

武当山北坡气温的垂直变化特征

尹恒¹ 夏金¹ 尹欣² 文强¹ 邹莹³ 黄锐¹

(1 十堰市气象局, 十堰 442000; 2 南漳县气象局, 襄阳 441500; 3 郧西县气象局, 十堰 442600)

摘要: 为探讨武当山风景区北坡气温随海拔高度的分布特征, 利用景区5个不同海拔高度无人自动气象站气温资料, 对2012—2020年气温特征进行对比分析, 结果显示: 随海拔增加, 武当山景区年平均气温、年平均最高气温和年平均最低气温均表现为下降趋势, 年平均气温直减率为 $0.61\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$, 直减率夏季最大, 冬季最小; 气温日较差也表现为随海拔增加而下降趋势, 直减率为 $0.43\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$, 直减率夏季最大; 气温直减率日变化呈正弦振荡, 峰值在06:00—09:00, 谷值在15:00—19:00; 积温同样是随海拔升高而降低, 低山地区表现突出。

关键词: 气温, 垂直变化, 武当山

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2023.02.007

Vertical Variation in Air Temperature on the North Slope of Wudang Mountain

Yin Heng¹, Xia Jin¹, Yin Xin², Wen Qiang¹, Zou Ying³, Huang Rui¹

(1 Shiyang Meteorological Service, Shiyang 442000 2 Nanzhang Meteorology Service, Xiangyang 441500

3 Yunxi Meteorology Service, Shiyang 442600)

Abstract: In order to study the distribution characteristics of temperature along with the rise of altitude on the north slope of Wudang Mountain Scenic Area, the temperature characteristics in the period from 2012 to 2020 were analyzed by using the temperature data from automatic weather stations at five different altitudes. The results exhibit decreasing trends in terms of annual average temperature, annual average maximum temperature and annual average minimal temperature along with the rise of altitude. The lapse rate of annual average temperature is $0.61\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$, with low values in winter and high values in summer. The diurnal temperature change also displays the decreasing trend as the altitude increases, with the lapse rate of $0.43\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ and the highest rate in summer. The daily variation of temperature lapse rate is characterized as sine oscillation, with the peak value from 06:00 to 09:00 and the valley value from 15:00 to 19:00. The accumulated temperature also decreases with the increase of elevation, the pronounced descent occurring in low mountain areas.

Keywords: temperature, vertical change, Wudang Mountain

0 引言

气候垂直分布是高山地带自然生态研究的重要内容, 它反映了某一区域因海拔高度变化带来的气候差异, 这种由气温、降水等气象要素表现出来的垂直分布特征, 主要取决于不同海拔高度以及所在地理纬度。多年来山地气候要素的垂直特征研究集中在西北地区、青藏高原和东部地区, 大多分析采用国家基本气象站和短期考察资料研究山区气候。管延龙等^[1]指出天山北麓最高0 cm地表温度以精河为高值中心, 自西向东递减, 最低0 cm地表温度以乌苏、乌鲁木齐为高值中心的中西部地区较高。王朋岭等^[2]研究表明,

1981—2010年青藏高原地区年和冬、春、秋三季的升温率随海拔高度的升高而增大。王海军等^[3]研究显示, 祁连山冬季气温直减率较低, 春季气温直减率较大。林之光等^[4]利用黄岗山地区27个月剖面观测资料研究了武夷山区气温特征, 指出不同季节南、北坡气温垂直梯度存在明显差异。郑成洋等^[5]利用1年短期资料探讨了福建黄岗山气温垂直分布特点, 指出最高气温随海拔高度变化不明显。黄承标等^[6]指出大青山林区平均气温直减率低于通常的大气值, 不同海拔高度区间直减率相差一倍以上。丁焯毅等^[7]研究了浙江四明山区气温的垂直变化特征, 日平均气温 $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的积温随着海拔的升高变化十分明显, 呈二次曲线下降。田杰等^[8]分析了长白山北坡气温的垂直变化, 积温也随海拔高度呈二次曲线变化。张锦镇等^[9]指出雁荡山区极端最低气温以向北开口的盆地、山谷为之最。周礼华等^[10]利用HOBO Onst自动温度记

收稿日期: 2021年11月27日; 修回日期: 2022年6月21日

第一作者: 尹恒(1963—), Email: cnyinh@163.com

通信作者: 尹欣(1990—), Email: 30581698@qq.com

资助信息: 湖北省气象科研基金(2015Y09)

记录仪对金佛山西坡14个海拔高度的气温短期监测数据,分析金佛山气温垂直变化规律,指出金佛山西坡气温直减率的月份间差异较小,极端高温沿海拔梯度的变化不明显。对于地处华中腹地的武当山,其气温垂直分布规律研究不多^[11]。本研究通过开展较完整的武当山景区气候观测,探讨气温随海拔高度的变化规律,为开展生态保护和开发利用提供参考。

1 资料与方法

1.1 资料

本研究所用资料来自布设在武当山景区北坡不同海拔高度5个无人值守自动气象站(图1)观测数据,资料年限为2012—2020年。由于山区建设条件限制,建站时山坡朝向未能充分考虑,但是总体上5个测站在各自高度具有一定代表性,数据为逐小时自动气温记录,进而得到日平均气温、最高气温和最低气温等数据。这5个自动气象站数据资料均经过全国自动气象站实时观测资料三级质量控制系统^[12-14]筛选和检验,确保了分析数据的质量,近9年自动气象站的气温数据完整率在95%以上(表1)。

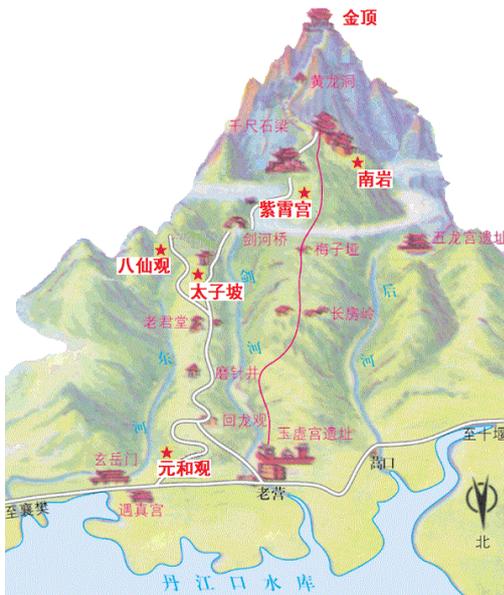


图1 武当山景区地形示意图

Fig. 1 The topographic map of Wudang Mountain Scenic Area

表1 武当山景区自动气象站地理分布
Table 1 Geographical distribution of automatic weather stations in Wudang Mountain Scenic Area

观测站	站号	海拔/m	经度/°E	纬度/°N	气温缺测率/%
武当山(南岩)	57264	1020	111.00	32.39	3.1
紫霄宫	Q2031	851	111.02	32.43	3.5
八仙观	Q2032	640	111.06	32.43	2.5
太子坡	Q2033	588	111.07	32.45	4.8
元和观	Q2034	396	111.09	32.50	3.6

1.2 方法

气候倾向率是研究气候要素变化最常用方法^[15],某一要素的气候倾向可以是时间上的,也可以是空间上的,假设气温 T 和海拔高度 H 存在以下函数关系:

$$T_1 = T_0 + \gamma(H_1 - H_0)$$

式中, T_0 为海拔高度为 H_0 的气温, T_1 为海拔高度为 H_1 的气温, γ 为气温随海拔变化的直减率,根据最小二乘法可以得到气温随海拔的变化规律。

在对流层大气中,通常认为气温的垂直直减率 γ 值为 $0.65\text{ }^\circ\text{C}/100\text{ m}$ ^[16]。对于山地气温直减率 γ ,由于受到地形起伏、地面植被和光照等诸多因素的影响,表现出不尽相同的情形,只有针对特定山区微格局气温场进行分析研究,才能得到表征山地气温垂直特征变化的客观情形。

2 结果与分析

2.1 平均气温垂直分布

结果表明,武当山景区年平均气温在 $12.3\sim 16.1\text{ }^\circ\text{C}$,其中元和观站年均值最大,为 $16.1\text{ }^\circ\text{C}$,与同期丹江口市气象站人工观测对比偏低 $0.8\text{ }^\circ\text{C}$ 。其次是武当山(南岩)站,年平均气温为 $12.3\text{ }^\circ\text{C}$,其他测站年平均气温分别为:紫霄宫 $12.9\text{ }^\circ\text{C}$ 、八仙观 $15.0\text{ }^\circ\text{C}$ 、太子坡 $14.8\text{ }^\circ\text{C}$ 。年内各月平均气温呈单峰型分布,最热月(7月)平均气温为 $22.8\sim 27.1\text{ }^\circ\text{C}$,最冷月(1月)平均气温为 $0.3\sim 3.7\text{ }^\circ\text{C}$ (图2)。

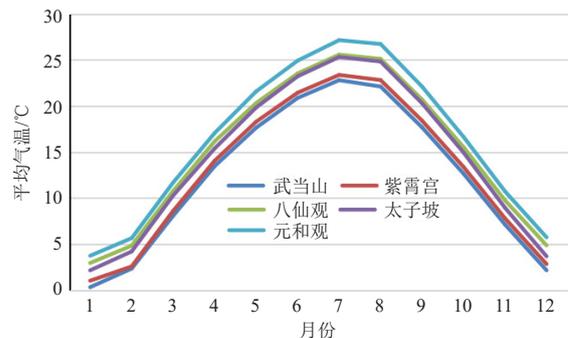


图2 武当山景区平均气温月变化

Fig. 2 Monthly mean temperature changes in Wudang Mountain Scenic Area

武当山景区年平均气温随海拔高度的升高而递减,不同海拔段的直减率存在显著不同,其中海拔 $396\sim 588\text{ m}$ 的直减率为 $0.68\text{ }^\circ\text{C}/100\text{ m}$, $588\sim 640\text{ m}$ 的直减率为 $-0.38\text{ }^\circ\text{C}/100\text{ m}$, $640\sim 851\text{ m}$ 的直减率为 $1.00\text{ }^\circ\text{C}/100\text{ m}$, $851\sim 1020\text{ m}$ 的直减率为 $0.36\text{ }^\circ\text{C}/100\text{ m}$,这一结果与其他地区山地气温研究不尽相同^[2-3]。武当山景区气温垂直变化主要表现在两个方面,一是不同海拔高度的气温直减率差异明显,这

与其他山区气温分布相似；二是海拔600 m附近有一个薄的逆温层，可能与特殊地形有关，从图1看到武当山的北侧为丹江口库区，是一个大型水体，且研究测站分属南北向山脊两侧，该结果待增加监测时空密度进一步验证。

由表2看到，武当山景区随着海拔高度升高平均气温降低，年平均气温由海拔396 m的16.1 °C下降到海拔1020 m的12.3 °C，平均气温直减率0.61 °C/100 m。各季平均气温随海拔高度变化与年平均气温类似，气温直减率不尽相同，直减率夏季最大，为0.71 °C/100 m；其次是秋季和春季，接近年平均直减率；冬季最小，为0.54 °C/100 m。这与夏季太阳辐射垂直加热作用差异大有关，其垂直直减率明显偏大，而冬季太阳辐射垂直加热趋于一致，气温直减率变小。

表2 武当山景区气温(°C)及直减率(°C/100 m)
Table 2 Temperature (°C) and lapse rate (°C/100 m) in Wudang Mountain Scenic Area

项目	时节	武当山(南岩)	紫霄宫	八仙观	太子坡	元和观	直减率
平均气温	春	13.0	13.6	15.7	15.1	16.8	0.61
	夏	21.9	22.5	24.7	24.4	26.3	0.71
	秋	12.5	13.2	15.3	14.7	16.5	0.64
	冬	1.6	2.1	4.2	3.3	5.0	0.54
	全年	12.3	12.9	15.0	14.4	16.1	0.61
平均高温	春	17.6	18.4	21.3	20.6	22.8	0.83
	夏	25.9	26.7	29.6	29.5	31.8	0.95
	秋	15.4	16.7	19.3	18.6	21.0	0.90
	冬	4.6	5.6	8.4	7.9	9.5	0.79
	全年	15.9	16.8	19.6	19.1	21.3	0.87
平均低温	春	9.9	10.2	11.9	11.5	12.3	0.38
	夏	19.4	19.6	21.4	20.8	22.2	0.48
	秋	10.3	10.8	12.5	11.7	13.1	0.45
	冬	-0.7	-0.4	1.3	0.6	1.8	0.40
	全年	9.7	10.0	11.8	11.2	12.3	0.42
气温日较差	春	7.6	8.2	9.4	9.0	10.5	0.46
	夏	6.5	7.1	8.2	8.7	9.6	0.50
	秋	5.1	6.0	6.8	6.9	8.0	0.46
	冬	5.3	6.0	7.1	7.3	7.7	0.38
	全年	6.2	6.8	7.9	8.0	8.9	0.43

2.2 最高(低)气温及气温日较差垂直分布

极端气温变化的原因极其复杂，除了海拔高度、地形状况，还与大尺度环流作用、地表覆盖物的变化等都有密切关系^[17-21]。图3给出了武当山景区极端气温在不同海拔的分布情况，极端最高气温从低海拔396 m的41.1 °C降至中海拔588 m的38.8 °C，继而变化倾向发生了变化，海拔640 m时上升到39.1 °C，海拔851 m降至35.1 °C，海拔1020 m时为34.1 °C，总体而言，日极端最高气温随海拔高度总体递减的趋势是

明确的，也存在小范围的逆温现象。研究时段的极端高温出现在2012年7—8月，3个观测站点在同一天达到极值。武当山景区日极端最低气温随海拔高度变化存在类似情形，逆温的情况和最高气温及平均气温相同。研究时段的极端低温出现在2012年1—2月，同样是3个观测站点在同一天达到极值，另有一站出现在第二天，反映出极端气温的发生在景区内趋同性特征明显，极端气温发生时节与武夷山相比存在较大差异^[4]。

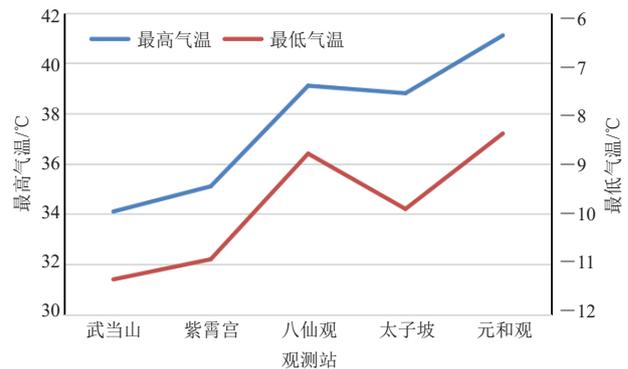


图3 武当山景区最高气温和最低气温分布
Fig. 3 Distribution of maximum and minimum air temperature in Wudang Mountain Scenic Area

段春锋等^[22]比对了高山站与其相邻城市气温变化特点，高(低)温和平均气温变化不同。从表2看到，武当山景区平均最高气温随海拔高度的变化态势与平均气温相似，但年平均最高气温直减率比平均气温直减率大0.26 °C/100 m，直减率达到0.87 °C/100 m；各季平均最高气温直减率在0.79~0.95 °C/100 m，随海拔高度升高平均最高气温变化更为突出，同样是夏季变幅最大，冬季变幅最小。随海拔高度的增高武当山景区平均最低气温也与平均气温相似，但年平均最低气温直减率比平均气温直减率小0.19 °C/100 m，其直减率仅为0.42 °C/100 m，海拔高度对平均最低气温影响较平均气温小；从不同季节来看，平均最低气温表现为夏季直减率最大，而冬春二季小。

气温日较差是日最高气温与日最低气温之差，是天气气候变化重要考察指标之一，近半个世纪以来，受辐射、云量、气溶胶、下垫面变化等因素影响，全球日较差出现显著的下降趋势，日较差的变化是这些因素共同作用的结果^[23]。

从图4看出，太子坡气温日较差最大，其后依次为紫霄宫、元和观、八仙观和南岩站，反映出气温日较差随海拔高度递减过程中其波动振幅大。董丹宏等^[24]分析中国最高、最低气温及日较差在海拔高度上变化时指出，随海拔高度升高，气温日较差变化幅度

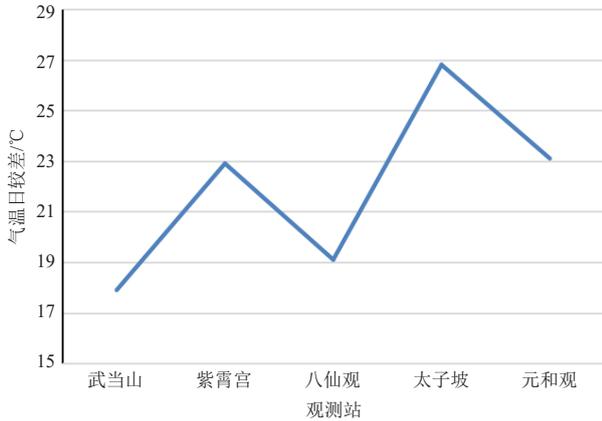


图4 武当山景区最大气温日较差垂直分布
Fig. 4 Vertical distribution of maximum temperature diurnal range in Wudang Mountain Scenic Area

增大,但武当山景区气温日较差与该结论存在差异。由表2统计看出,武当山景区气温日较差随海拔高度的变化趋势与平均气温相似,年平均气温日较差直减率较平均气温直减率小 $0.18\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$,其直减率为 $0.43\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$,说明海拔高度对气温日较差影响较平均气温低,直减率依然是夏季最大,冬季最小。

2.3 气温直减率日变化

在对流层近地面大气中,某一固定位置不同时刻由于接收的太阳辐射不同,一天中气温的变化也会随之上下振荡,因此,武当山景区各个时刻不同海拔间气温直减率也会不一样。图5给出了武当山景区南岩、紫霄宫、八仙观、太子坡4个观测站相对于元和观站一天不同时刻气温直减率变化曲线。可以看到,一天里南岩站气温直减率变化振幅最小,而太子坡站气温直减率振幅最大,南岩站气温直减率一天中变化平缓,南岩、紫霄宫、八仙观、太子坡4个观测站气温直减率峰值分别出现在06:00、08:00、09:00和09:00(北京时,下同),4个观测站气温直减率谷值

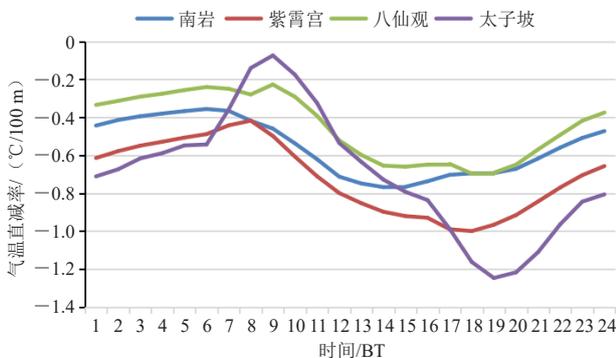


图5 武当山景区不同观测站不同时刻气温直减率
Fig. 5 Temperature lapse rate at different stations and different time in Wudang Mountain Scenic Area

分别出现在15:00、18:00、18:00和19:00,平均气温直减率排序为八仙观站>南岩站>太子坡站>紫霄宫站。

2.4 积温垂直分布

积温是考察作物发育快慢的重要指标,有效积温 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 是衡量一个地区太阳辐射资源的重要指标,其差异性影响着作物的地域分布^[25], $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 是水的相态转换点,也是影响动植物生长发育的重要指标。武当山景区日平均气温 $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的积温变化态势相近似,均是随着海拔的升高呈下降态势,低山地区变化十分明显,海拔 $851\sim 1020\text{ m}$ 的 $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温和 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温少有波动,两地数值接近程度很高(图6)。 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温从海拔 396 m 的 $5318.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下降到海拔 1020 m 的 $3991.1\text{ }^{\circ}\text{C}$,减少超过 $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$; $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温从 $5914.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ 减少到 $4503.3\text{ }^{\circ}\text{C}$,差值也达到 $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上; $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 与 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的积温垂直直减率相近,分别为 $212.71\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 和 $226.22\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 。

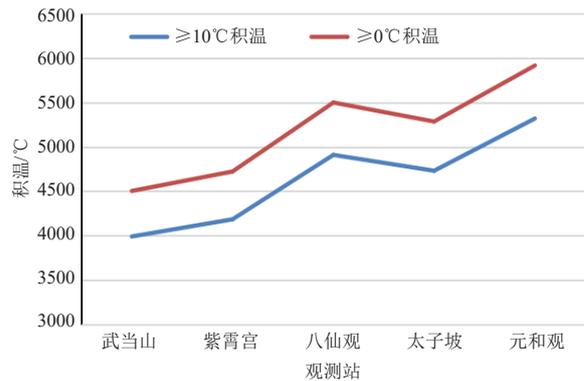


图6 武当山景区积温垂直分布
Fig. 6 Vertical distribution of accumulated temperature in Wudang Mountain Scenic Area

3 结论

1) 随海拔高度增加武当山景区年平均气温呈明显下降态势,直减率为 $0.61\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$,直减率夏季最大,冬季最小,600 m附近存在逆温现象。

2) 随海拔高度增加武当山景区平均最高气温、平均最低气温变化态势与平均气温相近,平均最高气温直减率比平均气温直减率偏大,平均最低气温直减率比平均气温直减率偏小。

3) 武当山景区气温日较差的直减率为 $0.43\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$,海拔高度对气温日较差影响较极端气温和平均气温偏低,其直减率夏季最大。

4) 武当山景区气温直减率日变化呈正弦震荡,其直减率峰值在06:00—9:00,谷值在15:00—19:00,

(下转57页)

- (2): 25-30.
- [21] 陈兢, 李润, 关佐恒. 跳台滑雪运动雪板与雪面间摩擦系数研究. 冰雪运动, 1992, (4): 43-45.
- [22] 张才成. 对影响高山滑雪滑行速度因素的分析. 冰雪运动, 2000, (4): 25-26.
- [23] Kennedy F E, Schulson E M, Jones D E. The friction of ice on ice at low sliding velocities. Philosophical Magazine A, 2000, 80(5): 1093-1110.
- [24] Rist M A. High-stress ice fracture and friction. Journal of Physical Chemistry B, 1997, 101(32): 6263-6266
- [25] 路璐, 刘春玲, 刘琳. 滑雪游客感知价值、满意度与行为意向的关系: 以崇礼密苑云顶滑雪场为例. 干旱区资源与环境, 2018, 32(5): 202-208.
- [26] Lozowski E, Szilder K, Poirier L. A bobsleigh ice friction model. International Journal of Offshore and Polar Engineering, 2014, 24(1): 52-60.
- [27] Nachbauer W, Kaps P, Mössner M, et al. Effects of ski and snow properties on the turning of Alpine skis—a computer simulation. Journal of Biomechanics, 2006, 39: S188.
- [28] You J, Tarboton D G, Luce C H. Modeling the snow surface temperature with a one-layer energy balance snowmelt model. Hydrology and Earth System Sciences, 2014, 10(12): 15071-15118.
- [29] Baeurle L, Kaempfer U, Szabo D, et al. Sliding friction of polyethylene on snow and ice: contact area and modeling. Cold Regions Science and Technology, 2007, 47(3): 276-289.
- [30] Steiger R, Mayer M. Snow making and climate change. Mountain Research and Development, 2008, 28(3): 292-298.
- [31] Hamilton L C, Brown C, Keim B D. Ski areas, weather and climate: time series models for New England case studies. International Journal of Climatology, 2010, 27: 2113-2124.
- [32] 王才勇, 曹立春. 全球变暖对雪上赛事的影响及对策. 冰雪运动, 2011, 33(3): 72-74.

(上接48页)

- 计与实现. 南京: 南京信息工程大学, 2016.
- [10] 侯颀. 气象数据质量控制与监控系统的设计. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2017.
- [11] 李涛, 郁美辰, 陆正邦, 等. 基于关联规则挖掘的气象观测设备一致性检测算法. 电子测量与仪器学报, 2017, 31(10): 1568-1573.
- [12] 维克托·迈尔-舍恩伯格. 大数据时代: 生活、工作与思维的大变革. 杭州: 浙江人民出版社, 2013.
- [13] 沈文海. 再析气象大数据及其应用. 中国信息化, 2016, (1): 85-96.
- [14] Quinlan J R. C4.5 Programs for machine learning. San Mateo, CA: Morgan Kaufmann, 1992.
- [15] Breiman L, Friedman J H, Olshen R, et al. Classification and regression trees. Encyclopedia of Ecology, 1984, 40(3): 582-588.
- [16] Breiman L. Random forests. Machine Learning, 2001, 45(1): 5-32.
- [17] Anil K. Data clustering: 50 years beyond K-means. Pattern Recognition Letters, 2010, 31 (8): 651-666.
- [18] 王千, 王成, 冯振元, 等. K-means聚类算法研究综述. 电子设计工程, 2012, 20(7): 21-24.
- [19] Rousseeuw P J. Silhouettes: a graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. Journal of Computational and Applied Mathematics, 1999, 20(20): 53-65.
- [20] 刘华婷, 郭仁祥, 姜浩. 关联规则挖掘Apriori算法的研究与改进. 计算机应用与软件, 2009, 26(1): 146-149.
- [21] Onal A C, Sezer O B, Ozbayoglu M, et al. Weather data analysis and sensor fault detection using an extended IoT framework with semantics, big data, and machine learning// IEEE International Conference on Big Data. IEEE, 2018.
- [22] 张齐东, 熊雄. 空间回归检验方法在地面气象资料质量控制中的应用——以逐时气温资料为例. 内燃机与配件, 2017(10): 152-153.
- [23] 尹婧姣, 江志红, 吴息, 等. 空间差值检验方法在地面气象资料质量控制中的应用. 气候与环境研究, 2010, 15(3): 229-236.

(上接52页)

平均气温直减率排序为八仙观站>南岩站>太子坡站>紫霄宫站。

5) 武当山景区日平均气温 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 与 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温垂直变化趋势同平均气温相近, 二者随着海拔升高而下降, 在低山地区更突出。

参考文献

- [1] 管延龙, 王让会, 李成, 等. 天山北麓1963—2010年0 cm最高与最低地表温度变化特征. 干旱气象, 2015, 33(4): 587-594.
- [2] 王朋岭, 唐国利, 曹丽娟, 等. 1981—2010年青藏高原地区气温变化与高程及纬度的关系. 气候变化研究进展, 2012, 8(5): 313-319.
- [3] 王海军, 张勃, 靳晓华, 等. 基于GIS的祁连山区气温和降水的时空变化分析. 中国沙漠, 2009, 29(6): 1196-1202.
- [4] 林之光, 安顺清, 吴其勋, 等. 武夷山区气温垂直梯度的研究. 气象, 1983, 9(4): 18-19.
- [5] 郑成洋, 方精云. 福建黄岗山东南坡气温的垂直变化. 气象学报, 2004, 62(2): 251-255.
- [6] 黄承标, 卢立华, 温远光, 等. 大青山林区不同海拔高度主要气象要素的变化. 贵州农业科学, 2011, 39(1): 90-95.
- [7] 丁焯毅, 高益波, 胡波, 等. 四明山区域气温的垂直变化特征分析. 浙江气象, 2017, 38(4): 42-44.
- [8] 田杰, 王庆伟, 于大炮, 等. 长白山北坡气温的垂直变化. 干旱区资源与环境, 2013, 27(4): 65-69.
- [9] 张锦斌, 蔡志林, 姚健, 等. 雁荡山区气候垂直变化分析. 浙江农业科学, 2014, 55(3): 403-405.
- [10] 周礼华, 黄力, 钱深华, 等. 金佛山西坡气温的垂直变化特征. 山地研究, 2019, 37(6): 818-827.
- [11] 曾琦, 任国玉. 湖北省主要山系高影响天气指标空间特征分析与建模. 暴雨灾害, 2020, 39(2): 192-200.
- [12] 王海军, 杨志彪, 杨代才, 等. 自动气象站实时资料自动质量控制方法及其应用. 气象, 2007, 33(10): 102-109.
- [13] 任芝花, 张志富, 孙超, 等. 全国自动气象站实时观测资料三级质量控制系统设计. 气象, 2015, 41(10): 1268-1277.
- [14] 范宏飞. 自动气象站资料质量控制系统设计. 吉林大学学报(信息科学版), 2021, 33(4): 470-478.
- [15] 黄嘉佑. 气候状态变化趋势与突变分析. 气象, 1995, 21(7): 54-57.
- [16] 周淑贞. 气象学与气候学(第三版). 北京: 高等教育出版社, 1997: 56-58.
- [17] 杨萍, 肖子牛, 刘伟东. 北京气温日变化特征的城郊差异及其季节变化分析. 大气科学, 2013, 37 (1): 101-112.
- [18] 王岱, 游庆龙, 江志红, 等. 中国极端气温季节变化对全球变暖减缓的响应分析. 冰川冻土, 2016, 38(1): 36-46.
- [19] 熊敏. 基于集合预报系统的日最高和最低气温预报. 气象学报, 2017, 75(2): 211-222.
- [20] 陈锋, 董美堂, 冀春晓. 综合分析法在复杂地形气温精细格点化中的应用. 高原气象, 2016, 35(5): 1376-1388.
- [21] 武丽梅, 陈璐, 王凯, 等. 中国大陆1983—2012年极端气温时空变化特征. 干旱气象, 2016, 34(6): 945-951.
- [22] 段春锋, 缪启龙, 曹雯, 等. 以高山站为背景研究城市化对气温变化趋势的影响. 大气科学, 2012, 36(4): 811-822.
- [23] 汪凯, 叶红, 唐立娜, 等. 气温日较差研究进展: 变化趋势及其影响因素. 气候变化研究进展, 2010, 6(6): 417-423.
- [24] 董丹宏, 黄刚. 中国最高、最低温度及日较差在海拔高度上变化的初步分析. 大气科学, 2015, 39(5): 1011-1024.
- [25] 刘少华, 严登华, 翁白莎, 等. 近50 a中国 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 有效积温时空演变. 干旱区研究, 2013, 30(4): 689-696.