

# 秦巴山地植物南北变化与过渡模式研究

刘俊杰<sup>1,2</sup>, 张百平<sup>1</sup>, 姚永慧<sup>1</sup>, 张兴航<sup>1,2</sup>, 王 晶<sup>1,2</sup>, 余付勤<sup>1,2</sup>, 李佳宇<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所 资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101;

2. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:** 秦岭—大巴山是中国重要的南北地理分界线和生态过渡带, 建立秦巴山地南北方向上植物种类组成及重要值的详细变化序列和过渡模式, 对于深入认识中国南北过渡带的过渡性、复杂性及暖温带与亚热带分界线具有十分重要的科学意义。本文通过野外实地调查获取秦巴山地东、中、西部3条南北穿越样线163个采样点的植被序列数据, 分析了物种丰富度、相对重要值及优势种多度的纬向变化, 并将亚热带与温带物种相对重要值的差值(SND-RIV)用于表现南北方物种的优势程度, 以分析和归纳植物的空间变化模式。结果表明: ① 东部(三门峡—宜昌)、中部(西安—达州)、西部(天水—广元)亚热带物种丰富度及相对重要值自北向南递增, 温带物种自北向南递减。东部温带物种丰富度及相对重要值在神农架和伏牛山由于海拔高度的影响出现两个峰值, 中部亚热带物种在大巴山地区最高, 西部亚热带物种在陇南以南超过温带物种; ② 东部南北方物种的交错过渡带最宽, 约180 km; 中部大约在秦岭南坡至大巴山北坡之间, 约100 km; 西部交错过渡带偏南, 约50~60 km。③ 东、中、西部山地植物纬向过渡模式和驱动因子有明显差异。东、西部自南向北亚热带物种的减少主要与年均降水量减少有关, 年平均气温影响较小; 中部年平均气温的作用比湿润指数稍大。本文揭示了秦巴山地东、中、西部植物的南北变化及过渡模式, 提升了对中国南北过渡带复杂性和多样性的科学认识。

**关键词:** 中国南北过渡带; 秦巴山地; 气候分界线; 植物纬向变化; 过渡模式

DOI: 10.11821/dlxb202211006

## 1 引言

秦岭—大巴山(简称“秦巴山地”)是中国南北过渡带的主体, 跨越暖温带和亚热带, 兼具“过渡性、复杂性、多样性”。由于所在地理位置的特殊性及复杂的山地地形的分异作用, 其植物与气候均具有明显的多维地带性分异特征<sup>[1]</sup>。通过野外实地调查获取植被序列数据, 研究植物在南北方向上的变化及模式, 对真正认识其南北向过渡性质以及多维地带性变化的机理具有重要意义。

长期以来, 关于中国暖温带与亚热带的具体地理分界线位置, 一直存在争议。竺可桢以日均温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的4500 $^{\circ}\text{C}$ 积温等值线将秦岭—淮河一线作为亚热带与暖温带的概念化界线, 为中国最早公认的南北地理分界线, 在植被区划、气候区划、综合自然地理区划中广泛使用<sup>[2]</sup>。但是随着中国温度带划分研究的深入, 发现积温作为主要划分指标具有时代的局限性<sup>[1]</sup>; 秦岭—淮河一线是湿润气候的重要边界, 其意义超过作为温度带之间的边

收稿日期: 2022-01-10; 修订日期: 2022-08-31

基金项目: 国家科技基础资源调查专项(2017FY100900) [Foundation: National Scientific and Technological Basic Resources Investigation Project, No.2017FY100900]

作者简介: 刘俊杰(1995-), 女, 河南周口人, 博士生, 主要从事山地GIS、山地地理研究。E-mail: junjieliu555@163.com

通讯作者: 张百平(1963-), 男, 河南博爱人, 博士, 研究员, 主要从事自然地理与GIS应用研究。

E-mail: zhangbp@lreis.ac.cn

界<sup>[3]</sup>。因此,研究者后来使用日均温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的天数<sup>[4]</sup>、温暖指数<sup>[5-7]</sup>、寒冷指数<sup>[7]</sup>等更加稳定的气候指标,以及通过山地垂直带谱、植被类型、植物区系和植物群落等方面的研究对暖温带和北亚热带的界限进行划定,具体分界线包括秦岭北坡<sup>[8-11]</sup>、主山脊线<sup>[2, 12-13]</sup>、秦岭南坡<sup>[14-21]</sup>、大巴山<sup>[5, 22]</sup>、甚至南到长江流域<sup>[6, 23-25]</sup>。这些研究所使用到的植被和气候数据大多是在20世纪80年代或90年代以前获得的,在全球气候变化的背景下,并不能反映当前植被和气候的分布情况<sup>[3]</sup>。

植物在地理空间上的分布格局能够很好的反映气温、水分等自然条件的变化,在衡量山地环境结构变化中发挥着重要作用<sup>[3, 5, 23, 26]</sup>。秦巴山地南北平均宽度约300 km,东西长约1000 km,纬向地带分异、经向地带分异、垂直地带分异、坡向分异相互叠加和作用<sup>[1]</sup>,使得山地植物群落复杂多样,在南北方向上交叉错杂呈现过渡性<sup>[24, 27-30]</sup>。植物群落的物种组成、优势种、多度和物种多样性等数量特征沿纬度的过渡模式是暖温带向亚热带过渡的重要表现<sup>[26, 31]</sup>。目前关于秦巴山地植物过渡特征的研究从植物区系<sup>[32-33]</sup>、植物群落结构<sup>[34-35]</sup>、物种多样性<sup>[36]</sup>等方面证实秦巴山地植物种类丰富,具有过渡性质。但研究范围多集中于秦巴山地的局部地区或者单条样线尺度,研究较为分散、零星,没有针对整个秦巴山地内部的气候、植物分布进行详细的调查与了解,关键是自然地理要素的空间分布特征不连续。

秦巴山地是一个完整的地理和地貌单元,若仅使用单个或间接气候指标,或局部的植物分布特征,很容易掩盖其自然地理要素的复杂性<sup>[1]</sup>。因此,只有利用详细的南北穿越样线调查数据对秦巴山地植物的南北过渡方式进行系统的研究,包括东、中、西部的差异与联系,才能对亚热带和暖温带的分界线做出科学的综合判定。本文利用秦巴山地东、中、西部3条南北穿越样线的植物野外实地调查数据,分析温带和亚热带植物的交错分布规律,研究植物南北方向上的过渡特征及模式,揭示植物种类变化的驱动因子并为重要地理分界线的研究提供科学依据。

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 数据来源

本文所使用的是来自国家科技基础资源调查专项“中国南北过渡带综合科学考察”项目组2017—2019年在秦巴山地野外实地调查获取的数据,包括秦巴山地东、中、西部3条南北穿越样线,共163个采样点(图1)。样点采样间隔为南北5 km,样方大小均为20 m $\times$ 20 m,样点选择时遵循3个原则:① 人员具有可达性;② 植物代表性强;③ 人为干扰性低,使得采样点在空间上涵盖整个研究区,布局均衡且各样点能够包含当地具有代表性的植被类型,符合植被地带性分布规律<sup>[37]</sup>。调查数据包括乔木层及灌木层的物种种类、个体数量、树高、胸径、冠幅、盖度、样地经纬度、海拔高度等,其中秦巴山地东部样线包含69个植物群落样点数据,283个植物种,其中乔木161种、灌木122种;中部样线包含50个植物群落样点数据,228个植物种,其中乔木152种、灌木76种;西部样线包含44个植物群落样点数据,201个植物种,其中乔木114种、灌木87种。东、中、西部3条南北穿越样线的植被调查数据共包含乔木、灌木434种,其中乔木241种、灌木193种。

气象数据使用中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn/>)提供的中国气象背景数据集,该数据集是基于中国1915个站点的气象数据,在站点数据的基础上计

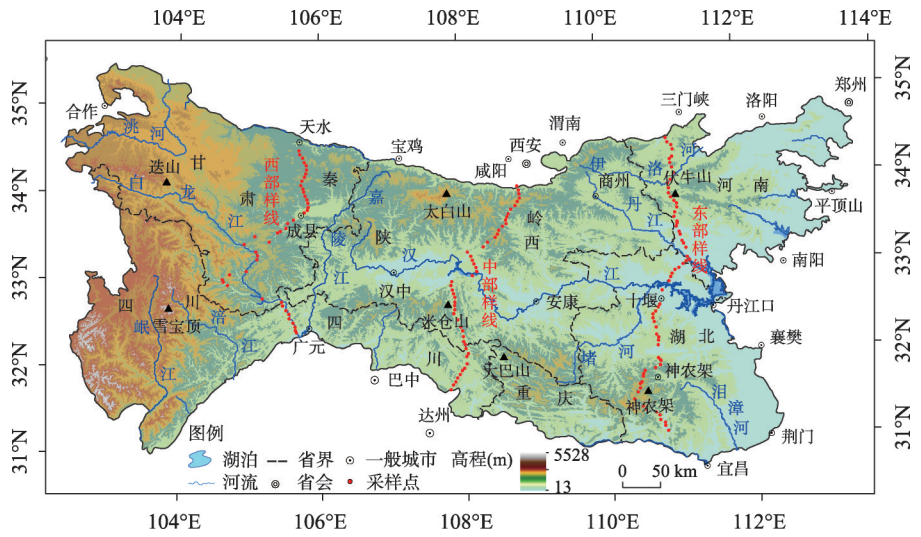


图1 秦巴山地东、中、西部样点分布

Fig. 1 Sampling site distribution in the eastern, middle, and western Qinling-Daba mountains

算年均气温、年平均降水量、 $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温、 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温，并利用反向距离加权平均的方法内插出全国空间分辨率为 $500\text{ m}\times 500\text{ m}$ 的年平均气温、年平均降水量、 $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温、 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温、湿润指数（IM, Thornthwaite 方法）空间分布数据集<sup>[38]</sup>。

2.2 研究方法

2.2.1 植物群落的数量特征变化 本文选取了物种丰富度（Species Richness）和相对重要值（Relative Importance Value index, RIV）来描述植物变化和量化物种组成的等级。其中，物种丰富度为每个样点物种丰富程度，重要值（Iv）的计算方法为相对密度（Dr，某个种的株数与全部种的总株数的比值）、相对频度（Fr，某个种的频度与全部种的总频度的比值）和相对显著度（Pr，某个种的断面积与全部种的总断面积的比值）的和<sup>[39-40]</sup>。有时为了计算和比较的方便，常采用相对重要值（RIV），即将各个种的重要值除以3<sup>[26]</sup>。

$$Iv=Dr+Fr+Pr$$

(1)

$$RIV=\frac{Iv}{3}\times 100\%$$

(2)

2.2.2 植物种分布类型的确定及依据 本文根据《中国植物志》<sup>[41-42]</sup>《中国种子植物属的分布区类型》<sup>[43]</sup>《中国自然地理: 植物地理（上册）》等文献<sup>[44]</sup>，参考了植物科、属的分布区类型，由于对种分布类型的分析，不能直接套用属的分布区类型作为该属内各个种的分布区类型<sup>[45]</sup>，因此本文在参考植物区系研究的基础上，对434种植物逐一进行查询，将秦巴山地3条样线的乔木、灌木分为亚热带、温带、广布种、地区特有种4种分布类型。主要分类依据为：

（1）植物属的分布类型为热带分布（在《中国种子植物属的分布区类型》中分布类型为2~7）：① 植物属的分布类型为热带分布，并分布至亚热带且严格限于热带、亚热带地区的属所包含的植物种（如樟属、黄檀属、海桐属、柑橘属、山茶属等）划分为亚热带分布类型；② 植物属的分布类型为热带分布并进一步扩展到北方温带地区的属所包含的植物种，对其植物种的分布情况进行逐一查询。有分布区向温带扩展最北未超过河南、陕西等地或生活型为常绿乔木/灌木的植物种（如八角枫、扁担杆、冬青、香叶树等）划分为亚热带分布类型；有分布区向温带扩展最北至黑龙江、吉林、辽宁等地或产

中国南北各地的植物种（如杠柳、瓜木、构树、合欢等）划分为广布种，这些植物种的生活型大多为落叶乔木/灌木；也有分布区主要在秦巴山地以北的植物种划分为温带分布类型，如河北木蓝、酸枣等；

（2）植物属的分布类型为温带分布（在《中国种子植物属的分布区类型》中分布类型为8~12、14），这部分属所包含的植物种大多为温带分布类型，但也有一些例外的情况：① 一些热带、亚热带林中分布的代表性落叶树种（如茅栗、櫟木、水青冈等）、针叶树种（马尾松、柏木等），以及生活型为常绿乔木/灌木且分布区为秦岭以南的植物种（如櫟木、胡颓子、枇杷、棕榈等）划分为亚热带分布类型；② 有分布区为中国南北各省或产中国大部分地区的植物种划分为广布种（如白蜡树、栎、旱柳、锐齿槲栎等）。

（3）广布种与地区特有种，这两种类型区别于以往植物区系研究中的世界广布种和中国特有种，本文中的广布种指的是广布于中国南北方的植物种，特有种指中国某一地区特有的植物种。① 植物属的分布类型为世界广布和特有分布（在《中国种子植物属的分布区类型》中分布类型为1和15）：本文对这些属所含的植物种的分布区进行逐一查询，大部分被划分为广布种或地区特有种，也有一些例外。如杉木虽为中国的特有种，但也是亚热带树种，因此将其划分为亚热带分布类型。② 植物属的分布类型为热带和温带分布（在《中国种子植物属的分布区类型》中分布类型为2~12、14）：通过植物种分布区的逐一查询，划分到广布种的依据上文已提及，也有一些划分到地区特有种（如青皮槭、细齿冬青、粉椴、四川樱桃等）。

秦巴山地3条样线乔、灌木物种数最多的分布类型为温带，其次是亚热带，广布种数量较少，地区特有种最少（表1）。由于广布种与地区特有种的数量较少，且对于3条样线物种分布格局的影响较小，本文主要讨论亚热带与温带分布类型的植物种的变化与过渡模式。

**2.2.3 典型物种的选取** 秦巴山地典型物种沿着东、中、西部样线的多度变化能够揭示亚热带植物向温带植物过渡的细节，本文通过选取典型物种，使用风筝图对其多度的南—

表1 秦巴山地东、中、西3条样线基本信息及植物种的分布区类型统计  
Tab. 1 Basic information and species type data for transect lines in the eastern, middle, and western Qinling-Daba Mountains

		东部样线	中部样线	西部样线
样点个数(个)		69	50	44
样方面积(m <sup>2</sup> )		20×20	20×20	20×20
采样范围		31.13°N~34.50°N 110.33°E~111.21°E	31.71°N~34.03°N 106.79°E~108.85°E	32.39°N~34.48°N 104.61°E~105.83°E
海拔范围(m)		213~1834	447~1893	489~1809
乔木分布 类型(种)	亚热带	53	43	38
	温带	68	66	48
	广布	27	26	23
	地区特有	13	17	5
	总计	161	152	114
灌木分布 类型(个)	亚热带	48	30	36
	温带	40	31	35
	广布	20	10	12
	地区特有	14	5	4
	总计	122	76	87



北变化进行分析。典型物种的选取根据植物种的优势程度(即乔木的相对胸高断面积、灌木的多度)来确定,将东、中、西3条样线每个样点优势程度较高的植物种选取出来,有些样点的植物种是有所重复的,最终各样线分别有亚热带、温带、广布分布类型的植物种各8~12种,地区特有种在所有样点均不占优势。属于亚热带分布类型的植物种包括化香树(*Platycarya strobilacea*)、黄檀(*Dalbergia hupeana*)、马尾松(*Pinus massoniana*)、茅栗(*Castanea seguinii*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、油桐(*Vernicia fordii*)、山胡椒(*Lindera glauca*)、青冈(*Quercus glauca*)、香叶树(*Lindera communis*)、棕榈(*Trachycarpus fortunei*)以及灌木马桑(*Coriaria nepalensis*)等,温带分布类型的植物种包括刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、酸枣(*Ziziphus jujuba var. spinosa*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、毛白杨(*Populus tomentosa*)、桑(*Morus alba*)、旱榆(*Ulmus glaucescens*)等,分布类型为中国广布的植物种包括栓皮栎(*Quercus variabilis*)、枹栎(*Quercus serrata*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)、锐齿槲栎(*Quercus aliena var. acutiserrata*)、香椿(*Toona sinensis*)、臭椿(*Ailanthus altissima*)、胡桃楸(*Juglans mandshurica*)、栎(*Koelreuteria paniculata*)等。

**2.2.4 植物优势程度变化模式及影响因素分析** 本文选取亚热带与温带分布类型的植物种的相对重要值差值(Southern and Northern difference of RIV, SND-RIV)来体现由南到北植物的优势程度变化。SND-RIV的计算公式如下:

$$SND - RIV = RIV_{\text{亚热带}} - RIV_{\text{温带}} \quad (3)$$

式中:  $RIV_{\text{亚热带}}$  为各个样点所有亚热带分布类型的植物种的相对重要值之和;  $RIV_{\text{温带}}$  为各个样点所有温带分布类型的植物种的相对重要值之和。

地理因素(纬度、海拔)与气象要素(年平均气温、年平均降水量、 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温、干燥度、湿润指数)进行Pearson相关分析<sup>[46]</sup>,研究秦巴山地采样点的纬度与海拔对气象要素的影响。并将SND-RIV作为因变量,为了避免气象因子的共线性,选用逐步回归分析方法<sup>[47]</sup>,进一步探究植物优势程度与气象要素的关系。

### 3 结果分析

#### 3.1 秦巴山地植物群落数量特征的南—北变化

**3.1.1 物种丰富度的南—北变化** 东部样线总物种丰富度变化曲线在秦岭南坡至神农架北坡有小幅凸起,比低值区大致增加了5~10种,中部样线总物种丰富度由南向北变化不大,相对比较稳定,西部样线在秦岭南坡有一个峰值,约为15~20种,在陇南地区相对较低约为10~15种(图2)。东、中、西部3条样线的亚热带物种丰富度由北向南均呈现出增加的趋势,温带物种的丰富度由北向南呈减少趋势。其中,东部样线亚热带物种的丰富度由北向南呈现稳定递增的趋势,由北部的3~5种增加至南部的10~15种左右;中部样线亚热带物种丰富度由北向南的增加幅度更加明显且由北部至汉江增幅较大,随后增幅平缓,保持在15种左右;西部样线亚热带物种丰富度由北向南呈现凹向上的曲线递增趋势,陇南以南开始明显增加由5种左右增加至15种左右。东部样线的温带物种丰富度由于海拔高度的影响在伏牛山和神农架较高,且神农架温带物种的丰富度(15种左右)要高于伏牛山(10种左右);中部样线温带物种丰富度仅在秦岭有一个峰值(20~25种),汉江(8种左右)明显减少,在汉江以南稳定在5~10种;西部样线温带物种丰富度由北向南减少的幅度较大(由15~20种减少至2种左右)。

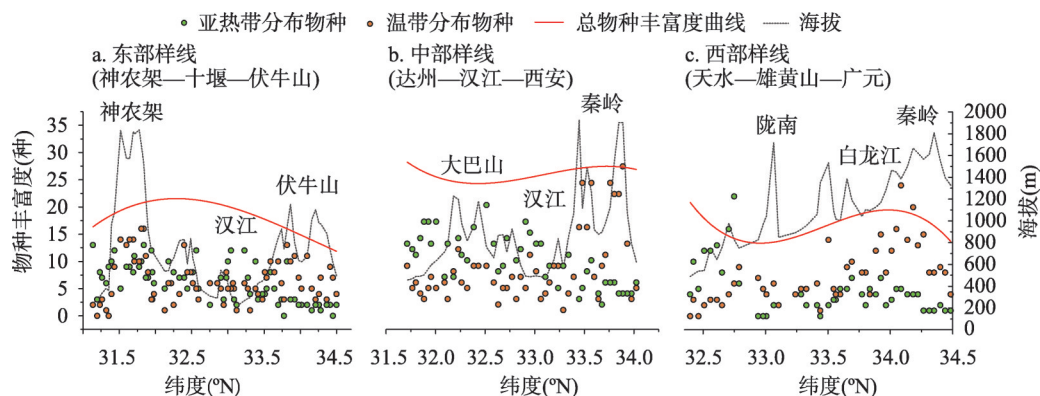


图2 秦巴山地东、中、西段物种丰富度变化

Fig. 2 Species richness variations in the eastern, middle, and western Qinling-Daba Mountains

**3.1.2 相对重要值的南—北变化** 相对重要值的南—北变化及多项式拟合曲线如图3所示。东部样线亚热带物种的相对重要值由北部的0~10%稳定增加至南部的40%~60%，波动不大，拟合曲线呈现稳定增加趋势。温带物种的相对重要值则在秦岭至汉江减少幅度大（由90%减少至30%~40%），汉江至神农架基本稳定在30%~40%，神农架以南开始明显减少（由40%下降至5%左右），拟合曲线呈现了由北向南先大幅降低，之后平稳保持再明显降低的趋势。亚热带与温带物种相对重要值的拟合曲线在31.80°N~33.70°N之间接近；中部样线亚热带物种的相对重要值从北向南逐步增加（由10%增加至60%左右），在大巴山地区出现高值（60%~80%），随后保持平稳，拟合曲线也呈现出由北向南升高至大巴山凸起的趋势；温带物种的相对重要值由秦岭（60%~70%）向南降低，到大巴山区减少至20%左右，拟合曲线呈由北向南先降低随后保持平稳的趋势。亚热带与温带物种相对重要值的拟合曲线在33.30°N处相交；西部样线亚热带物种的相对重要值由北（10%）向南稳定增加至40%~60%，拟合曲线接近直线上升趋势；温带物种的相对重要值由北（90%）向南波动下降，到白龙江减少至60%左右，随后保持平稳，陇南以南开始减少至10%~20%，拟合曲线呈先减少，随后保持平稳，再大幅降低的趋势。亚热带与温带物种相对重要值的拟合曲线在32.75°N处交叉。

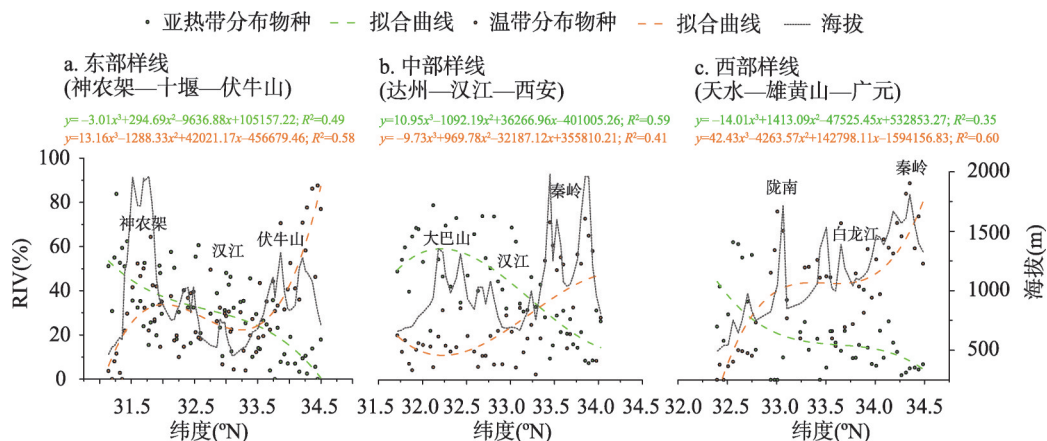


图3 秦巴山地东中西段物种相对重要值变化及拟合曲线

Fig. 3 RIV variation and curve fitting for the eastern, middle and western Qinling-Daba Mountains

### 3.2 秦巴山地典型物种南—北变化

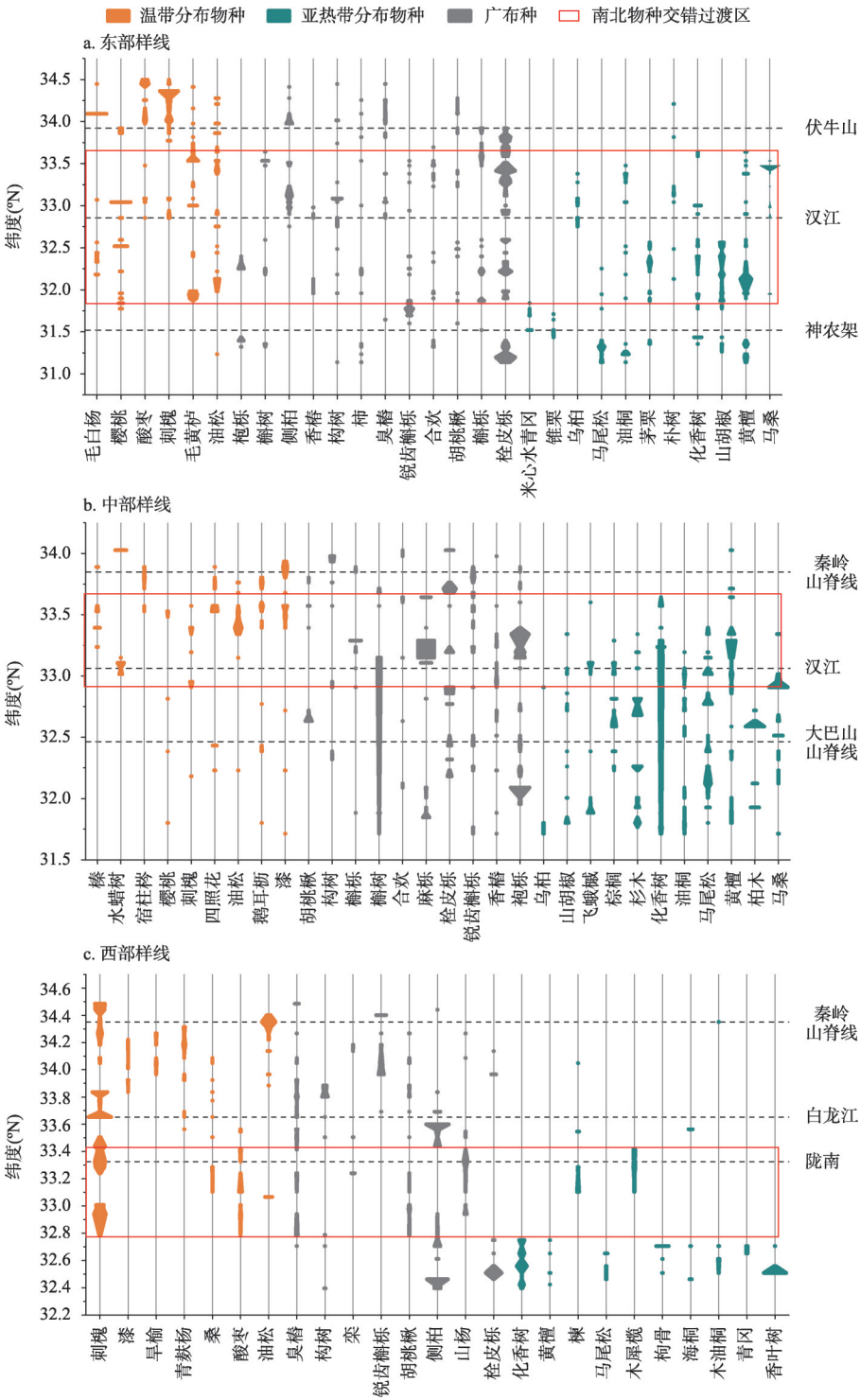
秦巴山地东、中、西3条样线温带物种与亚热带物种的交错过渡区的位置及范围不同, 东部样线的交错过渡带最宽, 中部与西部样线的交错过渡带相对较窄(图4)。东部样线在汉江以北地区温带物种占优, 亚热带物种在秦岭南坡(33.70°N)开始出现(化香树、黄檀、油桐、乌桕、朴树), 亚热带与温带物种的交错带在伏牛山南坡(33.70°N)至神农架(31.80°N)之间约180 km, 交错带内的主要亚热带物种包括化香树、黄檀、茅栗、山胡椒、马桑等, 温带物种包括毛黄栌、油松等。交错带以南则主要为亚热带物种(马尾松、黄檀、山胡椒等)和广布种(栓皮栎、锐齿槲栎等), 温带物种很少; 中部样线从秦岭南坡(33.70°N)开始化香树、黄檀便已经开始出现, 秦岭南坡(33.70°N)至大巴山北坡(32.80°N)之间为中部样线的交错过渡带(约100 km), 其中亚热带物种包括化香树、黄檀、马尾松、油桐、棕榈等, 温带物种包括刺槐、油松等; 西部样线在32.75°N~33.40°N为交错过渡带(约50~60 km), 该过渡带内多为温带物种(刺槐、酸枣等)和广布种(山杨、臭椿、胡桃楸等), 亚热带物种较少(仅有木樨榄、楝), 过渡带以南亚热带物种化香树、黄檀、青冈、马尾松、香叶树等)开始占优势。

### 3.3 秦巴山地物种优势程度的过渡模式及影响因素

**3.3.1 SND-RIV的纬向变化模式** 秦巴山地东、中、西部3条样线SND-RIV均随纬度由北向南增加, 但变化模式有所不同(图5)。东部样线SND-RIV呈先增加—保持平稳—再增加的趋势, 物种从秦岭北坡到伏牛山南坡(33.70°N、东秦岭南坡海拔600 m处)SND-RIV不断增大但均小于0。后由伏牛山南坡至神农架(31.80°N)SND-RIV在0左右, 为亚热带与温带物种优势程度相当且变化稳定的区域。神农架及其以南SND-RIV大于0且增加趋势明显, 即亚热带植物占绝对优势。中部样线由北向南温带物种的优势程度不断降低, 至秦岭南坡(33.30°N左右、海拔800~1000 m)SND-RIV开始大于0, 向南不断增加, 在大巴山(32.80°N)最高。西部样线的SND-RIV除33.00°N周边的4个样点值较低以外, 从北向南直线上升。由北向南温带物种一直保持占优的状态, 陇南(32.75°N)以南, 亚热带物种占优势。

**3.3.2 SND-RIV变化模式的驱动因子** 秦巴山地海拔、纬度等因子与气象因子的相关关系如表2所示。东部样线的纬度与年平均降水量(-0.918\*\*)、湿润指数(-0.756\*\*)呈负相关, 与干燥度(0.292\*)呈正相关。海拔与年平均气温(-0.928\*\*)、积温(-0.933\*\*、-0.915\*\*)呈负相关, 与干燥度(0.457\*\*)呈正相关。纬度升高主要造成水分减少, 海拔升高主要造成温度的减少; 中部样线纬度和海拔与年平均气温(-0.620\*\*、-0.895\*\*)、年平均降水(-0.905\*\*、-0.386\*\*)、积温(-0.606\*\*、-0.616\*\*和-0.870\*\*、-0.880\*\*)均呈负相关关系, 与干燥度(0.773\*\*、0.513\*\*)呈正相关关系, 纬度与湿润指数呈负相关(-0.792\*\*)。海拔与纬度对温度和降水均有显著影响, 纬度上升对水分的减少影响更大, 海拔上升对温度降低的影响更大; 西部样线纬度和海拔均对温度有较大的影响, 纬度与年平均气温、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温、 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温的相关系数分别为-0.889\*\*、-0.857\*\*、-0.881\*\*, 海拔与年平均气温、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温、 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温的相关系数分别为-0.896\*\*、-0.872\*\*、-0.891\*\*。纬度和海拔对水分也都产生了一定的影响; 3条样线总体上海拔对温度的影响更大, 与年平均气温、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温、 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温的相关系数分别为-0.896\*\*、-0.873\*\*、-0.855\*\*。纬度对年平均降水量和湿润指数的影响更大(-0.705\*\*、-0.495\*\*)。

秦巴山地东部、中部、西部及3条样线整体的SND-RIV与气象因子的逐步线性回归模型 $R^2$ 均较高(表3), 分别为0.687、0.702、0.729和0.746。其中东部样线年平均降水的



注：图中的风筝图的宽度与当前物种多度成正比。

图4 典型物种沿南北方向的多度变化风筝图

Fig. 4 Kite diagram of species abundance in north-south direction



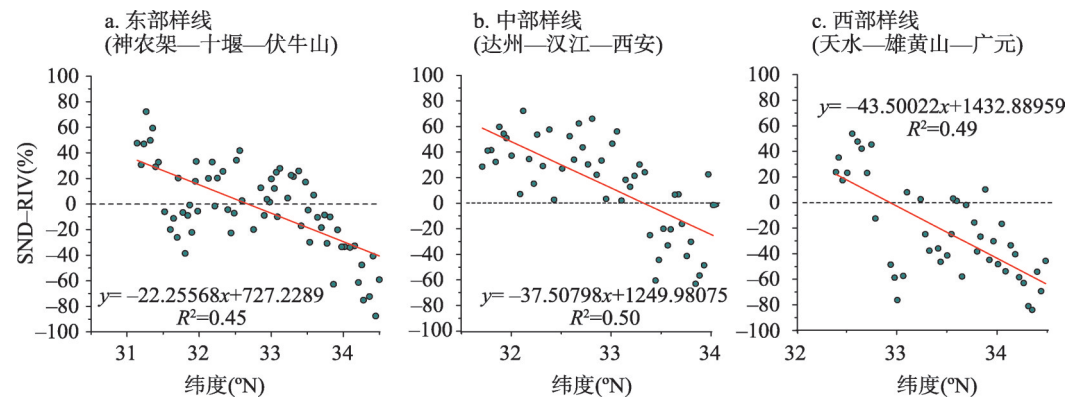


图5 秦巴山地东、中、西段SND-RIV纬向变化模式

Fig. 5 Relationship between the subtropical-temperate differences and latitude in the eastern, middle, and western Qinling-Daba Mountains

表2 秦巴山地地理因子与气象因子的相关关系

Tab. 2 Correlation among geographical and meteorological factors in the Qinling-Daba Mountains									
地理因子		海拔	纬度	年平均气温	年平均降水量	湿润指数	干燥度	≥10℃积温	≥0℃积温
纬度	东线	-0.206	1	0.005	-0.918**	-0.756**	0.292*	0.089	0.001
	中线	0.486**	1	-0.620**	-0.905**	-0.792**	0.773**	-0.606**	-0.616**
	西线	0.841**	1	-0.889**	-0.571**	-0.305*	0.313*	-0.857**	-0.881**
	整体	0.264**	1	-0.356**	-0.705**	-0.495**	0.398**	-0.337**	-0.353**
海拔	东线	1	-0.206	-0.928**	0.147	0.186	0.457**	-0.933**	-0.915**
	中线	1	0.486**	-0.895**	-0.386**	-0.267	0.513**	-0.870**	-0.880**
	西线	1	0.841**	-0.896**	-0.636**	-0.440**	0.480**	-0.872**	-0.891**
	整体	1	0.264**	-0.865**	-0.320**	-0.191*	0.407**	-0.873**	-0.855**

注: \*\*在0.01水平(双尾)相关性显著; \*在0.05水平(双尾)相关性显著。

表3 秦巴山地SND-RIV与气象因子的逐步线性回归分析

Tab. 3 Stepwise regression analysis of SND-RIV with meteorological factors in the Qinling-Daba Mountains								
山地位置	方程式	R <sup>2</sup>	贡献率					
			年平均气温	年平均降水	湿润指数	≥10℃积温	干燥度	
东部样线	$y = 4.878x_1 + 0.191x_2 - 223.589$	0.687	0.38	0.62	/	/	/	
中部样线	$y = 8.253x_1 + 0.696x_3 - 106.501$	0.702	0.60	/	0.40	/	/	
西部样线	$y = 4.604x_1 + 0.169x_2 - 188.391$	0.729	0.36	0.64	/	/	/	
整体	$y = 13.845x_1 + 0.196x_2 - 1.438x_3 - 0.035x_4 - 69.474x_5 - 110.054$	0.746	0.25	0.26	0.20	0.19	0.10	

注:  $x_1$ 为年平均气温,  $x_2$ 为年平均降水,  $x_3$ 为湿润指数,  $x_4$ 为≥10℃积温,  $x_5$ 为干燥度。

贡献率最大为0.62, 年平均气温贡献率为0.38; 中部样线年平均气温贡献率最大为0.60, 湿润指数贡献率为0.40; 西部样线年平均降水的贡献率最大为0.64, 年平均气温的贡献率为0.36。3条样线整体的线性回归模型只有≥0℃积温与其他气象因子存在共线性被排除, 年平均气温、年平均降水、湿润指数、≥10℃积温、干燥度的贡献率分别为0.25、0.26、0.20、0.19、0.10。

## 4 讨论与结论

### 4.1 讨论

**4.1.1 秦巴山地植物纬向变化模式及驱动因子** 通过相关分析和逐步回归分析,发现秦巴山地东、中、西3条样线热量和水分的更替受到纬度、海拔不同程度的影响,从而导致植物种类和数量特征的差异。秦巴山地东、中、西海拔的升高均明显导致了热量的减少;东、中部纬度的升高导致水分的减少更明显,西线纬度的升高对热量的减少作用更大,对水分的减少也有一定的影响。低温、强风和干旱等不利的环境条件都可能限制植物生长<sup>[48]</sup>。东部植物的纬向过渡模式主要是由于纬度的升高使水分减少,从而导致由南向北亚热带植物减少,温带植物增加。神农架地区位于样线南段,水分条件较好,但海拔的升高造成了热量的减少,使得该处的温带植物占比有所升高,纬度和海拔的综合作用导致了东部南北方植物的交错过渡带较宽;中、西部由南向北纬度升高的同时,海拔也在升高,共同导致热量和水分减少,亚热带植物优势程度减少,温带植物增加,交错过渡带清晰且较窄。

**4.1.2 植物南—北过渡模式与暖温带—亚热带界线划分** 本文获取了秦巴山地植物纬向变化的连续数据,并将秦巴山地作为一个完整的地理和地貌单元进行研究,在东、中、西部分别得到了南北方植物的交错过渡带范围(图6),研究结果在一定程度上验证了前人的研究,并为中国南北分界线的确定提供科学依据。通过3条南北样线植物的纬向变化分析,验证了中国南北分界线并非简单的几何线条,而是具有一定宽度的过渡区域,并且该过渡区在东中西部的纬向跨度也有差异。东部交错过渡带最宽,在伏牛山南坡(33.70°N)至神农架(31.80°N)之间;中部的交错过渡带在秦岭南坡(33.70°N)至大巴山北坡(32.80°N)之间;西部的交错过渡带在32.75°N~33.40°N之间。过去依据常绿阔叶木本植物或南方物种分布的北界作为亚热带的北界的研究将分界线划在秦岭南坡或秦岭南坡海拔800~1000 m处(秦岭海拔1000 m等高线如图6所示),如张学忠等<sup>[18]</sup>、

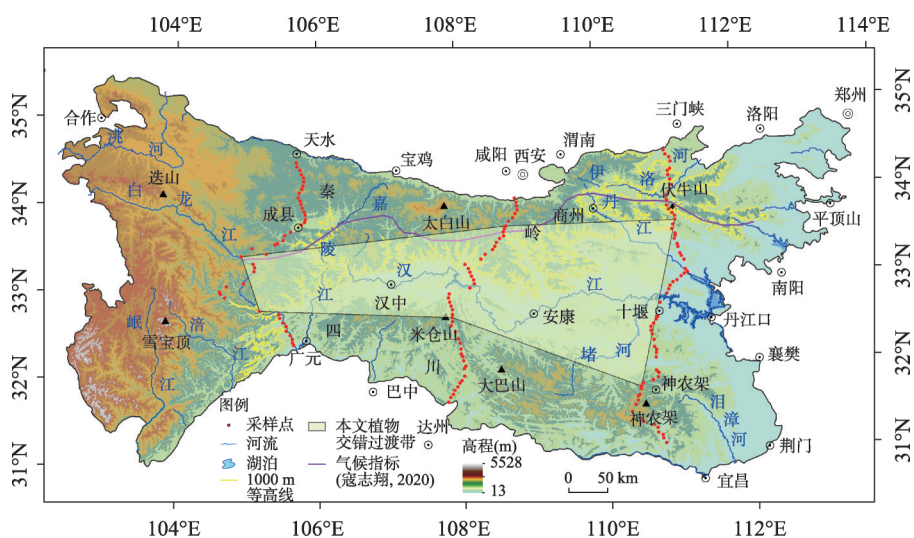


图6 秦巴山地植物交错过渡区及中国亚热带北界划分方案

Fig. 6 Plants crisscross area of the Qinling-Daba Mountains and demarcation of the northern boundary of the subtropical zone in China

康慕谊等<sup>[16]</sup>、张兴航等<sup>[28]</sup>。在赵芳等<sup>[22]</sup>的研究中,山地垂直带谱的基带所表现的北亚热带—暖温带的过渡带在秦巴山地东部为伏牛山南坡至神农架北坡,中部为太白山南坡至米仓山北坡,西部为白水江自然保护区以南。寇志翔等使用多个气候指标,并参考植被、土壤数据探讨了亚热带北界界限的位置<sup>[49]</sup>。本文植物交错过渡带的北界与前人提出的北亚热带的北界位置相差不大,并且本文进一步给出了植物交错过渡带的范围,为中国暖温带与亚热带界线的划分及综合地理区划提供了数据支撑。

中国暖温带与亚热带的具体地理分界线的位置一直存在争议,其原因除了各学科使用的指标不同之外,同样受到了研究尺度、判别标准的差异的影响,关键的问题在于对南北平均宽度 300 km 的秦巴山地内部气候和植被分异缺乏详细的了解。本文采用了 3 条南北样线的植被序列调查数据,仍需进一步增设样线数量,或在秦岭、大巴山进行更加深入的植物群落调查,从而更加全面的展示秦巴山地植物的组成和南北变化模式,降低山地小气候及人为因素对过渡带划定的影响,研究结果将更加全面和科学。秦巴山地范围内自然保护区约 40 个,覆盖范围较为全面,自然保护区内的植物名录能够为植物分布的研究提供数据支撑,植物区系的研究同样能够为南北过渡带位置的划定提供依据。中国暖温带与亚热带的分界线是一个综合地理分界线,仅仅依靠植物的分布是不能够得到最终结论的,气温、降水等气候指标的空间变化模式、土壤的空间分布与变异模式同样是中国南北分界线划分的重要依据。本文仅使用了已有的气象背景数据进行了相关分析和回归分析,未来研究仍然需要最新且更加精确的气候空间分布数据,将植物分布与气候、土壤结合,给出更加科学、准确的南北过渡带位置,并进一步探讨气候变化对中国南北过渡带位置的影响。

## 4.2 结论

本文基于秦巴山地东、中、西部 3 条南北穿越样线 163 个样点的植被实地调查数据分析,总结了秦巴山地由南向北物种类型与重要值的变化,结论如下:

(1) 亚热带与温带物种的交错过渡区在秦巴山地东、中、西部有较大差异:东部(伏牛山—神农架)最宽,约 180 km;中部(西安—达州)样线的交错过渡带位于样线中部约 100 km;西部样线的交错过渡带偏南,约 50~60 km。

(2) 秦巴山地东部(伏牛山—神农架)自南向北亚热带物种的减少主要与年均降水量减少有关;中部(西安—达州)与水热均相关,但年平均气温的作用比湿润指数稍大;西部(广元—天水)温带与亚热带物种的南北变化,主要与年平均降水量相关。

## 参考文献(References)

- [1] Zhang Baiping. Ten major scientific issues concerning the study of China's north-south transitional zone. *Progress in Geography*, 2019, 38(3): 305-311. [张百平. 中国南北过渡带研究的十大科学问题. *地理科学进展*, 2019, 38(3): 305-311.]
- [2] Zhu Kezhen. Subtropics of China. *Chinese Science Bulletin*, 1958(17): 524-528. [竺可桢. 中国的亚热带. *科学通报*, 1958(17): 524-528.]
- [3] Fang Jingyun, Song Yongchang, Liu Hongyan, et al. Vegetation-climate relationship and its application in the division of vegetation zone in China. *Acta Botanica Sinica*, 2002, 44(9): 1105-1122. [方精云, 宋永昌, 刘鸿雁, 等. 植被气候关系与我国的植被分区. *植物学报*, 2002, 44(9): 1105-1122.]
- [4] Zheng Du, Yang Qinye, Wu Shaohong, et al. *Study on Ecogeographic Regional System of China*. Beijing: The Commercial Press, 2008. [郑度, 杨勤业, 吴绍洪, 等. *中国生态地理区域系统研究*. 北京: 商务印书馆, 2008.]
- [5] Fang Jingyun. Eco-climatic analysis of forest zones in China. *Acta Ecologica Sinica*, 1991, 11(4): 377-387. [方精云. 我国森林植被带的生态气候学分析. *生态学报*, 1991, 11(4): 377-387.]
- [6] Fang Jingyun. Re-discussion about the forest vegetation zonation in eastern China. *Chinese Bulletin of Botany*, 2001, 43

- (5): 522-533. [方精云. 也论我国东部植被带的划分. 植物学报, 2001, 43(5): 522-533.]
- [7] Hong Bigong, Li Shaozhu. The preliminary study of the correlations between the distribution of main evergreen broad-leaf tree species in Jiangsu and climats. *Acta Ecologica Sinica*, 1981, 1(2): 105-111. [洪必恭, 李绍珠. 江苏主要常绿阔叶树种的分布与热量关系的初步研究. 生态学报, 1981, 1(2): 105-111.]
- [8] Hou Xueyu. A discussion on the controversial issues in scheme for vegetation regionalization of China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 1963, 1(1/2): 1-23. [侯学煜. 试论历次中国植被分区方案中所存在的争论性问题. 植物生态学与地植物学丛刊, 1963, 1(1/2): 1-23.]
- [9] Hou Xueyu. Discussion on the principle, basis and the system unit for vegetation regionalization of China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 1964, 2(2): 153-179. [侯学煜. 论中国植被分区的原则、依据和系统单位. 植物生态学与地植物学丛刊, 1964, 2(2): 153-179.]
- [10] Huang Bingwei. Draft of the complex physical geographical division of China. *Chinese Science Bulletin*, 1959(18): 594-602. [黄秉维. 中国综合自然区划草案. 科学通报, 1959(18): 594-602.]
- [11] Kuang Shengshun, Pei Yuanrong, Wang Xinghua, et al. Geobotanical zone of Henan Province, discussion on the division between north subtropical zone and south warm temperate zone. *Journal of Henan Normal University (Natural Science Edition)*, 1961(2): 1-10. [卞生舜, 裴元蓉, 王兴华, 等. 河南地植物带, 北亚热带向南暖温带过渡界线的探讨. 河南师范大学学报(自然科学版), 1961(2): 1-10.]
- [12] Wu Zhengyi, Hou Xueyu. *Vegetation of China*. Beijing: Science Press, 1980. [吴征镒, 侯学煜. 中国植被. 北京: 科学出版社, 1980.]
- [13] Liu Huaxun. The vertical zonation of mountain vegetation in China. *Acta Geographica Sinica*, 1981, 36(3): 267-279. [刘华训. 我国山地植被的垂直分布规律. 地理学报, 1981, 36(3): 267-279.]
- [14] Lei Mingde. *Shaanxi Vegetation*. Beijing: Science Press, 1999. [雷明德. 陕西植被. 北京: 科学出版社, 1999.]
- [15] Qian Chongshu, Wu Zhengyi, Chen Changdu. The vegetation types of China. *Acta Geographica Sinica*, 1956, 22(1): 37-92. [钱崇澍, 吴征镒, 陈昌笃. 中国植被的类型. 地理学报, 1956, 22(1): 37-92.]
- [16] Kang Muiyi, Zhu Yuan. Discussion and analysis on the geo-ecological boundary in Qinling range. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(7): 2774-2784. [康慕谊, 朱源. 秦岭山地生态分界线的论证. 生态学报, 2007, 27(7): 2774-2784.]
- [17] Zhou Guangyu. The transitional characteristics of vegetation and the boundary between north and south in Huaihe River Basin. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 1965, 3(1): 131-137. [周光裕. 淮河流域植被的过渡性特点及南北分界线的探讨. 植物生态学与地植物学丛刊, 1965, 3(1): 131-137.]
- [18] Zhang Xuezhong, Zhang Zhiying. A preliminary discussion on the northern boundary of subtropical zone in China: Based on the distribution of broadleaf woody evergreens on the Qinling Mountain. *Acta Geographica Sinica*, 1979, 34(4): 342-352. [张学忠, 张志英. 从秦岭南北坡常绿阔叶木本植物的分布谈划分亚热带的北界线问题. 地理学报, 1979, 34(4): 342-352.]
- [19] Zhang Zhenwan, Cui Youwen. Vegetation regionalization in Qinling Mountains (draft). *Chinese Journal of Plant Ecology*, 1963, 1(Suppl.1): 161-162. [张珍万, 崔友文. 秦岭地区的植被区划(草案). 植物生态学与地植物学丛刊, 1963, 1(增刊1): 161-162.]
- [20] Zhang Jinquan. Division between subtropical zone and temperate zone in Henan Province according to geo-botany. *Acta Geographica Sinica*, 1981, 36(2): 216-222. [张金泉. 从地植物学角度试论河南省境内亚热带与暖温带的分界线问题. 地理学报, 1981, 36(2): 216-222.]
- [21] Wang Jinglan, Liu Quanru, Meng Shiyong, et al. Division of the geo-ecological boundary in Qinling Mountain Range based on the composition and geographical elements of its Pteridophyta flora. *Geographical Research*, 2010, 29(9): 1629-1638. [王菁兰, 刘全儒, 孟世勇, 等. 从秦岭蕨类植物区系地理成分论秦岭山地生态分界线的划分. 地理研究, 2010, 29(9): 1629-1638.]
- [22] Zhao F, Liu J J, Zhu W B, et al. Spatial variation of altitudinal belts as dividing index between warm temperate and subtropical zones in the Qinling-Daba Mountains. *Journal of Geographical Sciences*, 2020, 30(4): 642-656.
- [23] Song Yongchang. Perspective of the vegetation zonation of forest region in eastern China. *Acta Botanica Sinica*, 1999, 41(5): 541-552. [宋永昌. 中国东部森林植被带划分之我见. 植物学报, 1999, 41(5): 541-552.]
- [24] Ying Junsheng, Li Yunfeng, Guo Lefeng, et al. Observations on the flora and vegetation of Taibaishan, Qinling Mountain range, southern Shaanxi, China. *Acta Phytotaxonomica Sinica*, 1990, 28(4): 261-293. [应俊生, 李云峰, 郭勒峰, 等. 秦岭太白山地区的植物区系和植被. 植物分类学报, 1990, 28(4): 261-293.]
- [25] Editorial Board of *Acta Geographica Sinica*. Summary of soviet experts' opinions on "Draft Comprehensive Physical Regionalization of China". *Acta Geographica Sinica*, 1959, 25(3): 240-247. [地理学报编委会. 苏联专家对“中国综合自然区划草案”的意见摘要. 地理学报, 1959, 25(3): 240-247.]
- [26] Song Yongchang. *Vegetation Ecology*. 2nd ed. Beijing: Higher Education Press, 2016. [宋永昌. 植被生态学. 2版. 北



- 京: 高等教育出版社, 2016.]
- [27] Tang Zhiyao, Ke Jinhu. Altitudinal patterns of plant species diversity in Mt. Niubeiliang, Qinling Mountains. *Biodiversity Science*, 2004, 12(1): 108-114. [唐志尧, 柯金虎. 秦岭牛背梁植物物种多样性垂直分布格局. 生物多样性, 2004, 12(1): 108-114.]
- [28] Zhang Xinghang, Zhang Baiping, Wang Jing, et al. North-south transect series in vegetation of eastern China's north-south transitional zone and their significance for determining climate dividing line. *Acta Geographica Sinica*, 2021, 76(1): 30-43. [张兴航, 张百平, 王晶, 等. 中国南北过渡带东段样带植被序列与气候分界问题. 地理学报, 2021, 76(1): 30-43.]
- [29] Chen Yun, Wang Hailiang, Han Junwang, et al. Numerical classification, ordination and species diversity along elevation gradients of the forest community in Xiaoqinling. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(8): 2068-2075. [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. 生态学报, 2014, 34(8): 2068-2075.]
- [30] Yao Yonghui, Kou Zhixiang, Hu Yufan, et al. Spatial distribution patterns of *Pinus tabulaeformis* forest and *Pinus massoniana* forest in Qinling-Daba Mountains and the boundary of subtropical and warm temperate zones. *Acta Geographica Sinica*, 2020, 75(11): 2298-2306. [姚永慧, 寇志翔, 胡宇凡, 等. 秦巴山区马尾松林和油松林的空间分布及亚热带与暖温带界线划分. 地理学报, 2020, 75(11): 2298-2306.]
- [31] Zhang Jintun. *Numerical Ecology*. Beijing: Science Press, 2004. [张金屯. 数量生态学. 北京: 科学出版社, 2004.]
- [32] Ye Yongzhong, Wang Suiyi, Li Peixue. A study on the spermatophyta flora in the Jigongshan natural sanctuary in south Henan. *Plant Science Journal*, 1992, 10(1): 25-34. [叶永忠, 王遂义, 李培学. 豫南鸡公山自然保护区种子植物区系的研究. 植物科学学报, 1992, 10(1): 25-34.]
- [33] Xu Dongyan. Preliminary investigation on the vegetation of Dabashan nature reserve and its characteristics. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2005, 32(3): 332-335. [许冬焱. 大巴山自然保护区植被及其特征的初步研究. 安徽农业大学学报, 2005, 32(3): 332-335.]
- [34] Chen Yun, Guo Ling, Yao Chengliang, et al. Community characteristics of a deciduous broad-leaved forest in a temperate-subtropical ecological transition zone: Analyses of a 5-hm<sup>2</sup> forest dynamics plot in Baiyunshan Nature Reserve, Henan Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(17): 5602-5611. [陈云, 郭凌, 姚成亮, 等. 暖温带—北亚热带过渡区落叶阔叶林群落特征. 生态学报, 2017, 37(17): 5602-5611.]
- [35] Fan Yulong, Hu Nan, Ding Shengyan, et al. Population dynamics of dominant species in the forest ecosystem at Funiu Mountain National Nature Reserve. *Journal of Northwest Forestry University*, 2015, 30(4): 14-20. [范玉龙, 胡楠, 丁圣彦, 等. 伏牛山自然保护区森林生态系统乔木层优势种群动态. 西北林学院学报, 2015, 30(4): 14-20.]
- [36] Qin Yufeng. The plant communities' vertical distribution and the species' diversity in Funiu mountain nature reserve. *Chinese Horticulture Abstracts*, 2011, 27(1): 186-187. [秦育峰. 伏牛山自然保护区植物群落垂直分布与物种多样性分析. 中国园艺文摘, 2011, 27(1): 186-187.]
- [37] Fang Jingyun, Wang Xiangping, Shen Zehao, et al. Methods and protocols for plant community inventory. *Biodiversity Science*, 2009, 17(6): 533-548. [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. 生物多样性, 2009, 17(6): 533-548.]
- [38] Xu Xinliang, Zhang Yaqing. China meteorological background dataset. Data Registration and Publishing System of Resource and Environmental Science Data Center, Chinese Academy of Sciences, 2017. [徐新良, 张亚庆. 中国气象背景数据集. 中国科学院资源环境科学数据中心数据注册与出版系统, 2017.]
- [39] Monk C D. An ecological significance of evergreenness. *Ecology*, 1966, 47: 504-505.
- [40] Song K, Kohyama T S, Da L J. Transition patterns across an evergreen-deciduous broad-leaved forest ecotone: The effect of topographies. *Journal of Vegetation Science*, 2014, 25(5): 1257-1266.
- [41] Luo Yang, He Yanbiao, Li Dezhu, et al. A comparison of classifications of families of Chinese vascular plants among *Flora Republicae Popularis Sinicae*, *Flora of China* and the new classifications. *Plant Diversity and Resources*, 2012, 34(3): 231-238. [骆洋, 何延彪, 李德铎, 等. 中国植物志、Flora of China 和维管植物新系统中科的比较. 植物分类与资源学报, 2012, 34(3): 231-238.]
- [42] Editorial Board of Chinese Flora. *Flora of China*. Beijing: Science Press, 1988. [中国植物志编委会. 中国植物志. 北京: 科学出版社, 1998.]
- [43] Wu Zhengyi. The areal-types of Chinese genera of seed plants. *Acta Botanica Yunnanica*, 1991(Suppl.4): 1-139. [吴征镒. 中国种子植物属的分布区类型. 云南植物研究, 1991(增刊4): 1-139.]
- [44] Chinese Physical Geography Committee of Chinese Academy of Sciences. *Chinese Physical Geography and Plant Geography* (Volume 1). Beijing: Science Press, 1983. [中国科学院《中国自然地理》委员会. 中国自然地理, 植物地理 (上册). 北京: 科学出版社, 1983.]
- [45] Zhu Hua. Some problems in references on floristic studies in China. *Plant Diversity and Resources*, 2007, 29(5): 489-

491. [朱华. 中国植物区系研究文献中存在的几个问题. 植物分类与资源学报, 2007, 29(5): 489-491.]
- [46] Pearson K. Notes on the history of correlation. *Biometrika*, 1920, 13(1): 25-45.
- [47] You Shibing, Yan Yan. Stepwise regression analysis and its application. *Statistics & Decision*, 2017(14): 31-35. [游士兵, 严研. 逐步回归分析法及其应用. *统计与决策*, 2017(14): 31-35.]
- [48] Troll C. The upper timberlines in different climatic zones. *Arctic and Alpine Research*, 1973, 5(Suppl.3): A3-A18.
- [49] Kou Zhixiang, Yao Yonghui, Hu Yufan. Delimitation of the northern boundary of the subtropical zone in China by geodetector. *Geographical Research*, 2020, 39(12): 2821-2832. [寇志翔, 姚永慧, 胡宇凡. 基于地理探测器的中国亚热带北界探讨. *地理研究*, 2020, 39(12): 2821-2832.]

## Latitudinal variation and transition patterns of plants in the Qinling-Daba Mountains

LIU Junjie<sup>1,2</sup>, ZHANG Baiping<sup>1</sup>, YAO Yonghui<sup>1</sup>, ZHANG Xinghang<sup>1,2</sup>,  
WANG Jing<sup>1,2</sup>, YU Fuqin<sup>1,2</sup>, LI Jiayu<sup>1,2</sup>

(1. State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Institute of  
Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;  
2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** The Qinling-Daba Mountains constitute the bulk of the north-south transition of China. The transitions and patterns of plant species distribution must be determined to understand the spatial variation and complexity of this region and demarcate the boundary between the warm temperate and subtropical zones of China. We analyzed variations in plant species richness, relative importance value (RIV) and typical species abundance in a north-to-south direction based on plant community field survey data. There were 163 sample sites along three north-south transect lines in the eastern, middle, and western Qinling-Daba Mountains. Furthermore, the differences in RIV between subtropical and temperate species (SND-RIV) revealed the dominance of northern and southern plant species and explained spatial vegetation patterns. The results show that: (1) along the eastern (Sanmenxia-Yichang), middle (Xi'an-Dazhou) and western (Tianshui-Guangyuan) transects, the richness and RIV of subtropical plant species increased while those of temperate plant species decreased from north to south. In the eastern transect, temperate plant species richness and RIV were the highest at Shennongjia and Funiu Mountains, respectively, because of the high elevation there. In the middle transect, subtropical plant species richness and RIV were the highest in Daba Mountain. In the western transect, richness and RIV were higher for subtropical compared with temperate plant species in the south of Longnan. (2) In the eastern, middle, and western transects, the crisscross areas of the northern and southern plant species were ~180 km, ~100 km, and 50-60 km, respectively. (3) The eastern, middle, and western transects differed in terms of their north-south plant species transition patterns and the factors driving them. Decreases in subtropical plant species from south to north were related to the decreases in annual precipitation in the eastern and western transects. In the middle transect, mean annual temperature had a slightly greater influence on plant species distribution than the moisture index.

**Keywords:** latitudinal plants variation; north-south climate dividing line; north-south transitional zone of China; Qinling-Daba Mountains; transitional pattern