. 2241
	茜草 <i>Rubia cordifolia</i> L.	0. 1562

由表 3 可以看出,不同林分密度样地中,优势种主要为东亚唐松草、茜草、狗尾草、朝天委陵菜、地榆,但重要值存在差异。狗尾草在不同密度林分中均有分布,且重要值较高。在低密度林分中艾、细杆沙蒿等阳性植物具有优势,随着林分密度的增加,艾的重要值降低最多,变化范围为 0. 006 2~0. 301 2,并且糙苏、小花鬼针草等耐阴植物相继出现。

2. 3 不同林分密度蒙古栎对林下草本植物多样性的影响

林分密度对草本植物的 Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数、Pielou 均匀度指数和物种丰富度指数均影响显著,随着林分密度的增加均呈现先增加后减少的趋势(表 4)。

由表 4 可知,当林分密度为 750 株/hm² 时各指数达到最大值,Simpson 指数为 0. 82,Shannon-Wiener 指数为 1. 97,Pielou 均匀度指数为 0. 73,物种丰富度指数为 14. 67。相较于林分密度为 1 100 株/hm² 时,

表 4 不同林分密度蒙古栎林下草本植物多样性指数

Tab. 4 Diversity index of understory herbs in *Quercus mongolica* forest with different stand densities

多样性指数	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
Simpson 指数 (<i>D</i>)	0.79± 0.21f	0.82± 0.25g	0.76± 0.19e	0.73± 0.23d	0.69± 0.20c	0.65± 0.18b	0.64± 0.15b	0.61± 0.22a	0.60± 0.19a
Shannon-Wiener 指数(<i>H</i>)	1.82± 0.47f	1.97± 0.53g	1.79± 0.51e	1.74± 0.46d	1.73± 0.43d	1.69± 0.48c	1.64± 0.39b	1.63± 0.41b	1.60± 0.37a
Pielou 均匀度 指数(<i>Jsw</i>)	0.69± 0.19e	0.73± 0.21f	0.68± 0.25e	0.65± 0.18d	0.62± 0.14c	0.61± 0.13bc	0.60± 0.22b	0.58± 0.17a	0.57± 0.12a
物种丰富度 指数(<i>R</i>)	13.67± 1.33c	14.67± 1.25d	14.33± 2.19cd	13.33± 2.25b	13.33± 1.67b	12.67± 1.87a	12.67± 1.89a	12.67± 1.55a	12.67± 2.15a

注:不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。

差异均达显著水平,Simpson 指数减少 0.22,Shannon-Wiener 指数减少 0.37,Pielou 均匀度指数减少 0.16,物种丰富度指数减少 2。

2.4 林分密度与草本植物多样性指数的相关性分析
草本植物多样性指数与林分因子相关性分析见表 5。

表 5 草本植物多样性指数与林分因子相关性

Tab. 5 Correlation coefficient between stand density and herb diversity index

	林分密度	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>Jsw</i>	<i>R</i>	树高	胸径	枝下高	郁闭度
林分密度	1.000								
<i>D</i>	-0.980 **	1.000							
<i>H</i>	-0.972 **	0.986 **	1.000						
<i>Jsw</i>	-0.980 **	0.989 **	0.991 **	1.000					
<i>R</i>	-0.843 **	0.902 **	0.893 **	0.873 **	1.000				
树高	-0.901 **	0.918 **	0.914 **	0.921 **	0.955 **	1.000			
胸径	-0.978 **	0.980 **	0.986 **	0.988 **	0.885 **	0.928 **	1.000		
枝下高	-0.431	0.521	0.490	0.525	0.480	0.524	0.537	1.000	
郁闭度	0.983 **	-0.948 **	-0.937 **	-0.944 **	-0.835 **	-0.903 **	-0.965 **	-0.436	1.000

注:*表示在 0.05 水平差异显著,**表示在 0.01 水平差异极显著。

从表 5 可知,林分密度与 Shannon-Wiener 多样性指数、Pielou 均匀度指数、Simpson 多样性指数、物种丰富度指数、树高、胸径均呈极显著负相关,与郁闭度呈极显著正相关;Simpson 多样性指数与 Shannon-Wiener 多样性指数、Pielou 均匀度指数、物种丰富度指数、树高、胸径呈极显著正相关,与郁闭度呈极显著负相关;Pielou 均匀度指数与物种丰富度、树高、胸径呈极显著正相关,与郁闭度呈极显著负相关;树高与胸径呈极显著正相关,与郁闭度呈极显著负相关;胸径与郁闭度呈极显著负相关;各指标与枝下高均不相关。

3 讨论与结论

3.1 讨论

3.1.1 林分密度对林下草本植物组成的影响

研究发现不同林分密度蒙古栎林下草本植物共有 13 科、14 属、16 种,林分密度可显著影响林下草本植物组成,不同林分密度林下草本植物组成差异显著,随着林分密度增加,优势种从喜光物种变为耐阴物种,但总体优势种较为相似,主要为喜光的艾、细杆沙蒿以及耐阴的茜草、糙苏等,狗尾草在不同密度林分中均有分布。胡延辰等^[18]研究结果认为不同林分密度的蒙古栎林间,林下植物的种类差异不大,草本层中山罗花、三叶委陵菜、白花碎米荠和山罗花等为不同林分密度下的优势种,这与本研究结

果不一致,可能是由于不同研究区域的气候条件以及生存环境有所差异而导致的。林下总光照和林冠开阔度对草本植物的影响最大,并且林隙光照对林下植物组成有明显的指示作用^[19],张洋洋、覃志杰等^[20-21]认为随着林分密度增加,中生或阴性植物能更好的适应光照不充足的环境,进而取代了阳性植物的优势地位。这与本研究结果一致,草本层处于森林生态系统的底层,养分充足,随着林分密度增加,林下光照减少,透光率降低,光照成为主要的限制因素,因此林下呈现出“阳生性—中生性—阴生性”的演替格局^[22]。

3.1.2 林分密度对林下草本植物多样性的影响

草本植物的多样性并非受单一因素控制^[23],雷相东^[24]认为不同林型林下植物多样性的影响因子可能不同,草本层物种多样性的影响因子包括枯落物厚度、郁闭度和林分公顷株数,且均呈负相关。曹云生^[25]认为影响草本植物多样性最主要的地形因素是坡向,夏富才^[26]认为林冠层通过对光照和降水的分配来影响草本植物的多样性;而赵燕波^[27]认为林下植被多样性主要影响因素为郁闭度。本研究结果表明,林分密度与林下草本植物多样性间呈极显著负相关,李颖等^[28]认为随着林分密度的增加,草本植物各项多样性指数均先增大后减小,与本研究结果一致。鲁绍伟、侯磊等^[29-30]认为随林分密度的增加,不同密度林下草本植物的 Simpson 多样性指数和 Shannon-Wiener 多样性指数逐渐减小,这与本研究结果不一致,可能是由于林分密度增加,林下微环境影响复杂而引起上述变化。

3.2 结论

1)不同林分密度蒙古栎林下草本植物的多样性存在明显差异。随着林分密度的增加, Simpson 多样性指数、Shannon-Wiener 多样性指数, Pielou 均匀度指数、物种丰富度指数均先增大后减小,在林分密度 750 株/hm² 时出现峰值。

2)蒙古栎林分密度与林下草本植物的 Shannon-Wiener 多样性指数、Pielou 均匀度指数、Simpson 多样性指数、物种丰富度指数、树高、胸径均呈极显著负相关,与郁闭度呈极显著正相关,与枝下高不相关。

3)综合考虑蒙古栎林下草本植物的组成及各项多样性指标,750 株/hm² 为较合理的蒙古栎林分密度,在此密度下能够保障蒙古栎林分结构合理和

林下植物多样性丰富,有助于提升生态系统稳定性。

参考文献:

- [1] 王玲. 林分密度对油松人工林群落结构和植物多样性的影响[J]. 生态环境学报, 2020, 29(12): 2328-2336.
- [2] 尤文忠, 赵刚, 张慧东, 等. 抚育间伐对蒙古栎次生林生长的影响[J]. 生态学报, 2015, 35(1): 56-64.
- [3] 高珊, 林梅, 崔建国, 等. 蒙古栎促萌茎段的离体培养研究[J]. 北方园艺, 2013(19): 102-105.
- [4] 李文文, 刘希华, 黄秦军, 等. 蒙古栎茎段的离体培养[J]. 东北林业大学学报, 2012, 40(8): 1-6.
- [5] 刘万生, 李想, 陈福元, 等. 蒙古栎林种内和种间竞争研究[J]. 植物研究, 2020, 40(4): 552-558.
- [6] 张晓红, 张会儒, 卢军, 等. 长白山蒙古栎次生林群落结构特征及优势树种空间分布格局[J]. 应用生态学报, 2019, 30(5): 1571-1579.
- [7] 程福山, 何怀江, 刘强, 等. 三湖国家级自然保护区蒙古栎林空间结构研究[J]. 林业资源管理, 2018(2): 138-145.
- [8] 陈科屹, 张会儒, 雷相东. 不同群落蒙古栎种群空间格局的地统计学分析[J]. 应用生态学报, 2018, 29(5): 1542-1550.
- [9] 程徐冰, 吴军, 韩士杰, 等. 减少降水对长白山蒙古栎叶片生理生态特性的影响[J]. 生态学杂志, 2011, 30(9): 1908-1914.
- [10] 颜坤, 陈玮, 张国友, 等. 高浓度二氧化碳和臭氧对蒙古栎叶片活性氧代谢的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(3): 557-562.
- [11] 曾伟, 蒋延玲, 李峰, 等. 蒙古栎 (*Quercus mongolica*) 光合参数对水分胁迫的响应机理[J]. 生态学报, 2008(6): 2504-2510.
- [12] 梁德洋, 蒋路平, 张秦徽, 等. 辽宁省 11 个蒙古栎种源及家系种子性状变异[J]. 东北林业大学学报, 2019, 47(11): 1-5.
- [13] 潘树百, 单良, 彭博, 等. 蒙古栎无性系间叶片氮磷钾含量变异初步分析[J]. 北华大学学报(自然科学版), 2018, 19(5): 600-603.
- [14] 颜冰, 刘刚, 陈爱华, 等. 东北三省不同种源蒙古栎种子表型性状和淀粉含量对比分析[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(30): 121-123.
- [15] 黄秦军, 黄国伟, 苏晓华, 等. 蒙古栎生长及生理特征的种源间差异[J]. 林业科学, 2013, 49(9): 72-78.
- [16] 黄国伟, 黄秦军, 李文文. 不同种源蒙古栎在 3 种生长条件下的综合评价[J]. 西南林业大学学报, 2012, 32(1): 4-10.
- [17] 杨爱芳. 关帝山寒温性针叶林中草本植物多样性的研究[D]. 太原: 山西农业大学, 2014.
- [18] 胡延辰, 张晓林, 韩晓义, 等. 蒙古栎次生林的生长更新与林下植被多样性对林分密度的响应[J]. 应用生态学报, 2022, 33(3): 727-732. (下转第 56 页)

规模相对较小。分析结果表明,研究区地质灾害频发的地表粗糙度为 $\geq 1 \sim 1.02$ 和 $\geq 1.2 \sim 1.4$ 两个区间。

4 结论与讨论

以地貌特征与地质灾害分布关系为研究对象,在深入了解贵州省望谟县望漠河流域地质灾害分布特点的基础上,通过对研究区宏观地形因子和 2006—2011 年地质灾害点的分布情况进行分析,得出以下结论:

1) 在 ArcGIS 平台的空间分析功能支持下,成功制作了望漠河流域地质灾害点分布图,并提取海拔高程、地形起伏度、地表切割深度、地表粗糙度 4 个宏观地形因子。

2) 通过 ArcGIS 平台,成功将地质灾害点分布图与各地形因子图进行叠加,分析地质灾害点在各地形因子上的分布状况。

3) 地质灾害点在宏观地形因子上的分布情况:望漠河流域地质灾害主要集中分布于海拔 $\geq 1\,245 \sim 1\,345$ m 区域;灾害主要集中在地形起伏度 70 m 以上区域,在 $\geq 200 \sim 500$ m 区间较为集中;在地表切割深度 $\geq 75 \sim 150$ m 范围内分布最多,地质灾害规模在地表切割深度 $\geq 150 \sim 200$ m 范围内最大;在地面粗糙度 $\geq 1 \sim 1.02$ 和 $\geq 1.2 \sim 1.4$ 区间内发生地质灾害

可能性较大。

此次研究中需要指出的是,滑坡数据属于历史调查数据,鉴于目前区域滑坡灾害调查的局限性,有很多地区属于有灾无害,可能有许多滑坡点未记录,可能会影响统计结果精度。

参考文献:

- [1] 方琼,段中满. 湖南省地形地貌与地质灾害分布关系分析[J]. 中国地质灾害与防治学报,2012,23(2):83-88.
- [2] 马煜,余斌,元星,等. 贵州望谟“20110606”泥石流灾害成因及启动类型[J]. 现代地质,2012,26(4):817-822.
- [3] 王哲,易发成. 我国地质灾害区划及其研究现状[J]. 中国矿业,2006,15(10):47-50.
- [4] 惠旭辉. 基于 GIS 的延长县地质灾害数据库建立及易发区评价研究[D]. 西安:长安大学,2008.
- [5] 朱良峰,吴信才,刘修国. 基于 GIS 的铁路地质灾害信息管理与预警预报系统[J]. 山地学报,2004,22(2):230-235.
- [6] 祁元,刘勇,杨正华,等. 基于 GIS 的兰州滑坡与泥石流灾害危险性分析[J]. 冰川冻土,2012,34(1):96-104.
- [7] 涂汉明,刘振东. 中国地势起伏度研究[J]. 测绘学报,1991,20(4):311-319.
- [8] 谭万沛. 中国泥石流分布特点与活动规律研究[J]. 铁道工程学报,1986(4):96-100.

责任编辑:许易琦

(上接第 45 页)

- [19] 段文标,王丽霞,陈立新,等. 红松阔叶混交林林隙大小及光照对草本植物的影响[J]. 应用生态学报,2013,24(3):614-620.
- [20] 张洋洋,周清慧,许骄阳,等. 林分密度对马尾松林下植物与土壤种子库多样性的影响[J]. 应用生态学报,2021,32(7):2355-2362.
- [21] 覃志杰,董威,刘泰瑞,等. 油松天然次生林林下植物多样性对林分密度的响应研究[J]. 山西农业大学学报(自然科学版),2019,39(1):61-67.
- [22] 范玉龙,胡楠,丁圣彦,等. 伏牛山自然保护区森林生态系统草本植物功能群的分类[J]. 生态学报,2008(7):3092-3101.
- [23] 杨爱芳,韩有志,杨秀清,等. 不同密度云杉林下草本植物多样性[J]. 浙江农林大学学报,2014,31(5):676-682.
- [24] 雷相东,唐守正,李冬兰,等. 影响天然林下层植物物种多样性的林分因子的研究[J]. 生态学杂志,2003(3):18-22.
- [25] 曹云生,杨新兵,张伟,等. 冀北山区森林群落草本多样性及其与地形关系研究[J]. 生态环境学报,2010,19(12):2840-2844.
- [26] 夏富才,潘春芳,赵秀海,等. 长白山原始阔叶红松林林下草本植物多样性格局及其影响因素[J]. 西北植物学报,2012,32(2):370-376.
- [27] 赵燕波. 不同郁闭度马尾松人工林林下植物多样性及 5 种主要林下植物化学计量学特征[D]. 成都:四川农业大学,2017.
- [28] 李颖,余治家,余萍,等. 林分密度对人工华北落叶松林下植物多样性影响——以六盘山叠叠沟小流域为例[J]. 甘肃农业大学学报,2021,56(2):114-120.
- [29] 鲁绍伟,刘凤芹,余新晓,等. 北京山区不同密度油松结构与功能研究[J]. 水土保持研究,2008(1):117-121.
- [30] 侯磊,张硕新,陈云明,等. 林分密度对人工油松林下植物的影响[J]. 西北林学院学报,2013,28(3):46-52.

责任编辑:陈旭