

DOI: 10.13332/j.1000-1522.20170067

山西华北落叶松群落物种多样性

赵天梁

(山西省林业调查规划院)

摘要:本文以华北落叶松群落为研究对象,在山西境内共调查了40个典型样地,应用数量生态学的相关计算方法对华北落叶松群落进行了TWINSPAN分类,依据不同的指示种将40个典型样地划分成为10个群丛。通过运用Patrick物种丰富度指数(R)、Simpson指数(D)、Shannon-Wiener指数(H')和Pielou均匀度指数(E)分别研究了山西华北落叶松群落的物种多样性。由于群落 H' 指数受到 R 指数和 E 指数共同影响,因此 H' 指数含有较多群落组成结构、分布状况的信息, H' 指数的结果表明:10个群丛物种的多样性指数顺序为群丛2>群丛1>群丛3>群丛9>群丛4>群丛5>群丛10>群丛6>群丛7>群丛8。10个群丛的物种多样性指数均较高,且存在较大差异,表明了山西华北落叶松群落的结构复杂,组织水平高,生长环境适宜。3个层片的多样性指数总体上呈现出草本层>灌木层>乔木层,说明草本层的物种最为丰富,对于群落总体多样性的贡献最为突出。各多样性指数的方差分析结果表明,10个群丛的指数 R 差异显著($P < 0.05$), H' 差异极显著($P < 0.01$),而 D 和 E 两者的差异性并不显著($P > 0.05$)。

关键词:山西; 华北落叶松; 物种多样性

中图分类号:S718.5 文献标志码:A 文章编号:1000-1522(2017)06-0045-06

ZHAO Tian-liang. **Species diversity of *Larix principis-rupprechtii* communities in Shanxi Province of northern China.** *Journal of Beijing Forestry University* (2017) **39** (6) 45–50 [Ch, 20 ref.] Shanxi Forestry Survey and Planning Institute, Taiyuan, Shanxi, 030012, P. R. China.

In order to explore the species diversity of *Larix principis-rupprechtii* forests in Shanxi Province of northern China, 40 typical sample plots of *Larix principis-rupprechtii* forests were investigated from the field. Based on the result of TWINSPAN classification, the communities were classified into 10 associations. The species diversity of *Larix principis-rupprechtii* communities in Shanxi was studied by species richness index (R), Simpson index (D), Shannon-Wiener index (H') and Pielou evenness index (E). Through this study, it is hopeful to provide scientific basis for protection and rational exploitation of *Larix principis-rupprechtii* communities. Community H' index was affected by R and E indexes together, containing more information about community composition structure and distribution condition. The results indicated that the rank of species richness index for ten associations was association 2 > association 1 > association 3 > association 9 > association 4 > association 5 > association 10 > association 6 > association 7 > association 8. All *Larix principis-rupprechtii* associations had higher species diversity index, and it had big difference in the different associations. It showed that the *Larix principis-rupprechtii* communities had more complex structure, higher organization level and appropriate growth environment. The biodiversity index was the highest in herb layer, followed by the shrub layer and the forest layer, which suggested that the herb layer contributed to the overall community richness mostly. The results of one-way ANOVA for those indices among 10 associations showed that R had a significant difference ($P < 0.05$), and H' had extremely significant difference ($P < 0.01$), while the difference between D and E was not significant ($P > 0.05$).

Key words Shanxi Province; *Larix principis-rupprechtii*; species diversity

收稿日期: 2017-03-10 修回日期: 2017-04-12

基金项目: 山西省自然科学基金项目(2013011037-1)、科技部科技基础性工作专项(2011FY110300)。

第一作者: 赵天梁,高级工程师。主要研究方向:森林生态系统保护与管理。Email:zhaotianliangk@163.com 地址:030012 山西省太原市新建南路105号山西省林业调查规划院。

本刊网址: <http://j.bjfu.edu.cn>; <http://journal.bjfu.edu.cn>

华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)是华北高、中山独有的抗寒冷速生树种^[1]，自然分布山西、河北。华北落叶松易成活、抗寒冷、树型通直、圆满、高大、材积大，适宜在高寒冷、高海拔区域生长，可用于高寒山区森林培育和无立木林地，宜林地造林树种^[2]，并且具有调整森林结构、增加碳汇储备、影响气候变化、改善生态环境、提供森林抗氧的功能，是天然生态防护林，有良好的生态效益和社会效益。

生物多样性揭示物种、群落以及环境因子三者之间的关系^[3]，群落物种多样性研究则可以更清晰的认识群落物种数目、结构类型、组织水平、稳定程度以及发展趋势，从而反映了当地生态环境现状^[4]。物种多样性分布差异受海拔因子、温度因子、降水因子等环境因子的影响，它与环境因子间的关系是多样性研究的主要课题^[5]。结合区域群落特征，选用 Patrick 指数、Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数以及 Pielou 指数对山西华北落叶松群落物种多样性进行了研究^[6]，旨在探讨华北落叶松群落中物种多样性变化规律以及群落组成特征^[7]，并为华北落叶松林的培育研究提供依据。

1 研究区概况

山西省位于黄土高原东部，总面积 15.6 万 km^2 。山西地势西南低东北高，山地、丘陵分布广泛，属于温带半干旱大陆性季风气候。研究区内年平均日照时数 2 755 h，年太阳辐射能 120 ~ 125 kJ/m^2 ，年平均无霜期 170 d，年平均温 9.6 °C。年均降水量 500 mm，6—8 月份降水量占全年 65% 左右。

在山西，华北落叶松群落主要分布在大同市境内的恒山自然保护区；忻州市境内的管涔山森林经营局和五台山森林经营局；晋中市境内的太行山森林经营局；吕梁市、太原市境内的关帝山森林经营局；朔州市境内右玉县的地方国营林场；阳泉市境内盂县的地方国营林场等。本次野外调查中山西华北落叶松群落分布的地理位置是 36°49' ~ 39°05' N，111°26' ~ 113°41' E，海拔范围是 1 135 ~ 2 680 m。

2 研究方法

2.1 野外调查

按照华北地区自然植物群落资源综合考察的方法与技术规范，在山西全省范围内选取华北落叶松林扩展的地带，依据典型抽样法调查了 40 个样地。参照方精云等^[8]方法进行具体调查，典型样地设置为 30 m × 20 m。在 6 个 10 m × 10 m 的样方中，对乔木层植物进行高度、盖度、胸径等相关测量并记录信息；然后在对角的 2 个样方中，对灌木层植物进行平

均高度、盖度等相关测量并记录信息；最后在每个样方中设立 1 个 1 m × 1 m 的小样方，对草本植物进行平均高度、盖度等相关测量并记录信息。记录的环境信息包括海拔、经度、纬度、坡向、坡度、坡位以及人为干扰情况等^[9]。

2.2 数据处理

对调查数据进行汇总，删除在群落中频度小于 8% 的偶见种，还剩 63 种优势种，本文运用重要值(IV)对数据进行分析^[10]，公式如下：

$$\text{IV}_{\text{乔}} = (\text{相对高度} + \text{相对胸径} + \text{相对盖度})/3 \quad (1)$$

$$\text{IV}_{\text{灌}} = (\text{相对盖度} + \text{相对高度})/2 \quad (2)$$

$$\text{IV}_{\text{草}} = (\text{相对盖度} + \text{相对高度})/2 \quad (3)$$

2.3 群落分类

以重要值数据为基础，采用 TWINSPAN 分类分析，对山西华北落叶松群落的 40 个样方进行数量分类。

2.4 多样性指数计算

用重要值作为数量指标，选取下列多样性指数对山西华北落叶松群落进行物种多样性分析。

1) 丰富度指数

$$\text{Patrick 指数: } R = S \quad (4)$$

2) 多样性指数

$$\text{Simpson 指数: } D = \sum_{i=1}^n p_i^2 \quad (5)$$

$$\text{Shannon-Wiener 指数 } H' = - \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i \quad (6)$$

3) 均匀度指数

$$\text{Pielou 指数: } E = H'/\ln S \quad (7)$$

式中：S 是一个样地内的种数， p_i 是样地内第 i 个种重要值占所有种重要值的比例，n 是总样地数^[11]。

依据群落分类结果，计算华北落叶松群落每个样地的多样性指数，并计算每个群丛多样性指数的平均值以及标准误。

3 结果与分析

3.1 山西华北落叶松群落分类结果

在 TWINSPAN 分类的基础上，依据《中国植被》的分类原则和方法^[12]，把山西华北落叶松群落的 40 个样地划分为 10 个群丛：1. 华北落叶松—三裂绣线菊—披针薹草群丛 (Ass. *Larix principis-rupprechtii-Spiraea trilobata-Carex lancifolia*)；2. 华北落叶松—金银忍冬—披针薹草群丛 (Ass. *Larix principis-rupprechtii-Lonicera maackii-Carex lancifolia*)；3. 华北落叶松—土庄绣线菊—披针薹草群丛 (Ass. *Larix principis-rupprechtii-Spiraea pubescens-Carex lancifolia*)；4. 华北落叶松—小卫矛—糙苏群丛 (Ass. *Larix*

principis-rupprechtii—*Euonymus nanoides*—*Phlomis umbrosa*)。5. 华北落叶松—土庄绣线菊—林地早熟禾群丛 (Ass. *Larix principis-rupprechtii*—*Spiraea pubescens*—*Poa nemoralis*) ; 6. 华北落叶松—刚毛忍冬—东方草莓群丛 (Ass. *Larix principis-rupprechtii*—*Lonicera hispida*—*Fragaria orientalis*) ; 7. 华北落叶松—东北茶藨子—披针薹草群丛 (Ass. *Larix principis-rupprechtii*—*Ribes mandshuricum*—*Carex lancifolia*) ; 8. 华北落叶松—披针薹草群丛 (Ass. *Larix principis-rupprechtii*—*Carex lancifolia*) ; 9. 华北落叶松—刚毛忍冬—北柴胡群丛 (Ass. *Larix principis-rupprechtii*—*Lonicera hispida*—*Bupleurum chinense*) 和 10. 华北落叶松—银露梅—东方草莓群丛 (Ass. *Larix principis-rupprechtii*—*Potentilla glabra*—*Fragaria orientalis*)。

3.2 多样性指数与群丛类型的关系

从图 1 中可以看出 10 个群丛的物种分布与组成结构差异明显^[13]。Patrick 丰富度指数 R 与其样方中所含种数呈现正相关, 和个体在群落中的空间分布没有明显关系。图 1a 显示 10 个群丛平均 R 的变化范围是 9.6 ~ 32, 其中群丛 8 ($R = 9.6$) 丰富度指数最低是华北落叶松—披针薹草群丛。乔木层优势种是华北落叶松盖度为 55%, 伴生种是青扦 (*Picea wilsonii*) 与红桦 (*Betula albosinensis*) 盖度均 <5%; 无灌木层; 草本层优势种是披针薹草盖度为 35%, 伴生种是林地早熟禾、歪头菜 (*Vicia unijuga*)、老鹳草 (*Geranium wilfordii*) 以及瓣蕊唐松草 (*Thalictrum petaloideum*) 等盖度均 <5%。该群丛海拔较高, 坡度较陡, 温度条件较差, 土壤较为贫瘠, 物种类较少, 因此丰富度指数 R 较小。群丛 10 ($R = 32$) 丰富度指数最高是华北落叶松—银露梅—东方草莓群丛。乔木层优势种是华北落叶松盖度为 80%, 伴生种是白扦 (*Picea meyeri*) 盖度 <5%; 灌木层优势种是银露梅盖度 20%; 草本层优势种是东方草莓盖度为 35%, 伴生种是披针薹草、珠芽蓼 (*Polygonum viviparum*)、翠雀 (*Delphinium grandiflorum*)、小红菊 (*Dendranthema chanetii*)、花锚 (*Halenia corniculata*)、车前 (*Plantago asiatica*) 以及蒲公英 (*Taraxacum mongolicum*) 等盖度皆 <5%。该群丛位于云顶山自然保护区, 人为干扰较少, 海拔 2 088 m, 坡向 273°, 坡度 10°, 坡位处于上部, 海拔适中, 坡度较缓, 光照条件良好, 物种类较多, 因此丰富度指数 R 就大。

图 1b、1c 中 10 个群丛的 Simpson 指数 D 值平均为 0.138 ~ 0.320, Shanon-Wiener 指数 H' 值为 1.471 ~

2.367。 D 与 H' 显示的变化规律相反。例如群丛 2 为华北落叶松—金银忍冬—披针薹草群丛, 乔木层优势种华北落叶松盖度 55%, 伴生种白桦 (*Betula platyphylla*) 盖度为 25%; 灌木层优势种是金银忍冬盖度 20%, 伴生种土庄绣线菊盖度 <5%; 草本层优势种是披针薹草盖度为 25%, 伴生种是瓣蕊唐松草、山尖子 (*Parasenecio hastatus*)、山马兰 (*Kalimeris lautureana*)、舞鹤草 (*Maianthemum bifolium*) 以及风毛菊 (*Saussurea japonica*) 等盖度皆 <5%。其 D 在 10 个群丛中最低, 但 H' 指数在 10 个群丛中却最高, D 指数与 H' 指数成反比。

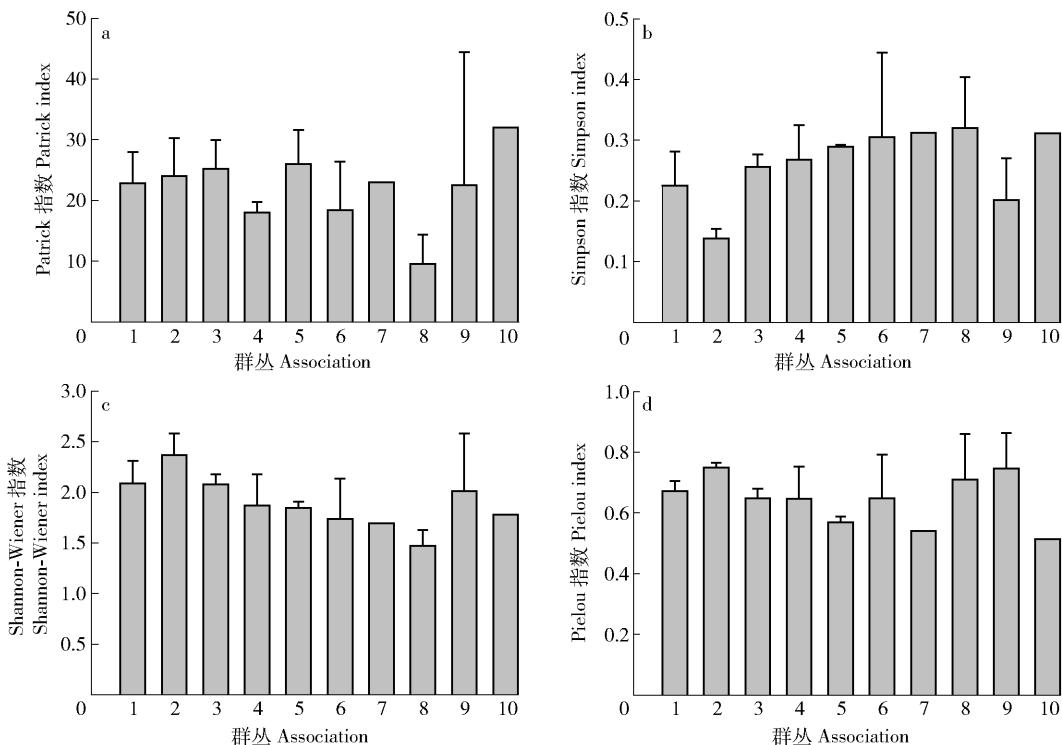
H' 受到 R 和 Pielou 均匀度指数 E 的共同影响, 因此 H' 含有较多群落组成结构信息。例如, 群丛 1 的平均丰富度指数 ($R = 22.8$) 小于群丛 3 ($R = 25.182$), 但是群丛 1 的平均均匀度指数 ($E = 0.672$) 大于群丛 3 ($E = 0.647$), 最终群丛 1 的平均多样性指数 ($H' = 2.088$) 与群丛 3 ($H' = 2.079$) 非常相近。由于 H' 指数能够更好的反映群落总体多样性, 所以从图 1c 中显示出物种多样性顺序为: 群丛 2 > 群丛 1 > 群丛 3 > 群丛 9 > 群丛 4 > 群丛 5 > 群丛 10 > 群丛 6 > 群丛 7 > 群丛 8。

均匀度指数显示了物种在群落中的分布情况, 与群落中各物种分布均匀程度为正相关。山西华北落叶松群落 10 个群丛 Pielou 均匀度指数 E 值平均为 0.513 ~ 0.749 (图 1d)。种数和各个种在群落中的分布情况共同影响了群落的总体多样性^[14], 物种多样性指数能够更全面地反映物种在群落中的地位。这表明丰富度指数与均匀度指数共同决定了物种多样性指数^[15]。

3.3 多样性指数与群落结构的关系

植物群落组成结构揭示了种间、种与环境的相互关系, 同时也体现了群落的动态变化与演替特征。山西华北落叶松群落在垂直结构上可以划分为 3 个层片: 乔木层、灌木层及草本层。通过对 3 个层片的物种多样性进行分析, 可以揭示森林群落的空间分布状况以及不同层片对于山西华北落叶松群落总体多样性的贡献大小。

图 2 是山西华北落叶松群落 10 个群丛各个层片的物种多样性。由图 2a 可知: 10 个群丛的草本层丰富度指数最大, 灌木层丰富度指数多数大于乔木层, 只有群丛 8 和群丛 10 的灌木层丰富度指数低于乔木层。图 2a、2c 的 R 和 H' 变化趋势相似, 但是图 2a 群丛 2 的丰富度指数显示草本层 > 灌木层 > 乔木层, 而图 2c 群丛 2 的多样性指数显示乔木层 > 草本层 > 灌木层, 这是因为乔木层华北落叶松的重要值比灌木层和草本层中其他物种的重要值大; 所



同列不同字母表示群丛多样性在 $P < 0.05$ 水平差异显著。Different letters in the same column mean significant difference among associations at $P < 0.05$ level.

图1 山西华北落叶松群落10个群丛的物种多样性指数

Fig. 1 Species diversity index of 10 associations of *Larix principis-rupprechtii* communities in Shanxi Province

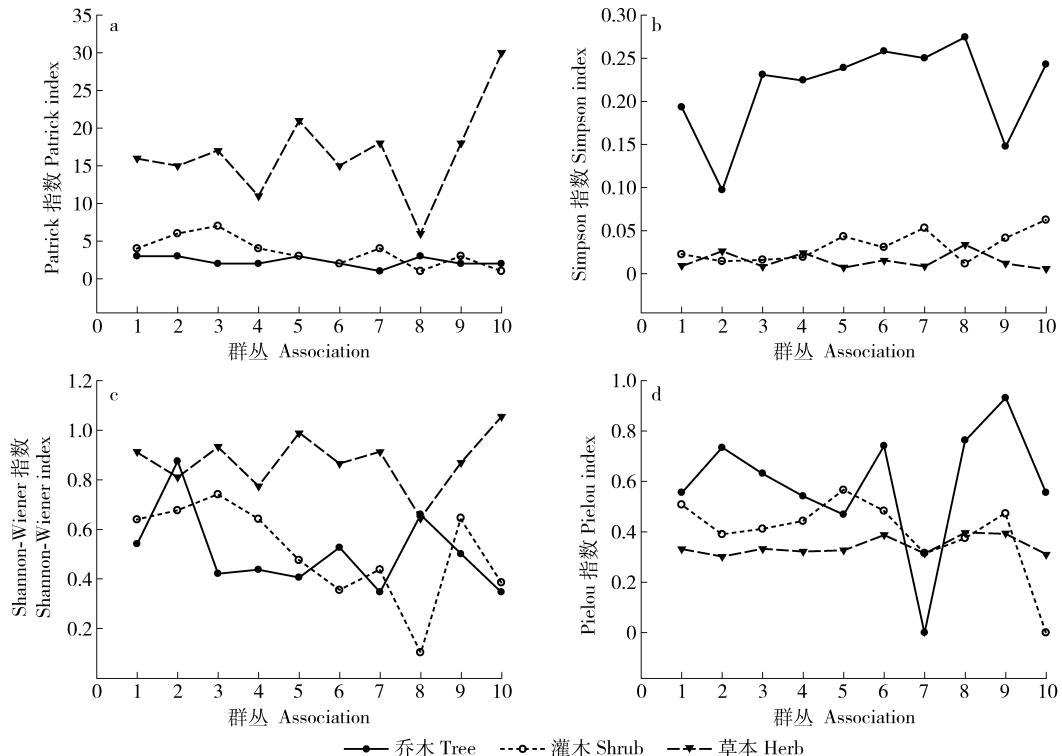


图2 山西华北落叶松群落10个群丛乔木层、灌木层和草本层多样性指数

Fig. 2 Species diversity indices of the tree, shrub and herb layers of the 10 associations of *Larix principis-rupprechtii* communities in Shanxi Province

以物种总体多样性不仅取决于物种数量,也与物种在群落中的重要值有关^[16]。图2b与图2c的变化趋势相反,但在群丛中显示出的总体变化趋势相同,

即草本层>灌木层>乔木层。

图2d的结果表明:山西华北落叶松群落10个群丛各个层片的均匀度指数E规律不明显。群丛7

的乔木层 $E = 0$, 是因为该群丛仅包含 1 个样方, 且乔木层仅有华北落叶松 1 种。群丛 10 与群丛 7 类似, 只包含 1 个样方, 灌木层仅有 1 种灌木, 因此灌木层均匀度 $E = 0$ 。相比较而言, 大多数群丛的乔木层和灌木层均匀度大于草本层, 这是由于草本层中

的优势种占据主导地位, 与伴生种数量有较大差异, 物种分布不均匀。

3.4 多样性指数之间的关系

对山西省华北落叶松群落 10 个群丛的多样性指数进行了方差分析, 结果见表 1。

表 1 山西华北落叶松群落物种多样性指数方差分析结果

Tab. 1 ANOVA for the species diversity indices of *Larix principis-rupprechtii* communities in Shanxi Province

多样性指数 Diversity index	组间平方和 Square sum among classes (SSa)	组间 df df among classes	组内平方和 Square sum within class (SSe)	组内 df df within class	组间均方和 Mean square sum among classes (MSa)	组内均方和 Mean square sum within class (MSe)	F	P
<i>R</i>	1 011. 860	7	1 407. 851	30	144. 551	46. 928	3. 080	0. 014
<i>D</i>	0. 091	7	0. 174	30	0. 013	0. 006	2. 257	0. 057
<i>H'</i>	2. 288	7	1. 945	30	0. 327	0. 065	5. 043	0. 001
<i>E</i>	0. 069	7	0. 267	30	0. 010	0. 009	1. 111	0. 382

从表 1 可以看出: 山西华北落叶松群落 10 个群丛的 *R* 差异显著 ($P < 0.05$), 而 *H'* 差异极显著 ($P < 0.01$); *D* 和 *E* 差异皆不显著 ($P > 0.05$), 表明 10 个群丛间的物种丰富度以及多样性存在明显变化。这是由于野外调查区域较广, 环境因子的梯度变化较大, 生境异质性明显。例如, 群丛 1 和群丛 10 分别位于芦芽山自然保护区和云顶山自然保护区, 保护状况均良好, 人为干扰轻微, 但由于各类环境因子都存在差别, 物种的丰富度、均匀度不同, 因此群落类型以及组成结构的差异性明显, 多样性指数的变化较大。

4 讨论与结论

群落的结构类型和组织水平与物种多样性指数有着紧密的关系, 群落组成结构越复杂, 物种越丰富, 其多样性指数就越高^[14]。华北落叶松群落物种多样性指数受物种均匀度与丰富度共同作用, 所以能引起物种均匀度与丰富度变化的因子都能影响多样性指数的变化。同时, 由于宏观地形因子和微观地形因子的异质性导致水分、光照、温度、湿度以及土壤厚度等环境出现差异和群落间生境的分化, 这些因素联合起来促使群落物种多样性指数出现明显的波动。图 1 显示, 群丛 2 的多样性指数 ($H' = 2.367$) 在 10 个群丛中最高, 并且丰富度指数 ($R = 24$) 和均匀度指数 ($E = 0.749$) 均较高。该群丛位于灵石县马和乡和交城庞泉沟自然保护区八道沟, 人为干扰相对较少, 海拔 1 875 ~ 2 150 m, 坡向 33° ~ 137°, 坡度 5° ~ 15°, 坡位属于中上部与上部, 海拔较高, 坡度较缓, 林间隙较大, 物种种类较多。这与石慧等^[17]的研究和陈东莉等^[18]的研究结果类似, 说明该群丛的生境良好, 位置较为偏僻, 受到人类活动的干扰较少, 群落物种丰富且分布较为均匀, 所以物种多样性较高。此外, 这得益于 2000 年以后的退耕

还林政策实施以及山西省生态文明建设对加强自然保护区管理措施的全面落实, 全面加强了对华北落叶松林的保护与科学管理。

通过不同层片的多样性指数比较, 可以看出山西华北落叶松群落的组成结构特点。由图 2 可知, 群落丰富度指数草本层 > 灌木层 > 乔木层, 这与该群丛为人工林有关, 乔木层种数目与数量均低, 导致其多样性指数较低; 此外, 由于林分密度较大, 林下光照条件较差, 仅适于耐荫的草本植物生长和发育, 因此, 草本层种数较为丰富, 对群落多样性贡献较大。这与马克平等人^[5]的研究和李旭华等人^[14]的研究所表现出的草本层 > 灌木层 > 乔木层的特点相似, 但与伊文珂等人^[19]的研究显示出的灌木层 > 草本层 > 乔木层的结论不同, 与王俊玲等人^[20]的研究中草本层物种逐渐减少退出群落特点截然不同。草本层均匀度普遍低于灌木层和乔木层, 主要由于草本层中优势种盖度远高于其他伴生种, 具有明显优势, 种间盖度差异较大, 因此草本层均匀度指数较低。如群丛 1 草本层物种丰富, 优势种披针薹草盖度达 50%, 伴生种为小红菊和地榆 (*Sanguisorba officinalis*) 盖度为 5%, 还有龙芽草 (*Agrimonia pilosa*)、茜草 (*Rubia cordifolia*)、宽叶薹草 (*Carex siderosticta*)、北方拉拉藤 (*Galium boreale*)、瓣蕊唐松草等盖度皆小于 5%。

由于对华北落叶松群落的野外调查区域范围较广, 经度与纬度相差较大, 海拔 1 135 m 的较低沟谷到海拔 2 680 m 的山区均有分布; 而且坡度、坡向、坡位、土壤类型以及人类活动干扰影响程度等差异较大, 生境异质性明显, 导致群落组成结构出现明显的分化, 进而物种分布不均匀, 多样性指数变化较大, 所以 *H'* 指数表现出极显著差异 ($P = 0.001$)。

由于华北落叶松有良好的生态效益和经济效

益,同时在高海拔山区较其他树种有明显优势,应当加大对华北落叶松群落的保护以及合理开发利用。除了本文所研究的物种多样性,仍有许多领域有待深入开展研究,如华北落叶松群落碳密度的研究、功能多样性研究、谱系多样性研究等。

参 考 文 献

- [1] 李文荣,齐力旺.山西华北落叶松天然林的地理分布和种群变异规律的研究[J].林业科学,1992,6(12):493-501.
LI W R, QI L W. A study on geographic distribution and population variation law of *Larix principis-rupprechtii* Mayr natural forest in Shanxi [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 1992, 6 (12) : 493-501.
- [2] 赵匡记,王利东,王立军,等.华北落叶松蓄积量及生产力研究[J].北京林业大学学报,2015,37(2):24-31.
ZHAO K J, WANG L D, WANG L J, et al. Stock volume and productivity of *Larix principis-rupprechtii* in northern and northwestern China [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2015,37(2):24-31.
- [3] TOMMASO J, MARTA C. Going beyond taxonomic diversity: deconstructing biodiversity pattern reveals the true cost of ice plant invasion[J]. *Diversity and Distributions*, 2013,19:1566-1577.
- [4] 黄忠良,孔国辉,何道泉.鼎湖山植物群落多样性的研究[J].生态学报,2000,20(2):193-198.
HUANG Z L, KONG G H, HE D Q. Plant community diversity in Dinghushan Nature Reserve[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2000,20 (2):193-198.
- [5] 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[J].生态学报,1995,15(3):268-277.
MA K P, HUANG J H, YU S L, et al. Plant community diversity in Donglingshan Mountain, Beijing, China [J] *Acta Ecologica Sinica*, 1995,15(3) : 268-277.
- [6] HARTNETT D C, WILSON W T. Mycorrhizae influence plant community structure and diversity in tallgrass prairie[J]. *Ecology*, 1999,80: 1187-1195.
- [7] 李旭华.晋南地区植被与环境关系分析[D].太原:山西大学,2014.
LI X H. Analysis on the relationship between vegetation and environment in Southern Shanxi [D]. Taiyuan: Shanxi University, 2014.
- [8] 方精云,王襄平,沈泽昊,等.植物群落清查的主要内容、方法和技术规范[J].生物多样性,2009,17(6): 533-548.
FANG J Y, WANG X P, SHEN Z H, et al. Methods and protocols for plant community inventory [J]. *Biodiversity Science*, 2009, 17 (6):533-548.
- [9] 赵小娜,秦娟娟,董刚,等.庞泉沟自然保护区植物群落分类学多样性[J].应用生态学报,2014,25(12):3437-3442.
ZHAO X N, QIN X J, DONG G, et al. Taxonomic diversity of the plant communities in Pangquangou Nature Reserve, Shanxi Province, China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2014, 25(12):3437-3442.
- [10] 张金屯.数量生态学[M].北京:科学出版社,2004.
ZHANG J T. Quantitative ecology [M]. Beijing: Science Press, 2004.
- [11] 马克平.生物多样性的测度方法: α 多样性的测度方法(上)[J].生物多样性,1994,2(3): 162-168.
- MA K P. Biological diversity measure: α diversity measure method [J]. *Biodiversity Science*, 1994,2(3) :162-168.
- [12] 吴征镒.中国植被[M].北京:科学出版社,1995.
WU Z Y. Chinese vegetation [M]. Beijing: Science Press, 1995.
- [13] 张峰,张金屯,上官铁梁.历山自然保护区猪尾沟森林群落植物多样性研究[J].植物生态学报,2002,26(增刊): 46-51.
ZHANG F, ZHANG J T, SHANGGUAN T L. Plant diversity of forest community in Zhuweigou of Lishan Mountain Nature Reserve [J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2002, 26 (Suppl.) : 46-51.
- [14] 李旭华,邓永利,张峰,等.山西庞泉沟自然保护区森林群落物种多样性[J].生态学杂志,2013,32(7):1667-1673.
LI X H, DENG Y L, ZHANG F, et al. Species diversity of forest communities in Pangquangou Nature Reserve, Shanxi of China [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2013,32(7):1667-1673.
- [15] 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,2015,32(2):151-157.
GUO H, ZHANG G P, TIE J, et al. Analysis of species diversity of *Pinus tabulaeformis* forest community in southern Taihang Mountains[J]. *Plant Science Journal*, 2015,32(2):151-157.
- [16] 张丽,廉凯敏,赵璐璐,等.太宽河自然保护区栓皮栎群落物种多样性研究[J].山西大学学报(自然科学版),2010,33(2): 296-301.
ZHANG L, LIAN K M, ZHAO L L, et al. Species diversity of *Quercus variabilis* communities in Taikanhe Nature Reserve, Shanxi [J], *Journal of Shanxi University (Natural Science Edition)*, 2010,33(2):296-301.
- [17] 石慧,王孝安,郭华.秦岭华北落叶松人工林群落结构及物种多样性[J].安徽农学通报,2008,14(15):159-204.
SHI H, WANG X A, GUO H. Community structure and species diversity of *Larix principis-rupprechtii* plantation in Qinling Mountains [J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2008, 14 (15) :159-204.
- [18] 陈东莉,郭晋平,杜宁宁.间伐强度对华北落叶松林下生物多样性的影响[J].东北林业大学学报,2011,39(4):37-38.
CHEN D L, GUO J P, DU N N. Effect of thinning intensity on biodiversity of undergrowth vegetation in a *Larix principis-rupprechtii* plantation [J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2011,39(4):37-38.
- [19] 尹文珂,胡理乐,卢希,等.秦岭中段油松天然次生林群落物种多样性研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2016,33(5):55-63.
YIN W K, HU L L, LU X, et al. Species diversity of *Pinus tabuliformis* natural secondary forest in Qinling Mountains [J]. *Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition)*, 2016,33(5):55-63.
- [20] 王俊玲,金红喜,杨占彪,等.六盘山华北落叶松人工林多样性、生产力研究[J].兰州大学学报(自然科学版),2008,44 (1):31-35.
WANG J L, JIN H X, YANG Z B, et al. Species diversity and productivity of *Larix principis-rupprechtii* plantation woods in Liupan Mountains [J]. *Journal of Lanzhou University (Natural Science Edition)*, 2008,44(1):31-35.

(责任编辑 赵 勃
责任编委 贾润国)