

DOI: 10.7522/j.issn.1000-0240.2017.0059

YANG Xiaoling, CHEN Haibei, DING Wenkui, et al. Climate characteristics of the initial ice date and end ice date in east of the Hexi Corridor[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2017, 39(3): 527-533. [杨晓玲, 陈海贝, 丁文魁, 等. 河西走廊东部结冰初、终日气候特征[J]. 冰川冻土, 2017, 39(3): 527-533.]

河西走廊东部结冰初、终日气候特征

杨晓玲^{1,2}, 陈海贝³, 丁文魁¹, 王鹤龄²

(1. 武威市气象局, 甘肃 武威 733099; 2. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃 兰州 730020;
3. 古浪县气象局, 甘肃 古浪 733304)

摘要: 利用 1961-2015 年河西走廊东部 5 个气象站点结冰初、终日观测资料和地、气温资料, 采用现代气候诊断分析方法, 分析了河西走廊东部结冰初、终日的时空变化特征以及结冰初、终日与地、气温的关系。结果表明: 受海拔、地形地势、植被覆盖和地表岩性等影响, 在空间分布上, 结冰初日为山区最早, 荒漠区次之, 绿洲平原区最晚; 结冰终日为山区最晚, 荒漠区次之, 绿洲平原区最早; 各地结冰初、终日存在一定的异常性, 正常结冰初、终日的年份概率均在 60% 左右, 偏早和特早结冰初日以及偏晚和特晚结冰终日的年份概率均在 20% 左右, 结冰初、终日与气温的异常年份有较好的对应关系。在时间变化上, 结冰初日呈推迟趋势, 结冰终日呈提早趋势, 结冰初日推迟的幅度比结冰终日提早的幅度更大; 结冰初、终日时间序列均分别存在 10~12 a、8~10 a 的准周期变化。结冰初、终日与地、气温和海拔具有极显著相关性, 地、气温每升高 1 °C, 结冰初日分别推迟约 3.0 d、3.5 d, 结冰终日分别提早约 4.2 d、4.9 d; 海拔每升高 100 m, 结冰初日提早约 1.8 d, 结冰终日推迟约 2.5 d; 结冰终日对气候变暖和海拔变化的响应程度比结冰初日更敏感。

关键词: 结冰初、终日; 气候特征; 河西走廊东部

中图分类号: P468 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-0240(2017)03-0527-07

0 引言

水在 0 °C 以下由液态凝聚为固状, 称为结冰。气象上的结冰是指露天水面(包括蒸发皿的水)冻结成冰的现象^[1]。结冰实际上是地表热力变化的直接反映, 是气候变化的敏感指示器。气候变化对结冰有着重要影响。随着气候变暖趋势的发展, 结冰在不断变化, 主要表现为结冰初日推迟, 结冰终日提前, 结冰期缩短, 结冰日数减少^[2-8]。近年来, 结冰研究已逐步拓展到水利、电力、建筑、交通等行业^[9-12], 对社会经济的发展有着直接的影响。因此, 有必要对结冰进行更加深入的探讨和研究。

河西走廊东部(图 1)位于祁连山东段与腾格里沙漠和巴丹吉林沙漠南缘之间, 东西长约 240 km, 南北宽约 300 km, 总面积 $4.16 \times 10^5 \text{ km}^2$, 地理位

置大致为 $36^{\circ}29' \sim 39^{\circ}27' \text{ N}$ 、 $101^{\circ}41' \sim 104^{\circ}16' \text{ E}$, 地势南高北低, 由西南向东北倾斜, 海拔在 1 300 ~ 3 100 m, 地形地貌极为复杂, 从北向南依次为民勤、永昌、凉州、古浪、天祝。其中, 民勤为沙漠戈壁干旱区, 凉州为绿洲平原区, 永昌和古浪为浅山区, 天祝为祁连山高寒山区。河西走廊东部深居大陆腹地, 属大陆性温带干旱、半干旱气候^[13]。研究表明, 近 50 年(1961-2010 年)河西走廊东部年平均气温线性升高 1.895 °C, 升高幅度约为同期全球的 2.9 倍^[14]。相应地, 河西走廊东部结冰初、终日发生了变化, 但对河西走廊东部结冰初、终日及气候变化影响的研究文献还比较少见。因此, 笔者以河西走廊东部各地 1961-2015 年最新结冰资料为基础, 分析了结冰初、终日的变化特征及其与气候变化的关系, 以期提高结冰的预报预测水平和防冻

收稿日期: 2016-12-25; 修订日期: 2017-02-25

基金项目: 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201506001-2); 甘肃省气象局第七批“十人计划”资助

作者简介: 杨晓玲(1971-), 女, 甘肃民勤人, 高级工程师, 1997年毕业于南京气象学院, 从事天气预报及气候变化研究。

E-mail: wwqxj6150343@163.com.

减灾能力,同时为水利、电力、交通、建筑等项目设计施工、区域经济发展和气候变化研究提供科学依据。

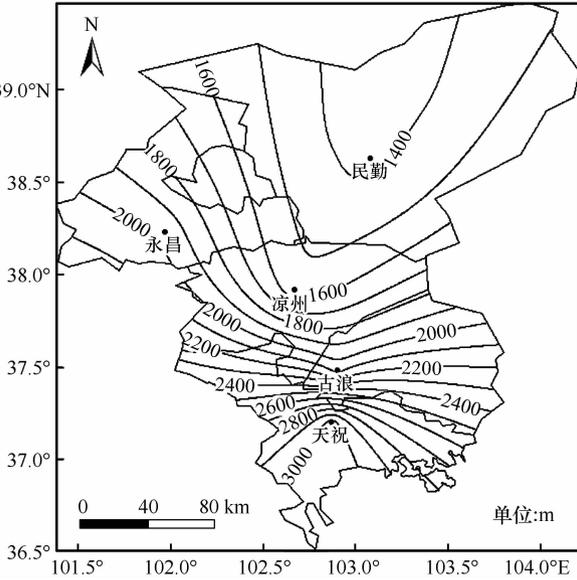


图1 河西走廊东部气象站点和海拔的空间分布

Fig.1 Map showing the distribution of meteorological stations and altitude in east of the Hexi Corridor

1 资料、指标和方法

1.1 资料与指标

选取河西走廊东部的永昌、民勤、凉州、古浪、天祝乌鞘岭共5个气象站的实测结冰日资料及0 cm地温和气温资料,时间序列为1961–2015年,共55 a。各气象站均未曾迁移,观测数据时间序列长,且完整性和连续性较好,可信度高,能够满足本研究的需要。结冰初日定义为后半年首次出现结冰日期,结冰终日定义为前半年最后一次出现结冰的日期。

运用平均值(\bar{x})和均方差(σ)判断指标^[15]对结冰初、终日进行异常性判别,若结冰初、终日波动数值在 $\bar{x} \pm \sigma$ 之间,结冰初、终日正常波动;若结冰初、终日波动数值在 $\bar{x} \pm \sigma$ 和 $\bar{x} \pm 2\sigma$ 之间,结冰初、终日偏晚或偏早;若结冰初、终日波动数值在 $\bar{x} \pm 2\sigma$ 之外,结冰初、终日特晚或特早。

1.2 方法

全区域年结冰初、终日为同一年份不同站点($n=5$)的平均,各地年平均结冰初、终日为同一站点不同年份($m=55$ a)的平均。采用概率论分析各地结冰初、终日发生概率的空间分布;运用线性倾向估计法^[16]分析年结冰初、终日的变化趋势及其

显著性,利用时间与序列变量之间的相关系数 R 即气候趋势系数进行检验^[17]。根据蒙特卡罗模拟方法^[18],通过信度 $\alpha=0.1$ 、 0.05 、 0.01 显著性检验所对应的相关系数临界值依次为 0.3058 、 0.3653 、 0.4430 ,当气候趋势系数绝对值大于上述临界值时,分别认为气候趋势系数较显著、显著、很显著。运用方差分析方法进行了周期分析,求出 F 值并进行检验^[19]。采用距平法分析结冰初、终日年代变化。运用Pearson相关系数法和气候趋势法分析结冰初、终日与地温、气温和海拔的相关程度,其中Pearson为积差相关,是计算连续变量或等间距测度变量间的相关分析方法。

2 结果与分析

2.1 结冰初、终日的空间分布

2.1.1 空间分布

河西走廊东部地处祁连山东麓,境内地形复杂,高山、平原、沙漠并存,结冰天气的地域分布存在一定差异。统计分析全区域及5个县(区)气象站55 a年结冰初、终日资料,结果如下。①平均结冰初日,全区域出现在10月4日;天祝最早,9月14日;永昌次之,10月3日;再次为古浪,10月9日;民勤,10月11日;凉州最晚,10月15日。即,结冰初日山区早于荒漠区,荒漠区早于绿洲平原区。最早和最晚结冰初日与平均结冰初日的分布一致,均为天祝最早,出现在1971年8月24日;凉州最晚,出现在2009年11月1日[图2(a)];各地结冰初日发生的最晚和最早日期相差34~50 d。②平均结冰终日,全区域出现在5月7日;凉州最早,4月21日;民勤次之,4月25日;再次为古浪,5月4日;永昌,5月10日;天祝最晚,6月3日。即,结冰终日山区晚于荒漠区,荒漠区晚于绿洲平原区。最早和最晚结冰终日与平均结冰终日的分布一致,均为凉州最早,出现在2014年4月4日;天祝最晚,出现在1986年6月24日[图2(b)];各地结冰终日发生的最晚和最早日期相差在37~59 d。

天祝乌鞘岭海拔最高,气温偏低,人烟稀少,植被、建筑物和交通工具少,气温变化受人类活动和城市热岛效应的影响小,致使结冰初日最早,结冰终日最晚。民勤海拔虽然最低,但由于被巴丹吉林沙漠和腾格里沙漠包围,沙漠气候显著,荒漠戈壁众多,植被覆盖率相对较低,地表为沙性和少量盐碱性土壤,夜间辐射降温较凉州快^[20],这可能是民勤结冰初日较凉州早,结冰终日较凉州晚的原

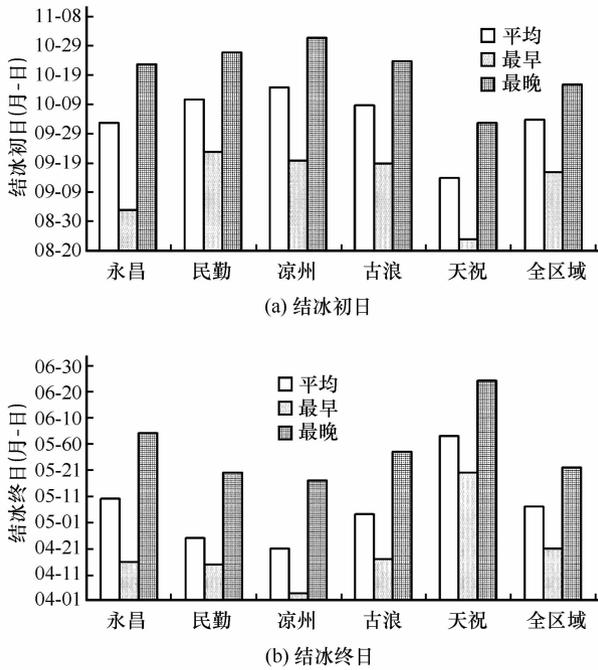


图2 河西走廊东部平均、最早、最晚结冰初、终日
Fig.2 Mean, the earliest and the latest initial ice date and end ice date in east of the Hexi Corridor

表1 河西走廊东部结冰初、终日异常年数

Table 1 Abnormal year number of initial ice date and end ice date in east of the Hexi Corridor

区域	初日					终日				
	特早	偏早	正常	偏晚	特晚	特早	偏早	正常	偏晚	特晚
永昌	2	9	36	7	1	3	8	34	9	1
民勤	2	9	35	8	1	1	8	37	7	2
凉州	1	9	35	9	1	1	8	31	13	2
古浪	3	7	34	9	2	1	8	35	10	1
天祝	2	8	35	9	1	0	12	34	7	2
全区域	2	8	34	7	2	2	10	33	9	1

0.0% ~ 5.5%, 偏早占 14.5% ~ 21.8%, 偏晚占 12.7% ~ 23.6%, 特晚占 1.8% ~ 3.6%。由以上分析可知, 河西走廊东部偏早和特早的结冰初日占比为 18.2% ~ 20.0%, 偏晚和特晚结冰终日占比为 16.4% ~ 27.3%, 会对各行业的安全生产造成一定的危害。对全区域及各地结冰初、终日的异常年份分析发现, 全区域及各地结冰初、终日的异常年份与气温的异常年份^[14] 有较好的对应关系, 气温异常偏高的年份对应于结冰初日偏晚或特晚、结冰终日偏早或特早, 气温异常偏低的年份对应于结冰初日偏早或特早、结冰终日偏晚或特晚。

2.2 结冰初、终日的变化

2.2.1 年际变化

统计分析河西走廊东部各区域结冰初、终日随

因。凉州为绿洲平原, 人口密集, 城市热岛效应明显, 植被覆盖率高, 地表为黏性和少量沙性土壤, 夜间降温相对缓慢, 这可能是凉州结冰初日最晚, 结冰终日最早的原因。古浪、永昌地处浅山区, 海拔相对较高, 植被覆盖率较低, 地表为漠土、草甸土、褐土和钙性等土壤, 升温 and 降温都比较缓慢, 结冰初、终日处于居中。可以看出, 海拔、地形地貌、植被覆盖和地表岩性等影响了河西走廊东部结冰初、终日的空间分布。

2.1.2 异常性空间分布

表1 表明, 河西走廊东部全区域及各地结冰初、终日的异常性相对一致。①正常结冰初日出现年份最多, 有 34 ~ 36 a, 占比为 61.8% ~ 65.5%; 异常结冰初日有 19 ~ 21 a, 占比为 34.5% ~ 38.2%。其中, 特早占 1.8% ~ 5.5%, 偏早占 12.7% ~ 16.4%, 偏晚占 12.7% ~ 16.4%, 特晚占 1.8% ~ 3.6%。②正常结冰终日出现年份最多, 有 31 ~ 37 a, 占比为 56.4% ~ 67.3%; 异常结冰终日有 18 ~ 24 a, 占比为 32.7% ~ 43.6%。其中, 特早占

时间的变化发现, 随着年份的增加结冰初日呈推迟趋势[图3(a)], 结冰终日呈提早趋势[图3(b)]。结冰初日气候倾向率为北部荒漠区(民勤) > 全区域 > 南部山区(永昌、古浪和天祝的平均) > 中部绿洲区(凉州), 即北部荒漠区推迟趋势最明显, 中部绿洲区推迟趋势最不明显(表2)。民勤气候趋势系数通过了 $\alpha = 0.01$ 的显著性水平检验, 推迟趋势很显著; 全区域气候趋势系数通过了 $\alpha = 0.05$ 的显著性水平检验, 推迟趋势显著; 其他区域气候趋势系数没有通过显著性水平检验, 推迟趋势不显著。结冰终日气候倾向率的绝对值也呈现为北部荒漠区 > 全区域 > 南部山区 > 中部绿洲区, 即北部荒漠区提早趋势最明显, 绿洲平原区提早趋势最不明显(表2)。各区域气候趋势系数均没有通过显著性水平

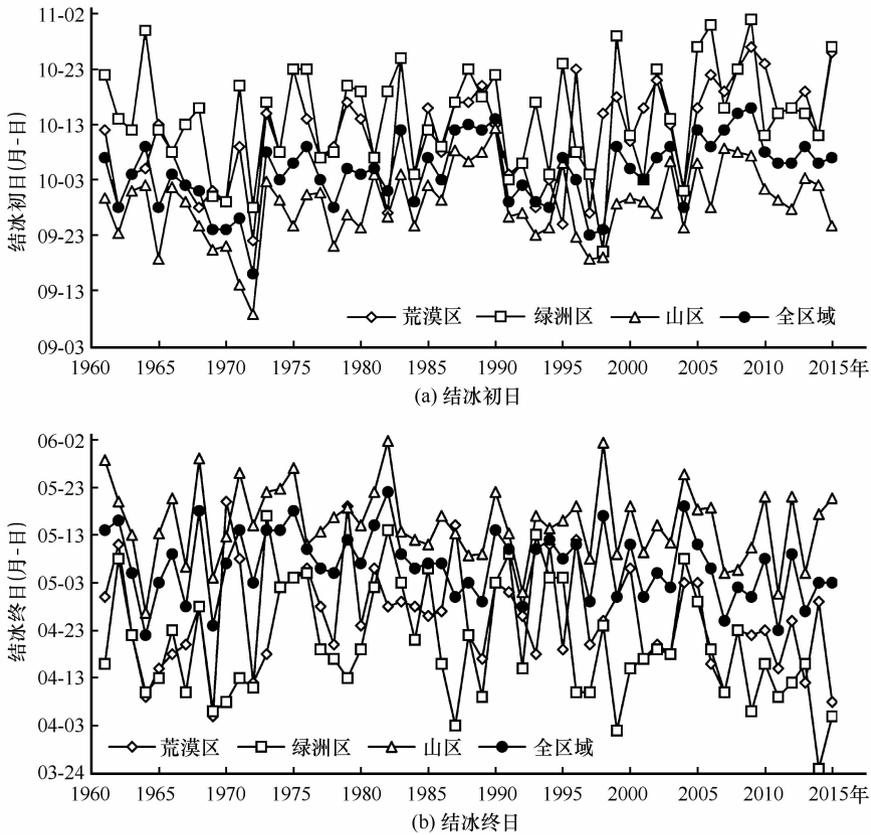


图3 河西走廊东部结冰初、终日的年际变化

Fig. 3 Annual changes of initial ice date and end ice date in east of the Hexi Corridor

表2 河西走廊东部年结冰初、终日的气候倾向率及趋势系数

Table 2 Climate tendency rates and trend coefficients of initial ice date and end ice date in east of the Hexi Corridor

项目		荒漠区	绿洲区	山区	全区域
初日	倾向率/[$d \cdot (10a)^{-1}$]	2.569	0.797	1.249	1.456
	趋势系数	0.476	0.137	0.304	0.366
终日	倾向率/[$d \cdot (10a)^{-1}$]	-1.100	-0.163	-0.669	-1.027
	趋势系数	-0.172	-0.215	-0.136	-0.233

检验, 提早趋势不显著。同时, 气候趋势系数的绝对值结冰初日 > 结冰终日, 说明结冰初日推迟的幅度比结冰终日提早的幅度更大。1990年代以来全球气候明显变暖^[21], 全球气候变化必然会对区域气候造成影响^[22-24], 这可能是河西走廊东部结冰初日推迟、结冰终日提早的主要原因。

运用方差分析周期发现, 河西走廊东部结冰初、终日的时序序列分别存在着 10~12 a、8~10 a 的准周期变化, 经 F 检验, 均通过了信度 $\alpha = 0.05$ 的显著性水平检验。

2.2.2 年代际变化

表3为河西走廊东部各年代平均结冰初、终日距平(距平的计算以55 a平均值为基准)。对于结

冰初日来说, 正(负)值表示该年代结冰初日来得晚(早); 对于结冰终日来说, 正(负)值表示该年代结冰终日结束晚(早)。各区域结冰初、终日的年代差异比较明显, 总体来看, 结冰初日1960年代-1970年代和1990年代偏早, 但北部荒漠区和中部绿洲区1970年代持平, 1980年代、2001-2015年偏晚。1960年代-2000年代结冰初日推迟的日数分别为: 北部荒漠区14 d、中部绿洲区6 d、南部山区7 d、全区域9 d。结冰终日1960年代偏早, 1970年代-1990年代偏晚, 但南部山区1980年代持平、1990年代偏早, 2000年以来偏早。1970年代至2011-2015年结冰终日提前的日数分别为: 北部荒漠区11 d、中部绿洲区17 d、南部山区6 d、全区域12 d。

表3 河西走廊东部各年代平均结冰初、终日距平 d
Table 3 Decadal mean anomalies of initial ice date and end ice date in east of the Hexi Corridor d

区域	初日						终日					
	1960年代	1970年代	1980年代	1990年代	2000年代	2011-2015年	1960年代	1970年代	1980年代	1990年代	2000年代	2011-2015年
荒漠区	-7	0	1	-4	7	6	-1	4	1	4	-4	-7
绿洲区	-2	0	1	-5	4	2	-3	4	5	2	-1	-13
山区	-3	-4	5	-3	4	1	-3	3	0	-1	-2	-3
全区域	-4	-1	3	-4	5	3	-2	4	2	2	-2	-8

表4 河西走廊东部结冰初、终日与地、气温和海拔的关系
Table 4 Equations and correlation coefficients of initial ice date and end ice date in relation to soil, air temperatures and altitude in east of the Hexi Corridor

因素	初日		终日	
	相关系数	关系式	相关系数	关系式
地温	0.9730	$y = 2.9576x + 251.6027$	-0.9923	$y = -4.1757x + 163.0154$
气温	0.9648	$y = 3.4721x + 258.1666$	-0.9865	$y = -4.9147x + 153.8181$
海拔	-0.9409	$y = -0.0175x + 312.3516$	0.9656	$y = 0.0248x + 76.9388$

2.3 结冰初、终日与地、气温和海拔的关系

Pearson 相关分析表明, 河西走廊东部结冰初、终日与地、气温和海拔的关系非常密切, 与纬度、经度关系不明显, 这可能是研究范围较小造成的。

2.3.1 与地、气温的关系

河西走廊东部地、气温由西南向东北升高^[25,14]。河西走廊东部结冰初日与地、气温具有极显著正相关, 结冰终日与地、气温具有极显著负相关, 其相关系数均通过了 $\alpha = 0.001$ 的显著性水平检验。即, 平均地、气温越高, 结冰初日越晚, 结冰终日越早。气候趋势法分析表明, 地温每升高 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, 结冰初日推迟约 3.0 d , 结冰终日提早约 4.2 d ; 气温每升高 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, 结冰初日推迟约 3.5 d , 结冰终日提早约 4.9 d (表4)。这说明结冰终了对气候变暖的响应程度比结冰初日更敏感, 也进一步印证了2.2.1节中气候变暖是结冰初日推迟、结冰终日提早可能原因的推测。

2.3.2 与海拔的关系

河西走廊东部海拔由西南向东北递降(图1)。河西走廊东部结冰初日与海拔具有显著负相关, 结冰终日与海拔具有显著正相关, 其相关系数均通过了 $\alpha = 0.001$ 的显著性水平检验。即, 海拔越高, 结冰初日越早, 结冰终日越晚。气候趋势法分析表明, 海拔每升高 100 m , 结冰初日提早约 1.8 d , 结冰终日推迟约 2.5 d (表4)。这说明结冰终对海拔变化的响应程度比结冰初日更敏感。

3 结论

(1) 在空间分布上, 河西走廊东部结冰初日为山区最早, 荒漠区次之, 绿洲平原区最晚; 结冰终日为山区最晚, 荒漠区次之, 绿洲平原区最早。各地结冰初、终日存在一定的异常性, 正常结冰初、终日出现的概率均在 60% 左右, 偏早和特早结冰初日、偏晚和特晚结冰初日的概率均在 20% 左右。结冰初、终日的异常年份与气温的异常年份有较好的对应关系。

(2) 在时间变化上, 河西走廊东部年结冰初日总体呈显著推迟趋势; 年结冰终日总体呈显著提早趋势, 结冰初日推迟的幅度比结冰终日提早的幅度更大。气候变暖是河西走廊东部结冰初日推迟、结冰终日提早的可能原因。河西走廊东部结冰初、终日的时序序列分别存在 $10\sim 12\text{ a}$ 、 $8\sim 10\text{ a}$ 的准周期变化。

(3) 结冰初日与地、气温具有极显著正相关关系, 结冰终日与地、气温具有极显著负相关关系。地、气温每升高 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, 结冰初日分别推迟约 3.0 d 、 3.5 d , 结冰终日分别提早约 4.2 d 、 4.9 d 。结冰初日与海拔具有极显著负相关关系, 结冰终日与海拔具有极显著正相关关系。海拔每升高 100 m , 结冰初日提早约 1.8 d , 结冰终日推迟约 2.5 d 。结冰终对气候变暖和海拔变化的响应程度比结冰初日更敏感。

参考文献 (References):

- [1] China Meteorological Administration. Specification for ground meteorological observation[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2003: 21–27. [中国气象局. 地面气象观测规范[M]. 北京: 气象出版社, 2003: 21–27.]
- [2] Jonas N. Slipperiness on roads; an expert system classification [J]. *Meteorological Applications*, 2000, 7(1): 27–36.
- [3] Alexander M, Clanus P, Bent H S. Road icing conditions in Denmark[R]. Copenhagen, Denmark: Danish Ministry of Energy, Utilities and Climate, 2008.
- [4] Liu Mei, Yin Dongping, Wang Qinglou, et al. Weather standard and forecast study on winter icing on the road in Nanjing[J]. *Scientia Meteorologica Sinica*, 2007, 27(6): 685–690. [刘梅, 尹东屏, 王清楼, 等. 南京地区冬季路面结冰天气标准及其预测[J]. *气象科学*, 2007, 27(6): 685–690.]
- [5] Luo Di, Luo Wei. Analysis on climate characteristics and changes of ice in Changting County[J]. *Journal of Fujian Meteorology*, 2009(5): 26–29. [罗荻, 罗葳. 长汀县结冰气候特征及变化分析[J]. *福建气象*, 2009(5): 26–29.]
- [6] Chen Wei, Yue Yang, Deng Hong, et al. Interdal-annual variation of freezing event and its relationship with atmospheric circulations in Hubei Province[J]. *Journal of Meteorology and Environment*, 2012, 28(6): 88–95. [谌伟, 岳阳, 邓红, 等. 湖北省结冰日年际变化特征及其与大气环流的关系[J]. *气象与环境学报*, 2012, 28(6): 88–95.]
- [7] Zhao Shanshan, Gao Ge, Zhang Qiang, et al. Climate characteristics of freezing weather in China[J]. *Meteorological Monthly*, 2010, 36(3): 34–38. [赵珊珊, 高歌, 张强, 等. 中国冰冻天气的气候特征[J]. *气象*, 2010, 36(3): 34–38.]
- [8] Li Jun, Yu Wei, Xu Yuan, et al. Analysis of frost distribution and its characteristics in Hunan [J]. *Hunan Electric Power*, 2004, 24(2): 16–19. [李军, 禹伟, 许源, 等. 基于湖南省冰冻分布及气候特征的思考[J]. *湖南电力*, 2004, 24(2): 16–19.]
- [9] Zhou Wensheng, Mengulibiek Eblayihan. Characteristics of ice regime of rivers in Altay Prefecture of Xinjiang, China[J]. *Arid Land Geography*, 1998, 21(3): 66–72. [周文盛, 孟古力别克·俄布拉依汗. 阿勒泰地区河流冰情特征[J]. *干旱区地理*, 1998, 21(3): 66–72.]
- [10] Zhang Xuejun. Study on icing prevention for cooling tower in power plant[J]. *Heilongjiang Electric Power*, 2012, 35(5): 333–335. [张学军. 电厂冷却塔防结冰分析[J]. *黑龙江电力*, 2012, 35(5): 333–335.]
- [11] Wang Yujie, Wang Di, Wang Jingshan, et al. Cause of icing on the outer surface of concrete chimney wall and its modification treatment[J]. *Building Technology*, 1997(11): 795. [王宇杰, 王堤, 王景山, 等. 混凝土烟囱筒壁外表面结冰原因及改造处理[J]. *建筑技术*, 1997(11): 795.]
- [12] Li Xun, Yin Zhicong, Ding Deping, et al. Characteristics and meteorological conditions of road surface icing on Beijing expressway[J]. *Journal of Applied Meteorology*, 2012, 23(5): 578–584. [李迅, 尹志聪, 丁德平, 等. 北京地区高速公路路面结冰特征及气象条件[J]. *应用气象学报*, 2012, 23(5): 578–584.]
- [13] Bai Zhaoeye, Xu Guochang, Sun Xueyun, et al. Weather over Northwest China [M]. Beijing: China Meteorological Press, 1991: 258–357. [白肇烨, 徐国昌, 孙学筠, 等. 中国西北天气[M]. 北京: 气象出版社, 1991: 258–357.]
- [14] Yang Xiaoling, Ding Wenkui, Liu Mingchun, et al. Change characteristics and 5 stations contrastive analysis of climate in eastern Hexi Corridor in recent 50 years [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2011, 25(8): 76–81. [杨晓玲, 丁文魁, 刘明春, 等. 河西走廊东部近 50 年气温变化特征及其对比分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2011, 25(8): 76–81.]
- [15] Zou Jingfa. Abnormal fluctuation by using mean value and mean square deviation[J]. *Metallurgical Power*, 1981(1): 55–56. [邹京发. 运用平均值和均方差判断指标的异常波动[J]. *冶金动力*, 1981(1): 55–56.]
- [16] Wei Fengying. Modern climatic statistical diagnosis and prediction technology [M]. 2nd ed. Beijing: China Meteorological Press, 2007: 37–41. [魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 2 版. 北京: 气象出版社, 2007: 37–41.]
- [17] Shi Neng, Chen Jiaqi, Tu Qipu. Climate variation characteristics over China in 4 decadal nearly 100 years[J]. *Journal of Meteorology*, 1995, 53(4): 431–439. [施能, 陈家其, 屠其璞. 中国近 100 年来 4 个年代际的气候变化特征[J]. *气象学报*, 1995, 53(4): 431–439.]
- [18] Livezey R E, Chen W Y. Statistical field significance and its determination by Monte Carlo techniques [J]. *Monthly Weather Review*, 1983, 111(1): 46–59.
- [19] Zhou Shiqing, Chen Jianjiang, Geng Junling. Cycle analysis of annual average flow series with single factor variance analysis method in Santun River [J]. *Xinjiang Water Resources*, 2001(3): 25–29. [周石清, 陈建江, 耿峻岭. 单因子方差分析法对三屯河年均流量序列的周期分析[J]. *新疆水利*, 2001(3): 25–29.]
- [20] Yang Xiaoling, Wang Zongcheng, Zhou Hua, et al. Variation characteristics of frozen soil first and last dates in Hexi Corridor Eastern[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2017, 31(6): 117–122. [杨晓玲, 汪宗成, 周华, 等. 河西走廊东部冻土初、终日的变化特征分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2017, 31(6): 117–122.]
- [21] Shen Yongping, Wang Guoya. Key findings and assessment results of IPCC WGI 5th assessment report [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2013, 35(5): 1068–1076. [沈永平, 王国亚. IPCC 第一工作组第五次评估报告对全球气候变化认知的最新科学要点[J]. *冰川冻土*, 2013, 35(5): 1068–1076.]
- [22] Shen Yongping, Su Hongchao, Wang Guoya, et al. The responses of glaciers and snow cover to climate change in Xinjiang (I): hydrological effects[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2013, 35(3): 513–527. [沈永平, 苏宏超, 王国亚, 等. 新疆冰川、积雪对气候变化的响应(I): 水文效应[J]. *冰川冻土*, 2013, 35(3): 513–527.]
- [23] Mao Weiyi, Chen Pengxiang, Shen Yongping. Characteristics and effects of the extreme maximum air temperature in the summer of 2015 in Xinjiang under global warming [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2016, 38(2): 291–304. [毛炜峰, 陈鹏翔, 沈永平. 气候变暖背景下 2015 年夏季新疆极端高温过程及其影响[J]. *冰川冻土*, 2016, 38(2): 291–304.]
- [24] Cheng Peifeng, Li Jiting, Yu Dezhong, et al. Study of the ice cover temperature variation of the Kanas Lake [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2016, 38(3): 692–698. [程培峰, 李吉庭, 宇德忠, 等. 新疆阿尔泰山喀纳斯湖冰层温度变化规律试验研究[J]. *冰川冻土*, 2016, 38(3): 692–698.]
- [25] Ding Wenkui, Yin Yuchun, Yang Xiaoling, et al. Study on change trend and characteristics of surface temperature in east of Hexi Corridor [J]. *Arid Zone Research*, 2014, 31(6): 1046–

1052. [丁文魁, 殷玉春, 杨晓玲, 等. 河西走廊东部地表温度的变化趋势及特征分析[J]. 干旱区研究, 2014, 31(6):

1046 - 1052.]

Climate characteristics of the initial ice date and end ice date in east of the Hexi Corridor

YANG Xiaoling^{1,2}, CHEN Haipei³, DING Wenkui¹, WANG Heling²

(1. Meteorological Bureau of Wuwei City, Wuwei 733099, Gansu, China; 2. Lanzhou Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration, Lanzhou 730020, China; 3. Meteorological Bureau of Gulang County, Gulang 733304, Gansu, China)

Abstract: Using initial ice date and end ice date, as well as soil and air temperature data, from five meteorological stations in east of the Hexi Corridor during 1961 - 2015, temporal and spatial change characteristics of initial ice date and end ice date and their relation to soil, air temperatures and altitude were analyzed in this paper with modern climate diagnosis method. The results showed that, temporally, the initial ice date was earlier in mountains, followed by desert, finally in oasis and plain, and the end ice date was later in mountains, followed by desert, finally in oasis and plain, because of the influence of altitude, topography, vegetation and surface lithology. Initial ice date and end ice date had certain abnormal locally, with the probability of about 60% of normal initial ice date and end ice date. Probability of partial early year and early year of initial ice date and probability of partial late and late year of end ice date, which will cause hazard to production, were about 20%. There was a good correspondence between initial ice date and end ice date and the year with abnormal temperature. The initial ice date tended to delay and the end ice date tended to get early, the delayed magnitude was more than the early magnitude. Time series of initial ice date and end ice date had ten to twelve years and eight to ten years quasi-periodic variation, respectively. There were extremely significant correlations between initial ice date and end ice date and soil and air temperatures and altitude. The initial ice date will delay about 3.0 d and 3.5 d and the end ice date will about 4.2 d and 4.9 d ahead of time for 1 degree centigrade increase of soil and air temperature; the initial ice date will 1.8 d ahead of time and the end ice date will delay 2.5 d for every 100-m altitude increase. The end ice date was more sensitive response to climate warming and altitude increasing than the initial ice date.

Key words: initial ice date and end ice date; climate characteristics; east of the Hexi Corridor

(本文编辑: 武俊杰)