

秦岭太白山气温直减率时空差异性研究

翟丹平, 白红英, 秦 进, 邓晨晖, 刘荣娟, 何 红

(西北大学城市与环境学院, 西安 710127)

摘要: 在评估山地生态系统对气候变化响应的过程中, 作为气温要素的重要输入参数, 气温直减率(γ)的精确性直接影响到相关科研工作的真实性和可靠性。本文基于秦岭主峰太白山(3771.2 m)11个分布于南北坡和不同海拔的标准气象站点2013-2015年连续3年实测日均温资料和25 m \times 25 m空间分辨率的DEM数据, 研究了太白山气温直减率在不同时间尺度上的变化规律及不同坡向上的空间分布特征。结果表明: ① 2013-2015年太白山年均 γ 北坡均大于南坡, 北坡为0.513 $^{\circ}\text{C}/100\text{m}$, 南坡为0.499 $^{\circ}\text{C}/100\text{m}$; 北坡年均 γ 随海拔变化表现出一定的差异性, 而南坡相对稳定。② 年内 γ 在不同时间尺度上均存在明显差异, 且南北坡变化趋势不一致。在季尺度上, γ 最大值北坡为夏季, 为0.619 $^{\circ}\text{C}/100\text{m}$, 而南坡最大出现在春季, 为0.546 $^{\circ}\text{C}/100\text{m}$, 最小值均为冬季, 南北坡分别为0.449 $^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 和0.390 $^{\circ}\text{C}/100\text{m}$; 春季和夏季, 北坡 γ 均大于南坡, 而冬季相反, 北坡小于南坡, 秋季几乎无差异。在月尺度上, 气温相对高的月份 γ 亦较高, 北坡 γ 变化幅度大于南坡; 年始和年末(11-12月、1-2月)北坡 γ 小于南坡, 而5-9月北坡大于南坡, 且南北坡 γ 相差较大。③ 经数据可信度分析, 所获得的 γ 可较为客观地反映太白山气温随海拔变化的规律性, 将为山地气温空间分布规律及其生态系统响应等定量研究提供理论基础。

关键词: 秦岭; 太白山; 气温直减率; 山地气候

DOI: 10.11821/dlxb201609010

1 引言

气温直减率是模拟山地气候、生态过程及环境保护等重要的输入参数, 亦是气候变化研究的基础资料, 获取精确的气温直减率对于准确地揭示山地气温分布特征^[1-4]和定量评估山地生态系统对气候变化的响应具有重要的意义^[5]。秦岭是中国地理南北分界线和气候、生态分水岭, 山脉平均海拔2000 m以上^[6-9]。太白山是秦岭主峰和最高峰, 对南北气流阻隔作用较强, 使得南北坡温度差异大, 且南北坡温度随海拔变化的规律性不同^[1-2, 10-11]。

早期, 在秦岭山脉高海拔地区, 由于气候恶劣和技术薄弱, 没有建立气象观测站点。前人关于秦岭山地气温随海拔高度的变化的研究资料大都来源于2000 m以下中低海拔区及周边地区的气象站点, 或克服艰难险阻进行了实际考察和观测, 获得了一些宝贵的高海拔气温资料。如李兆元等^[10]和傅抱璞等^[11]对整个秦岭地区气温进行研究, 指出秦岭南坡直减率比北坡高, 分别为0.5 $^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 和0.44 $^{\circ}\text{C}/100\text{m}$, 1月南北坡气温直减率分别为0.54 $^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 和0.33 $^{\circ}\text{C}/100\text{m}$, 7月南北坡均为0.57 $^{\circ}\text{C}/100\text{m}$; 而莫申国等^[5]认为秦岭南

收稿日期: 2016-04-26; 修订日期: 2016-06-03

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项(201304309) [Foundation: National Forestry Public Welfare Industry Scientific Research Project, No.201304309]

作者简介: 翟丹平(1990-), 女, 河南新乡人, 硕士, 主要从事秦岭山地气候与植被变化研究。E-mail: zhaidp@126.com

通讯作者: 白红英(1962-), 女, 陕西凤翔人, 博士, 教授, 主要从事全球变化生态学、自然地理学等方面的科研与教学。
E-mail: hongyingbai@163.com

北坡年均气温直减率相同, 均为 0.43 °C/100m, 冬季北坡气温递减率小于南坡, 夏季反之。Tang 等^[12]、任毅等^[13]从低海拔 1500~3750 m 翻越分水岭, 每间隔 250 m 用微型气象测定仪进行观测, 获得了太白山部分地区线状的连续 1 年的气温资料。Tang 等得出北坡年均直减率为 0.50±0.02 °C/100m, 南坡为 0.34±0.04 °C/100m, 南坡最大出现在 3 月或 5 月 (0.43±0.05 °C/100m), 北坡出现在 6 月和 7 月 (0.63±0.02 °C/100m), 最小值均为 12 月; 而任毅等得到北坡年均直减率为 0.49 °C/100m, 南坡为 0.37 °C/100m, 1-12 月气温直减率北坡均大于南坡。

由上述研究结果可知, 由于获取气温资料的途径不同, 所得气温直减率结果存在明显的差异。从 2012 年起, 秦岭主峰太白山不同海拔和南北坡设立的 11 个标准气象观测站点, 为较全面地反映太白山气温和降水时空分布提供了坚实的观测数据, 本文以这些标准气象站点 2013-2015 年的实测气温资料为基础, 结合 25 m×25 m 空间分辨率的 DEM 数据, 研究太白山气温直减率的时空变化特征, 以期更真实地揭示秦岭主峰太白山地区复杂山地气候特点, 为定量研究区域气候变化和陆地生态系统响应等提供理论支撑。

2 研究区和数据来源

2.1 研究区概况

太白山, 地跨眉县、太白和周至三县, 平均海拔约 2050 m, 地理位置为 107°16'46" E~107°56'28" E, 33°46'46" N~37°12'1" N, 是中国南北分界线秦岭山脉的主峰和最高峰, 其独特的地理位置使之成为生态环境过渡地带及气候变化敏感区^[14-16]。太白山最高海拔为 3771.2 m, 巨大的高差形成明晰的垂直气候带、土壤带和生物种群带, 分布着国家一级重点保护动物大熊猫、金丝猴、羚羊和国家一级重点保护植物独叶草、红豆杉等, 使之成为中国亚热带和暖温带交汇区的一个生物资源宝库^[17]。

2.2 数据来源

本文所采用的数据主要包括: 太白山 2013-2015 年 11 个标准气象站点的每日平均气温数据, 北坡包括文公庙、汤峪 1 号、汤峪 2 号、汤峪 3 号、姜眉公路、红河谷及樱鸽 7 个气象站点, 南坡包括文公庙、太洋公路站、太洋公路北站、太洋公路南站和黄柏源 5 个观测站点, 其中文公庙海拔较高且几乎处于山脊线上, 分属南北两坡 (表 1, 图 1), 由陕西省气象局提供; 检验数据: 选取了太白站点 1959-2015 年连续 57 年的月均温数据, 海拔为 1543.6 m; DEM 数据分辨率为 25 m×25 m。

3 结果与分析

3.1 数据的可信度分析

3.1.1 样本数据的代表性检验 为检验利用太白山 11 个气象站点 2013-2015 年连续 3 年气象数据计算所得的气温直减率是否符合近 50 年多来气

表 1 秦岭太白山气象站点资料
Tab. 1 The information of meteorological stations
in Mt. Taibai of Qinling Mountains

位置	站点	经度(°N)	纬度(°E)	海拔(m)
北坡	文公庙	33.998	107.811	3378
	汤峪 1 号	34.004	107.815	3213
	汤峪 2 号	34.000	107.816	2767
	汤峪 3 号	34.013	107.833	2253
	姜眉公路	34.067	107.467	1510
	红河谷	34.004	107.755	1273
	樱鸽	34.083	107.683	857
南坡	文公庙	33.998	107.811	3378
	太洋公路站	33.884	107.409	2329
	太洋公路北站	33.969	107.299	2000
	太洋公路南站	33.872	107.455	1988
	黄柏塬	33.817	107.517	1232

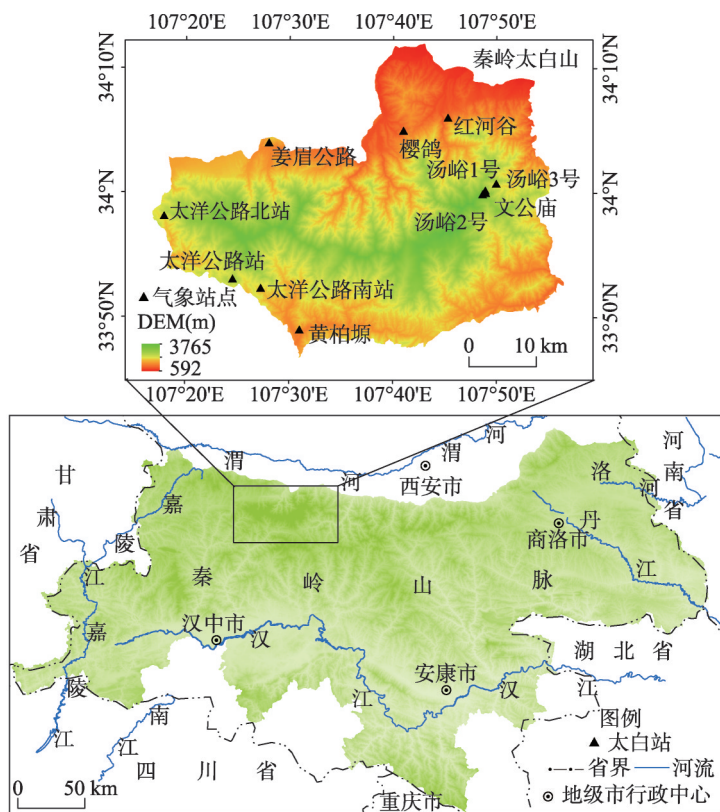


图1 太白山地理位置及气象站点分布图

Fig. 1 The location of the study area and meteorological stations

候变化下的气温随海拔变化的普遍规律, 本文从背景气候和数据特征两个方面进行分析。

首先,从太白县气象站点(1543.6 m) 1959-2015年连续57年的气温和降水变化(图2)可知,1959-2015年太白县气温呈显著上升趋势,升温速率为 $0.336\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$;年降水总量呈不显著下降,下降速率为 $15.856\text{ mm}/10\text{a}$;其中,2013-2015年气温和降水量均接近于57年来变化趋势拟合线,即这3年属于全球气候变化下的正常气候。同时,中国气象

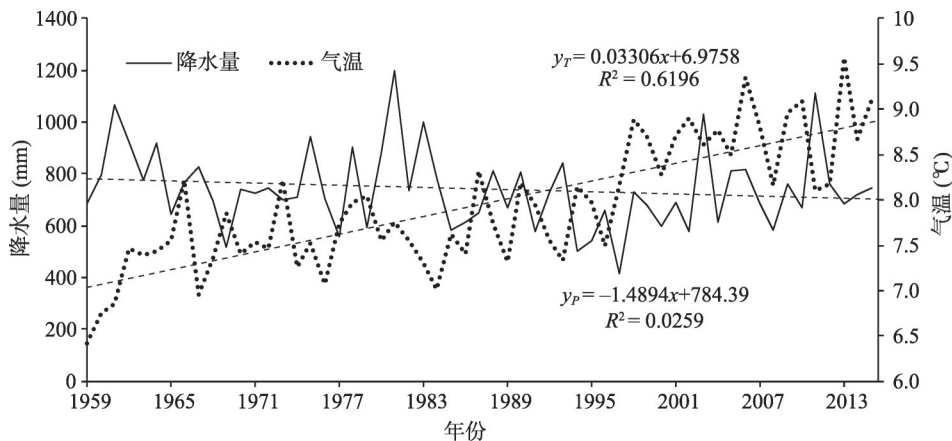


图2 1959-2015年太白县年均气温与降水量变化

Fig. 2 Annual average temperature and precipitation in Taibai County in 1959-2015

局发布的《2013-2015年中国气候公报》^[18]显示,2013-2015年中国气候为正常年景。

其次,从11个标准气象站点中选择低海拔和高海拔区域各1个站点,与长期观测的太白县气象站点进行对比分析。所选姜眉公路和文公庙两个站点2013-2015年各月气温与太白县站点57年来1-12月平均气温的相关系数均大于0.98,且达到0.01水平显著性检验,表明连续3年内月均气温变化趋势与57年来1-12月平均气温变化趋势表现出很高的一致性。

因此,利用太白山不同海拔2013-2015年11个气象站点资料所获得的气温直减率,既可反映整个太白山的气温随海拔的变化规律,亦可表征该规律的普遍性。

3.1.2 样本所得气温直减率的一致性分析 利用SPSS 22.0统计软件对2013-2015年连续3年南北坡各月气温直减率(表2)进行差异性检验,从而判断连续3年的气温直减率间是否具有显著性差异。从表2可知,统计量 F 和 T 的相伴概率 P 均大于0.05,说明2013-2015年各月南北坡气温直减率方差和平均值均无显著差异,同时均值差95%置信区间跨0,亦表明连续3年平均气温直减率无显著差异。

因此,将2013-2015年各时间尺度上的气温直减率进行均值化处理,以更准确地表征太白山各时间尺度上气温直减率的实际状态。

表2 2013-2015年太白山南北坡气温直减率差异性检验统计量
Tab. 2 The statistics of significant difference tests on air temperature lapse rates on the southern and northern slopes of Mt. Taibai in 2013-2015

检验统计量	F	$P\text{-Value}(F)$	T	$P\text{-Value}(T)$	95% 置信区间
2013-2014年(N)	0.322	0.576	0.061	0.952	0
2013-2015年(N)	0.891	0.375	0.467	0.645	0
2014-2015年(N)	0.142	0.710	0.398	0.694	0
2013-2014年(S)	0.210	0.651	0.277	0.784	0
2013-2015年(S)	0.866	0.362	0.947	0.354	0
2014-2015年(S)	0.311	0.583	0.689	0.498	0

3.2 太白山南北坡年均温随海拔变化的规律

图3为2013-2015年太白山年均温随海拔变化的趋势图。从图3中可以看出,无论南坡还是北坡,太白山气温与海拔均呈极显著的负相关,线性拟合度 R^2 均大于0.95,即海拔是太白山温度分布格局变化的主要地理因素。

2013年、2014年和2015年南坡、北坡年均 γ 分别为0.508 $^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 和0.522 $^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 、0.502 $^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 和0.515 $^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 、0.487 $^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 和0.501 $^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 。 γ 均为北坡大于南坡,且经方差和标准差检验,年际间差异很小,因此2013-2015年 γ 北坡为0.513 $^{\circ}\text{C}/100\text{m}$,南坡为0.499 $^{\circ}\text{C}/100\text{m}$,与秦岭山区北坡的日照时数全年都高于南坡,且北坡气候干燥,空气全年湿度小于南坡,但风速全年均大于南坡存在一定的联系^[10]。

从图3各拟合线可知,利用多项式曲线(四次多项式)比线性拟合更好,即北坡年均气温随海拔的变化速率表现出一定的差异性;而南坡线性拟合最优,即 γ 较为稳定。这是由于秦岭主峰太白山海拔较高,对南北空气的阻隔作用强,加之北陡南缓,使北坡低海拔区受地面辐射和高海拔区山顶受大气环流和水体、积雪变温等影响相对南坡明显,表现为小于2000 m的低海拔区和高于3300 m的山顶处 γ 偏高,而2000~3300 m的中海拔区中 γ 偏低。

3.3 太白山气温直减率的时空差异性

3.3.1 南北坡季均温随海拔的变化规律 表3为2013-2015年不同季节的气温直减率。由

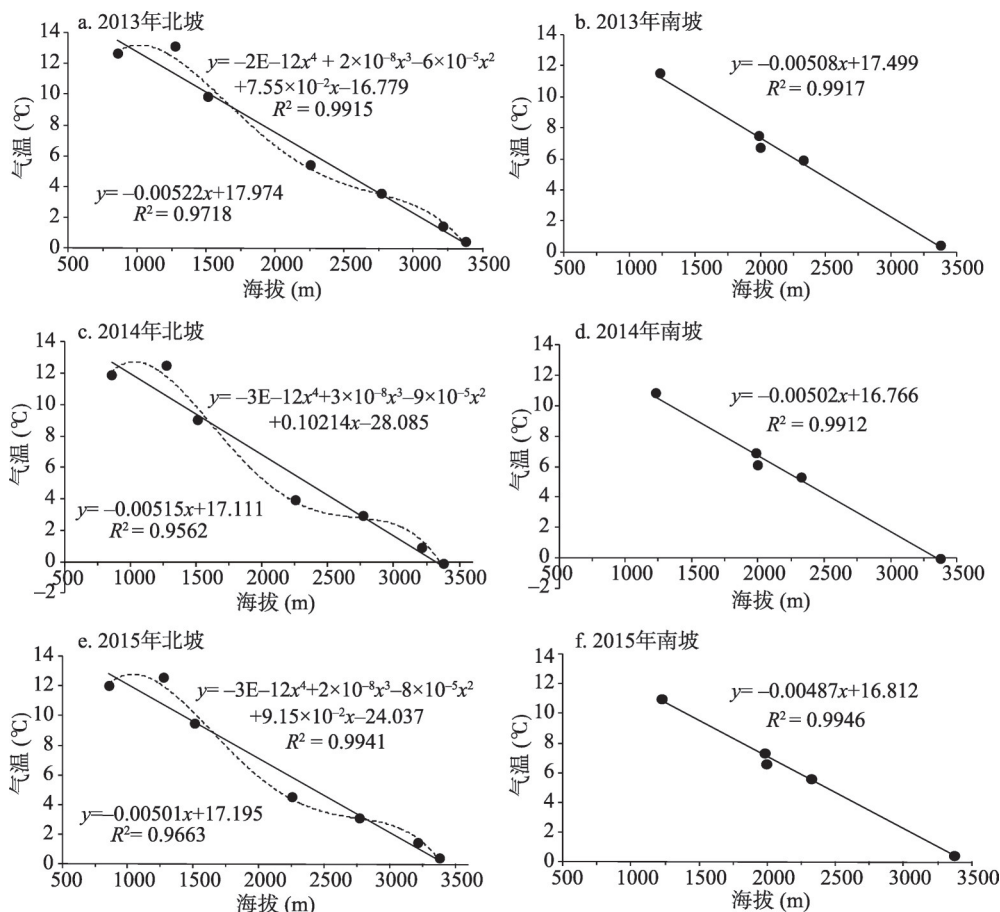


图3 2013-2015年太白山南北坡年均气温直减率

Fig. 3 The annual average air temperature lapse rates on the northern and southern slopes of Mt. Taibai in 2013-2015

表3可知, 气温直减率在年内不同时间尺度存在较大的差异, 且南坡与北坡年内变化趋势表现出的一致性。在季尺度上, 南北坡平均 γ 春季分别为0.546 °C/100m和0.572 °C/100m; 夏季分别为0.527 °C/100m和0.619 °C/100m; 秋季分别为0.474 °C/100m和0.476 °C/100m; 冬季分别为0.449 °C/100m和0.390 °C/100m。

2013年、2014年和2015年 γ 最大值北坡为夏季, 而南坡为春季; 南北坡最小值均为冬季。由Kinchner等^[19]和Li等^[20]的研究表明, 中国大陆典型的气温直减率夏季最大, 冬季最小, 同太白山北坡气温直减率的季节变化表现出的一致性, 这可能与夏季辐射加热作用增强, 而冬季辐射作用较弱, 其形成的冷高压削弱了海拔对气温的影响程度有关。但南坡与中国大陆典型结论存在差异, 其最大值为春季, 一方面50多年来秦岭山地南坡春季气候呈显著性干暖化趋势^[21]; 另一方面夏季南坡比北坡植被覆盖度高, 在一定程度上减缓了热辐射对地表温度的影响^[22-23], 即秦岭山地对中国气候的分异作用不仅表现在南北温差上, 其温度变化的机理亦有所差异。

在同一季节中, 春季和夏季 γ 均为北坡大于南坡, 秋季几乎无差异, 而冬季北坡大于南坡。在春季和夏季, 东南季风带来的暖气流增加了空气湿度, 北坡气流下沉增温的焚风效应使北坡 γ 大于南坡。冬季, 冷空气受太白山阻挡作用在北坡下部堆积, 在动力抬升

表3 2013-2015年太白山南北坡不同时间尺度的气温直减率(℃/100m)
Tab. 3 The air temperature lapse rates at multi-time scales on the southern and northern slopes of Mt. Taibai in 2013-2015 (℃/100 m)

气象要素	2013年北坡	2013年南坡	2014年北坡	2014年南坡	2015年北坡	2015年南坡
1月	0.328	0.439	0.381	0.453	0.338	0.404
2月	0.381	0.416	0.326	0.383	0.474	0.500
3月	0.560	0.542	0.584	0.557	0.473	0.498
4月	0.574	0.571	0.544	0.553	0.593	0.587
5月	0.584	0.517	0.629	0.538	0.605	0.549
6月	0.588	0.490	0.620	0.527	0.577	0.532
7月	0.536	0.487	0.680	0.536	0.656	0.525
8月	0.702	0.605	0.592	0.532	0.617	0.509
9月	0.555	0.510	0.466	0.462	0.542	0.480
10月	0.529	0.502	0.476	0.462	0.446	0.437
11月	0.481	0.521	0.477	0.517	0.314	0.384
12月	0.444	0.502	0.456	0.512	0.380	0.436
春季	0.573	0.544	0.586	0.549	0.557	0.545
夏季	0.609	0.527	0.631	0.532	0.616	0.522
秋季	0.521	0.511	0.473	0.477	0.434	0.434
冬季	0.384	0.452	0.388	0.449	0.397	0.447
年均	0.522	0.508	0.515	0.502	0.501	0.487

作用下成云致雨雪，导致坡面气温下降，而在南坡下沉增温，因而北坡 γ 小于南坡。

3.3.2 南北坡月均温随海拔的变化规律 从太白山南北坡各月气温直减率及变化趋势可看出（表3，图4），南北坡 γ 在年内各月存在显著差异，气温相对高的月份均表现出较高气温直减率，如3-9月南北坡 γ 均在0.5℃/100 m以上，且南坡和北坡年内变化趋势表现出的一致性，北坡 γ 变化幅度较大，而南坡变化相对稳定，6月、7月和8月份南北坡月均 γ 相差达0.1℃/100m。南坡 γ 在年初和年末（1-2月，11-12月）大于北坡，而在5-9月南坡小于北坡，3-4月和10月为过渡阶段，南北坡 γ 几乎相等。研究表明，每年3-11月为秦岭相对湿润期，其中5-9月植被生长状况良好，且南坡植被覆盖明显高于北坡^[21]，即良好的植被覆盖一定程度上削弱了热辐射效应，导致南坡各月气温变化相对稳定，具有一定的南方气候特性。

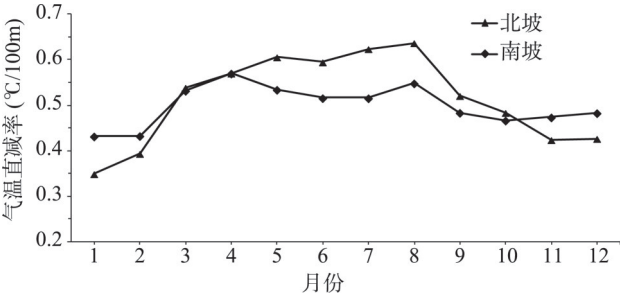


图4 太白山南北坡1-12月份气温垂直递减率的变化
Fig. 4 The monthly air temperature lapse rates on the southern and northern slopes of Mt. Taibai

坡 γ 变化幅度较大，而南坡变化相对稳定，6月、7月和8月份南北坡月均 γ 相差达0.1℃/100m。南坡 γ 在年初和年末（1-2月，11-12月）大于北坡，而在5-9月南坡小于北坡，3-4月和10月为过渡阶段，南北坡 γ 几乎相等。研究表明，每年3-11月为秦岭相对湿润期，其中5-9月植被生长状况良好，且南坡植被覆盖明显高于北坡^[21]，即良好的植被覆盖一定程度上削弱了热辐射效应，导致南坡各月气温变化相对稳定，具有一定的南方气候特性。

4 结论与讨论

4.1 结论

（1）太白山气温随海拔上升呈极显著下降，2013-2015年北坡 γ 均大于南坡，且年际间波动很小，北坡平均 γ 为0.513℃/100m，南坡为0.499℃/100m；北坡 γ 随海拔变化呈现

出一定的波动性, 而南坡相对稳定。

(2) 秦岭山区 γ 在时间和空间上表现出明显的差异性。在季尺度上, 2013-2015年 γ 最大值北坡为夏季, 南坡为春季, 而最小值南北坡均为冬季; 春季和夏季 γ 均为北坡大于南坡, 而冬季相反, 北坡小于南坡, 秋季南北坡几乎无差异。春季, 南坡和北坡平均 γ 分别为 0.546 °C/100m 和 0.572 °C/100m; 夏季为 0.527 °C/100m 和 0.619 °C/100m; 秋季为 0.474 °C/100m 和 0.476 °C/100m; 冬季为 0.449 °C/100m 和 0.390 °C/100m。

(3) 南北坡年内各月 γ 变化趋势表现出不一致性, 在气温相对高的月份, γ 表现出较高值, 且北坡 γ 变化幅度较大, 达 0.3 °C/100m, 而南坡较为稳定; 在年始(1-2月)和年末(11-12月)北坡 γ 小于南坡, 而5-9月北坡大于南坡, 且 γ 南北坡相差较大, 约 0.1 °C/100m。南坡最大值出现在3月或4月, 为 0.57±0.02 °C/100m, 而北坡出现在7月或8月, 为 0.68±0.03 °C/100m, 最小值均为1月, 南坡为 0.43±0.03 °C/100m, 北坡为 0.35±0.03 °C/100m。由于辐射强度、降水量、季风、地形及植被覆盖度等多重因素共同作用, 导致了山地气温直减率的时空变化存在明显差异性。

4.2 讨论

(1) 本文所得秦岭太白山年均 γ 高于前人研究^[5, 10]所得秦岭地区的 γ , 且北坡年均 γ 高于南坡, 这与其研究区所采用气象站点的范围较广以及站点大都分布于海拔 2000 m 以下的区域有关, 比前人研究^[12-13]所得太白山南北坡年均 γ 高, 这一结论可能与气温测定的方法和记录的时间长度有关。

(2) 年内 γ 变化及各月南北坡差异, 与前人的秦岭 γ 资料^[10-11]基本一致, 如1月 γ 南坡大于北坡, 冬季北坡 γ 小于南坡, 夏季反之, 但与前人^[10, 13]得到的7月南北坡直减率相同及所得1-12月气温直减率均为北坡大于南坡存在差异, 由本文知, 5-9月 γ 北坡大于南坡, 1-2月和11-12月 γ 北坡小于南坡。

(3) 本文基于分布于太白山南北坡不同海拔的连续三年的实测数据, 且太白山处于秦岭腹地, 横跨南北分水岭, 所得太白山 γ 可应用于广义的秦岭山地范围。

参考文献(References)

- [1] Weng Duming, Sun Zhian. A preliminary study of the lapse rate of surface air temperature over mountainous regions of china. *Geographical Research*, 1984, 3(2): 24-34. [翁笃鸣, 孙治安. 我国山地气温直减率的初步研究. *地理研究*, 1984, 3(2): 24-34.]
- [2] Fang Jingyun. Study on distribution rules of air temperature lapse rate in China. *Chinese Science Bulletin*, 1992(9): 817-820. [方精云. 我国气温直减率分布规律的研究. *科学通报*, 1992(9): 817-820.]
- [3] Li Xiuping, Wang Lei, Chen Deliang et al. Near-surface air temperature lapse rates in the mainland China during 1962-2011. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2013, 118(11): 7505-7515.
- [4] Minder J R, Mote P W, Lundquist J D. Surface temperature lapse rates over complex terrain: Lessons from the Cascade Mountains. *Journal of Geophysical Research*, 2010, 115(D14): 1307-1314.
- [5] Mo Shenguo, Zhang Baiping. Simulation of temperature fields based on DEM in Qinling Mts. *Journal of Mountain Science*, 2007, 25(4): 406-411. [莫申国, 张百平. 基于DEM的秦岭温度场模拟. *山地学报*, 2007, 25(4): 406-411.]
- [6] Li Shuangshuang, Yan Junping, Wan Jia. The characteristics of temperature change in Qinling Mountains. *Scientia Geographica Sinica*, 2012, 32(7): 853-858. [李双双, 延军平, 万佳. 全球气候变化下秦岭南北气温变化特征. *地理科学*, 2012, 32(7): 853-858.]
- [7] Kang Muyi, Zhu Yuan. Discussion and analysis on the geo-ecological boundary in Qinling Range. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(7): 2774-2784. [康慕宜, 朱源. 秦岭山地生态分界线的论证. *生态学报*, 2007, 27(7): 2774-2784.]
- [8] Zhou Qi, Bian Juanjuan, Zheng Jingyun. Variation of air temperature and thermal resources in the northern and southern regions of the Qinling Mountains from 1951-2009. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(9): 1211-1218. [周旗, 卞娟娟, 郑景云. 秦岭南北1951-2009年的气温与热量资源变化. *地理学报*, 2011, 66(9): 1211-1218.]

- [9] Liu Xianfeng, Pan Yaozhong, Zhu Xiufang et al. Spatiotemporal variation of vegetation coverage in Qinling-Daba mountains in relation to environmental factors. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(5): 705-716. [孙宪锋, 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. *地理学报*, 2015, 70(5): 705-716.]
- [10] Fu Baopu, Li Yuanzhao. The climate features in Qinling Mts. *Journal of Shaanxi Meteorology*, 1983, 11(1): 1-11. [傅抱璞, 李元兆. 秦岭山地的气候特点. *陕西气象*, 1983, 11(1): 1-11.]
- [11] Fu Baopu, Yu Jingming, Li Zhaoyuan. Characteristics of the summer micro-climate in Mt. Taibai of Qinling. *Acta Geographica Sinica*, 1982, 37(1): 88-97. [傅抱璞, 虞静明, 李兆元. 秦岭太白山夏季的小气候特点. *地理学报*, 1982, 37(1): 88-97.]
- [12] Tang Zhiyao, Fang Jingyun. Temperature variation along the northern and southern slopes of Mt. Taibai, China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2006, 139(3): 200-207.
- [13] Ren Yi, Liu Mingshi, Tian Lianhui, et al. Biodiversity, Conservation and Management of Taibaishan Nature Reserve. Beijing: China Forestry Publishing House, 2006: 17-22. [任毅, 刘明时, 田联会, 等. 太白山自然保护区生物多样性研究与管理. 北京: 中国林业出版社, 2006: 17-22.]
- [14] Bai Hongying, Ma Xinping, Gao Xiang, et al. Variations in January temperature and 0°C isothermal curve in Qinling Mountains based on DEM. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(11): 1443-1450. [白红英, 马新萍, 高翔, 等. 基于DEM的秦岭山地1月气温及0°C等温线变化. *地理学报*, 2012, 67(11): 1443-1450.]
- [15] Qin Jin, Bai Hongying, Li Shuheng, et al. Differences in growth response of *Larix chinensis* to climate change at the upper timberline of southern and northern slopes of Mt. Taibai in central Qinling Mountains, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(17): <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2031.Q.20151214.1407.038.html>. [秦进, 白红英, 李书恒, 等. 太白山南北坡高山林线太白红杉对气候变化的响应差异. *生态学报*, 2016, 36(17): <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2031.Q.20151214.1407.038.html>.]
- [16] Ma Xinping, Bai Hongying, He Yingna, et al. The vegetation remote sensing phenology of Qinling Mountains based on NDVI and its response to temperature: Taking with the territory of Shaanxi as an example. *Scientia Geographica Sinica*, 2015, 35(12): 1616-1621. [马新萍, 白红英, 贺映娜, 等. 基于NDVI的秦岭山地植被遥感物候及其气温的响应关系. *地理科学*, 2015, 35(12): 1616-1621.]
- [17] Zhang Shanhong, Bai Hongying, Gao Xiang, et al. Spatial-temporal changes of vegetation index and its responses to regional temperature in Taibai Mountain. *Journal of Natural Resources*, 2011, 26(8): 1377-1386. [张善红, 白红英, 高翔, 等. 太白山植被指数时空变化及其对区域温度的响应. *自然资源学报*, 2011, 26(8): 1377-1386.]
- [18] China Meteorological Administration. *China Climate Bulletin*. Beijing: China Meteorological Administration, 2013-2015. [中国气象局. 中国气候公报. 北京: 中国气象局, 2013-2015.]
- [19] Manfred K, Theresa F-K, Gert J, et al. Altitudinal temperature lapse rates in an alpine valley: Trends and the influence of season and weather patterns. *International Journal of Climatology*, 2013, 33(3): 539-555.
- [20] Li Yue, Zeng Zhenzhong, Zhao Lin, et al. Spatial patterns of climatological temperature lapse rate in mainland China: A multi-time scale investigation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2015, 120(7): 2661-2675.
- [21] Bai Hongying. *The Response of Forest Vegetation to Environment Changes in Qinba Mountains*. Beijing: Science Press, 2014. [白红英. 秦巴山区森林植被对环境变化的响应. 北京: 科学出版社, 2014.]
- [22] Mou Xuejie, Zhao Xinyi. Study on the relationship between surface temperature and land use in Pearl River Delta. *Geographical Research*, 2012, 31(9): 1589-1597. [牟雪洁, 赵昕奕. 珠三角地区地表温度与土地利用类型的关系. *地理研究*, 2012, 31(9): 1589-1597.]
- [23] Luo Hongxia, Shao Jingan, Zhang Xueqing. Retrieving land surface temperature based on the radioactive transfer equation in the middle reaches of the Three Gorges Reservoir Area. *Resources Science*, 2012, 34(2): 256-264. [罗红霞, 邵景安, 张雪清. 基于辐射传输方程的三峡库区腹地地表温度的遥感反演. *资源科学*, 2012, 34(2): 256-264.]

Temporal and spatial variability of air temperature lapse rates in Mt. Taibai, Central Qinling Mountains

ZHAI Danping, BAI Hongying, QIN Jin, DENG Chenhui, LIU Rongjuan, HE Hong

(College of Urban and Environmental Science, Northwest University, Xi'an 710127, China)

Abstract: Air temperature lapse rate (γ) is taken as one of key input parameters when we evaluate the response of the mountain ecosystem to climate change, and its accuracy is very useful to the related research in the future. In this paper, based on the datasets built based on data from standard meteorological stations in Mt. Taibai, the tempo-spatial distribution characteristics for the variations of γ were evaluated by using DEM images at a 25-m resolution as well as daily average temperature during the period of 2013-2015. The average value of annual γ on the northern slope ($0.513^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$) was larger than that on the southern slope ($0.499^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$) during the three years, and a greater variation in different altitude regions was found on the northern slope than on the southern slope. The variability of γ was significant at different time-scales. At the seasonal scale, the peak of γ ($0.619^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$) on the northern slope occurred in summer, while the peak of γ ($0.546^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$) on the southern slope appeared in spring. Meanwhile, the minimums of γ on both slopes ($0.390^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ on the northern slope and $0.449^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ on the southern slope) were found in winter. Compared with the southern slope, the values of γ on the northern slope were higher in spring and summer, while they were lower in winter and almost the same in autumn. At the monthly scale, the larger values of γ appeared in the warmer months on both slopes, and the larger variation in γ was found on the northern slope. The values of γ were higher on the southern slope than those on the northern slope in January, February, November and December, while they were lower from May to September. The results clarified the rule of temperature-altitude variations in Mt. Taibai in recent 50 years, which could provide a theoretical basis for the quantitative researches on temperature distribution characteristics and the response of the ecosystem to climate change in the mountain areas.

Keywords: Qinling Mountains; Mt. Taibai; air temperature lapse rate; mountainous climate