

文章编号: 2096-1618(2020)04-0471-08

秦巴山区植被快速变化区典型气候指标的演变特征及其海拔依赖性分析

张月悦, 程志刚, 陈笑笑, 宾 昕, 靳立亚

(成都信息工程大学大气科学学院/高原大气与环境四川省重点实验室, 四川 成都 610225)

摘要:气候因子对植被生长具有决定性作用,为更好地研究秦巴山区气候因子的变化特征,依据该区域 NDVI 时空分布特征,选取 500 ~ 1200 m 海拔段 35 个气象站点 1975–2017 年的逐日气温、降水数据,分析了植被快速增长区典型气候指标的变化特征及其海拔依赖性。结果表明:35 站的温暖指数、寒冷指数、最暖月均温、最冷月均温、10℃ 积温和积温日数均呈增大趋势,其变化率均与海拔呈正相关,而干湿度指数则呈减小趋势,且指数变化率与海拔呈负相关关系;最高温极大值超过 42℃,年代际平均温度保持在 12℃ ~ 16℃,2005 年后最大增温趋势超过 1.4℃/10 a;温度极值的变化率与海拔高度呈正相关,最高温的极小值变化率与海拔的正相关性最强,最低温极小值最弱,但均通过 95% 显著性检验。

关键词:大气科学;气候与环境变化;秦巴山区;生物气候指标;温度极值;海拔依赖性

中图分类号:P461⁺.8

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2020.04.017

0 引言

气候是影响植被生长和分布的重要因素之一,气候变化可能会引起植被结构和功能的变化,甚至是自然带的变迁,对人类的生产和生活产生影响^[1]。气候变化一直是国内外研究的热点问题^[2-4],由这种变化所引起的陆地生态系统效应^[5-7],尤其是对植被生长所产生的显著影响,已受到学者高度重视^[8-11]。因此,对植被生长发育有重要影响的气候因子变化特征的研究就显得十分必要。

秦巴山区地处中国中部,是南水北调中线的水源区和最大的连片贫困区,也是南北气候的缓冲区和重要的地理生态分界线,同时又是全球变化区域响应的敏感区,其重要性不言而喻^[12-13]。作为中国大陆上最重要的地理-生态过渡带,具有高度的环境复杂性、生物多样性^[14],其气候、植被变化特征及植被覆盖度对气候要素变化响应,一直以来受到中国学者广泛关注^[15-17]。在植被变化及其对气候响应方面,刘宪锋等^[18]研究发现近 15 a 秦巴山区植被覆盖呈现显著增加趋势,空间格局呈“中间高,四周低”的分布特征;夏浩铭等^[19]分析结果显示,随着水热条件变化,秦巴山区植被生长季始期由低海拔向高海拔、东南向西北逐渐推迟。在气候变化及极端气候指数研究方面,高涛

涛等^[20]通过定量分析 SPEI 指数的变化特征得出秦岭南北地区在 20 世纪 90 年代干旱趋势最为显著,干旱化趋势最显著的区域为秦岭以北地区;李双双等^[21]分析了秦岭–淮河地区热浪的时空变化特征,得出该地区近 57 a 以来的热浪呈现“非线性、非平稳和阶段性”的特征;香薇等^[15]研究得出极端气温阈值均从西北向东南呈增大趋势,且极端气温指数的变化趋势与海拔呈显著正相关。然而目前关于秦巴山区气候变化及生态环境响应研究仍不够完善,一方面现有秦巴山区研究范围主要以陕西省为主^[22-24],另一方面研究对象主要为气候要素(气温、降水^[25-26]、极端天气气候事件^[15,27-28])和植被变化(NDVI^[29]、NPP^[6]、FPAR^[30]等)或二者相互影响或响应^[31]为主,未见关于影响植被生长的典型气候指标研究。鉴于此,利用 1975–2017 年秦巴山区气象台站观测日资料,分析典型气候指标时空演变及其海拔依赖性等特征,主要包括 7 个生物气候指标(温暖指数、寒冷指数、最暖月均温、最冷月均温、积温、积温日数以及干湿度指数)和 5 个气温指标(最高气温的极大值、最高气温的极小值、最低气温的极大值、最低气温的极小值、年代际均),以期气候变化敏感区的植被变化影响因子研究提供参考。

1 资料与方法

1.1 资料选取

秦巴山区地跨甘肃、四川、陕西、重庆、河南、湖北

收稿日期:2019-11-25

基金项目:国家科技基础资源调查专项资助项目(2017FY100903);
国家自然科学基金资助项目(41971026)

6 省市,区域范围介于 31°06'N~34°36'N,102°47'N~112°50'E,呈东西走向。Jacqueline 等^[32]研究表明,气候变化对阿尔卑斯山 1650~2450 m 间植被覆盖变化驱动作用小于人类活动。崔晓临等^[33]基于 DEM 数据将海拔高程划分为 6 个等级,分析时序重建后的 MODIS NDVI(归一化植被指数)数据发现,秦岭地区 NDVI 分布存在明显的海拔梯度差异。香薇等^[15]研究结果显示,秦巴山区极端气候指数具有显著的海拔依赖性。为此,基于 MODIS NDVI 资料,结合 ASTER GDEM V2 30 m 分辨率 DEM 数据(<http://gdem.ersdac.jp>),将秦巴山区分为<500 m、

500~1200 m、1200~2000 m 和>2000 m 4 个高程区间,对比不同高程区间 NDVI 的变化率及其空间分布,选取 NDVI 变化相对较快的区域,分析典型气候指标时空分布特征及其海拔依赖性等。分析表明(图 1),500~1200 m 高程区间,NDVI 指数变化率为 5.5%/10a, R^2 为 0.88,高于其他高程区间。为此,选取秦巴山区 500~1200 m 海拔区间 35 个气象站点(图 2),1975 年 1 月 1 日至 2017 年 12 月 31 日逐日气温(平均气温、最高气温、最低气温)和逐日降水数据。站点数据由国家气象信息中心提供,经过包含一致性检验和极值检验的数据质量控制与检验。

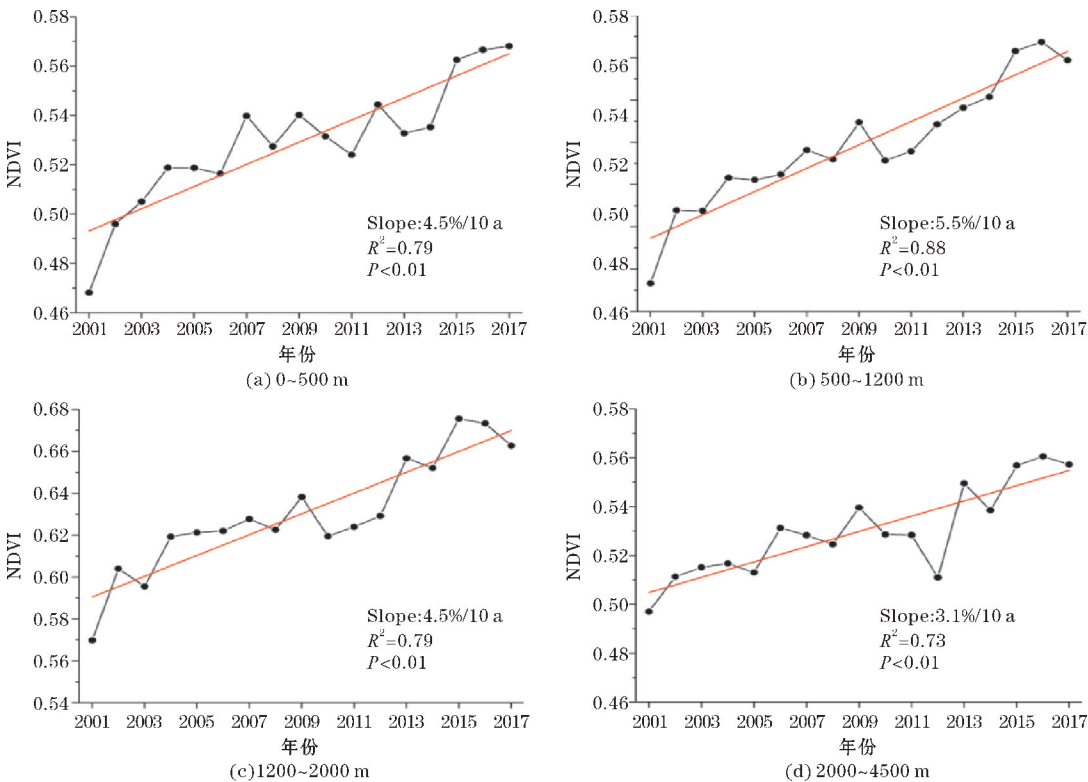


图 1 各海拔梯度 NDVI 变化趋势

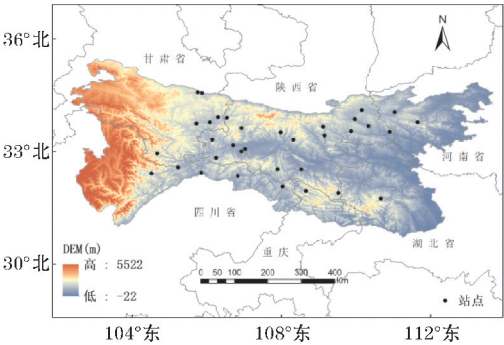


图 2 秦巴山区概况及气象站点分布

1.2 研究方法

Kira 指数是国际上应用较广的四类植被-气候相关研究的方法和指标之一^[34-35],已有学者应用 Kira 指

数研究了中国植被分布格局与气候的关系^[9],模拟了韩国植被森林的变化^[36],研究了云南松、青藏高原山林植被、福建和东北主要树种和气候条件的关系^[37-40]等。选取的生物气候指标包含温暖指数(WI)、寒冷指数(CI)、干湿指数(K)、最暖月均温、最冷月均温、积温和积温日数。WI、CI、K 计算公式分别为

$$WI = \sum_{i=1}^n (t_i - 5)$$
$$CI = - \sum_{i=1}^n (5 - t_i)$$
$$K = \begin{cases} \frac{P}{WI+20}, & WI \leq 100 \\ \frac{2P}{WI+140}, & WI > 100 \end{cases}$$

其中,WI 中 t_i 为平均气温 5℃ 以上的第 i 个月的平均

气温, n 为平均气温 $>5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的月数, CI 中 t_i 为平均气温为 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下的第 i 个月的平均气温, n 为平均气温 $<5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的月数,两指数单位为 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{月}$, P 为年平均降水,单位为 mm ,干湿度指数单位为 $\text{mm}/(^{\circ}\text{C}\cdot\text{月})$ 。

最暖月均温为决定植物能否在一个区域正常生长发育的重要指标,低值表示生长季植被对气温的最低需求,高值用于估计植被是否发生新陈代谢停止;最冷月均温通常代表植被对低温的耐受程度,低值可用于推断植被能忍受的绝对最低气温,高值可用于区分常绿植被和夏绿植被^[41-42]。

植物生长发育不仅需要达到一定温度,而且完成生活史还需要一定温度总量,这个温度总量即称之为积温,日平均气温 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 与绝大多数乔木树种叶子的萌发与枯萎温度大体相吻合,所以 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上积温在气候热量资源的评价中是具有重要且普遍意义的一个指标^[43]。

气温相关指标包括最高气温的极大值、最高气温的极小值、最低气温的极大值、最低气温的极小值和年代际均温,其变化特征将会直接或间接影响农作物种植布局等^[44]。

2 结果分析

2.1 生物气候指标

2.1.1 时空分布特征

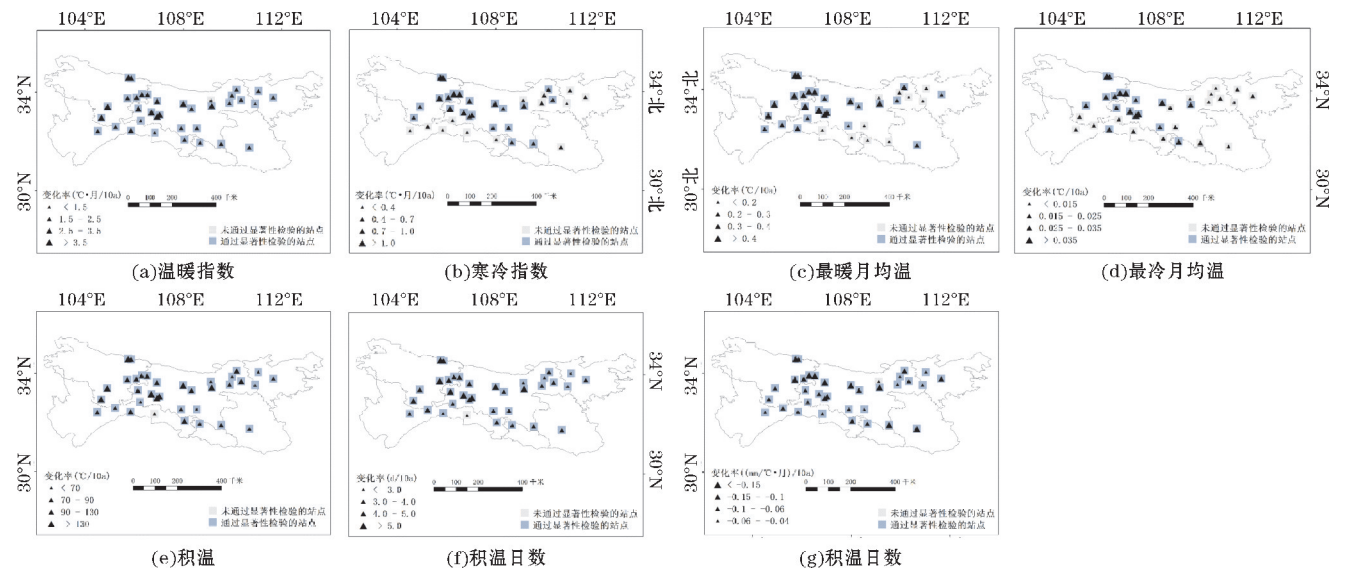


图3 1975-2017年秦巴山区生物气候指标变率的空间分布(500~1200 m,下同)

2.1.2 气候倾向率的海拔依赖性

为分析500~1200 m高程区间各生物气候指标的海拔依赖性,将海拔高度与和生物气候指标进行线性拟合(图4)。不难看出,各站温暖指数、寒冷指数、最暖月均温、最冷月均温、积温、积温日数变率与海拔高度呈正

图3给出了1975-2017年秦巴山区海拔500~1200 m生物气候指标变化率的空间分布。分析显示(图3a),温暖指数呈现一致的增大趋势,且除柞水以外其余34站均通过95%的显著性检验,高值区位于甘肃南部雄黄山一带和陕西省南部,其变率在 $4(^{\circ}\text{C}\cdot\text{月})/10\text{ a}$ 以上;寒冷指数(图3b)表现为一致的增大趋势,其中63%的站点通过95%显著性检验,甘肃东南部 and 陕西西部增大趋势较明显,变率基本大于 $0.7(^{\circ}\text{C}\cdot\text{月})/10\text{ a}$,四川东北部增大趋势较弱,不超过 $0.4(^{\circ}\text{C}\cdot\text{月})/10\text{ a}$;最暖月均温(图3c)均表现为增大趋势,西部变率高于东部,其中71%的站点通过显著性检验,大值区位于秦岭西北部,变率在 $0.4\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 以上,而大巴山一带增大趋势较弱;最冷月均温(图3d)虽呈增大趋势,但仅45.7%站点通过显著性检验,东部增幅略低于西部;积温(图3e)增大趋势明显,除南江外的34站均通过显著性检验,且西部增大趋势较东部更明显,甘肃东南部和陕西西部增长率高于 $100\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$;积温日数(图3f)变率分布与积温相似,所有站呈一致增大趋势,除南江外均通过显著性检验,大部分站点变化幅度在 $3\text{ d}/10\text{ a}$ 以上,最高达 $7.4\text{ d}/10\text{ a}$;干湿度指数(图3g)则呈一致的减小趋势,除柞水外均通过95%显著性检验,变化幅度较大的区域依然位于甘肃东南部和陕西西部,最大值为 $-4.1(\text{mm}/^{\circ}\text{C}\cdot\text{月})/10\text{ a}$,位于陕西佛坪。

相关,即随海拔升高呈现增加趋势,其中寒冷指数、最暖月均温、积温变率与海拔呈显著正相关(通过95%显著性检验),温暖指数、最冷月均温、积温变率与海拔高度相关性不明显,未通过95%显著性检验;干湿度指数变率与海拔高度呈显著负相关(通过95%的显著性检

验),表明干湿指数随着海拔的升高其减小趋势更明显,而干湿指数的减小则预示着干旱可能会向高海拔

地区推进,不利于该区域植被生长。当然这些指标对生态和植被的具体影响还需进一步量化。

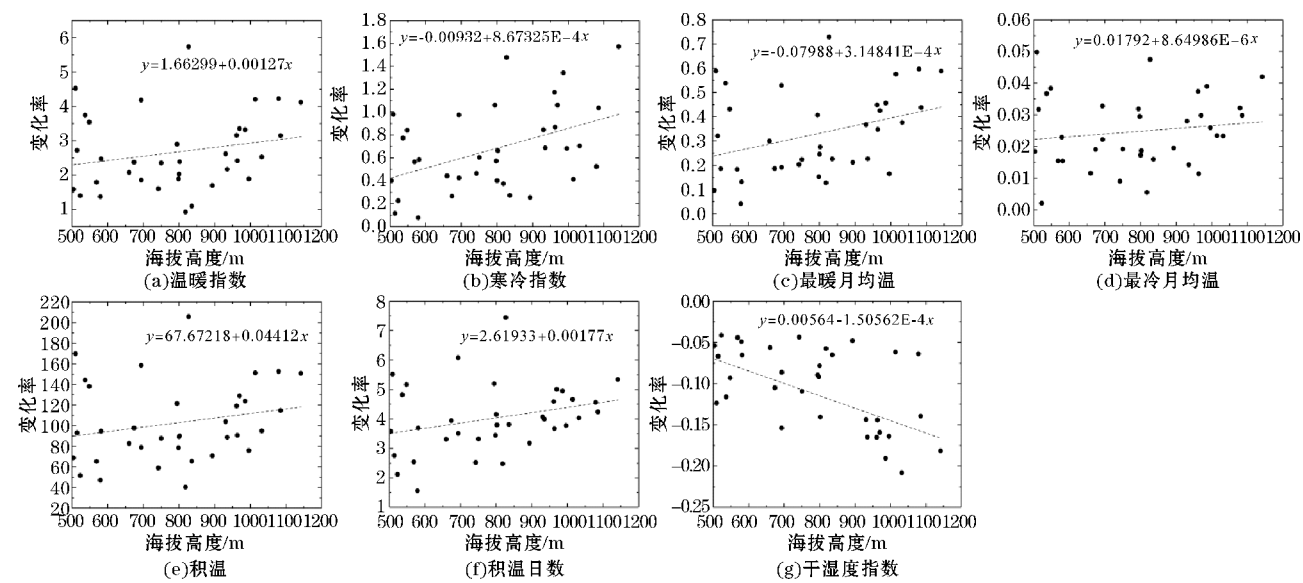


图4 1975-2017年秦巴山区生物气候指标变化率与海拔的关系

2.2 气温相关指标

2.2.1 温度极值的空间分布特征

图5为秦巴山区海拔500~1200 m的气温极值分布。最高温的极大值可高达42℃以上,分布在川渝地

区,极小值均在0℃以下,甚至达-8℃,主要分布在秦巴山区中部偏北;最低温的极大值达28℃以上,极小值则可低至-17℃。整体而言,500~1200 m海拔高度范围内温度极端值变化幅度在4℃~5℃,低于整个秦巴山区变幅。

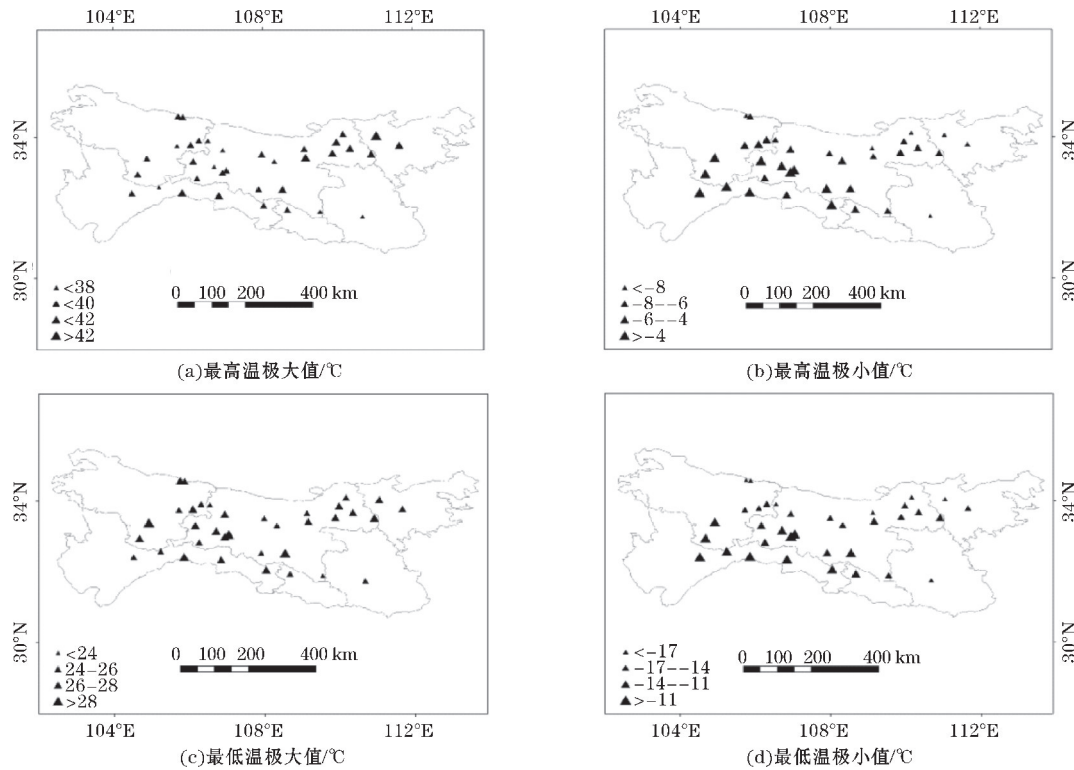


图5 秦巴山区最高温/最低温的极大/小值的空间分布

2.2.2 平均气温的年代际变化特征

为探讨平均气温年际变化特征,以10 a为间隔,对

比分析秦巴山区年均气温的年代际特征。从图6可以看出,研究区所有站点年代际均温保持在12℃~

16℃,高温几乎位于秦巴山区南部,1995年后,高温地区明显增多,且主要分布于低海拔地区。而平均气温年代际变率分析表明,1975–1984年平均气温以负增长为主,1985–1994年则逐渐增加,且变率幅度略大于

之前减小趋势;20世纪90年代末,增长趋势减缓,部分地区甚至出现负增长,且大部分站点未通过显著性检验,2005年后各站点温度迅速增加,增加趋势甚至超过1.4℃/10a,且均通过90%的显著性检验。

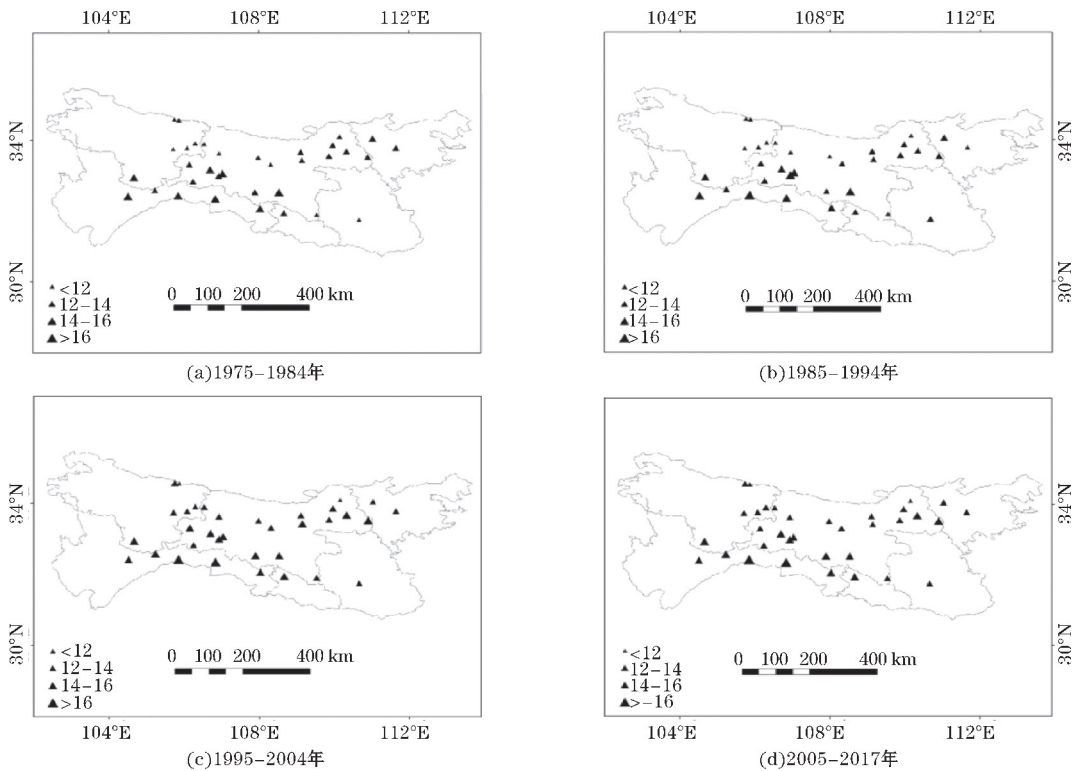


图6 秦巴山区的年代际均温空间分布

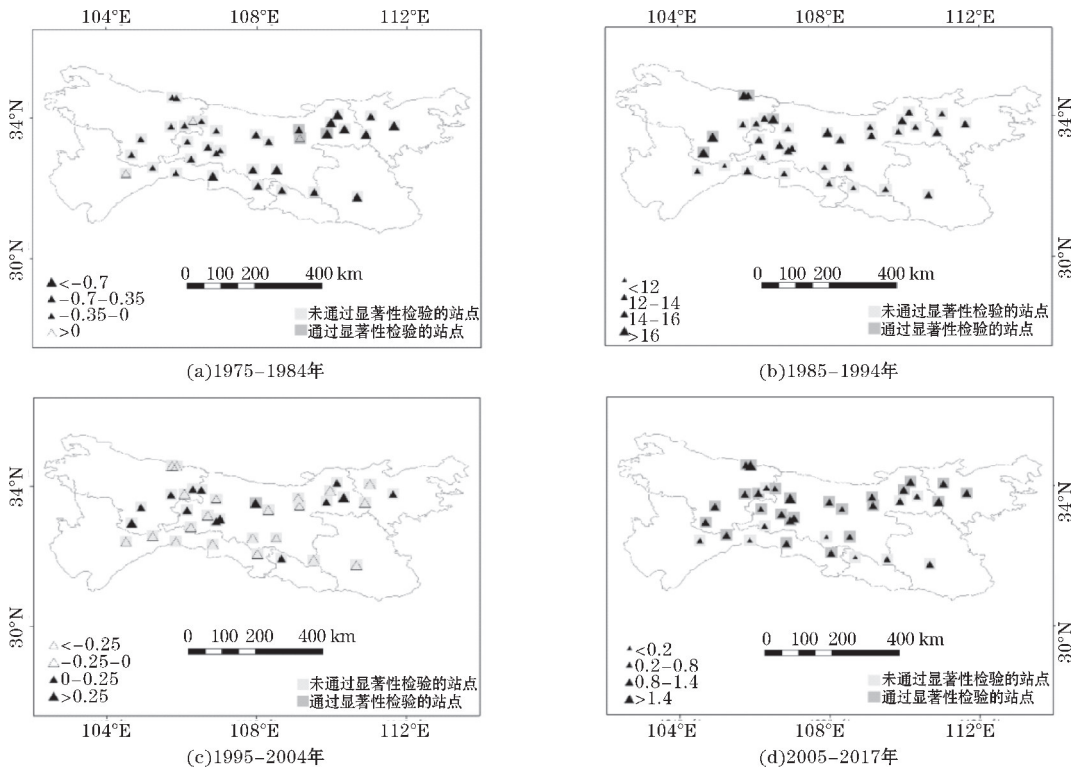


图7 秦巴山区的年均气温年代际变率空间分布

2.2.3 温度极值变率的海拔依赖性

最高气温和最低气温的极值变化和持续时间长短对植物的自然分布有着极大的影响,为此进一步分析了秦巴山区温度极值变化率的海拔依赖性特征(图8)。在500~1200 m海拔段,温度极值的变化率均为正值,且随海拔升高而增加,说明温度极值随海拔升高

增加趋势愈加显著,可见温度极值变化率与海拔高度呈正相关关系,且对海拔高度的敏感性较高。其中,最高温的极小值变化率随海拔依赖性最强,最低温极小值的变化率与海拔高度的正相关性最弱,但通过了95%的显著性检验,而最高温和最低温的极值变化对植被生长的影响还需进一步量化。

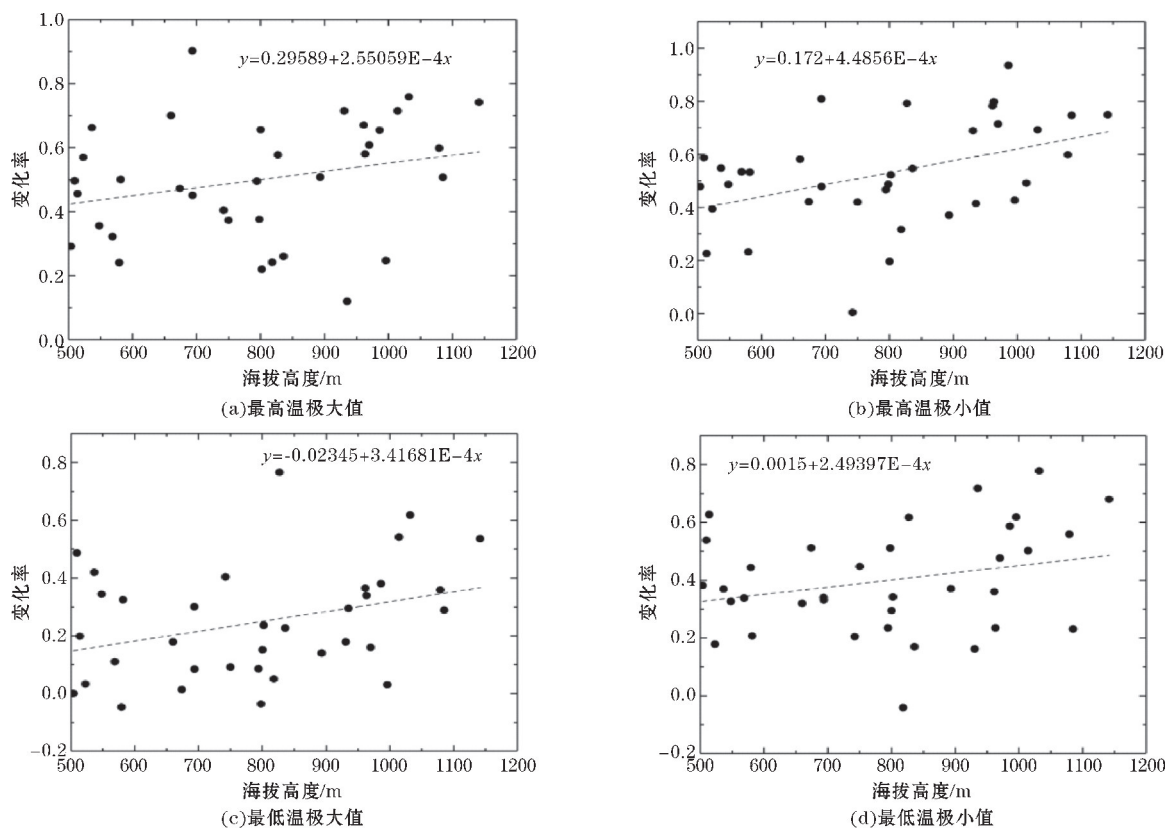


图8 温度极值变化率对海拔的依赖性

3 结论与讨论

以秦巴山区为研究对象,选取植被增长速度最快的海拔段500~1200 m,利用35个站点的气温和降水数据,对植被快速增长海拔段的典型气候指标进行分析,得出如下结论:

(1) 温暖指数、寒冷指数、最暖月均温、最冷月均温、积温和积温日数均呈现增大趋势,干湿度指数呈现减小趋势。

(2) 温暖指数、寒冷指数、最暖月均温、最冷月均温、积温、积温日数的变化率均为正值,且均与海拔呈正相关关系,干湿度指数的变化率为负值,且与海拔呈负相关关系,其中最暖月均温、积温、寒冷指数和干湿度指数通过95%显著性检验。

(3) 最高温的极大值达42℃以上,此海拔范围内的温度极端值范围波动在4℃~5℃;年代际均温保持在12℃~16℃,2005年后增加趋势最高可达

1.4℃/10 a以上。

(4) 温度极值随海拔升高增加趋势愈加显著,可见温度极值变化对海拔高度的敏感性较高,最低温极小值的变化率与海拔高度的正相关性最弱,但通过了95%的显著性检验。

分析了秦巴山区植被快速增长区的各典型气候指标的变化特及其海拔依赖性,但除海拔外的其他地形因子对各指标有何影响还需进一步研究。由于站点分布不均,同一大尺度环流背景下局地地形(如坡度、坡向及典型的局地微地形等)导致不同季节^[45]南北坡气温要素对坡度、坡向响应及不同下垫面影响^[46]等均存在差异。除此以外,典型生物气候指标,尤其是以气温为主体因子表征的极端气候对不同植被类型,特别是植被碳循环影响仍存在很大的不确定性^[47]。因此,这些气候因子究竟对植被类型的分布格局有着何种影响,还需进一步探索量化的方法,以求深入研究气候与植被的关系。

参考文献:

- [1] 赵昕奕,张惠远,万军. 青藏高原气候变化对气候带的影响[J]. 地理科学,2002,22(2):190-195.
- [2] 刘晓琼,吴泽洲,刘彦随,等. 1960-2015年青海三江源地区降水时空特征[J]. 地理学报,2019,74(9):1803-1820.
- [3] 邓晨晖,白红英,高山,等. 1964-2015年气候因子对秦岭地区植物物候的综合影响效应[J]. 地理学报,2018,73(5):917-931.
- [4] 张杨,白红英,黄晓月,等. 近55 a秦岭山区极端气温变化及其对区域变暖的影响[J]. 山地学报,2018,36(1):23-33.
- [5] 张文江,高志强. 青藏高原中东部水热条件与NDVI的空间分布格局[J]. 地理研究,2006,25(5):877-886.
- [6] 王耀斌,赵永华,韩磊,等. 2000-2015年秦巴山区植被净初级生产力时空变化就其驱动因子[J]. 应用生态学报,2018,29(7):2372-2381.
- [7] 陈超男,朱连奇,田莉,等. 秦巴山区植被覆盖度变化及气候因子驱动分析[J]. 生态学报,2019,39(9):3257-3266.
- [8] 李红梅. 柴达木盆地气候变化对植被的影响分析[J]. 草业学报,2018,27(3):13-23.
- [9] 王宗明,国志兴,宋开山,等. 中国东北地区植被NDVI对气候变化的响应[J]. 生态学杂志,2009,28(6):1041-1048.
- [10] 张清雨,吴绍洪,赵东升,等. 内蒙古草地生长季植被变化对气候因子的响应[J]. 自然资源学报,2013,28(5):754-764.
- [11] 杜灵通,宋乃平,王磊,等. 近30 a气候变暖对宁夏植被的影响[J]. 自然资源学报,2015,30(12):2095-2106.
- [12] 白红英. 秦巴山区森林植被对环境变化的响应[M]. 北京:科学出版社,2014.
- [13] 翟雅倩,张肿,周旗,等. 秦巴山区植被覆盖度与土壤湿度时空变化特征及其相互关系[J]. 地球信息科学,2018,20(7):967-977.
- [14] 张百平. 中国南北过渡带研究的十大科学问题[J]. 地理科学进展,2019,38(3):305-311.
- [15] 香薇,程志刚,周波涛,等. 1975-2016年秦巴山区极端气温事件的空间差异性分析[J]. 气候变化研究进展,2018,14(4):362-370.
- [16] 孙华,白红英,张清雨,等. 基于SPOT VEGETATION的秦岭南坡近10年来植被覆盖变化及其对温度的响应[J]. 环境科学学报,2010,30(3):649-654.
- [17] 任园园,张哲,侯钦磊,等. 大巴山地区植被覆盖度变化及其对气候变化的响应[J]. 水土保持通报,2012,32(2):56-59.
- [18] 刘宪锋,潘耀忠,朱秀芳,等. 2000-2014年秦巴山区植被覆盖时空变化特征及其归因[J]. 地理学报,2015,70(5):705-716.
- [19] 夏浩铭,李爱农,赵伟,等. 2001-2010年秦岭森林物候时空变化遥感监测[J]. 地理科学进展,2015,34(10):1297-1305.
- [20] 高涛涛,殷淑燕,王水霞. 基于SPEI指数的秦岭南北地区干旱时空变化特征[J]. 干旱区地理,2018,41(4):761-770.
- [21] 李双双,延军平,杨赛霓,等. 1960-2016年秦岭-淮河地区热浪时空变化特征及其影响因素[J]. 地理科学进展,2018,37(4):504-514.
- [22] 崔晓临,白红英,尚小清. 基于MODIS NDVI的秦岭地区植被覆盖变化研究[J]. 西北大学学报(自然科学版),2012,42(6):1021-1026.
- [23] 贺添,邵全琴. 基于MOD16产品的我国2001-2010年蒸散发时空格局变化分析[J]. 地球信息科学,2014,16(6):979-988.
- [24] 任志远,李晶. 陕南秦巴山区植被生态功能的价值测评[J]. 地理学报,2003,58(4):503-511.
- [25] 齐贵增,白红英,孟清,等. 1959-2018年秦岭南北春季气候时空变化特征[J]. 干旱区研究,2019,36(5):1079-1091.
- [26] 李双双,芦佳玉,延军平,等. 1970-2015年秦岭南北气温时空变化及其气候分界意义[J]. 地理学报,2018,73(1):13-24.
- [27] 王钊,彭艳,魏娜. 近52 a秦岭南北极端温度变化及其与区域增暖的关系[J]. 干旱气象,2016,34(2):269-275.
- [28] 杨波,张勃,安美玲,等. 1961-2011年秦巴山区极端降水事件的时空特征分析[J]. 水土保持研究,2014,21(1):110-116.
- [29] 贺映娜,白红英,高翔,等. 基于NDVI的米仓山植被覆盖变化趋势分析[J]. 西北植物学报,2011,31(8):1677-1682.
- [30] 章金城,周文佐. 2006-2015年秦巴山区植被光合有效辐射吸收比例的时空变化特征[J]. 生态学杂志,2019,38(5):1453-1463.
- [31] 邓晨晖,白红英,高山,等. 秦岭植被覆盖时空变化及其对气候变化与人类活动的双重影响[J]. 自然资源学报,2018,33(3):425-438.
- [32] Jacqueline GF, Antoine G, Einklaus E Z. Tree line shifts in the Swiss Alps: climate change or

- land abandonment[J]. *Journal of Vegetation Science*, 2007, 18: 571–582.
- [33] 崔晓临, 白红英, 王涛. 秦岭地区植被 NDVI 海拔梯度差异及其气温响应[J]. *资源科学*, 2013, 35(3): 618–626.
- [34] 贾庆宇, 王笑影, 吕国红, 等. 辽宁省气候-植被指标时空变化特征及森林适宜性分析[J]. *生态环境学报*, 2010, 19(9): 2031–2035.
- [35] 邹春静, 徐文铎. 中国东北植被生态学研究中的焦点问题[J]. *应用生态学报*, 2004, 15(10): 1711–1721.
- [36] Choi Sungho, LEE WooKyun, Son Yowhan, et al. 基于温度指数-温暖指数和最冷月低温对韩国森林植被分布变化的模拟[J]. *中国科学: 生命科学*, 2010, 40(7): 595.
- [37] 陈飞, 王健敏, 陈晓鸣, 等. 基于 Kira 指标的云南松气候适宜性分析[J]. *林业科学研究*, 2012, 25(5): 576–581.
- [38] 郑远长. 青藏高原东南部山地森林植被-气候关系研究[J]. *地理研究*, 1995(4): 104–105.
- [39] 苏小青, 陈世品, 童建宁. 福建主要树种的分布与气候条件关系的研究[J]. *福建林学院学报*, 2001(4): 371–375.
- [40] 曹伟, 郑美林, 刘童燕. 东北地区主要树种分布与气候的关系[J]. *干旱区资源与环境*, 2013, 27(3): 132–136.
- [41] 赵东升, 吴绍洪, 郑度, 等. 青藏高原生态气候因子的空间格局[J]. *应用生态学报*, 2009, 20(5): 1153–1159.
- [42] Box EO. *Macroclimate and plant forms: An introduction to predictive modeling in phytogeography* [M]. Hague: Dr. W. Junk Publishers, 1981.
- [43] 丘宝剑, 卢其尧. 中国农业气候区划试论[J]. *地理学报*, 1980, 35(2): 116–125.
- [44] 周晓宇, 赵春雨, 王颖, 等. 1961–2012 年辽宁省极端气温事件气候变化特征[J]. *冰川冻土*, 2015, 37(4): 876–887.
- [45] 袁淑杰, 谷晓平, 缪启龙, 等. 贵州高原复杂地形下月平均日最高气温分布式模拟[J]. *地理学报*, 2009, 64(7): 888–896.
- [46] 彭文甫, 张冬梅, 罗艳玫, 等. 自然因子对四川植被 NDVI 变化的地理探测[J]. *地理学报*, 2019, 74(9): 1758–1776.
- [47] 朴世龙, 张新平, 陈安平, 等. 极端气候事件对陆地生态系统碳循环的影响[J]. *中国科学: 地球科学*, 2019, 49(9): 1321–1334.

Analysis on the Variation Characteristics of Typical Climatic Indexes and its Altitude Dependence in the Region of Rapid Vegetation Changes of Qinba Mountain

ZHANG Yueyue, CHENG Zhigang, CHEN Xiaoxiao, BIN Xin, JIN Liya

(College of Atmospheric Sciences Plateau Atmosphere and Environment Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu University of Information and Technology, Chengdu 610225, China)

Abstract: The climatic factors are decisive factors of vegetation growth, in order to learn the variation characteristics of climatic factors in the Qinba Mountain, based on the temporal and spatial distribution characteristics, the paper chooses daily air temperature and precipitation data of 35 meteorological stations between 500 m to 1200 m above the sea level from 1975 to 2017 in Qinba Mountain. The typical climatic indexes and elevation dependence of the fast-growing region of vegetation are analyzed. The results showed that: Kira's warmth index, Kira's coldness index, the mean temperature in the warmest month, the mean temperature in the coldest month, the accumulated temperature above 10 °C and duration days increased obviously, and there was positive relationship between their rates of change and their altitudes. But the aridity/humidity index has an decreasing trend, and the change rate of exponent has a negative relationship with the altitude. (2) The maximum value of maximum air temperature exceeded 42 °C. The perennial mean air temperature remained from 12 °C to 16 °C, and the maximum warming rate is over 1.4 °C/10a. (3) The change rate of temperature extreme value is positively correlated with altitude. There was a strong positive correlation between the minimum value of maximum air temperature and the altitude, a weak positive correlation between the minimum value of minimum air temperature and the altitude, but all the correlations were significant ($P < 0.05$).

Keywords: atmospheric science; the change of climate and environment; Qinba Mountain; bio-climatic index; extreme value of air temperature; elevation dependence