

华北落叶松林木生长、草本植物多样性及地形因子之间的关系

孔令伟¹, 陈祥伟¹, 鲁绍伟², 李少宁², 陈波³, 高琛³, 石媛³, 杨小燕¹

(1. 东北林业大学 林学院, 黑龙江 哈尔滨 150040;

2. 北京市农林科学院 林业果树研究所, 北京 100093; 3. 河北农业大学 林学院, 河北 保定 071000)

摘要:以河北省小五台山区华北落叶松人工林为对象,通过对林木生长因子和草本多样性指数的调查、计算和分析,对华北落叶松林木生长、草本植物多样性以及地形因子之间的关系进行了研究。结果表明,(1)坡度与树高、胸径、第一活枝高(枝下高)和冠幅呈显著负相关性,而海拔、坡位和坡形与林木生长因子之间的相关性不显著;(2)从相关系数和相关性强度综合分析,林木生长因子对草本多样性影响程度为:郁闭度>枝下高>胸径>树高>冠幅;(3)在海拔1400~2000 m范围,随海拔高度增加,Shannon—Wiener多样性指数和Pielou均匀度指数表现出较为平稳的变化趋势,而Simpson多样性指数和Menhinick丰富度指数则表现出上下波动的变化趋势;(4)海拔、坡形、坡度对华北落叶松林下草本多样性变化影响程度较小,而坡位与草本植物Menhinick丰富度指数和Simpson多样性指数达到显著负相关水平,表明坡位对草本植物多样性变化影响程度较大。

关键词:小五台山;华北落叶松;地形;草本

文献标识码:A

文章编号:1000-288X(2014)05-0060-07

中图分类号:S718.51

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.05.018

Relationships Among Growth of *Larix Principis-rupprechtii*, Herbaceous Plants Diversity and Landform

KONG Ling-wei¹, CHEN Xiang-wei¹, LU Shao-wei²,

LI Shao-ning², CHEN Bo², GAO Chen³, SHI Yuan³, YANG Xiao-yan¹

(1. College of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang 150040, China;

2. Institute of Forestry and Pomology, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing

100093, China; 3. College of Forestry, Agricultural University of Hebei Province, Baoding, Hebei 071000, China)

Abstract: Taking *Larix principis-rupprechtii* forest in Xiaowutai Mountain in Hebei Province as the case study, the relationships between forest growth, topography, and herb diversity were studied through field investigation and laboratory analysis. The results showed that: (1) Slope was significant negative correlation with tree height, diameter at breast height, under crown height and canopy size, but tree growth were not significantly correlated with elevation, slope position and slope shape; (2) In terms of correlation coefficients and correlation strength, the effect size of whole forest growth on herb diversity had an order as following: canopy density>under crown height>DBH> height >canopy size; (3) the Shannon—Wiener diversity index and Pielou evenness index showed a relatively stable trend with the increase of altitude from 1400 to 2000 m, and Simpson diversity index and the Menhinick richness index showed a fluctuating trend; (4) The effect of elevation, slope shape and slope gradient on herb diversity was smaller, but slope position showed a significant negative correlation with Menhinick richness index and Simpson diversity index of herbs, indicating that the impact of slope position change on herb diversity was greater.

Keywords: Xiaowutai Mountain; *Larix principis-rupprechtii*; terrain; herbs

收稿日期:2013-08-08

修回日期:2013-09-29

资助项目:林业公益性科研专项“中国森林净生产力多尺度长期观测与评价研究”(200804006/rhh-09)

作者简介:孔令伟(1989—),男(汉族),山西省晋中市人,硕士研究生,研究方向为水土保持。E-mail:konglw192819@163.com。

通信作者:陈祥伟(1966—),男(汉族),黑龙江省哈尔滨市人,博士,教授,主要从事水土保持与流域治理研究。E-mail:chenxwnf@163.com。

生物多样性是目前国际生态研究的热点问题之一,是人类赖以生存的前提,同时也是维护社会经济可持续发展的基础^[1]。生物多样性是指生物与其生存环境所共同形成的生态复合体,并且包括与此相关的各种生态过程^[2]。生物多样性有利于发挥生态系统的功能,并且可以使生态系统更加稳定和完美^[3]。生物多样性的提高有利于增强植物种内竞争,适应不同生存环境,增强生态系统抵抗外界干扰能力和自我恢复功能;充分发挥各个种类在各自生态位上的作用,提高生态系统对资源的利用效率^[4]。

森林群落多样性在生物多样性中起着重要的作用,而群落生态效益受森林群落多样性影响,物种多样性较高的森林群落,能形成较稳定有序的耗散结构,对维护陆地生态系统的稳定具有重要意义^[5]。而草本植物在维持森林生态系统能量循环、物种流动、生产力调节、涵养水源等众多功能方面发挥着重要作用,都与草本物种丰富度、多样性以及均匀度等密切相关,其综合反映了群落结构类型、稳定程度以及生境差异,也反映了不同自然地理条件与群落的相互关系^[6]。因此,研究草本生物多样性变化,对了解该区生态系统稳定性有一定的作用。但草本多样性变化受多方面因素影响,例如地形因子、环境因素以及人为干扰等。沈泽昊等^[7-8]通过研究发现植物物种多样性与海拔梯度的变化具有一定的相关性,郝占庆等^[9-10]发现林冠郁闭度和树形因子对林下草本植物分布有很大的影响。但上述研究只是选取某一个角度进行单独分析,如海拔梯度变化对草本多样性变化的影响,草本多样性与林冠郁闭度之间的关系等,并没有对草本多样性变化进行综合研究。因此本文选取华北落叶松林为研究对象,拟对林木生长因子、地形因子以及林下草本多样性三者之间的关系进行相关研究,分析影响林木生长变化的主要地形因子因素和影响草本多样性变化的主要林木生长因子和地形因子,分析其影响变化规律,并找出影响林木生长和草本多样性变化的主导因素,以期为华北地区山地森林群落结构研究以及林下生物多样性保护及可持续利用提供理论依据和相关的技术支持。

1 研究区概况

小五台山山脉位于中国第Ⅱ阶梯向第Ⅲ阶梯的过渡带上,地处河北省张家口蔚县、涿鹿南部山区,地理坐标为 114°47′—115°30′E, 39°50′—40°07′N,属恒山余脉,东西长 60 km,南北宽 28 km,总面积 21 833 hm²,最高海拔约为 2 882 m。小五台山属暖温带大陆季风性山地气候,年平均气温为 6.4℃,

冰冻期长,无霜期短,为 110~140 d,年降雨量为 700 mm,且降雨量大并集中在 7—8 月。小五台山自然保护区山涧口林区总面积约为 1 532.90 hm²,森林分为 4 个斑块,共 107 个小斑。其中松树林 48 个,且多为人工林地,面积约为 575.30 hm²。山涧口林区林地多处于沟谷侧坡和山脊坡,其物种资源丰富,其中乔木树种主要有华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)、油松(*Pinus tabulaeformis* Carr)、白桦(*Betula platyphylla*)、杨树(*Populus* sp.)、曲枝垂柳(*Salix babylonica*)等,灌木树种主要有粉花绣线菊(*Spiraea japonica*)、毛榛(*Corylus mandshurica*)、六道木(*Abelia biflora*)、美蔷薇(*Rosa bella*)等,草本物种主要有蒙古蒿(*Artemisia mongolica*)、小红菊(*Dendranthema chanelii*)、披针藁草(*Carex lanciifolia*)、薄荷(*Mentha haplocalyx*)等。

2 研究方法

2.1 样地调查

于 2009,2010 年 6—8 月选取河北省小五台山山涧口林区的 87 个小斑进行野外调查。并根据不同林分起源及类别、不同海拔、坡形、坡位等地形因子,筛选出 15 块华北落叶松人工纯林地作为研究样地,每块样地面积设置为 20 m×20 m,在每个样方内均匀布设 5 个 5 m×5 m 的灌木样方,在每个灌木样方内随机布设 3 个 1 m×1 m 草本样方,进行草本多样性调查^[11]。对每块样地内的落叶松人工林进行每木检尺,并测量林冠郁闭度以及每株林木的活枝高和冠幅,记录每个草本样方内物种种类、株数、多度、盖度等,并计测相关地形因子,包括海拔、坡度、坡形、坡位(如表 1 所示)。

2.2 数据处理

结合野外调查数据并参考王永繁等^[12]的研究方法,采取以下 3 种目前比较常用的多样性指数进行草本多样性分析:

2.2.1 物种丰富度指数 物种丰富度指数是最简单、最常用的测度方法。Menhinick 丰富度指数:

$$M = \frac{S}{\sqrt{N}} \quad (1)$$

式中: M ——物种丰富度指数; S ——样地内的种数; N ——样地内所有种个体数量之和。下同。

2.2.2 物种均匀度指数 物种均匀度指不同物种多度分布的均匀程度。

$$\text{Pielou 均匀度指数: } J_{sw} = \frac{H'}{\ln S} \quad (2)$$

式中: J_{sw} ——Pielou 均匀度指数; H' ——Shannon—Wiener 多样性指数。下同。

表 1 华北落叶松人工林地概况

海拔/m	坡度/ (°)	坡位值	坡形值	郁闭度	平均 树高/m	平均 胸径/cm	平均活 枝高/m	平均 冠幅/m	草本 种类/种	草本数量/ 株
1 463	30	5	2	0.70	6.46	13.88	1.83	3.10	9	72
1 495	20	1	2	0.60	8.65	17.68	2.69	3.44	14	72
1 620	30	2	2	0.60	5.20	9.73	1.00	3.17	14	84
1 637	23	3	2	0.75	11.75	19.95	3.49	3.91	10	84
1 645	39	2	2	0.50	5.60	11.23	0.92	1.96	8	23
1 672	19	3	3	0.85	11.61	18.42	7.50	3.08	9	104
1 706	30	4	2	0.70	6.86	17.62	1.68	3.09	7	35
1 727	19	2	1	0.60	8.77	12.23	1.47	3.97	11	42
1 769	27	2	3	0.60	5.31	11.73	1.03	1.96	12	67
1 773	23	2	2	0.85	8.46	16.19	3.09	3.43	7	81
1 774	25	2	2	0.70	9.84	16.29	3.18	4.60	13	95
1 804	36	2	2	0.60	7.29	15.04	2.36	2.98	9	46
1 829	24	5	1	0.98	10.74	19.01	4.23	3.70	5	81
1 831	29	3	2	0.90	9.34	13.89	4.21	2.60	10	88
1 987	23	4	1	0.85	10.07	18.48	4.84	3.52	6	28

注:① 坡位值:1 为谷底;2 为沟谷侧坡;3 为侧平坡;4 为山脊侧坡;5 为顶脊。② 坡形值:1 凹;2 平;3 凸。

2.2.3 物种多样性指数

(1) Simpson 多样性指数:

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

式中: D ——Simpson 多样性指数; P_i —— i 物种的相对重要值。下同。

(2) Shannon—Wiener 多样性指数:

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i \quad (4)$$

物种多样性指数即物种信息度指数,它受丰富度和均匀度的共同影响。针对灌木和草本而言可用以下公式计算。

相对重要值(P_i)=(相对密度+相对频度+相对盖度)/3

相对密度=(该种的密度/所有种的密度和)×100%

相对频度=(该种的频度/所有种频度之和)×100%

相对盖度=(该种的盖度/所有种盖度之和)×100%

式中:密度——单位面积内出现的个体数;频度——一个种在所作的全部样方中出现的频率;相对频度——某种在全部样方中的频度与所有种频度和之比;盖度——植物地上部分垂直投影面积占样地面积的百分比,即投影盖度。

利用 Mintab 15.0 软件对数据进行了相关性分析,并利用 Microsoft Excel 2003 软件进行相关的表格和图表制作。

3 结果与分析

3.1 林木生长因子与地形因子关系

利用 Mintab 软件对各标准地内落叶松林树高、胸径、活枝高、冠幅、郁闭度 5 个生长因子与各地形因子海拔、坡度、坡位、坡形进行相关性分析(表 2)。结

果表明,坡度与树高、胸径、活枝下高和冠幅呈显著负相关性,其相关系数值分别为 -0.675 , -0.500 , -0.530 和 -0.589 ,坡度与树高之间相关性达到极显著水平($p < 0.01$),与胸径、活枝高和冠幅达到显著性水平($p < 0.05$);海拔和坡位与林木生长因子之间具有正相关性,但是其相关性并不显著($p > 0.05$),相关系数值在 $0.379 \sim 0.013$;坡形与树木生长因子基本呈负相关性,其相关性并不显著($p > 0.05$),相关系数值在 $-0.517 \sim -0.115$ 。表明在此研究条件下,坡度是制约林木生长的主导因子,其他地形因子对林木生长的影响程度较小,即随坡度的增加,林木各生长因子均呈现递减的趋势。

3.1.1 林木生长因子中树高、胸径随坡度变化规律

由于坡度与华北落叶松林木生长因子中树高、胸径、枝下高以及冠幅之间相关性显著,因此需进一步对不同坡度下林木树高、胸径、枝下高和冠幅的变化规律进行了相关研究。由图 2 可知,树高、胸径、枝下高以及冠幅均随坡度的增加而呈现逐渐降低的趋势,且均呈线性关系,其中树高与坡度之间的拟合系数 R^2 最高,达到 0.456 ,其次是冠幅与坡度之间的拟合系数 R^2 值为 0.473 ,最小的为胸径其 R^2 值为 0.2497 ,由此表明,坡度对华北落叶松林木生长的影响关系显著。王萍等^[13]通过研究发现坡度对土壤中水分及营养物质的分布有显著影响,且土壤中水分含量、营养物质含量与坡度呈负相关性,即在一定坡度范围内土壤中水分和营养物质含量均随坡度的增加呈逐渐降低趋势,而林木的生长又与土壤中水分和营养物质的含量密切相关。此外,在调查过程中发现斜坡上土壤层较薄且石砾含量较多,且土壤结构性较平

坡和缓坡紧,平坡与缓坡处土壤相对湿润。因此本文认为,由于土壤中水分、营养物质含量随坡度的增加而减少,对林木生长产生一定不利因素,从而造成林木树高、胸径、枝下高以及冠幅随坡度的增加呈递减

趋势,这与李晶等^[14]的研究结果相一致。

因此在坡度相对较大的地方栽植一些深根系植物,以达到一定的固土保肥功能,对林木生长能起到一定的促进作用。

表 2 落叶松林木生长与地形因子的相关系数

项目	树高	胸径	活枝高	冠幅	郁闭度	海拔	坡度	坡位
胸径	0.805**							
枝下高	0.835**	0.687**						
冠幅	0.620*	0.507*	0.274*					
郁闭度	-0.028	-0.193	-0.128	-0.183				
海拔	0.292	0.186	0.325	0.079	0.09			
坡度	-0.675**	-0.500*	-0.530*	-0.589*	0.089	-0.055		
坡位	0.235	0.379	0.295	0.081	-0.318	0.142	0.013	
坡形	-0.233	-0.517	0.06	-0.493	-0.115	-0.347	0.131	-0.319

注: **表示 $p < 0.01$, 表示相关性极显著; *表示 $p < 0.05$, 表示相关性显著。

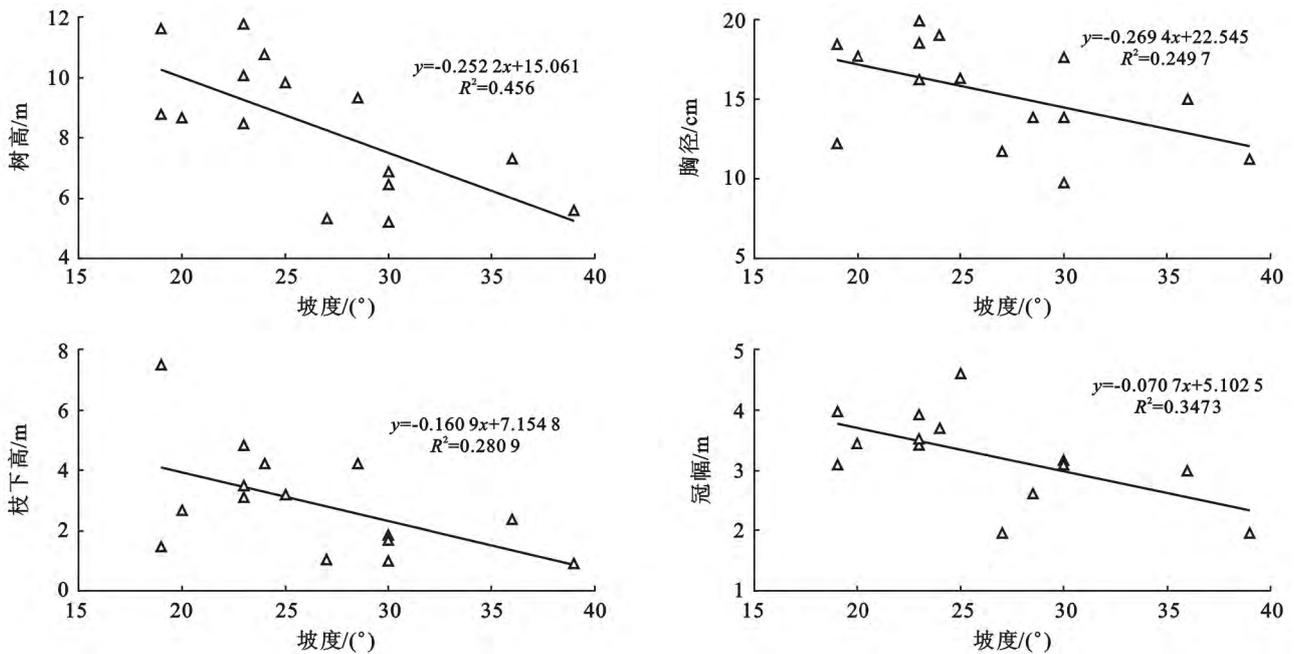


图 1 林木生长因子中树高、胸径、枝下高和冠幅与坡度的关系

3.2 林木生长因子与草本多样性关系

从表 3 可以看出,草本物种丰富度指数与林木生长因子存在显著相关性。树高、胸径、活枝高、郁闭度与物种丰富度指数呈显著负相关性 ($p < 0.05$),且枝下高、郁闭度与物种丰富度指数达到极显著水平 ($p < 0.01$),冠幅与物种丰富度指数呈负相关性 ($p > 0.05$);郁闭度与 Simpson 多样性指数呈极显著负相关性 ($p < 0.01$)。从相关性系数和相关性强度来看,林木生长因子对草本丰富度指数影响程度排序为:郁闭度 (-0.905^{**}) > 枝下高 (-0.644^{**}) > 胸径 (-0.609^*) > 树高 (-0.543^*) > 冠幅 (-0.198)。从总体来看林木生长因子对草本物种多样性指数、物种均匀度指数、Pielou 均匀度指数不存在显著相关

性,表明在此研究条件下,林木生长因子对草本的 3 种多样性指数影响程度较小。表明林冠郁闭度是影响草本丰富度变化的最主要林木因子,而枝下高、胸径、树高对草本多样性的影响程度相对较小,即随林冠郁闭度的增加,草本丰富度指数呈现递减的趋势。

表 3 林木生长因子与草本生物多样性的相关系数

项目	物种丰富度指数	Simpson 多样性指数	Shannon—Wiener 多样性指数	Pielou 均匀度指数
树高	-0.543*	-0.152	0.142	0.280
胸径	-0.609*	-0.122	0.226	0.413
枝下高	-0.644**	-0.288	0.020	0.209
冠幅	-0.198	0.291	0.164	0.221
郁闭度	-0.905**	-0.651**	-0.064	0.309

由图 2 可知,草本物种丰富度指数随林分郁闭度、林木树高、胸径、枝下高的逐渐增加呈现逐渐降低的趋势,草本 Simpson 多样性指数也随林分郁闭度的增加呈下降的趋势(拟合系数 $R^2=0.4230$)。林分郁闭度与草本丰富度指数拟合性最强 R^2 值达 0.8170,其次是枝下高和胸径与物种丰富度指数拟合性, R^2 值分别为 0.4141 和 0.3705,拟合性较弱的是树高与物种丰富度指数,其 R^2 值仅为 0.29。

随着林木树高和胸径不断生长,林木所需的营养物质需求不断增加,并且加剧了与林下植被对光照、水分的竞争,使草本植物在有限的光照环境和水肥条件下处于劣势,部分草本植物因此被淘汰^[10],从而导致草本物种丰富度随着林木树高和胸径的不断增长

呈逐渐下降趋势。而枝下高、郁闭度则主要影响草本层光照强度,随着林木枝下高、郁闭度不断增加,草本层得到的光照强度逐渐减弱,导致草本植物物种丰富度指数逐渐降低^[10,16]。

林木郁闭度越高,林下光照强度逐渐减弱,导致草本植物种中阳性物种和阴性物种(比例较大)分配不均,使得草本植物物种多样性指数随林分郁闭度的增加呈逐渐降低趋势。

因此适时合理的对林分进行抚育间伐及修枝,可以减小林分郁闭度,提高林下植被生长空间,并使其得到相对充足光照强度,有利用林下植被更新以及物种多样性的提高,从而更有效地维持森林群落稳定性。

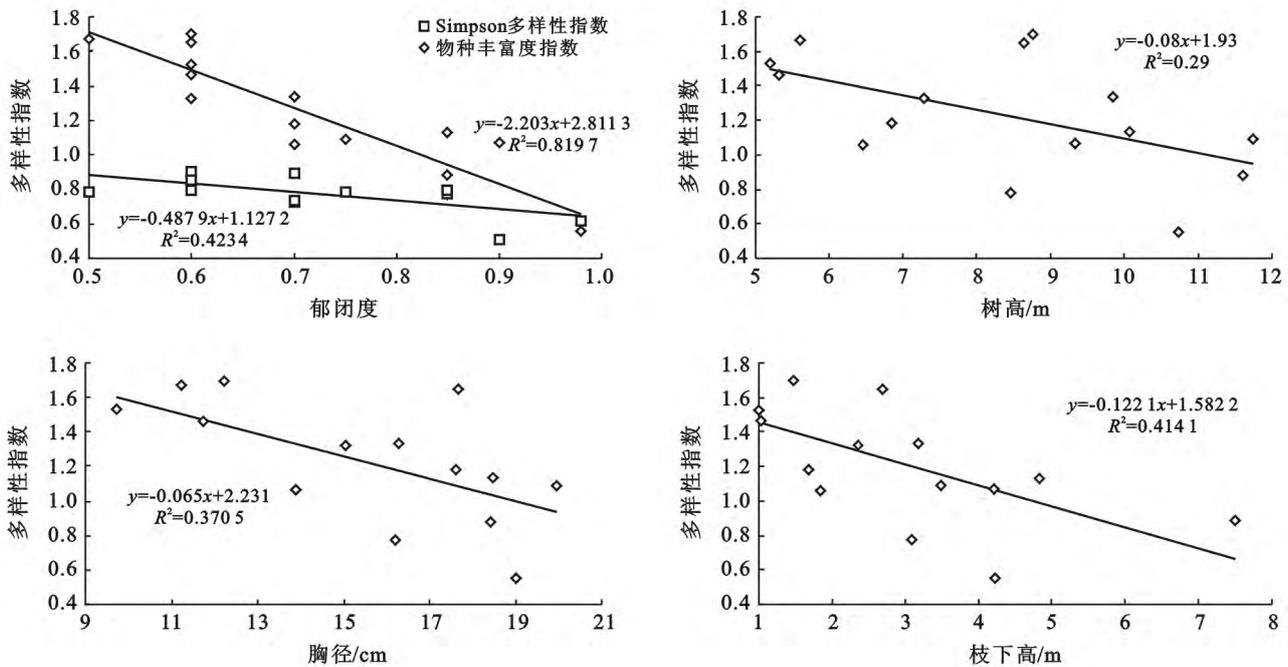


图 2 林木生长因子与草本多样性之间的关系

3.3 草本多样性与地形因子的关系

表 4 显示,草本多样性指数与海拔、坡形、坡度相关系数较小,且相关系数均没有达到显著性水平($p > 0.05$),表明在本研究条件下,海拔、坡形、坡度对华北落叶松林下草本多样性变化影响程度较小,而坡位与草本植物 Menhinick 丰富度指数达到极显著负相关水平($p < 0.01$),与 Simpson 多样性指数达到显著负相关水平($p < 0.05$),但与 Shannon—Wiener 多样性指数呈负相关性($p > 0.05$)和与 Pielou 均匀度指数呈正相关性($p > 0.05$),表明坡位对林下草本多样性指数变化存在一定的影响,尤其是对草本丰富度指数和 Simpson 多样性指数的变化影响程度较高。在此研究条件下对草本多样性变化起主要作用的地形因

子为坡位,即随坡位的增加,草本丰富度指数和 Simpson 多样性指数均呈现逐渐递减的趋势。

表 4 草本植物多样性与地形因子之间的相关系数

地形因子	物种丰富度指数	Simpson 多样性指数	Shannon—Wiener 多样性指数	Pielou 均匀度指数
海拔	-0.309	-0.228	-0.034	0.256
坡位值	-0.673**	-0.600*	-0.021	0.415
坡形值	0.067	0.129	-0.112	-0.383
坡度	0.241	-0.239	-0.021	0.415

3.3.1 草本多样性与海拔的关系 由于海拔是影响区域生境差异主导因子之一,海拔不同导致水热空间分布格局不同,从而对植物群落分布和结构造成一定

影响^[16]。因此本文也对不同海拔梯度下草本多样性的变化进行了相关研究。从图 3 中可以直观地看出,草本植物物种丰富度指数、多样性指数、均匀度指数随海拔高度增加,没有呈现出明显的变化规律,Menhinick 丰富度指数和 Shannon—Wiener 多样性指数则表现出上下波动的变化趋势,其变化范围为分别为 1.70~0.56 和 2.88~1.27;而 Simpson 多样性指数和 Pielou 均匀度指数表现出较为平稳的变化趋势,其变化范围为分别为:0.90~0.51 和 1.79~0.55。而贺金生等^[17]、郝占庆等^[9]通过研究发现,植物群落物种多样性与海拔具有显著相关性,即草本多样性随海拔高度增加呈现出规律性变化,这与本文研究结果不一致。其主要原因是由于本文选取的海拔梯度范围在 1 400~2 000 m 的中海拔地带,水热空间差异性并不显著,从而导致草本多样性变化与海拔高度变化之间的规律性不显著,表明在此研究条件下,海拔并不是影响草本多样性变化的主导因素。因此在研究草本多样性变化与海拔梯度之间的变化之间的规律时,应选择在大尺度的海拔梯度范围下,不能仅局限于一小段海拔梯度范围内,否则会对试验结果产生一定影响。

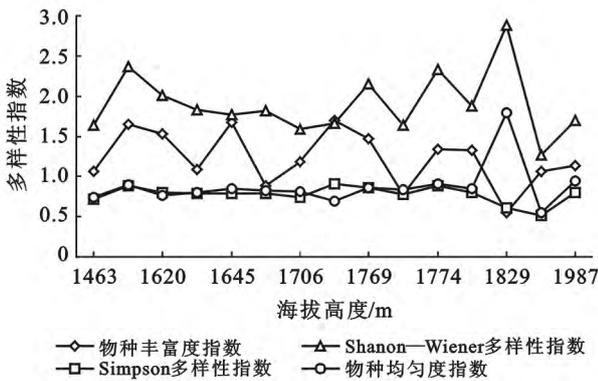


图 3 草本植物多样性指数与海拔高度的关系

3.3.2 草本多样性指数随坡位的变化规律 由图 4 可以看出,草本物种丰富度指数与 Simpson 多样性指数均随坡位值的增加呈现逐渐下降的趋势,其拟合值 R^2 分别为 0.452 4 和 0.359 6。这主要是由于谷底和侧平坡土层较厚、土质疏松,水分和营养物质比较充足^[18],而山脊侧坡和顶脊受外界环境因子影响,土层厚度较薄,养分含量较少,造成土壤贫瘠,因此位于山脊侧坡和顶脊处草本植物多样性较小。而曹云生等^[19]通过研究发现坡向是制约草本植物空间差异的主要因子,二者之间的差异主要是坡向导致光照强度不同,而坡位导致土质差异显著。由于本文主要研究

华北落叶松林下草本多样性变化,而华北落叶松为强阳性树种,因此选取地点时主要选择阳坡和半阳坡,从而忽略了坡向对草本植物影响,因此需进一步研究坡向与草本多样性之间的关系。

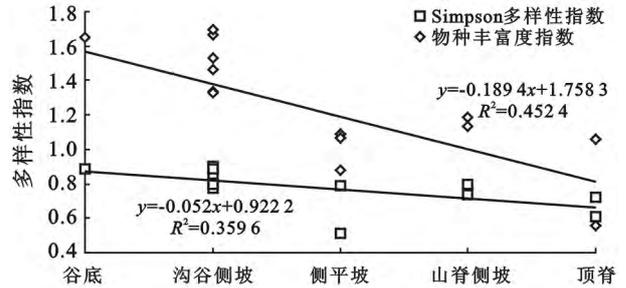


图 4 草本植物多样性指数与坡位值变化之间的关系

4 结论

华北落叶松林木生长因子与地形因子中坡度相关性较强,且呈显著负相关性,与海拔、坡形、坡位相关性不显著;树高、胸径、活枝高、郁闭度主要影响草本植物物种丰富度指数,均呈显著负相关性,且郁闭度影响程度最高,即草本多样性指数随林分郁闭度的增加而减小;4 种草本多样性指数随海拔高度增加,没有呈现出明显的变化规律;海拔、坡形、坡度与草本植物多样性指数相关性不显著,对草本多样性变化影响程度较小,而坡位与草本植物 Menhinick 丰富度指数和 Simpson 多样性指数呈显著负相关性,对草本多样性变化影响程度较高。因此在提高林下草本多样性方面,因适时对林木进行抚育间伐,减少林木与草本植物在光照、水分和营养物质等方面的竞争作用;乔木层下应适当种植灌木,以减少雨水对地面的直接冲刷,减少水土流失,保持土壤养分的充足,这些措施可以适当地提高林下草本植物多样,为林下生物多样性保护和可持续利用提供理论依据。

[参 考 文 献]

[1] 梁芳,郭晋平. 林下植物多样性影响因素研究进展[J]. 山西林业科技,2008(2):33-35.
 [2] 李凯辉,胡玉昆,阿德里,等. 草地植物群落多样性研究进展[J]. 干旱区研究,2005,22(4):581-585.
 [3] 彭少麟. 热带亚热带恢复生态学研究与实践[M]. 北京:科学出版社,2003:167-168.
 [4] 蒋高明. 植物生理生态学[M]. 北京:高等教育出版社,2004:40-41.
 [5] 李春义,马履一,王希群,等. 抚育间伐对北京山区侧柏人工林林下植物多样性的短期影响[J]. 北京林业大学

- 学报,2007,29(3):60-66.
- [6] 郝占庆,郭水良.长白山北坡草本植物分布与环境关系的典范对应分析[J].生态学报,2003,23(10):2001-2008.
- [7] 沈泽昊,方精云,刘增力,等.贡嘎山东坡植被垂直带谱的物种多样性格局分析[J].植物生态学报,2001,25(6):721-732.
- [8] 沈泽昊,刘增力,伍杰.贡嘎山东坡植物区系的垂直分布格局[J].生物多样性,2004,12(1):89-98.
- [9] 郝占庆,郭水良.长白山北坡草本植物分布与环境关系的典范对应分析[J].生态学报,2003,29(10):2000-2008.
- [10] 何芝玲.不同类型毛竹林林下植被的发育状况及其与土壤养分关系的研究[D].浙江 富阳:中国林业科学研究院亚热带林业研究所,2000.
- [11] 方精云,沈泽昊,唐志尧.“中国山地植物物种多样性调查计划”及若干技术规范[J].生物多样性,2004,12(1):5-9.
- [12] 王永繁,余世孝,刘蔚秋.物种多样性指数及其分形分析[J].植物生态学报,2002,26(4):391-395.
- [13] 王萍.马尾松人工林地理化性状及施肥效应的初探[D].福州:福建农林大学,2008.
- [14] 李晶.落叶松人工林生长与立地因子关系的研究[J].林业科技,1991,16(2):8-12.
- [15] 刘金福,洪伟,李俊清,等.格氏栲群落林窗边缘效应研究[J].应用生态学报,2003,14(9):1421-1426.
- [16] 王周平,李旭光,石胜友,等.缙云山森林林隙与非林隙物种多样性比较研究[J].应用生态学报,2003,14(1):7-10.
- [17] 贺金生,陈伟烈.陆地植物群落物种多样性的梯度变化特征[J].生态学报,1997,17(1):91-99.
- [18] 李晶.落叶松人工林生长与立地因子关系的研究[J].林业科技,1991,2(16):7-10.
- [19] 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.

(上接第 59 页)

- [7] 王圣瑞,高炳德,焦燕,等.地膜覆盖及地膜氮肥交互作用对旱地春玉米土壤速效氮含量的影响[J].华北农学报,2001,16(专辑):38-43.
- [8] 梁东超,李文刚,巩秀峰.覆膜对马铃薯种薯生产的影响[J].内蒙古农业科技,1998(S):67-68.
- [9] 吴艳倩,徐建飞,马丽娜.马铃薯抗低温糖化育种研究进展[J].中国马铃薯,2012,26(2):108-115.
- [10] 贾晶霞,杨德秋,李建东,等.中国与世界马铃薯生产概况对比分析与研究[J].农业工程,2011,1(2):84-86.
- [11] 郝玉梅.旱作马铃薯微垄覆膜集雨沟播栽培技术[J].农业科技与信息,2006(9):4-5.
- [12] 王桂清,王利凤,赵方昉,等.旱地覆膜马铃薯效应试验研究[J].内蒙古农业科技,2000(S):10-11.
- [13] 郑有才,杨祁峰.不同覆盖模式对旱作马铃薯生育期及土壤含水量的影响[J].安徽农业科学,2008,36(20):8462-846.
- [14] 曹晋军,刘永忠,李万星,等.不同覆盖方式对土壤水热状况和玉米水分利用效率的影响[J].中国农学通报,2013,29(33):107-111.
- [15] 李荣,王敏,贾志宽,等.渭北旱塬区不同沟垄覆盖模式对春玉米土壤温度、水分及产量的影响[J].农业工程学报,2012,28(2):106-117.
- [16] 汤瑛芳,高世铭,王亚红,等.旱地马铃薯不同覆盖种植方式的土壤水热效应及其对产量的影响[J].干旱地区农业研究,2013,31(1):1-8.
- [17] 范士杰,王蒂,张俊莲,等.不同栽培方式对马铃薯田间土壤温湿度及产量的影响[J].农业工程学报,2011,27(11):218-221.
- [18] 张杰,任小龙,罗诗峰,等.环保地膜覆盖对土壤水分及玉米产量的影响[J].农业工程学报,2010,26(6):14-19.
- [19] 杨青华,韩锦峰,贺德先,等.液体地膜覆盖保水效应研究[J].水土保持学报,2004,18(4):29-32.
- [20] 杨青华,韩锦峰,贺德先,等.液体地膜覆盖棉花高产机理研究[J].中国农业科学,2008,41(8):2520-2527.