

# 气候变化对我国7种植物潜在分布的影响

吴建国

(中国环境科学研究院, 北京 100012)

**摘要:** 利用 CART(分类和回归树)模型及 A2 和 B2 气候情景, 模拟分析气候变化对瘿椒树、岩高兰、延龄草、星叶草、天麻、蝟实和秃杉分布范围及空间格局影响。结果显示: 气候变化下, 就目前适宜分布范围, 瘿椒树呈增加趋势, 其它植物呈缩小趋势; 就新适宜及总适宜分布范围, 蔚实、延龄草和瘿椒树呈增加趋势, 星叶草和岩高兰呈减小趋势, 天麻和秃杉在 1991~2020 年到 2051~2080 年时段呈增加趋势, 之后下降。天麻将向西部和西南一些高海拔区域扩展, 秃杉、蔚实、星叶草和延龄草将向西部高海拔及东北部一些高纬度区域扩展, 瘿椒树将向东北部和北部一些高纬度区域扩展; 岩高兰将向东北部一些高纬度区域扩展, 到 2051~2080 年时段在我国适宜分布范围消失。这些植物适宜分布范围与年均气温和降水量变化相关性并不一致, 一些植物适宜分布范围与年均气温和降水量变化相关系数不显著( $P>0.05$ ); 一些植物适宜范围与年降水量和年均气温变化多元线性回归关系决定系数较小。这说明气候变化下, 除瘿椒树外, 这些植物目前适宜分布区范围将缩小, 新适宜范围主要向高纬度和高海拔区域扩展。

**关键词:** 濒危植物; 气候变化; CART 模型; 空间分布格局

**中图分类号:** Q948.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2011)05-0595-13

## The potential effects of climate change on the distributions of 7 plants in China

WU Jian-Guo

(Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

**Abstract:** The effects of climate change on the distributions of Falsepistache (*Tapiscia sinensis*), Black Crowberry (*Empetrum nigrum*), Wakerobin (*Trillium tschonoskii*), Field Circaeaster (*Circaea agrestis*), Gastrodia (*Gastrodia elata*), Beauty Bush (*Kolkwitzia amabilis*) and Flous Taiwanian (*Taiwanian flousiana*) in China were analyzed using the CART (classification and regression tree) model and climate change scenarios of A2 and B2. The results showed that climate change in China would cause an increase in the current distribution of Falsepistache, and it would cause a decrease in current distribution of other plants. The new distribution or total distribution region of Beauty Bush, Wakerobin or Falsepistache would increase, while Field Circaeaster or Black Crowberry would decrease, and that of Gastrodia or Flous Taiwanian would increase from periods of 1991-2020 to periods of 2051-2080, then they would decrease, and they were higher in A2 scenario than that in B2 Scenario. New suitable regions of these plants would expand towards high altitude regions or latitude regions. And the distribution regions of Gastrodia would mainly expand towards high altitude regions, while Flous Taiwanian, Beauty Bush, Field Circaeaster or Gastrodia would expand towards high altitude regions or latitude regions, and Falsepistache would expand towards high altitude regions or northeast latitude regions, while Black Crowberry would expand towards high altitude regions or latitude regions, and the distribution regions of that would lost from periods of 2051-2080 to periods of 2081-2100. Additionally, under climate change, changing in current distribution, new distribution or total distribution region of the plants did not con-

收稿日期: 2010-06-07 修回日期: 2011-06-12

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划专项(2007BAC03A02-06); 中国环境科学研究院公益性院所基金(2007KYYW05) [Supported by Special Fund for Science and Technology Support Program During National Eleventh Five-Year Plan Period(2007BAC03A02-06); Special Fund for Public-Interest Institutes of Chinese Research Academy of Environmental Sciences(2007KYYW05)]

作者简介: 吴建国(1971-), 男, 甘肃省张掖人, 博士, 研究员, 研究方向为气候变化生态影响及其适应, (E-mail) wuj9298@yahoo.com.cn.

sistently change with changing in annual mean air temperature or precipitation in China, and the changing in current distribution, new distribution or total distribution region of some plants were poor related with changing in annual mean air temperature or precipitation in China. And the linear regression relationship between changing in the plants distribution and annual mean temperature and annual mean precipitation in China were different for different plants, while the linear regression relationship between changing in the plants distribution and annual mean temperature and annual mean precipitation in China were poor. The results indicated that climate change in China would cause decrease in the current distribution region of the animals except False pistache, and it would cause expand the distribution of the plants towards high altitude or high latitude regions. And the relationship between changing in the plants distribution and annual mean temperature and annual mean precipitation in China were different.

**Key words:** endangered plant; climate change; CART model; spatial distribution pattern

气候变化已对物种分布和丰富度产生了极大影响(Parmesan & Yehe, 2003; Root 等, 2003), 未来将产生更大影响(Araújo 等, 2005)。为了有效保护生物多样性, 科学认识气候变化对物种分布影响将是关键(Williams 等, 2005; Pyke 等, 2005)。另外, 为了科学规划自然保护区而有效保护物种, 准确确定气候变化对物种分布影响也是关键(Mccarty, 2001; Coulston & Riitters, 2005)。

气候变化对植物物种分布影响研究广泛展开, 如 Bakkenes 等(2002)分析气候变化对欧洲高等植物分布影响, Erasmus 等(2002)分析气候变化对非洲一些物种分布的影响, Shafer 等(2001)分析气候变化对南美一些乔木及灌木分布影响等, 但对物种分布在不同年份及多年变化差异考虑不够, 利用长时间序列气候变化情景分析气候变化对物种分布影响受到关注(Loiselle 等, 2008)。气候要素选择差异较大, 如 Erasmus 等(2002)选择年及月均气温, 年及月最小最大气温及繁殖期降水量, Forsman 等(2003)选择最冷月气温、年均气温、繁殖期气温和降水量, Luoto 等(2005)选择最冷月气温和降水量及大于 5 °C 积温, Matsui 等(2004)选择气候变量分析气候变化对物种分布影响。每个气候变量只反映物种与气候要素关系的一方面, 尽可能选择气候变量将提高模拟气候变化对物种分布影响分析精度(Araújo 等, 2005)。气候变化下物种分布范围改变包括目前适宜(目前气候状况下适宜分布)、新适宜(气候变化下目前适宜范围之外新适宜范围)和总适宜分布范围(气候变化下物种总适宜范围)及空间分布格局改变(Walther 等, 2002), 这在气候变化下物种的就地和异地保护甚为关键, 一些研究缺少对目前适宜及新适宜分布区变化的分析。我国在气候变化对植物分布影响方面也开展了一些研究, 并分析物种分布模拟中模型选择的重要性, 但对气候要素间相互作用或波动性及极端气候

事件考虑不够(郝占庆等, 2001)。

选择分布资料相对完备, 且具重要保护价值的 7 种植物, 包括瘦椒树(*Tapiscia sinensis*), 属省沽油科瘦椒树属, 是特有古老树种, 为国家Ⅲ级保护植物, 星散分布于长江流域, 生于海拔 400~1 800 m 的山坡与溪谷旁, 分布区气候多属温凉高湿, 年均温 10~14 °C, 年降水量多在 1 600 mm, 土壤为山地黄壤至黄棕壤; 岩高兰(*Empetrum nigrum*), 属岩高兰科岩高兰属, 主分布于内蒙古呼伦贝尔盟喜桂图旗、额尔古纳左旗, 兴安盟科尔沁右翼前旗、黑龙江省的呼玛、漠河和塔河等县, 吉林省的长白山海拔 2 000 m 处有极少分布, 分布区极端最低温 -40~-50 °C, 冬季严寒季节长, 年降水量 400~550 mm, 土壤瘠薄; 延龄草(*Trillium tschonoskii*), 属百合科延龄草属, 列国家Ⅲ级保护植物, 分布于西藏东南部的波密、云南西北部、四川的越西美姑等、甘肃的东南部、安徽大别山和黄山、浙江西北部目山及福建北部武夷山等地, 零星或成片生于海拔 1 000~3 200 m 林下或山谷阴湿处, 分布区年均温 8~12 °C, 极端最低温 0 °C 以下, 年降水量 1 000~2 000 mm, 土壤为页岩、板岩、石灰岩发育形成的山地黄壤和山地黄棕壤; 星叶草(*Circaea agrestis*), 属毛茛科星叶草属, 单种属植物, 列为Ⅱ级保护植物, 分布于陕西、甘肃、青海、新疆、西藏、四川和云南, 海拔 1 100~4 800 m, 喜阴湿; 天麻(*Gastrodia elata*), 属兰科天麻属, 分布于热带、亚热带、温带及寒温带山地, 常生于阔叶林或针阔混交林林缘或林间空地, 喜生于腐殖质层深厚土壤; 蝟实(*Kolkwitzia amabilis*), 属忍冬科猬实属, 分布于河北、山西、河南、陕西、甘肃、湖北和安徽, 分布区年均气温 12~15 °C, 年降水量 500~1 100 mm, 土壤多为褐色土, 呈微酸性至微碱性; 秃杉(*Taiwania flousiana*), 属于杉科台湾杉属, 列为国家Ⅰ级保护植物, 为第三纪古热带植物区子遗植物, 曾广泛分布于欧洲和亚洲的东部, 由于第四

纪冰期影响, 现仅存于云南、湖北、贵州、台湾及缅甸北部局部地区, 分布区属中亚热带季风气候, 夏热冬凉, 雨量充沛, 土壤为山地黄壤(方元平等, 2007; 向巧萍, 2001; 李智选等, 2009; 陈功锡等, 2001; 林开敏等, 1993; 胡天印等, 2009; 陶金川等, 1990; 魏志琴等, 2004; 湖北省植物研究所, 1976; 中国植物志编辑委员会, 1988, 1999)。气候变化对这种植物分布将可能有极大的影响, 对此还并不清楚。为此, 本文采用了 A2 和 B2 情景, 分析了 1991~2100 年不同时段 7 种植物分布变化及与我国年均气温和降水量变化的相关性, 希望为气候变化下保护这些植物提供依据, 为进一步开展相关研究提供参考。

## 2 材料与方 法

### 2.1 植物目前分布数据的收集与分析

研究的 7 种植物分布数据主要通过收集整理中国珍稀濒危植物红皮书、植物志、专题报告和公开发表文献等获得。将《中国地名录—中华人民共和国地图集地名索引》中三万三千余条地名录入 Excel 表格, 将地名、经纬度属性列转换成 DBF 格式后, 在地理信息系统 ArcGIS9.2 软件的 ArcMAP 中打开后加载坐标数据并读取坐标数据, 然后以数据层方式加载到地图文档中。把植物分布数据在 Access 软件中建立数据库后, 利用 ArcGIS9.2 软件将每一种物种分布与否(分布有以 1 表示, 分布无以 0 表示)数据作为属性添加到数字化县级行政区划图属性表上, 根据这一属性将数字化县级行政区划图插值为 15 770 个 25 km×25 km 栅格单元, 制作这些植物分布图, 再用栅格化物种分布数据裁剪栅格象元大小相同的气候数据, 得到 15 770 个 25 km×25 km 象元大小栅格化气候数据, 将物种分布栅格数据转化为点数据, 根据点 ID 号将每种植物分布属性表链接后输出得到物种分布属性表, 将栅格形式气候数据转化为点数据, 根据点 ID 号将每一年不同气候变量属性表链接, 得到 1991~2100 年气候变量属性表, 基于点形式气候数据与点形式的物种分布数据点 ID 号相同使每个点上气候数据与物种分布数据对应, 建立全国范围 15 770 个点气候数据与物种分布数据相匹配数据库, 作为分析气候变化对这些植物分布影响基础数据。

### 2.2 环境因素选择

选用了反映气温的变量、积温及天数, 及反映降水量的变量及天数, 以及反映气候要素极端趋势变

量, 以及干燥指数(谢良若夫干燥指数、修改的谢良若夫干燥指数, 伊万若夫干燥指数)、Holdridge 指数(Holdridge, 1967)、Kira 指数(Kira, 1977)和 Thornthwaite 指数(Thornthwaite, 1948), 总计 62 个变量(表 1)。

模拟气候变化对分布影响中, 应用过多参数将导致模型分析不稳定(Muñoz 等, 2004; Beaumont 等, 2005)。PCA(主分量分析)方法利用预测变量产生的主分量子集代替了预测变量本身, 并且减少了变量数量、排除了变量间多重共线性问题, 在分析气候变化对物种分布影响中常被用来减少参数数量(Williams 等, 2003)。本研究中, 考虑到 62 个气候变量过多有自变量共线性问题, 也用 PCA 方法减少参数数量, 并根据 PCA 结果, 选择占全部变量 99% 的前 22 个主分量作为分析气候变化对物种分布预测变量(表 2)。这些主分量为原 62 个气候要素函数, 每个主分量中各气候要素系数不同, 第一主分量系数较高原变量包括秋季平均气温、大于 0 和 5 °C 积温, 持续大于 25 °C 天数、年均生物学温度与潜在蒸发率, 而第二到第二十二主分量系数较高原变量分别是湿润指数、春季降雨量、干燥度指数 2、最大降水强度、暴雨天数、持续大于 20 °C 天数、持续大于 15 °C 天数、最大降水强度、潜在蒸发、持续大于 20 °C 天数、持续大于 0 °C 天数、潜在蒸发量、最热月最高温度、干燥度指数 3、降雨大于 0 mm 天数、降雨大于 5 mm 天数、春季降雨强度、降雨大于 0 mm 天数、秋季降雨量、春季降雨强度和持续低于 20 °C 的天数。

### 2.3 气候变化情景

本研究采用 IPCC 排放情景特别报告(SRES)中的 A2 和 B2 情景, 这些情景由中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所引进英国 Hadley 气候中心 RCM(Regional Climate Model)系统 PRECIS(Providing Regional Climates for Impacts Studies)气候模型产生(许吟隆等, 2002; 许吟隆, 2005)。A2 情景描述了区域经济发展趋势, 单个资本经济发展和技术革新比其它情景慢, CO<sub>2</sub> 浓度从 2000 年 380 ppm 到 2080 年 700 ppm, 全球最高增温幅度为 3.79 °C; B2 情景描述了区域社会经济和环境可持续发展, 人口持续增加(比 A2 情景低), 经济发展中速度, 采用不同发展技术, CO<sub>2</sub> 浓度从 2000 年 380 mg/L 到 2080 年 550 mg/L, 全球最高增温幅度为 2.69 °C; 基准情景选择 1961~1990 年气候要素值, 基准情景与未来情景都是同一个气候模式产生, 模型给出每个格点(中国 4 001 个)逐日最高温、最低温、平均温度、降水和辐射等气

表 1 构建模型的气候变量  
Table 1 Environmental variables used to construct the model

序号 No.	气候变量 Climatic variable	单位 Unit	序号 No.	气候变量 Climatic variable	单位 Unit
1	年平均温度	℃	32	春季降水量	mm
2	1月平均温度	℃	33	夏季降水量	mm
3	7月平均温度	℃	34	秋季降水量	mm
4	春天平均温度	℃	35	冬季降水量	mm
5	夏天平均温度	℃	36	春季降水强度	mm · d <sup>-1</sup>
6	秋天平均温度	℃	37	夏季降水强度	mm · d <sup>-1</sup>
7	冬天平均温度	℃	38	秋季降水强度	mm · d <sup>-1</sup>
8	>0 ℃积温	℃	39	冬季降水强度	mm · d <sup>-1</sup>
9	>5 ℃积温	℃	40	降水量>0 mm 天数	d
10	>10 ℃积温	℃	41	降水量>5 mm 天数	d
11	>15 ℃积温	℃	42	降水量>10 mm 天数	d
12	>20 ℃积温	℃	43	降水量>25 mm 天数	d
13	>25 ℃积温	℃	44	降水量>50 mm 天数	d
14	持续>0 ℃天数	d	45	降水量>100 mm 天数	d
15	持续>5 ℃天数	d	46	降水量>150 mm 天数	d
16	持续>10 ℃天数	d	47	最大降水强度	mm · d <sup>-1</sup>
17	持续>15 ℃天数	d	48	最大降水强度天数	d
18	持续>20 ℃天数	d	49	暴雨天数	d
19	持续>25 ℃天数	d	50	干燥度指数 1 k1	
20	最冷月最低温度	℃	51	干燥度指数 2 k2	
21	最热月最高温度	℃	52	干燥度指数 3 k3	
22	最冷月最低温度累积天数	d	53	每年平均生物学温度 BT	℃
23	最热月最高温度累积天数	d	54	潜在蒸发率 PER	
24	持续>35 ℃天数	d	55	潜在蒸发 PRT	mm
25	持续<-10 ℃累积温度	℃	56	温暖指数 WI	
26	持续<-5 ℃累积温度	℃	57	寒冷指数 CI	
27	持续<0 ℃累积温度	℃	58	湿度指数 HI	
28	持续<-10 ℃累积天数	d	59	潜在蒸发 Em	
29	持续<-5 ℃累积天数	d	60	湿润指数 Im	
30	持续<0 ℃累积天数	d	61	湿润度指数 Iay	
31	年降雨量	mm	62	干燥度指数 lhy	

k1:谢良若夫干燥度指数; k2:修改谢良若夫干燥度指数; k3:伊若夫干燥度指数。

k1:Xielianni ruofu Index of aridity; k2:Revised Xielianniruofu Index of aridity K2; k3:Yifangruofu index of aridity.

象指标,这些情景在我国已被检验和应用,包括对基准气候情景(1961~1990年)与观测值对应检验及模拟分析未来中国气候变化趋势(许吟隆等,2002,2005;许吟隆 2005;居辉等,2005;熊伟等,2005)。为了使气候数据与物种分布数据相统一,利用 Kriging 法将这些气候数据通过插值转化为象元大小为 25 km × 25 km 栅格数据。如 2.1 所述,为了与物种分布数据进行匹配,用已栅格化物种分布数据裁剪同样栅格象元大小一致气候数据,得到 15 770 个 25 km × 25 km 栅格上的气候要素数据。这些情景要素中不包括大气中 CO<sub>2</sub> 浓度变化,其中 A2 和 B2 情景分别是未来温室气体高排放和低情况下气候变化情景。

#### 2.4 模拟方法

CART(classification and regression tree,分类和回归树)模型是广泛用来模拟分析气候变化对物种分布影响的方法,这种模型是非参数化回归及分类方

法,将由自变量定义的空间划分为尽可能的同质类别,每一次划分均由自变量的一次最佳划分值来完成,重复此过程,直到数据不可再分为止;根据响应变量不同,既可预测种类(分类树),也可预测平均值(回归树)。在分析气候变化对物种分布的影响时,需要根据已确定的物种分布数据和对应的气候变量数据,把物种分布数据输入到因变量或响应变量,气候要素数据输入到自变量或预测变量,求解模型参数和检验模型;模型运行后,再把新气候变量数据输入到预测变量下进行物种分布范围预测,要求新气候变量数据形式与求解参数时气候变量格式一致(Thuiller, 2003)。本研究采用此模型分析气候变化对 7 种植物分布的影响,最小节点数选择 10,节点偏差选择 0.010。由于 CART 模型模拟计算出的物种分布信息是以概率形式反映,参考国际上做法,以概率大于 0.5 作为分布存在的标准,小于 0.5 作为分布不存在的标

准(Bakkenes 等, 2002; Berry 等, 2002; Midgley 等, 2003)。

表 2 占总变量 99% 的前 22 个主分量 (PC)

Table 2 Top 22 PC amount to 99% of the total variance

分量 Component	标准误 Standard deviation	变量比例 Proportion of variance	累积比例 Cumulative proportion
1	5.87	55.60	55.60
2	2.91	13.60	69.20
3	1.83	5.40	74.60
4	1.64	4.30	78.90
5	1.54	3.80	82.70
6	1.32	2.80	85.50
7	1.12	2.00	87.50
8	1.04	1.70	89.30
9	1.00	1.60	90.90
10	0.96	1.50	92.40
11	0.83	1.10	93.50
12	0.78	1.00	94.50
13	0.73	0.90	95.30
14	0.72	0.80	96.20
15	0.68	0.80	96.90
16	0.57	0.50	97.40
17	0.52	0.40	97.90
18	0.45	0.30	98.20
19	0.40	0.30	98.50
20	0.38	0.20	98.70
21	0.35	0.20	98.90
22	0.31	0.20	99.10

模拟分析中,先根据 7 种植物目前分布范围与部分基准气候情景数据求出模型参数,再利用基准气候情景模拟这些植物在当前气候条件下的分布,并与观测分布对比评价模拟效果。通过计算 AUC(the area under the relative operating characteristic curve,相对操作特征曲线下面积,表示模型模拟结果与现实观测分布之间一致性,面积越大表示一致性越好)和 Kappa( $\kappa$ )统计学方法评价模拟准确性(Thuiller, 2003)。

分析气候变化对 7 种植物分布影响中,先计算了基准气候(1961~1990 年)和不同气候变化情景 1991~2100 年各年代这些植物分布范围,又计算了不同气候变化情景下这些植物在 1991~2020 年、2021~2050 年、2051~2080 年和 2081~2100 年时段分布范围平均值,通过比较这些植物在基准气候情景(1961~1990 年)与 1991~2020 年、2021~2050 年、2051~2080 年和 2081~2100 年时段分布范围的差异,分析气候变化下这些植物分布变化的趋势,适宜气候分布范围=模拟计算未来气候情景适宜分布格点数基准情景下适宜分布格点数 100。同时,以相关分析方法

分析了这些植物分布范围与年均气温变化和年降水量变化相关性,以多元回归方法分析了这些植物分布范围与年均气温和年降水量变化多元回归关系,以 Durbin Watson 方法检验气候要素长时间序列自相关性,以 Hildreth-Lu 方法消除这些回归关系中自变量之间自相关性(Kutner 等, 2004)。我国年均气温变化=(每个格点每年气温-每个格点基准情景下平均气温)总格点数;我国年降水量变化=(每个格点每年降水量-每个格点基准情景下年降水量)每个格点基准情景下年降水量 100)总格点数,气温和降水量变化都是计算比较未来情景(1991~2100 年)和基准气候情景(1961~1990 年)得到。

表 3 模型模拟效果检验

Table 3 The assessment of modeling

物种 Species	AUC	效果 Effect	Kappa ( $\kappa$ )	效果 Effect
天麻	0.95	很好	0.75	好
秃杉	1.00	很好	0.80	很好
蝟实	1.00	很好	0.77	好
星叶草	0.93	很好	0.65	好
岩高兰	0.91	很好	0.79	好
延龄草	0.97	很好	0.74	好
瘦椒树	0.99	很好	0.69	好

注:图中 TM、TS、WS、XYC、YGL、YLC 和 YQS 分别表示天麻、秃杉、蝟实、星叶草、岩高兰、延龄草和瘦椒树,图 2 相同。

## 3 结果与分析

### 3.1 模拟效果分析

图 1 显示,CART 模型模拟的基准气候情景下这些植物分布与实际观测分布范围接近,CART 模型模拟的这些植物目前分布范围结果占观测分布范围的 64% 以上。模型检验结果表明模拟的 AUC 为 0.91 以上,Kappa( $\kappa$ )统计值为 0.65 以上,说明模拟总体上较好。

### 3.2 气候变化对植物分布范围的影响

就目前适宜分布范围,瘦椒树呈现增加趋势,其它植物呈现缩小趋势;就新适宜及总适宜分布范围,天麻和秃杉在 1991~2020 年到 2051~2080 年时段呈现增加趋势,之后下降,蔚实、延龄草和瘦椒树从 1991~2020 年到 2081~2100 年时段呈现增加趋势,星叶草和岩高兰从 1991~2020 年到 2081~2100 年时段呈现减小趋势,且 A2 情景下变化较大,B2 情景下较小(表 4)。

就目前适宜分布范围中位数,瘦椒树呈现增加

表 4 A2 和 B2 气候变化情景下 7 种植物分布范围  
Table 4 The distribution of 7 plants under A2 and B2 climate change scenarios

物种 Species	气候情景 Climate scenarios	分布 Distribution	目前	1961~1990	1991~2020		2021~2050		2051~2080		2081~2100	
			%	%	平均(%)	标准差	平均(%)	标准差	平均(%)	标准差	平均(%)	标准差
天麻	A2	M	100	71	29	7	27	6	19	5	13	4
		X	0	17	202	61	225	72	242	72	228	68
		Z	100	88	231	64	252	76	261	74	241	70
	B2	M	100	71	29	7	26	6	21	5	17	4
		X	0	17	209	59	227	73	243	72	238	69
		Z	100	88	239	61	253	77	265	75	255	71
秃杉	A2	M	100	72	20	9	14	7	9	7	4	4
		X	0	8	287	115	303	105	344	124	318	132
		Z	100	80	307	118	317	103	354	124	322	133
	B2	M	100	72	19	10	13	6	11	7	7	6
		X	0	8	288	112	307	108	345	125	347	140
		Z	100	80	307	115	320	106	356	125	354	141
鞘实	A2	M	100	76	8	7	6	7	4	4	4	4
		X	0	19	280	290	264	306	312	367	403	468
		Z	100	95	287	294	270	310	316	369	406	468
	B2	M	100	76	7	6	6	7	4	5	4	4
		X	0	19	268	284	265	307	306	360	362	428
		Z	100	95	275	286	271	311	311	363	366	430
星叶草	A2	M	100	64	37	5	34	4	31	4	29	4
		X	0	28	176	38	158	31	143	30	120	27
		Z	100	92	213	41	193	33	174	31	149	27
	B2	M	100	64	37	4	34	4	32	4	31	4
		X	0	28	172	36	158	30	151	30	137	30
		Z	100	92	208	38	192	32	183	31	167	30
岩高兰	A2	M	100	81	33	23	27	18	8	11	1	3
		X	0	23	121	68	108	89	62	62	41	36
		Z	100	104	154	77	136	99	70	70	43	38
	B2	M	100	81	32	22	26	19	12	13	5	6
		X	0	23	118	70	103	87	69	65	63	53
		Z	100	104	151	79	129	98	81	73	67	56
延龄草	A2	M	100	68	19	5	17	5	16	5	17	4
		X	0	15	166	74	205	103	298	144	308	107
		Z	100	84	186	75	222	104	314	147	325	109
	B2	M	100	68	19	6	17	5	15	5	15	4
		X	0	15	172	78	213	98	266	119	266	93
		Z	100	84	191	79	229	99	282	121	281	95
瘦椒树	A2	M	100	67	16	9	24	13	39	17	50	18
		X	0	27	138	53	202	88	307	124	411	139
		Z	100	94	153	60	227	99	347	139	462	155
	B2	M	100	67	16	10	25	14	37	17	45	21
		X	0	27	141	56	207	88	282	113	346	146
		Z	100	94	157	64	232	100	319	129	391	166

注: M, X 和 Z 代表目前适宜分布、新适宜分布和总适宜分布, 表 5、6 和 7 相同。

Note: M, X and Z stand for respectively the current distribution, the new suitable distribution or total suitable distribution of plants. Same as table 5, 6 and 7.

趋势, 天麻在 1991~2020 年到 2051~2080 年时段呈现下降趋势, 之后增加, 其它植物呈现缩小趋势; 就新适宜和总适宜分布范围中位数而言, 天麻和秃杉在 1991~2020 年到 2051~2080 年时段呈现增加趋势, 之后下降, 鞘实、延龄草和瘦椒树从 1991~

2020 年到 2081~2100 年时段呈现增加趋势, 星叶草和岩高兰从 1991~2020 年到 2081~2100 年时段呈现减小趋势, A2 情景下较大, B2 情景下较小(表 5)。

气候变化下, 就目前适宜分布范围最小最大值而言, 瘦椒树呈现减少趋势, 天麻在 1991~2020 年

表 5 A2 和 B2 气候情景下 7 种植物分布范围最小、最大值和中位数

Table 5 The minimal, maximum and median of distribution of 7 plants under A2 and B2 climate change scenarios

物种 Species	气候情景 Climate scenarios	分布 Distri- bution	观测 Obser- vation	基准 Base- line	1991~2020			2021~2050			2051~2080			2081~2100		
					最小	最大	中位数	最小	最大	中位数	最小	最大	中位数	最小	最大	中位数
天麻	A2	M	100	71	16	45	29	15	40	26	10	27	18	16	45	29
		X	0	17	90	367	212	52	395	219	96	400	238	90	367	212
		Z	100	88	111	406	236	66	436	246	106	416	253	111	406	236
	B2	M	100	71	18	45	30	11	42	26	11	32	21	18	45	30
		X	0	17	127	367	206	52	407	220	81	398	242	127	367	206
		Z	100	88	152	405	233	63	444	248	92	430	262	152	405	233
秃杉	A2	M	100	72	1	41	20	1	31	14	0	28	9	0	16	3
		X	0	8	118	544	249	116	566	296	120	639	356	141	650	298
		Z	100	80	126	572	269	126	569	307	123	651	366	151	657	304
	B2	M	100	72	2	41	17	1	28	14	0	28	11	0	20	7
		X	0	8	119	547	253	116	584	290	113	621	364	147	612	367
		Z	100	80	130	577	271	124	590	302	119	631	371	150	624	376
芎实	A2	M	100	76	0	33	6	0	32	4	0	15	2	0	11	3
		X	0	19	88	1547	173	53	1699	171	54	2087	205	123	2261	272
		Z	100	95	94	1553	177	57	1714	177	57	2099	206	123	2262	276
	B2	M	100	76	0	32	5	0	31	3	0	17	2	0	11	2
		X	0	19	87	1559	187	59	1735	184	63	2049	200	96	2068	222
		Z	100	95	97	1567	193	63	1750	189	65	2061	202	96	2077	224
星叶草	A2	M	100	64	24	47	36	27	41	35	22	40	31	24	35	29
		X	0	28	101	250	183	102	205	162	101	214	133	80	194	114
		Z	100	92	126	294	219	130	239	197	127	240	165	107	222	145
	B2	M	100	64	28	46	36	28	40	34	26	40	32	22	39	31
		X	0	28	92	233	182	106	213	161	105	215	142	99	192	127
		Z	100	92	123	279	218	139	246	198	135	242	175	130	223	161
岩高兰	A2	M	100	81	3	83	25	0	68	24	0	51	3	0	10	0
		X	0	23	35	390	106	9	365	80	3	238	50	1	110	30
		Z	100	104	57	473	153	15	427	106	3	288	57	1	111	30
	B2	M	100	81	3	81	23	0	72	22	0	54	8	0	17	2
		X	0	23	20	400	104	12	363	90	0	265	55	3	177	48
		Z	100	104	37	481	147	19	421	98	1	318	67	3	188	48
延龄草	A2	M	100	68	12	31	19	9	28	16	9	27	15	8	26	17
		X	0	15	52	338	156	55	475	181	82	679	273	106	545	305
		Z	100	84	71	359	172	76	491	200	98	704	290	121	571	319
	B2	M	100	68	11	37	18	10	31	16	7	28	15	6	21	15
		X	0	15	52	360	172	64	473	201	79	581	255	99	451	269
		Z	100	84	72	378	187	83	489	219	94	601	269	114	472	287
瘦椒树	A2	M	100	67	3	35	14	9	63	22	14	79	37	16	82	50
		X	0	27	46	269	138	75	420	187	70	532	307	89	631	425
		Z	100	94	55	304	148	85	474	210	84	611	352	105	713	479
	B2	M	100	67	4	39	15	8	60	21	13	78	36	4	80	48
		X	0	27	45	286	132	85	431	195	83	519	284	49	586	345
		Z	100	94	55	325	142	96	491	210	100	597	324	52	666	382

到 2051~2080 年时段呈现下降趋势,之后增加,星叶草最小值变化不大,最大值呈现下降趋势,其它植物呈缩小趋势;就新适宜及总适宜分布范围最小最大值,天麻 1991~2020 年到 2051~2080 年时段呈现增加趋势,之后下降,星叶草最小值从 1991~2020 年到 2051~2080 年时段呈现增加趋势,之后

下降,最大值从 1991~2020 年到 2081~2100 年时段呈现减小趋势,秃杉呈现增加趋势,芎实、延龄草和瘦椒树从 1991~2020 年到 2081~2100 年时段呈现增加趋势,岩高兰从 1991~2020 年到 2081~2100 年时段呈现减小趋势,并且 A2 情景下较大, B2 情景下较小(表 5)。

### 3.3 气候变化对植物分布格局的影响

图 1 和图 2 对比分析显示,天麻目前适宜分布区东部一些区域将不再适宜,新适宜分布区将向西部和西南一些区域扩展;秃杉目前适宜分布区东部一些区域将不再适宜,新适宜分布区将向西部、东部东北部一些区域扩展;蕨实目前适宜分布区南部一些区域将不再适宜,新适宜分布区将向西南和东北部一些区域扩展;星叶草目前适宜分布区东部、东北部和北部一些区域将不再适宜,新适宜分布区将向

西部、西南部一些区域扩展;岩高兰目前适宜分布区南部一些区域将不再适宜,新适宜分布区将向东北部一些区域扩展,到 2051~2080 年时段在我国适宜分布范围消失;延龄草目前适宜分布区东部、东北部一些区域将不再适宜,新适宜分布区将向西部、西南部一些区域扩展;瘦椒树目前适宜分布区东南部一些区域将不再适宜,新适宜分布区将向东北部和北部的一些区域扩展,并且 A2 情景下变化较大,B2 情景下较小。

表 6 七种植物分布范围与我国年均气温和降水量变化相关系数

Table 6 The correlation coefficient between distribution region of 7 plants and the change of annual mean temperature and annual mean precipitation change in China

物种 Species	分布 Distribution	降水变化				气温变化			
		A2		B2		A2		B2	
		相关系数	p	相关系数	p	相关系数	p	相关系数	p
天麻	M	-0.49	0.00	-0.39	0.00	-0.67	0.00	-0.57	0.00
	X	0.26	0.01	0.24	0.01	0.34	0.00	0.38	0.00
	Z	0.19	0.05	0.19	0.05	0.25	0.01	0.31	0.00
秃杉	M	-0.57	0.00	-0.53	0.00	-0.57	0.00	-0.44	0.00
	X	-0.02	0.83	0.01	0.92	0.20	0.04	0.30	0.00
	Z	-0.07	0.45	-0.03	0.72	0.15	0.12	0.27	0.00
蕨实	M	-0.22	0.02	-0.23	0.01	-0.30	0.00	-0.29	0.00
	X	-0.02	0.86	-0.06	0.53	0.08	0.39	0.06	0.53
	Z	-0.02	0.81	-0.07	0.49	0.08	0.43	0.05	0.58
星叶草	M	-0.42	0.00	-0.37	0.00	-0.54	0.00	-0.49	0.00
	X	-0.33	0.00	-0.20	0.04	-0.43	0.00	-0.23	0.02
	Z	-0.37	0.00	-0.24	0.01	-0.49	0.00	-0.29	0.00
岩高兰	M	-0.41	0.00	-0.29	0.00	-0.65	0.00	-0.57	0.00
	X	-0.15	0.13	0.03	0.73	-0.53	0.00	-0.43	0.00
	Z	-0.23	0.02	-0.04	0.67	-0.61	0.00	-0.51	0.00
延龄草	M	-0.17	0.07	-0.26	0.01	-0.18	0.05	-0.35	0.00
	X	0.43	0.00	0.32	0.00	0.64	0.00	0.52	0.00
	Z	0.42	0.00	0.30	0.00	0.63	0.00	0.50	0.00
瘦椒树	M	0.52	0.00	0.40	0.00	0.62	0.00	0.53	0.00
	X	0.51	0.00	0.38	0.00	0.74	0.00	0.65	0.00
	Z	0.51	0.00	0.39	0.00	0.73	0.00	0.64	0.00

### 3.4 气候变化下植物分布与我国年均气温和降水量变化的关系

天麻和延龄草目前适宜分布范围与年均气温和年降水量变化呈负相关性,新适宜和总适宜分布范围与年均气温和年降水量变化呈正相关性;秃杉和蕨实目前适宜与年均气温和年降水量变化呈负相关性,新适宜与总适宜分布范围与年均气温呈正相关性,与年降水量变化呈负相关性;星叶草和岩高兰目前、新适宜和总适宜分布范围与年均气温和年降水量变化呈负相关性;瘦椒树目前、新适宜和总适宜范围变化与我国年均气温和年降水量变化呈正相关

性,其中 A2 情景下较高,B2 情景下最低。但秃杉新适宜与总适宜分布范围与年降水量变化相关系数、及总适宜分布范围与年均气温相关系数、蕨实新适宜和总适宜分布范围与年降水量和年均气温相关系数、岩高兰新适宜和总适宜分布范围与年降水量变化相关系数都不显著(表 6)。

瘦椒树、岩高兰、延龄草、星叶草、天麻、蕨实和秃杉分布范围变化与我国年均气温变化和年降水量变化多元线性回归关系中,通过 Hildreth-Lu 方法排除了气温和降水变量的自相关性。多元回归关系表明,天麻和延龄草目前适宜分布范围随年均气温



和年降水量增加而减少,新适宜和总适宜分布范围随年均气温和年降水量增加而增加;秃杉和蔚实目前适宜随年均气温和年降水量增加而减少,新适宜与总适宜分布范围随年均气温增加而增加,随年降水量增加而减少;星叶草和岩高兰目前、新适宜和总适宜分布范围随年均气温和年降水量增加而减少;

瘦椒树目前、新适宜和总适宜范围随年均气温和年降水量增加而增加,其中 A2 情景下较高, B2 情景下较低。但天麻、秃杉、星叶草新适宜与总适宜范围、蔚实目前、新适宜和总适宜范围、以及延龄草新适宜范围与年降水量和年均气温变化的多元线性回归关系决定系数都较小(小于 0.20)(表 7)。

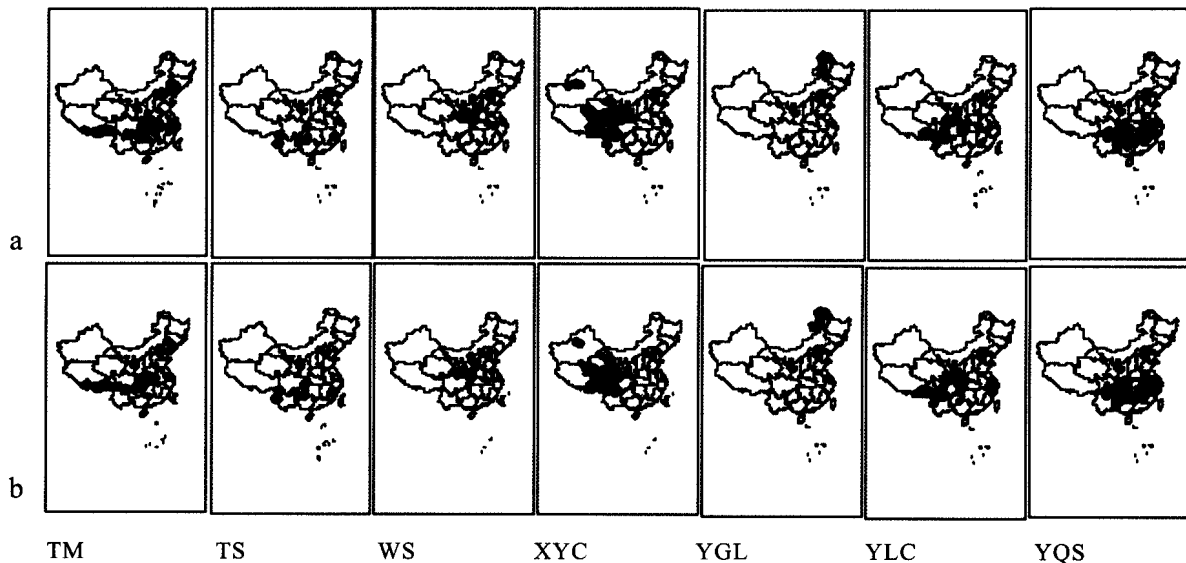


图 1 7 种植物基准(a)和观测分布(b)

Fig. 1 The observed distribution(a) and simulated distribution of 7 plants(b)

## 4 讨论

气候变化对不同物种分布范围将产生不同影响,如 Midgley 等(2003)模拟气候变化对物种分布影响中发现,气候变化下 28 个物种中 5 个失去了适宜分布范围、12 个分布范围减少;Petersons 等(2002)模拟发现,气候变化下 28 个物种中 23 个发生迁移、13 个没有地理范围重叠;Erasmus 等(2002)模拟发现,气候变化下南非 17%的物种范围扩展,78%范围缩小,3%没有反应,2%局地灭绝。本研究表明,气候变化下,就目前适宜分布范围,瘦椒树呈现增加趋势,其它植物呈现缩小趋势;就新适宜及总适宜分布范围,不同植物变化趋势不同。这可能因为不同植物目前分布不同而适宜气候要素不同,气候变化引起气候要素变化超出植物适应范围使它们目前适宜分布范围一些区域不再适宜。另外,气候变化下不同植物分布特征不同及适应极端气候要素变化不同也可能使它们不再适宜目前适宜分布一些区域(Woodward, 1987)。

此外,由于目前温度过低或降水量不适宜或气候综合指标不适宜而限制这些植物的分布,气候变化下这些限制因素改变将可能使这些植物范围扩展。当然,气候要素存在空间不均匀性以及复杂地形影响,也使这些植物分布范围在气候变化后改变趋势不同。

气候变化将使物种向高海拔和高纬度迁移,如 Wilson 等(2005)发现平均温度升高 1.3 °C,巴西中部 16 个蝴蝶海拔升高 212 m。不过,不是所有物种都向高海拔和高纬度迁移,Thuiller(2003)发现气候变化后大部分物种都按预期朝北发生迁移,但分布在北部物种却例外, Petersons 等(2002)发现,气候变化后在 cape floristic 区域一些物种朝西南方向迁移,一些物种朝西部迁移, Erasmus 等(2002)发现气候变化下南非动物将主要朝西移动, Shafer 等(2001)发现气候变化下物种朝多个方向迁移。本研究表明,气候变化下,天麻将向西部和西南一些高海拔区域扩展;秃杉、蔚实、星叶草和延龄草将向西部高海拔及东北部一些高纬度区域扩展;瘦椒树将向东北部和北部一些区域扩展高纬度;分布在高纬度的岩高兰将向东北部高纬

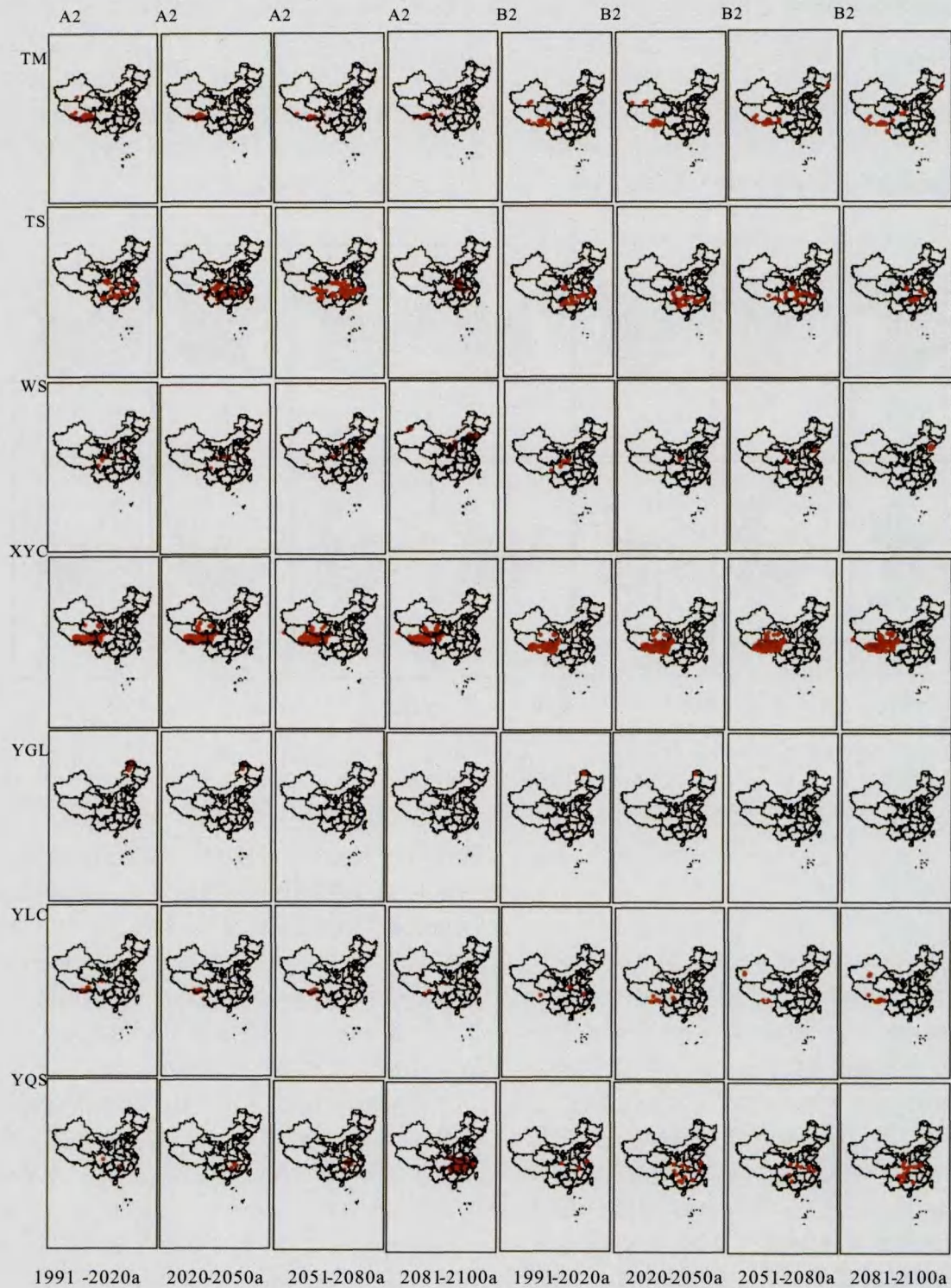


图 2 7 种植物分布范围在 A2 和 B2 气候情景下变化

Fig. 2 Changing in distribution of 7 plants under A2 and B2 climate change scenarios

度一些区域扩展,到 2051~2080 年时段后在我国适宜分布范围消失。说明气候变化下这些植物主要朝高海拔或高纬度区域扩展。这主要可能因为目前适

宜区气候要素存在空间差异及气候变化空间差异,以及气候变化引起气温和降雨量空间分布格局改变的结果。如延龄草分布区气候温凉、湿润多雨,芫实

表 7 七种植物分布区范围改变与年均温度改变和年降水量改变多元回归系数  
Table 7 The linear regression coefficient between the change of 7 plants distribution and annual mean temperature and annual mean precipitation change in China

物种 Species	气候情景 Climate scenarios	分布 Distribution	常数 Constant (B0)	年降水量变化 Annual precipitation (B1)	年均气温变化 Annual mean air temperature (B2)	决定系数 Determine coefficient (R2)	R2 调整	Durbin-Watson
天麻	A2	M	144.14	-0.18	-14.49	0.45	0.44	1.58
	B2	M	147.45	-0.26	-14.86	0.34	0.33	1.63
	A2	X	792.79	0.80	55.04	0.12	0.10	1.39
	B2	X	750.82	0.85	87.84	0.15	0.13	1.34
	A2	Z	936.93	0.62	40.55	0.06	0.05	1.41
	B2	Z	898.27	0.60	72.98	0.10	0.08	1.36
秃杉	A2	M	23.35	-0.17	-2.16	0.39	0.38	1.38
	B2	M	22.95	-0.24	-1.74	0.32	0.30	1.49
	A2	X	277.21	-1.53	26.08	0.08	0.06	2.07
	B2	X	250.78	-1.51	41.22	0.12	0.11	2.02
	A2	Z	300.57	-1.71	23.93	0.07	0.06	2.08
	B2	Z	273.73	-1.75	39.48	0.12	0.10	2.02
蝟实	A2	M	10.35	-0.02	-1.39	0.09	0.07	1.49
	B2	M	11.30	-0.05	-1.68	0.09	0.08	1.51
	A2	X	265.18	-2.12	33.77	0.02	0.00	2.21
	B2	X	263.23	-2.52	35.31	0.02	0.00	2.23
	A2	Z	275.53	-2.14	32.38	0.01	0.00	2.22
	B2	Z	274.53	-2.58	33.62	0.02	0.00	2.23
星叶草	A2	M	38.34	-0.03	-1.52	0.30	0.28	1.56
	B2	M	39.16	-0.04	-1.77	0.26	0.24	1.55
	A2	X	177.76	-0.14	-8.58	0.19	0.17	1.86
	B2	X	171.59	-0.21	-4.96	0.06	0.04	1.91
	A2	Z	216.10	-0.18	-10.10	0.24	0.23	1.88
	B2	Z	210.75	-0.25	-6.73	0.10	0.08	1.94
岩高兰	A2	M	40.98	0.03	-8.28	0.42	0.41	2.17
	B2	M	43.17	0.03	-9.67	0.33	0.32	2.09
	A2	X	143.84	1.25	-32.61	0.35	0.33	1.14
	B2	X	144.86	1.55	-36.97	0.28	0.27	1.14
	A2	Z	184.82	1.28	-40.89	0.42	0.41	1.30
	B2	Z	188.03	1.58	-46.65	0.33	0.32	1.26
延龄草	A2	M	19.71	-0.03	-0.50	0.04	0.02	1.48
	B2	M	22.11	-0.04	-1.69	0.13	0.12	1.73
	A2	X	110.11	0.01	46.60	0.42	0.41	1.75
	B2	X	115.43	0.35	41.67	0.27	0.26	1.77
	A2	Z	129.82	-0.01	46.10	0.40	0.39	1.77
	B2	Z	137.55	0.31	39.98	0.25	0.23	1.80
瘦椒树	A2	M	11.65	0.19	5.47	0.41	0.40	1.62
	B2	M	9.32	0.18	6.75	0.30	0.29	1.66
	A2	X	83.97	0.25	58.70	0.54	0.54	2.12
	B2	X	74.01	0.35	62.48	0.42	0.41	2.03
	A2	Z	95.61	0.44	64.18	0.54	0.53	2.07
	B2	Z	83.33	0.53	69.24	0.41	0.40	1.99

分布区属冬春干燥寒冷、夏秋炎热多雨，秃杉分布区属中亚热带季风气候、夏热冬凉雨量充沛，星叶草喜阴湿、要求散射光和潮湿生境，气候变化下使它们目前分布区温度增加、降水格局改变而使其向西部高海拔及东北部一些高纬度适宜区域扩展；天麻分布

于热带、亚热带、温带及寒温带山地，气候变化下将使其目前分布区不适宜而更向西部高海拔区域扩展，零星向高纬度区域扩展；瘦椒树星散分布于长江流域，气候变化下可能因为高温和降水格局改变使其向高纬度和西部区域扩展；岩高兰分布在高纬度，

气候寒冷,气候变化下将向使其更高纬度区域扩展,气候变化更为剧烈时,将使其我国适宜范围消失。气候变化下这些植物分布格局改变是多种因素共同影响结果。当然,观测分布范围记录不准确而导致在基准情景下分布过小或插值造成误差也可能使结果有一定误差。

全球年均气温变化与物种分布的关系,如 Hitz & Smith(2004)发现全球温度增加 3 ℃,一半自然保护区将不能支持它原有保护目标,特别是对保护物种影响较大;Leemans & Eickhout(2004)发现全球温度增加 1~2 ℃,许多物种适应气候变化能力将非常有限。本研究表明,气候变化下,这些植物适宜分布范围与年均气温和降水量变化相关性并不一致,一些植物适宜分布范围与年均气温和降水量变化相关系数并不显著。如秃杉新适宜与总适宜范围与年降水量变化相关系数、总适宜范围与年均气温相关系数、蕨实新适宜和总适宜范围与年降水量和年均气温相关系数、岩高兰新适宜和总适宜分布范围与年降水量变化相关系数都不显著。另外,气候变化下,不同植物适宜分布范围与年均气温和年降水量变化多元线性回归关系不同,并且天麻、秃杉和星叶草新适宜与总适宜范围,蕨实适宜范围,延龄草新适宜范围与年降水量和年均气温变化多元线性回归关系决定系数都较小。说明气候变化后这些植物分布范围与年均气温和年降水量变化关系可能是非线性复杂关系,这些植物分布范围改变可能与其它气候要素密切相关。意味着以区域年均气温或降水量来分析气候变化对植物分布影响将可能存在很大不确定性。

需要指出,影响植物分布因素很多,本研究分析气候变化对植物分布影响,实际上反映了气候变化下这些植物适宜气候分布范围变化。另外,本研究中植物分布格点分辨率还较粗,没有考虑土地利用变化和土壤、地下水位及动植物间关系和迁移的影响。如果考虑土壤因素限制,可以推断气候变化后这些植物分布范围减小幅度更大,新适宜分布范围将更小。同时,由于这些植物分布比较复杂,本研究收集有关植物分布数据还可能不是非常全面准确,并且气候变化情景具有不确定性及用 GIS 软件进行气候要素和物种分布数据插值时产生误差等,使研究结果可能存在一定的误差和不确定性,这需要进一步改进完善。并且模型方法存在的不足也可能使研究结果存在一定的误差,虽然如此,在目前认识

和技术条件下,本研究探索了气候变化下这些植物分布的变化趋势,研究结果反映了气候变化后这些植物分布变化的一些趋势,对气候变化下这些植物的保护仍旧有一定参考意义。

## 5 结论

气候变化下,就目前适宜分布范围,除瘦椒树外,这些植物都呈缩小趋势;就新适宜及总适宜分布范围,蕨实、延龄草和瘦椒树呈现增加趋势,星叶草和岩高兰呈现减小趋势,天麻和秃杉先呈现增加趋势,之后下降。天麻将向西部和西南一些高海拔区域扩展;秃杉、蕨实、星叶草和延龄草将向西部高海拔及东北部一些高纬度区域扩展;瘦椒树将向东北部和北部一些区域扩展高纬度;岩高兰初期将向高纬度一些区域扩展,之后在我国适宜分布范围消失。气候变化下,这些植物适宜分布范围与年均气温和降水量变化相关性并不一致,一些植物适宜分布范围与年均气温和降水量变化相关系数并不显著。不同植物适宜分布范围与年均气温和年降水量变化多元线性回归关系不同;天麻、秃杉和星叶草新适宜与总适宜范围,蕨实目前、新适宜和总适宜范围,以及延龄草新适宜范围与年降水量和年均气温变化多元线性回归关系决定系数都较小。

本研究结果总体上反映气候变化下 7 种植物适宜分布范围变化趋势,对这些植物保护有一定参考意义,但还需要进一步改进完善。

## 参考文献:

- 中国植物志编辑委员会. 1988. 中国植物志(72卷)[M]. 北京:科学出版社:114-115
- 中国植物志编辑委员会. 1999. 中国植物志(19卷)[M]. 北京:科学出版社:31-32
- 湖北省植物研究所. 1976. 湖北植物志(1卷)[M]. 武昌:湖北人民出版社:339-340
- Araújo MB, Pearson RG, Thuiller W, *et al.* 2005. Validation of species-climate impacts models under climate change[J]. *Glob Chang Biol*, **11**:1 504-1 513
- Bakkenes M, Alkemade JRM, Ihle F, *et al.* 2002. Assessing effects of forecasted climate change on the diversity and distribution of European higher plants for 2050[J]. *Glob Chang Biol*, **8**:390-407
- Beaumont LJ, Hughes L, Poulsen M. 2005. Predicting species distributions; use of climatic parameters in bioclim and its impacts on prediction of species current and future distribution[J]. *Ecol Mod*, **186**:250-269
- Berry PM, Dawson TP, Harrison PA, *et al.* 2002. Modelling potential impacts of climate change on the bioclimatic envelope of species in Britain and Ireland[J]. *Glob Ecol Biog*, **11**:453-462

- Coulston J, Riitters KH. 2005. Preserving biodiversity under current and future climates: a case study[J]. *Glob Ecol Biog*, **14**:31—38
- Cheng GX(陈功锡), Liao WB(廖文波), Zhang HD(张宏达). 2001. Characteristics of spermatophyte flora of wulingshan region from central China and its phytogeographical significance(武陵山地区种子植物区系特征及植物地理学意义)[J]. *Acta Sci Nat Univ Sunyatseni*(中山大学学报), **40**(3):74—78
- Erasmus BFN, Vanjaarsveld SA, Chown LS, et al. 2002. Vulnerability of south African animal taxa to climate change[J]. *Glob Chang Biol*, **8**:679—693
- Fang YP(方元平), Liu SX(刘胜祥), Wang ZX(汪正祥), et al. 2007. Resource and protection of the national key preserved wild plants in Qizimeishan Nature Preserve(七姊妹山自然保护区国家重点保护野生植物及保护对策)[J]. *J Huanggang Nor Univ*(黄冈师范学院学报), **27**(3):40—45, 85
- Hao ZQ(郝占庆), Dai LM(代力民), He HS(贺红士). 2001. Potential response of major tree species to climate warming in Changbai Mountain, Northeast China(气候变暖对长白山主要树种的潜在影响)[J]. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), **12**(5):653—658
- Hitz S, Smith J. 2004. Estimating global impacts from climate change[J]. *Global Environ Change*, **14**:201—218
- Hu TY(胡天印), Qian LH(钱丽华). 2009. Endangered reasons and protection countermeasures for *Trillium tschonoskii*(延龄草濒危机理及其保护策略)[J]. *Hubei Agric Sci*(湖北农业科学), **48**(8):1 945—1 947
- Ju H(居辉), Xiong W(熊伟), Xu YL(许吟隆), et al. 2005. Impacts of climate change on wheat yield in China 气候变化对我国小麦产量的影响[J]. *Acta Agron Sin*(作物学报), **31**(10):1 340—1 343
- Holdridge LR. 1967. Life Zone Ecology[M]. Costa Rica: tropical science center and Jose, 206
- Iverson LR, Prasad AM. 2001. Potential change in tree species richness and forest community types following climate change[J]. *Ecosystem*, **4**:186—199
- Kira TA. 1977. Climatologically Interpretation of Japanese Vegetation Zones[M]//Miyawaki A, Tüxen R. Vegetation Science and Environmental Protection. Tokyo: Maruzen; 21—30
- Kutner MH, Nachtsheim CJ, Neter J. 2004. Applied Linear Regression Models[M]. 4th edn. New York: McGraw-Hill Companies Inc; 492—501
- Leemans R, Eickhout B. 2004. Another reasons for concern: regional and global impacts on ecosystem for different levels of climate change[J]. *Glob Environ Chang*, **14**:219—228
- Li ZX(李智选), Shi JX(石建孝). 2009. Studies on reproductive biology characteristics of *Kolkwitzia amabilis*, an endemic to China(我国特有珍稀花卉植物蕨类实殖生物学特性研究)[J]. *Acta Agric Boreal Sin*(华北农学报), **24**(Suppl.):327—330
- Lin KM(林开敏), Zheng YS(郑郁善), Wu ZX(吴推溪), et al. 1993. A study on decision of climatic suitability in *Taiwangia flousiana* introduction region(秃杉引种区气候适应性决策的研究)[J]. *J Fujian Coll Fore*(福建林学院学报), **13**(2):191—196
- Loiselle BA, Jrgensen PM, Consiglio T, et al. 2008. Predicting species distributions from herbarium collections: does climate bias in collection sampling influence model outcomes[J]. *J Biogeogr*, **35**:105—116
- Luoto M, Pöyry J, Heikkinen RK, et al. 2005. Uncertainty of bioclimatic envelope models based on the geographical distribution of species[J]. *Glob Ecol Biogeogr*, **14**:575—584
- Matsui T, Tsutomu Y, Tomoki N, et al. 2004. Probability distributions, vulnerability and sensitivity in *Fagus crenata* forests following predicted climate changes in Japan[J]. *J Veg Sci*, **15**:605—614
- Mccarty JP. 2001. Ecological consequences of recent climate change[J]. *Con Biol*, **15**:320—331
- Midgley GF, Hannah L, Millar D, et al. 2002. Assessing the vulnerability of species richness to anthropogenic climate change in a biodiversity hotspot[J]. *Glob Ecol Biogeogr*, **11**:445—451
- Midgley GF, Hannah L, Millar D, et al. 2003. Developing regional and species-level assessment of climate change impacts on biodiversity in the cape floristic region[J]. *Biological Conservation*, **112**:87—97
- Parnesan C, Yehe G. 2003. Globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems[J]. *Nature*, **421**:37—42
- Peterson AT, Ortega-Huerta MA, Bartley J, et al. 2002. Future projections for Mexican fauns under climate change scenarios[J]. *Nature*, **416**:626—629
- Pye Cr, Andelman Sj, Midgley G. 2005. Identifying priority areas for bioclimatic representation under climate change: a case study for proteaceae in the cape floristic region, south Africa[J]. *Biol Con*, **125**:1—9
- Root TL, Price JT, Hall KR, et al. 2003. Fingerprints of global warming on wild animals and plants[J]. *Nature*, **421**:57—60
- Tao JC(陶金川), Zong SX(宗世贤), Yang ZB(杨志斌). 1990. The geographical distribution and introduction of *Tapiscia sinensis*(瘦椒树的地理分布与引种)[J]. *J Nanjing Fore Univ*(南京林业大学学报), **14**(2):34—40
- Shafer SL, Bartlein PJ, Thompson RS. 2001. Potential changes in the distribution of western north America tree and shrub taxa under future climate scenarios[J]. *Ecosystems*, **4**:209—215
- The Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC). 2007. Technical Summary. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[M]. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press
- Thornthwaite CW. 1948. An approach toward a rational classification of climate[J]. *Geog Rev*, **38**:57—94
- Thuiller W. 2003. Biomod-optimizing predictions of species distribution and projecting potential future shifts under global change[J]. *Glob Chang Biol*, **9**:1 353—1 362
- Walther GR, Post E, Convey P, et al. 2002. Ecological response to recent climate change[J]. *Nature*, **416**:389—395
- Wei ZQ(魏志琴), Li XG(李旭光), Hao YQ(郝云庆). 2004. Study of niche characteristics of the main tree populations of a rare and endangered plant community(珍稀濒危植物群落主要种群生态位特征研究)[J]. *J Southwest Agric Univ*(西南农业大学学报), **26**(1):1—4
- Williams P, Hannah L, Andelman S, et al. 2005. Planning for climate change: identifying minimum-dispersal corridors for the cape proteaceae[J]. *Con Biol*, **19**(4):1 063—1 074
- Williams SE, Bolitho EE, Fox S. 2003. Climate change in Australian tropical rainforests, an impending environmental catastrophe[J]. *Pro R Soc Lond B*, **270**:1 887—1 892
- Wilson RJ, Gutiérrez D, Gutiérrez J, et al. 2005. Change to the elevation limits and extent of species ranges associated with climate



时用量设计提供试验数据。

### 参考文献:

- 戴自英. 1985. 临床抗菌药理学[M]. 北京: 人民卫生出版社: 6—24
- Dai Q(戴群), Zhu XX(朱晓新), Weng DB(翁德宝). 2008. Studies on extraction and antibacterial activity of flavanoid from *Cinnamomum camphora* (香樟叶黄酮类化合物的提取及抑菌作用的研究)[J]. *J Jiangsu Institute Edu: Nat Sci Edi* (江苏教育学院学报·自然科学版), **25**(3): 30—34
- Feng CP(冯翠萍), Zhang PY(张培宜), Zhang S(张帅), et al. 2010. Anti-microbial activity of ethanol extract from *Asparagus officinalis* peel (芦笋皮乙醇提取物的抑菌活性研究)[J]. *Food Sci* (食品科学), **31**(15): 73—75
- Gan D(甘聃), Chen GY(陈功雨), Xiong J(熊建), et al. 2003. Study on effective inhibitory of extracting compounds from camphortree leaves (樟树叶片提取物抑菌作用研究)[J]. *Chem Indus Times* (化工时刊), **17**(1): 51—52
- Li AM(李爱民), Tang YQ(唐永勤), Qing YB(卿玉波). 2006. Camphor oil extraction from *Cinnamomum camphora* and its antibacterial activity (樟油的提取及其抑菌性研究)[J]. *J Fujian Fore Sci Tech* (福建林业科技), **33**(4): 121—123
- Qu ZT(曲中堂), Xiang ZB(项昭保), Zhao ZQ(赵志强). 2010. Antimicrobial activity of total flavones in *Canarium album* (橄榄总黄酮抑菌作用研究)[J]. *China Brew* (中国酿造), (4): 62—64
- Sun CL(孙崇鲁), Huang KY(黄克瀛), Chen CJ(陈丛瑾), et al. 2006. Extraction of flavonoids from *Cinnamomum camphora* leaves (香樟叶中黄酮类化合物的提取)[J]. *Appli Chem Indus* (应用化工), **35**(2): 142—143
- Wei Q(魏琴), Li Q(李群), Luo Y(罗扬), et al. 2006. Antifungal activity of leaf essential oil from *Cinnamomum longepaniculatum* (油樟油对植物病原真菌活性的抑制作用)[J]. *Chin J Oil Crop Sci* (中国油料作物学报), **28**(1): 63—66
- Wei Q(魏琴), Zhou YK(周宇科), Zhou LJ(周黎军), et al. 2009. Inhibitive activity of *Cinnamomum longepaniculatum* oil against bacteria (油樟油抑制细菌生长的活性试验)[J]. *Chin J Trop Agric* (热带农业科学), **29**(1): 1—3
- Wei YL(韦英亮), Liu ZP(刘志平), Ma JQ(马建强), et al. 2010. Antibacterial activity study of flavonoids from jasmine sambac slag (茉莉花渣黄酮抑菌活性研究)[J]. *Tech Develop Chem Indus* (化工技术与开发), **39**(4): 8—9
- Wu CM(吴传茂), Wu ZH(吴周和), Wu YS(伍业松). 2000. Study on antibacterial activity of ethanol extract of *Cinnamomum camphora* (樟叶乙醇提取液的抑菌作用)[J]. *Amino Acids Biotic Res* (氨基酸和生物资源), **22**(2): 41—42
- Zhang YQ(张玉群), Xu J(徐娇), Yin ZQ(殷中琼), et al. 2010. Isolation and identification of the antibacterial active compound from petroleum ether extract of neem oil [J]. *Fitoterapia*, **81**(7): 747—750
- Zhou HC(周洪昌), Guo CH(郭朝辉), Ye YW(叶应文), et al. 1991. Cultivating pleurotus ostreatus with de-oiled leaves of *Cinnamomum longepaniculatum* (用提取樟油后的樟叶栽培平菇)[J]. *Fore Sci Tech* (林业科技通讯)(10): 3
- change[J]. *Ecol Letters*, **8**: 1 138—1 146
- Woodward FI. 1987. Climate and plant distribution[M]. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press: 62—63
- Xiang QP(向巧萍). 2001. A preliminary survey on the distribution of rare and endangered plants of *Abies* in China (中国几种珍稀濒危冷杉属植物及其地理分布成因的探讨)[J]. *Guihaia* (广西植物), **21**(2): 113—117
- Xie CP(谢春平). 2006. A review of research advances in rare and endangered plant *Tapiscia sinensis* (濒危植物瘿椒树研究进展(综述))[J]. *Subtrop Plant Sci* (热带植物科学), **35**(4): 71—74
- Xiong W(熊伟), Xu YL(许吟隆), Lin ED(林而达), et al. 2005. Regional simulation of rice yield change under two emission scenarios of greenhouse gases (两种温室气体排放方案下我国水稻产量变化模拟)[J]. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **16**(1): 65—68
- Xu YL(许吟隆), Xue F(薛峰), Lin YH(林一骅). 2002. Changes of surface air temperature and precipitation in China during the 21st century simulated by HadCM2 under different greenhouse gas emission scenarios (不同温室气体排放情景下中国 21 世纪地面气温和降水变化模拟分析)[J]. *Climatic Environ Res* (气候与环境研究), **8**(2): 207—217
- Xu YL(许吟隆). 2005. Analyses on scenario simulations of the 21st century climate change in China (中国 21 世纪气候变化的情景模拟分析)[J]. *J Nanjing Inst Meteorol* (南京气象学院学报), **28**(3): 323—329

( 上接第 607 页 Continue from page 607 )