

徐满厚,马 丽,白皓宇,等. 山西吕梁山植被群落多样性的垂直空间分异[J]. 江苏农业科学,2017,45(12):256-260.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.12.064

山西吕梁山植被群落多样性的垂直空间分异

徐满厚,马 丽,白皓宇,冀 钦,李晓丽

(太原师范学院地理科学学院,山西晋中 030619)

摘要:以山西省吕梁山脉北段管涔山、中段关帝山、南段五鹿山为研究区,在垂直方向上分不同海拔梯度进行植被群落多样性特征(包括乔木基径、高度以及灌草物种多样性)调查,探讨吕梁山植被群落多样性的海拔梯度格局。结果表明,乔木的基径与高度符合等速生长模型(幂指数平均为 1.079, $P < 0.01$),且基径与高度随海拔升高均显著增大($P < 0.05$),但常绿乔木变化较为平缓且不显著($P > 0.05$),落叶乔木呈显著增大趋势($P < 0.05$)。灌草物种多样性指数随海拔升高表现为偏低单峰变化曲线,灌木峰值出现在 1 586 m 处,草本峰值出现在 1 800 m 处;灌木 Simpson 指数和 Shannon-Wiener 指数随海拔升高显著降低($P < 0.05$),草本各物种多样性指数与海拔梯度关系均未达到显著水平($P > 0.05$)。因此,海拔梯度导致的环境差异对吕梁山植物群落多样性的垂直空间分异产生了重要影响。

关键词:吕梁山;植物群落多样性;海拔梯度;空间分异;多样性指数

中图分类号: Q948.13 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)12-0256-05

植物群落多样性的海拔梯度格局主要受植被演化、物种进化、地理差异和环境因子等因素控制,可反映出物种的生物学、生态学特性,分布状况及对环境的适应性^[1-2]。一些研究表明,群落多样性在中海拔达到最大^[3],而另一些研究则表明,群落多样性随海拔升高逐渐下降^[4]或与海拔无关^[5]。不同山地和不同类型的群落多样性海拔分布格局差异较大,这可能与山地所处的区域环境条件、山的相对高度和地质地貌等因素有关。就山的高度而言,低海拔地区严重的人为干扰对生物多样性产生负面影响^[6];高海拔区的寒冷气候使土壤生成和植物生长缓慢,加上强烈的太阳辐射和昼夜温差大等严酷的环境条件使大多数物种超出了其生长的耐受极限^[7];而中海拔地带则成为这 2 个极端区域植物种类分异的过渡

区,加之人为干扰相对较少,物种多样性较高^[7]。因此,研究山地植物群落多样性及其海拔梯度格局具有重要的科学意义和价值。

吕梁山地处黄土高原,降水稀少、蒸发强烈,水土流失严重,抵御自然灾害能力低,遭到破坏后恢复极为困难,是典型的生态环境本底恶劣地区^[8]。以往对吕梁山植被的研究,多是针对单座山体,如北段的管涔山^[9]、中段的关帝山^[10]、南段的五鹿山^[11-12]等。然而,根据系统论的观点和方法,将吕梁山作为一个整体进行植被空间分异的系统研究尚未见报道。因此,本研究将吕梁山脉的管涔山、关帝山、五鹿山作为研究区,对气候变化和人类干扰下的吕梁山植物群落多样性及其海拔梯度格局进行研究。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

管涔山位于山西省宁武县东寨镇,地理坐标为 38°57' ~ 39°03' N、112°36' ~ 112°37' E,研究地海拔 1 740 ~ 2 675 m;年平均气温 6 ~ 7 ℃,年平均降水量 450 ~ 500 mm;土壤类型是山地褐土、棕壤,植被处于暖温带落叶阔叶林与温带草原交界处,有明显的垂直分布^[9]。关帝山位于吕梁市交城县庞泉

收稿日期:2016-04-12

基金项目:山西省应用基础研究计划项目(编号:2016021136);山西省哲学社会科学“十二五”规划项目(编号:晋规办字[2015]3号);山西省高等学校重点学科建设项目(编号:晋教研函[2016]4号);山西省高等学校科技创新项目(编号:晋教科函[2016]4号)。作者简介:徐满厚(1983—),男,山东临沂人,博士,副教授,硕士生导师,主要从事区域气候变化及其影响研究。E-mail: xumanhou@163.com。

[6] 岳东霞,李文龙,李自珍. 甘南高寒湿地草地放牧系统管理的 AHP 决策分析及生态恢复对策[J]. 西北植物学报,2004,24(2):248-253.

[7] 高俊刚,吴 雪,张德锂,等. 基于等级层次分析法的金沙江下游地区生态功能分区[J]. 生态学报,2016,36(1):134-147.

[8] 秦伟霞,马守臣,张合兵. 基于熵权模型的土地生态质量评价及功能分区——以河南省新乡市为例[J]. 江苏农业科学,2015,43(8):322-327.

[9] Zhou Y C, Narumalani S, Waltman W J, et al. A GIS-based spatial pattern analysis model for eco-region mapping and characterization [J]. International Journal of Geographical Information Science, 2003,17(5):445-462.

[10] Bertinelli L, Black D. Urbanization and growth[J]. Journal of Urban Economics, 2004,56(1):80-96.

[11] Olsson P, Folke C, Berkes F. Adaptive comanagement for building resilience in social-ecological systems [J]. Environmental Management, 2004,34(1):75-90.

[12] Wallace K J. Classification of ecosystem services: problems and solutions[J]. Biological Conservation, 2007,139(3/4):235-246.

[13] Bailey R G. Identifying ecoregion boundaries[J]. Environmental Management, 2004,34(增刊1):14-26.

[14] Attrill M J, Rundle S D. Ecotone or ecocline: ecological boundaries in estuaries[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2002,55(6):929-936.

沟镇,地理坐标为 $37^{\circ}20' \sim 38^{\circ}20' \text{ N}$ 、 $110^{\circ}18' \sim 111^{\circ}18' \text{ E}$,研究地海拔 $1\,800 \sim 2\,460 \text{ m}$;年平均气温 $3 \sim 4^{\circ} \text{ C}$,年平均降水量 830.8 mm ;土壤类型从低海拔到高海拔依次为淡褐土、淋溶褐土、棕壤、亚高山草甸土,植被垂直分布明显^[13]。五鹿山位于临汾市蒲县和隰县交界处,地理坐标为 $36^{\circ}23' \sim 36^{\circ}38' \text{ N}$ 、 $111^{\circ}2' \sim 111^{\circ}18' \text{ E}$,研究地海拔 $1\,324 \sim 1\,586 \text{ m}$;年平均气温 8.7° C ,年平均降水量 $500 \sim 560 \text{ mm}$;土壤类型有棕壤、褐土、草甸土、山地草甸土 4 类,植被类型具有明显的过渡性,地带性植被是落叶阔叶林^[11-12]。

1.2 样地设置

于 2015 年 6 月 12—17 日沿吕梁山南北走向进行试验样地的踏查与选取工作。首先,在水平方向上将吕梁山分为不同纬度的管涔山、关帝山、五鹿山,平均纬度分别为 38.5° 、 37.5° 、 36.0° N 。其次,同一山体在垂直方向上分不同海拔高度进行植被垂直格局特征调查:管涔山分为 $1\,740$ 、 $1\,892$ 、 $2\,100$ 、 $2\,610$ 、 $2\,675 \text{ m}$ 5 个梯度,关帝山分为 $1\,800$ 、 $1\,950$ 、 $2\,270$ 、 $2\,460 \text{ m}$ 4 个梯度,五鹿山分为 $1\,324$ 、 $1\,370$ 、 $1\,586 \text{ m}$ 3 个梯度。最后,根据植物生活型(乔木、灌木、草本)进行不同面积样方的调查:乔木(落叶、常绿)调查面积为 $1\,000 \text{ m}^2$,样方大小为 $20 \text{ m} \times 50 \text{ m}$,同一海拔高度处设置 1 个样方;灌木(落叶、常绿)调查面积为 200 m^2 ,样方大小为 $10 \text{ m} \times 20 \text{ m}$,同一海拔高度处设置 3 个样方;草本(一年生、两年生、多年生)调查面积为 1 m^2 ,样方大小为 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$,同一海拔高度处设置 5 个样方。

1.3 植被调查

2015 年 7 月 24 日至 8 月 1 日,进行吕梁山植被物种多样性调查。乔木物种按株调查其种类、数量、基径、高度;灌木物种按株或丛进行调查,指标包括种类、数量、高度、冠幅;草本物种按种进行调查,测量时每个物种视其数量取其平均值作为记录数据,测量的指标包括种类、数量、高度、频度、盖度。乔木高度小于 5 m 则归入灌木层,草本层的木本植物幼苗归入草本。如果某种植物同时处于花蕾期、开花期、结实期,则选取一定面积估计其一物候期达 50% 以上者记录数据。调查过程中若遇到陌生物种,则用标本夹采回标本在实验室利用植物检索表或由从事植物分类学研究的专家进行鉴定。不同物种具体生活型(落叶、常绿乔木及一年生、两年生、多年生草本)的辨认参考中国在线植物志(<http://www.eflora.cn/>)。

1.4 数据分析

采用 α 多样性指数(Simpson 指数、Shannon - Wiener 指数、Pielou 指数)对吕梁山不同海拔梯度灌木、草本植物的物种多样性进行分析,计算公式如下:

$$IV_{\text{灌木}} = \frac{ra + rh + rc}{3};$$

$$IV_{\text{草本}} = \frac{ra + rh + rf + rc}{4};$$

$$H' = 1 - \sum_{i=1}^s p_i^2;$$

$$H = - \sum_{i=1}^s p_i \ln p_i;$$

$$E = \frac{H}{\ln S};$$

$$p_i = \frac{IV_i}{IV_{\text{total}}}。$$

式中: IV 为重要值, ra 为相对多度, rh 为相对高度, rf 为相对频度, rc 为相对盖度; H' 为 Simpson 指数, H 为 Shannon - Wiener 指数, E 为 Pielou 指数; p_i 为样地内植物种 i 的相对重要值, S 为样地内所有植物种类的总和。

乔木基径、高度和草本重要值在不同海拔梯度、不同植物生活型间的显著性检验由 SPSS 16.0 软件进行单因素方差分析得到,多重比较由 Duncan's 检验完成;乔木基径、高度、灌草物种多样性,以及草本重要值的相互关系及其海拔梯度变化趋势由 Origin 8.1 软件绘制完成。

2 结果与分析

2.1 吕梁山不同海拔梯度乔木植物的基径和高度

由图 1 可知,乔木植物的基径与高度在不同海拔梯度处均表现为极显著的幂指数函数关系($P < 0.01$),其幂指数的平均值为 1.079 ,符合等速生长模型,表明乔木高度随基径近似等速增长,增长比例平均值为 44.14 。

由图 2 可知,乔木植物的基径和高度随海拔升高均显著增大($P < 0.05$)。对乔木基径而言,海拔为 $2\,610$ 、 $2\,270 \text{ m}$ 可归为一处,基径最大,平均值为 0.304 m ;海拔为 $1\,950$ 、 $1\,892$ 、 $1\,586 \text{ m}$ 归为一处,基径次之,平均值为 0.195 m ;海拔为 $1\,740 \text{ m}$ 单独列为一处,基径最小,为 0.119 m ,这 3 个位置之间的基径差异均达到显著水平($P < 0.05$)。对乔木高度而言,有 4 个位置存在显著性差异($P < 0.05$):第 1 个位置海拔为 $2\,270 \text{ m}$,树高最大,为 13.95 m ;第 2 个位置海拔为 $2\,610 \text{ m}$,树高为 11.56 m ;第 3 个位置海拔分别为 $1\,950$ 、 $1\,892$ 、 $1\,586 \text{ m}$,树高平均值为 7.75 m ;第 4 个位置海拔为 $1\,740 \text{ m}$,树高最小,为 3.12 m 。因此,吕梁山乔木植物在高海拔区长得更高大,其海拔梯度结构异质性较强。

由图 3 可知,乔木植物不同生活型的基径和高度随海拔梯度的变化差异较大。随海拔升高,常绿乔木变化较为平缓且不显著($P > 0.05$),落叶乔木呈显著增大趋势($P < 0.05$)。在不同海拔梯度处,常绿乔木和落叶乔木基径和高度的差异也不一致。在 $1\,586$ 、 $1\,892 \text{ m}$ 处,常绿乔木的基径和高度大于落叶乔木,且在 $1\,892 \text{ m}$ 处达到显著水平($P < 0.05$);在 $1\,950$ 、 $2\,270 \text{ m}$ 处,落叶乔木的基径和高度大于常绿乔木,且在 $2\,270 \text{ m}$ 处达到显著水平($P < 0.05$)。因此,在吕梁山低海拔区常绿乔木生长优于落叶乔木,而在高海拔区落叶乔木生长优于常绿乔木。

2.2 吕梁山不同海拔梯度灌草植物的物种多样性

由图 4 可知,灌草植物的物种多样性指数随海拔升高均呈现出先增加后减小的变化趋势,表现为偏低单峰变化曲线。各物种多样性指数的峰值均出现于较低海拔处,灌木的多样性指数峰值出现在 $1\,586 \text{ m}$ 处,草本的多样性指数峰值出现在 $1\,800 \text{ m}$ 处。对灌木而言,除海拔为 $2\,675 \text{ m}$ 处外,其余海拔梯度处的 Shannon - Wiener 指数均最高,Pielou 指数次之,Simpson 指数最低;对草本而言,除海拔为 $2\,610 \text{ m}$ 处外,其余海拔梯度处的 Shannon - Wiener 指数均最高,Pielou 指数与 Simpson 指数大小相差不大。灌木的 Simpson 指数、Shannon - Wiener 指数随海拔升高而显著降低($P < 0.05$),最优方程的

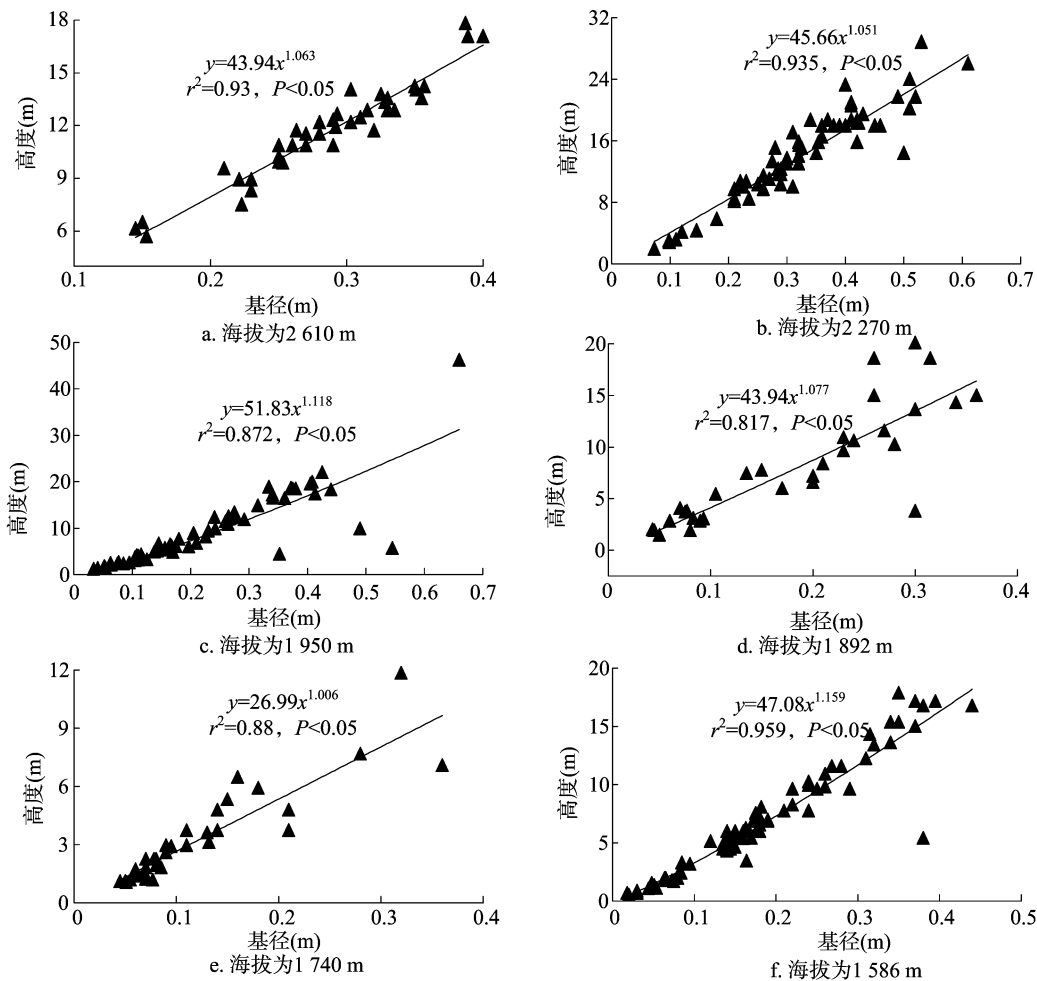
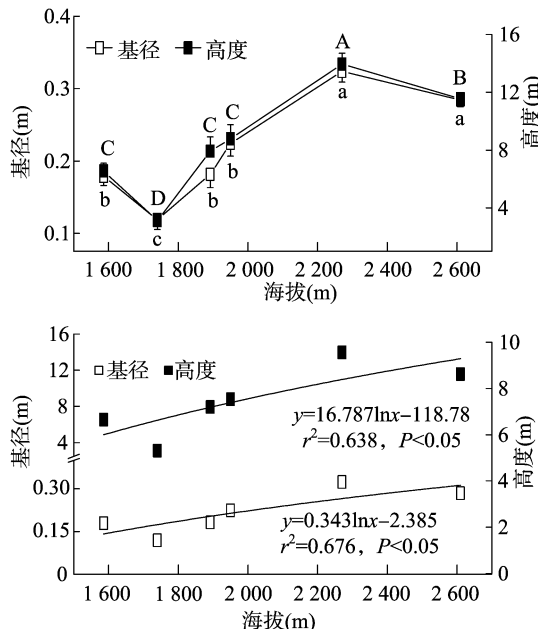
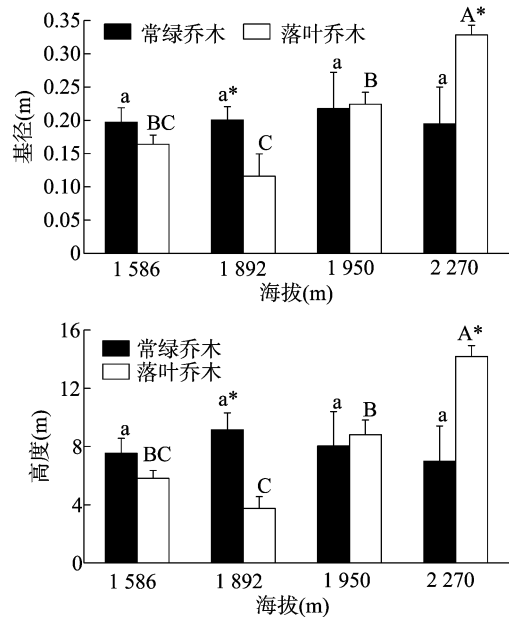


图1 不同海拔梯度乔木植物基径与高度的关系



不同大、小写字母分别表示在0.05水平上高度、基径差异显著

图2 不同海拔梯度乔木植物基径和高度的变化



不同大、小写字母分别表示在不同海拔高度落叶乔木、常绿乔木的基径和高度在0.05水平上差异显著；“*”表示同一海拔上落叶乔木与常绿乔木的基径和高度在0.05水平上差异显著

图3 不同海拔梯度乔木植物不同生活型基径和高度的变化

决定系数平均值为 0.525;草本各物种多样性指数与海拔梯度的关系均未达到显著水平($P>0.05$),最优方程的决定系

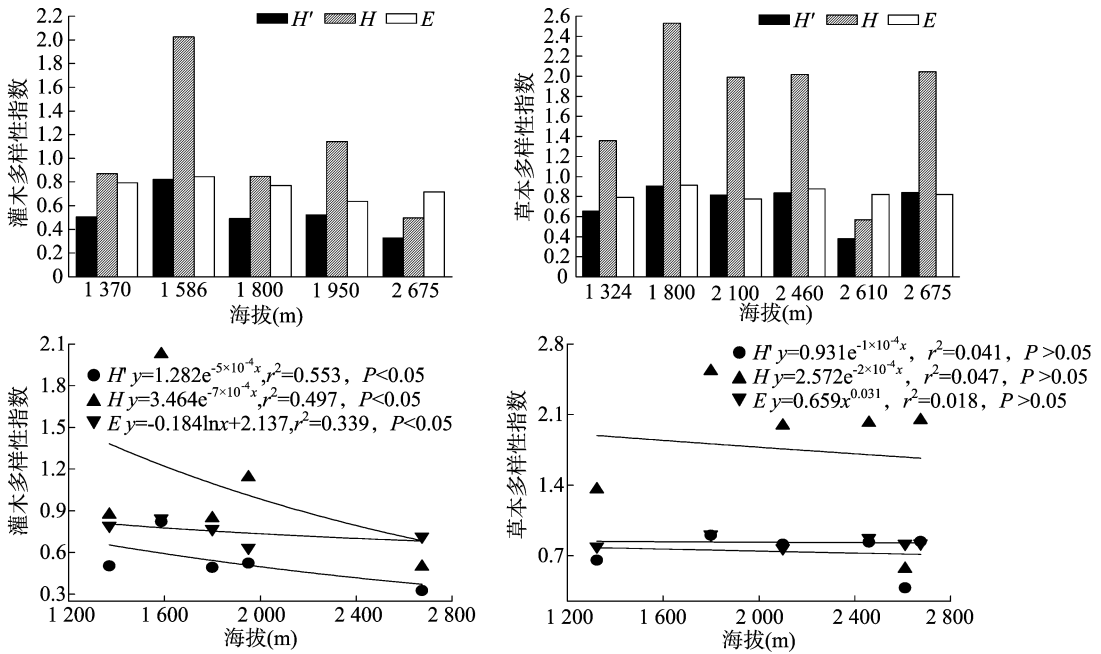


图4 不同海拔梯度灌草植物物种多样性的变化

数平均值为 0.035。以上结果表明,吕梁山灌草植物物种多样性趋向于中低海拔区,灌木在低海拔处具有较高的物种多样性,而草本物种多样性对海拔梯度影响不敏感。

2.3 吕梁山不同海拔梯度草本植物的重要值

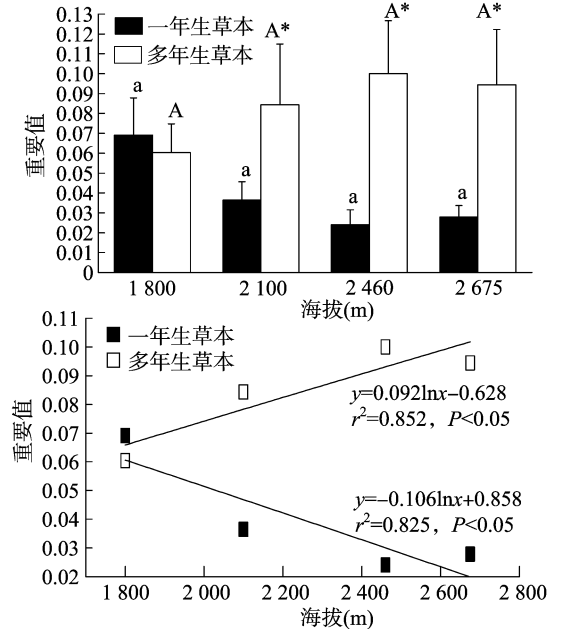
由图 5 可知,草本植物重要值在不同海拔梯度处未表现出显著差异($P > 0.05$),但随海拔升高呈现出极显著变化趋势($P < 0.01$),其中一年生草本的重要值随海拔升高显著减小($r^2 = 0.825$),多年生草本的重要值显著增加($r^2 = 0.852$)。一年生草本和多年生草本重要值的差异性在不同海拔梯度处有所不同,在 1800 m 处,一年生草本的重要值略高于多年生草本($P > 0.05$);但从 2100 m 开始,多年生草本的重要值显著高于一年生草本($P < 0.05$);且二者差值随海拔升高呈增大趋势,最小差值为 0.01,最大差值为 0.08。可见,吕梁山草本植物不同生活型在不同海拔梯度处呈现出显著的不一致的变化趋势,随海拔升高多年生草本在群落中的优势更加明显,因此,多年生草本更适合生长于高海拔区,一年生草本则更偏向于低海拔区。

3 讨论

3.1 乔木植物基径和高度的关系

乔木基径、树高等指标的测定对其遮阴、降温、增湿、防风等生态功能的确定、材积的测算及生物量的测定都具有重要意义^[14-15]。本研究得到吕梁山乔木基径与高度呈极显著的幂指数函数关系。李利平等发现针叶林乔木的基径与树高也符合极显著的幂指数函数关系^[15];陈加利等也得到了相似的结论,即树高与基径符合逻辑斯蒂曲线方程^[14]。因此,乔木高度随基径呈曲线关系变化。

乔木生长受立地条件等因素影响很大,同一基径的树木在不同立地条件下树高差别很大^[15-16]。本研究得到吕梁山乔木植物的基径和高度随海拔升高均显著增大,在高海拔区



不同大、小写字母分别表示在不同海拔处多年生草本、一年生草本的重要值在 0.05 水平上差异显著;“*”表示同一海拔上多年生草本与一年生草本的重要值在 0.05 水平上差异显著

图5 不同海拔梯度草本植物重要值的变化

乔木植物长得更为高大;乔木植物的海拔梯度结构异质性较强,在低海拔区常绿乔木生长优于落叶乔木,而在高海拔区落叶乔木生长优于常绿乔木。这可能是由于低海拔区严重的人为干扰(砍伐)对乔木生长产生负面影响^[6];高海拔区的寒冷气候使土壤生成和草本植物生长缓慢,加上强烈的太阳辐射和昼夜温差大等严酷的环境条件超出了大多数草本物种的耐受极限,从而促进了高大乔木的生长^[7]。管涔山和关帝山属吕梁山的北段和中段,地处暖温带北部落叶阔叶林亚地带,广

泛分布着以白杆、青杆和华北落叶松为建群种的寒温性针叶林^[17-18]；五鹿山属吕梁山的南段，位于暖温带南部落叶阔叶林亚地带与暖温带北部落叶阔叶林亚地带的交错区，其植被类型具有一定的过渡性和特殊性^[19]。因此，海拔环境和人类干扰是影响吕梁山植物群落分布的主要因子。

3.2 灌草植物物种多样性的变化

植物群落不同层次的多样性对环境的响应不尽相同，不同生活型的物种由于受到不同因子的制约也呈现出不同的梯度格局。本研究得到吕梁山灌草植物物种多样性趋向于中低海拔区，灌木在低海拔处具有较高的物种多样性，而草本物种多样性对海拔梯度影响不敏感。李晋鹏等研究发现，植物群落的总体多样性变化趋势随海拔高度的升高而升高，其中灌木层多样性指数随海拔高度升高而升高，草本层多样性指数则有下降的趋势^[19]。曲波等的研究也表明，各层次植物物种丰富度、Shannon - Wiener 多样性指数和 Simpson 多样性指数的整体规律表现为草本层 > 灌木层 > 乔木层，植物多样性沿海拔梯度呈现出近似中海拔高的单峰格局^[7]。由此可见，不仅群系间群落物种多样性存在着差异性，不同群系间乔木层、灌木层、草本层的物种多样性也存在差异性^[19]。

本研究还得到草本植物不同生活型在不同海拔梯度处呈现出显著的不一致的变化趋势，其中多年生草本更适合生长于高海拔区，一年生草本则更偏向于低海拔区。这是因为草本层植物除整体受海拔格局影响外，亦受林冠郁闭度、林下土壤与局部小环境的影响^[2,7]。林冠郁闭度通过光照、局部温湿度、紫外线强度等方面的差异对草本植物分布产生明显的影响，较低的乔木层多样性可以使灌木层得到很好发展，进而限制草本层发育^[2]。本研究与曲波等的研究^[7]均表明，吕梁山森林植物物种多样性海拔梯度近似呈现出中海拔物种多样性高的单峰格局。这是由于吕梁山低海拔山地面积大，气候干旱、高温，因此只有耐干旱、耐高温、耐土壤贫瘠的物种才能生存^[1,6,20]。另外，低海拔区人为干扰严重也会对生物多样性产生负面影响^[6]。吕梁山中段和南段的人类开发等干扰活动历史久远，对自然植被的影响十分明显。李晋鹏等研究表明，吕梁山南段由于受到比较强烈的人为干扰活动，种群分布区破碎程度大，种群数量和密度很低，该地区多样性受到了严重的威胁^[19]。因此，吕梁山植物物种多样性对海拔梯度的响应敏感，最大物种多样性出现在中海拔地带。

4 结论

吕梁山从北段的管涔山到南段的五鹿山，随着纬度降低，海拔减小且梯度不明显，植被类型减少，植物生活型变得单一。乔木植物在高海拔区长得更为高大，其海拔梯度结构异质性较强；在低海拔区常绿乔木生长优于落叶乔木，而在高海拔区落叶乔木生长优于常绿乔木。灌草植物物种多样性趋向于中低海拔区，灌木在低海拔处具有较高的物种多样性，而草本物种多样性对海拔梯度响应不敏感。草本植物不同生活型

在不同海拔梯度处呈现出显著的不一致的变化趋势，随海拔升高多年生草本在群落中的优势更加明显，因此，多年生草本更适合生长于高海拔区，一年生草本则更偏向于低海拔区。

参考文献：

- [1] 唐志尧, 方精云. 植物物种多样性的垂直分布格局[J]. 生物多样性, 2004, 12(1): 20 - 28.
- [2] 郝占庆, 邓红兵, 姜 萍, 等. 长白山北坡植物群落间物种共有度的海拔梯度变化[J]. 生态学报, 2001, 21(9): 1421 - 1426.
- [3] 刘增力, 郑成洋, 方精云. 河北小五台山东坡植物物种多样性的垂直梯度变化[J]. 生物多样性, 2004, 12(1): 137 - 145.
- [4] 赵淑清, 方精云, 宗占江, 等. 长白山北坡植物群落组成、结构及物种多样性的垂直分布[J]. 生物多样性, 2004, 12(1): 164 - 173.
- [5] 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.
- [6] 方精云. 探索中国山地植物多样性的分布规律[J]. 生物多样性, 2004, 12(1): 1 - 4.
- [7] 曲 波, 苗艳明, 张钦弟, 等. 山西五鹿山植物物种多样性及其海拔梯度格局[J]. 植物分类与资源学报, 2012, 34(4): 376 - 382.
- [8] 李静怡, 王艳慧. 吕梁地区生态环境质量与经济贫困的空间耦合特征[J]. 应用生态学报, 2014, 25(6): 1715 - 1724.
- [9] 刘秀珍, 张 峰, 张金屯. 管涔山撂荒地植物群落演替过程中物种多样性研究[J]. 武汉植物学研究, 2008, 26(4): 391 - 396.
- [10] 陈廷贵, 张金屯. 山西关帝山神尾沟植物群落物种多样性与环境关系的研究 I. 丰富度、均匀度和物种多样性指数[J]. 应用与环境生物学报, 2000, 6(5): 406 - 411.
- [11] 王丽丽, 毕润成, 闫 明, 等. 山西五鹿山白皮松群落乔灌木层的种间分离[J]. 生态学报, 2012, 32(17): 5494 - 5501.
- [12] 何艳华, 闫 明, 张钦弟, 等. 五鹿山国家级自然保护区物种多样性海拔格局[J]. 生态学报, 2013, 33(8): 2452 - 2462.
- [13] 赵 溪, 李君剑, 李洪建. 关帝山不同植被恢复类型对土壤碳、氮含量及微生物数量的影响[J]. 生态学杂志, 2010, 29(11): 2102 - 2110.
- [14] 陈加利, 姜 喜, 韩 路. 人工林胡杨树树高、基径、冠径与胸径的关系分析[J]. 中国农学通报, 2014, 30(16): 18 - 21.
- [15] 李利平, 安尼瓦尔·买买提, 王襄平. 新疆山地针叶林乔木胸径 - 树高关系分析[J]. 干旱区研究, 2011, 28(1): 47 - 53.
- [16] 李海奎, 法 蕾. 基于分级的全国主要树种树高 - 胸径曲线模型[J]. 林业科学, 2011, 47(10): 83 - 90.
- [17] 邱 杨, 张金屯. DCCA 排序轴分类及其在关帝山八水沟植物群落生态梯度分析中的应用[J]. 生态学报, 2000, 20(2): 199 - 206.
- [18] 张先平, 王孟本, 余 波, 等. 庞泉沟国家森林公园森林群落数量分类和排序[J]. 生态学报, 2006, 26(3): 754 - 761.
- [19] 李晋鹏, 上官铁梁, 郭东罡, 等. 山西吕梁山南段植物群落物种多样性与环境的关系[J]. 山地学报, 2008, 26(5): 612 - 619.
- [20] 李铭红, 宋瑞生, 姜云飞, 等. 片断化常绿阔叶林的植物多样性[J]. 生态学报, 2008, 28(3): 1137 - 1146.