

# 1961~2019年哈密市霜冻气候特征分析

杨杰尧

哈密市气象局, 新疆 哈密  
Email: 545879112@qq.com

收稿日期: 2020年9月5日; 录用日期: 2020年9月20日; 发布日期: 2020年9月27日

## 摘要

利用哈密市4个国家气象站1961~2019年的逐日最低气温资料及低温冻害调查资料, 采用数理统计方法和Morlet小波分析法, 分析了初、终霜冻和无霜冻期的变化特征。结果表明: (1) 近59a全市及各站点终霜冻绝对变率均大于初霜冻, 表明终霜冻稳定性差, 对农牧业生产的危害更大。(2) 全市及各站点初霜冻呈推迟趋势, 终霜冻呈提前趋势, 无霜冻期呈延长趋势, 其中以巴里坤、淖毛湖变化最为显著。(3) 各地无霜期日数有各自的周期变化特征, 但也有共性存在, 目前各地无霜期均处于偏长时期。(4) 特晚终霜冻发生年份最少, 发生频率为仅为1.7%~5.1%, 特早初霜冻发生频率为特晚终霜冻的近2倍。偏晚终霜冻和偏早初霜冻发生频率在10.2%~18.6%之间, 两者均主要出现在20世纪90年代之前。

## 关键词

初终霜冻, 无霜期, 变化趋势, 异常特征

# Characteristics of Frost in the Hami City during 1961-2019

Jieyao Yang

Hami Meteorological Bureau, Hami Xinjiang  
Email: 545879112@qq.com

Received: Sep. 5<sup>th</sup>, 2020; accepted: Sep. 20<sup>th</sup>, 2020; published: Sep. 27<sup>th</sup>, 2020

## Abstract

Using the data of the minimum temperature from 1961 to 2019 and the survey data of cryogenic injury from four national meteorological stations in Hami with mathematical statistics and Morlet wavelet analysis, the change characteristics of the first frost, the last frost and the frost-free period were analyzed. The results showed that the absolute change rate of first frost was higher than that

of last frost, so the last frost is more harmful to farming and animal husbandry. In the whole city and all four stations, the first frost showed a trend of delay, the last frost showed a trend of advance, and the frost-free period showed a trend of extension, among which Balikun and Naomaohu had the most significant changes. Frost-free periods have their own cycle variation characteristics, but also a common existence, the frost-free in a relatively time at present. The occurrence frequency of the latest first frost is only 1.7 - 5.1%, and the occurrence frequency of the earliest first frost is nearly 2 times that of the latest last frost. The frequency of later last frost and earlier first frost ranged from 10.2 to 18.6%, both of which mainly appeared before the 1990 s.

## Keywords

First and Late Frost, Frost-Free Period, Change Trend, Anomalous Characteristics

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

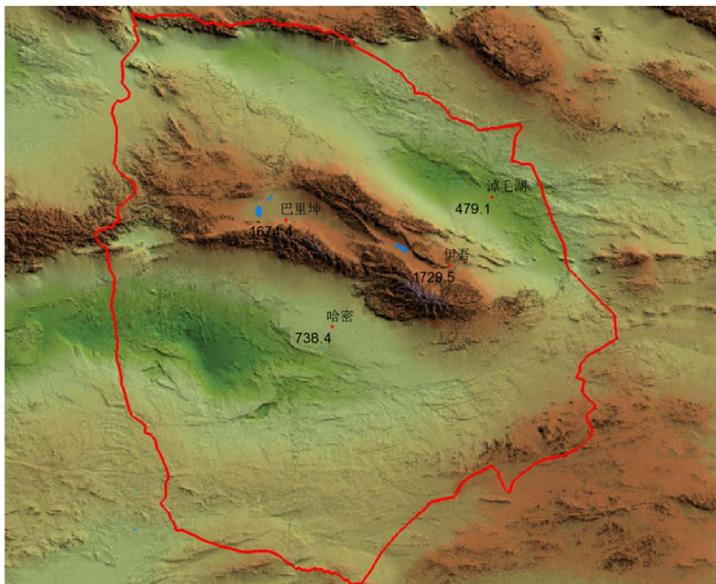
霜冻是指春秋气温转换季节, 由于冷空气的入侵, 土壤表面、植物表面以及近地面空气层的温度骤降到  $0^{\circ}\text{C}$  以下, 使植物原生质受到破坏, 导致植株受害或者死亡的一种短时间的低温冷害[1]。霜冻灾害是与农业生产有直接关联的气象灾害, 初霜冻集中出现在 9 月上旬到 11 月上旬, 此时正值秋作物灌浆、乳熟和黄熟期, 霜冻会造成作物产量减少和品质下降; 终霜冻结束时间主要集中在 4 月上旬到 5 月下旬, 正值冬、春小麦拔节、孕穗期, 大秋作物出苗生长期, 经济林果开花授粉座果期, 霜冻会冻伤农作物的茎叶组织, 经济林果花果受冻大量脱落, 造成严重危害。许艳等[2]的研究结果表明, 近 50a 来在全球增暖的背景下, 中国大部分地区霜期在逐渐缩短, 初霜日在逐渐推迟, 终霜日在不断提前, 1990 年后这种趋势变得更加明显。近些年来许多新疆学者分别对南北疆不同地域的霜冻特征进行了研究, 得出的结论具有共性, 即与全国大部分地区霜冻的变化趋势基本一致, 均表现为终霜日提前, 初霜日推迟, 无霜期延长的趋势[3] [4] [5] [6] [7]。

哈密地处亚欧大陆腹地, 新疆最东部, 天山余脉横贯, 特殊的地理条件形成了两大不同的气候区, 光热资源较丰富, 境内主要农作物有小麦、棉花、哈密瓜、葡萄等。春秋冷空气活动频繁, 冷暖变化剧烈, 使霜冻成为该地区危害最严重的灾害性天气之一。在全球气候变暖背景下对霜冻特征及其变化进行研究, 不仅有助于提高霜冻预报能力, 而且对合理利用气候资源、调整种植结构和有效防御霜冻危害有积极意义。

## 2. 资料与方法

### 2.1. 资料

以日最低气温  $\leq 0^{\circ}\text{C}$  作为霜冻指标, 选取哈密市具有代表性的 4 个国家气象站(哈密、巴里坤、伊吾、淖毛湖) 1961~2019 年逐日最低气温  $\leq 0^{\circ}\text{C}$  的资料, 均一化逐日最低气温资料由新疆气象信息中心提供。4 个站点分别位于伊州区城区、巴里坤镇、伊吾镇、淖毛湖镇(图 1), 可以表征各区域的气候特征, 其中哈密站、淖毛湖站代表农区, 巴里坤站、伊吾站代表牧区。初霜日为夏末或秋季(8~11 月)首次出现日最低气温  $\leq 0^{\circ}\text{C}$  的日期, 终霜日为春季或夏初(3~6 月)最晚出现日最低气温  $\leq 0^{\circ}\text{C}$  的日期, 终、初霜日的间隔日数为无霜期。



注：图中数字为海拔高度(单位：米)

**Figure 1.** Distribution and terrain map of meteorological stations in Hami  
**图 1.** 哈密市气象站点分布及地形示意图

## 2.2. 方法

采用线性趋势对初霜日、终霜日和无霜期年际变化趋势进行分析,并用 Pearson 相关分析法检验趋势的显著性。由于霜冻是因为大气温度降低而引起农作物受冻的一种灾害,因此它同气温一样具有正态分布特征,利用正态分布原理进行初、终霜冻的异常小概率事件分析[8]。“异常”霜冻的标准为: $\Delta Td \leq -1.65\sigma$  和  $-1.65\sigma < \Delta Td \leq -\sigma$  分别称为特早初霜冻和偏早初霜冻,  $\Delta Td \geq 1.65\sigma$  和  $1.65\sigma > \Delta Td \geq \sigma$  分别称为特晚终霜冻和偏晚终霜冻。 $\Delta Td$  为初、终霜日距平,  $\sigma$  为标准差。

## 3. 霜冻的变化特征

### 3.1. 霜冻的基本特征

1961~2019 年哈密市平均终霜日为 4 月 25 日,其中伊州区为 4 月 11 日,巴里坤为 5 月 16 日,伊吾为 5 月 19 日,淖毛湖为 4 月 8 日,位于盆地的农区的霜冻结束最早,随着海拔高度的增加终霜日逐渐推迟,山区牧区比盆地农区推迟一个月;平均初霜日则山区牧区出现最早,初霜日表现为随着海拔高度的增加而提前,伊州区平均初霜日为 10 月 15 日,巴里坤为 9 月 13 日,伊吾为 9 月 20 日,淖毛湖为 10 月 16 日。淖毛湖平均无霜期最长,为 190 d,伊州区次之,为 185 d,巴里坤及伊吾无霜期分别为 119 d 和 136 d (表 1)。

近 59a 来各地最早、最晚终霜日的年际间差异为 46~66 d。其中巴里坤变幅最大,最早终霜日出现在 4 月 14 日,最晚为 6 月 19 日;伊吾、淖毛湖次之,最早、最晚终霜日分别相差 56 d 和 55 d;伊州区变幅最小,最早终霜日为 3 月 21 日,最晚为 5 月 6 日。各农区最早、最晚初霜日的年际间差异为 45~61 d,山区牧区变幅较大,盆地农区变幅最小。

由表 1 可见,全市及各站点均表现为终霜日的绝对变率大于初霜日,说明终霜日稳定性较差,年际差异较大,终霜冻对农业生产的危害大于初霜冻[9]。巴里坤的无霜期绝对变率最大,说明其热量资源最不稳定,可利用率相对较低;伊州区无霜期绝对变率最小,可利用热量相对较好。

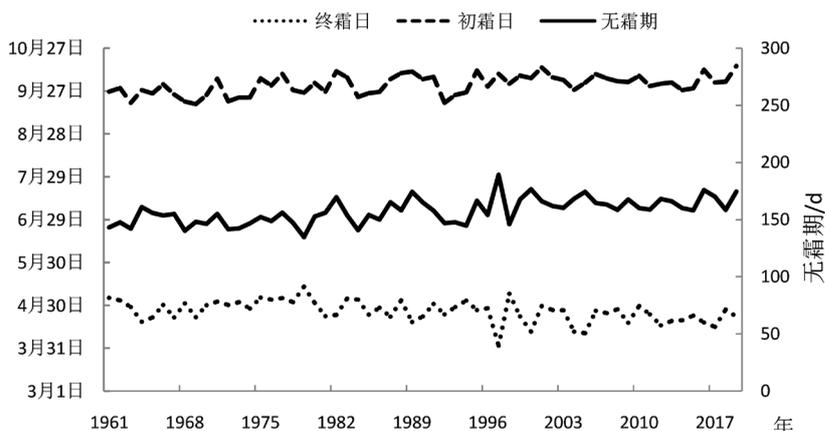
**Table 1.** Characteristics of frost in the Hami from 1961 to 2019

**表 1.** 1961~2019 年哈密市霜冻气候特征

站点	终霜日(月-日)				初霜日(月-日)				无霜期			
	最早	最晚	平均	绝对变率	最早	最晚	平均	绝对变率	最短	最长	平均	绝对变率
哈密	3-21	5-6	4-11	9.15	9-29	10-30	10-15	6.83	154	219	185	10.34
巴里坤	4-14	6-19	5-16	9.59	8-26	10-6	9-13	9.47	82	160	119	15.41
伊吾	4-6	6-1	5-19	9.15	8-31	10-18	9-20	8.39	106	176	136	13.03
淖毛湖	3-13	5-7	4-8	9.49	9-27	11-4	10-16	8.36	149	226	190	13.03
全市	3-29	5-23	4-25	9.35	9-12	10-22	10-1	8.26	123	195	158	12.95

### 3.2. 霜冻的年际变化特征

从哈密市近 59a 初(终)霜冻日和无霜冻期年际变化曲线图(图 2)可知, 全市初霜冻日气候变化倾向率为 1.97 d/10a, 呈推迟趋势; 终霜冻日呈提前趋势, 气候变化倾向率为-1.96 d/10a; 无霜冻期呈延长趋势, 气候变化倾向率为 3.93 d/10a。无霜期日数显著延长, 有利于增加作物生长发育季热量资源条件、延长作物生长季, 喜温和晚熟作物适宜种植区域可由较低海拔向较高海拔区域推进扩展。林果生长发育期提前, 生长发育速度加快, 生长周期缩短, 产量和糖分含量增加[10]。



**Figure 2.** Annual curve of first (last) frost and frost-free days in Hami from 1961 to 2019

**图 2.** 哈密市 1961~2019 年初(终)霜冻日及无霜冻日年际变化曲线

表 2 中, 负数表示初霜冻日、终霜冻日提前或无霜期缩短, 正数代表初霜冻日、终霜冻日推后或无霜期延长。近 59a 来哈密市各地终霜日提前了 0.6~2.8 d/10a, 初霜日推迟了 0.1~3.7 d/10a, 均为巴里坤、淖毛湖变化最为显著, 通过了 0.01 的显著性检验; 无霜期延长了 0.7~6.6 d/10a, 巴里坤、淖毛湖延长最显著, 均通过了 0.01 的显著性检验, 伊州区次之, 通过了 0.05 的显著性检验。

**Table 2.** Frost climate tendency rate in Hami from 1961 to 2019

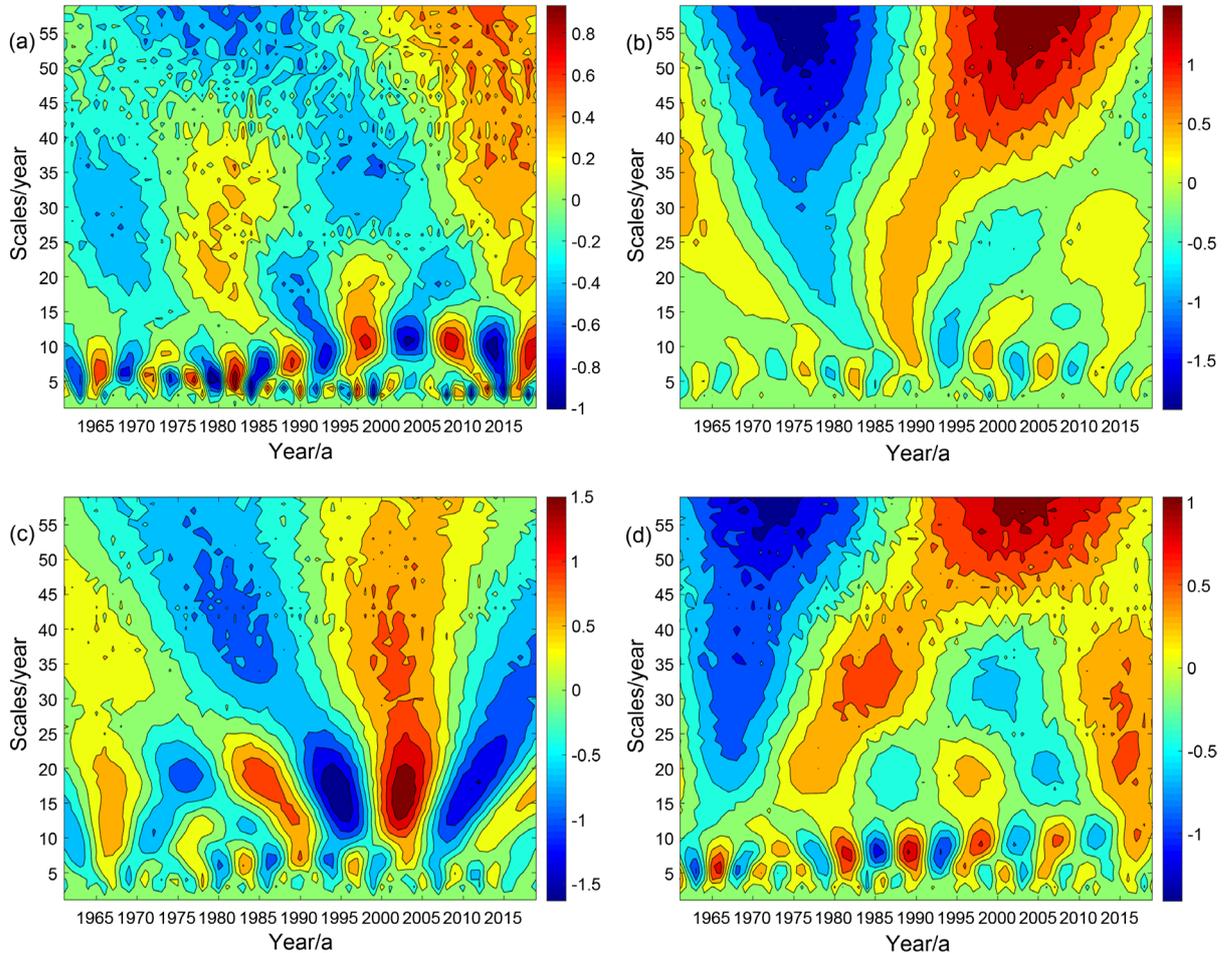
**表 2.** 1961~2019 年哈密市各地霜冻气候倾向率

站点	终霜冻日	初霜冻日	无霜期
哈密	-1.7	0.8	2.5*
巴里坤	-2.8**	3.7**	6.6**
伊吾	-0.6	0.1	0.7
淖毛湖	-2.7**	3.3**	6.0**

注: \*表示通过 0.05 的显著性检验, \*\*表示通过 0.01 的显著性检验。

### 3.3. 无霜期的周期变化特征

采用 Morlet 小波变换对 4 站点无霜期做周期分析, 图 3 为 1961~2019 年哈密市各地无霜期序列小波变换实部, 正的小波系数对应无霜日数延长期, 负的小波系数对应无霜日数缩短期。结果显示, 各地无霜期变化存在明显的多种尺度振荡周期信号。



(a)为伊州区; (b)为巴里坤; (c)为伊吾; (d)为淖毛湖。

**Figure 3.** Real part of Morlet wavelet coefficient in frost-free period

**图 3.** 哈密市各地无霜期 Morlet 小波系数实部

伊州区无霜期存在 4~5a 和 10a 周期变化, 其中 4~5a 的小周期振荡变化最为明显且具有全域性的特征。对应小波方差(图略)可知, 4~5a 为第 1 主周期, 10a 为次周期。在 10a 左右的时间尺度上, 伊州区无霜期序列主要经历了“短-长-短-长-短-长”的交替演变。巴里坤无霜期则存在 7~8a, 25a~27a 周期变化, 其中 7~8a 主要在 20 世纪 70 年代中期至 21 世纪初最为明显, 而在 25a~27a 的时间尺度上, 经历了“长-短-长-短-长”的交替演变。伊吾无霜期呈显著的 15~17a 的周期变化, 在 20 世纪 80 年代初至 21 世纪 10 年代中期最为明显, 无霜期序列主要经历了“长-短-长-短-长”的交替演变。淖毛湖无霜期存在 7~8a 和 32~34a 周期变化, 其中 7~8a 的小周期振荡变化最为明显, 为第 1 主周期。在 32~34a 的时间尺度上, 淖毛湖无霜期序列主要经历了“短-长-短-长”的交替演变。目前各地无霜期均处于偏长时期。

## 4. 霜冻的异常特征

表 3 列出了 1961~2019 年哈密市异常初、终霜冻事件的发生情况。在这 59a 中, 全市特晚终霜冻发生年份均较少, 发生频率仅为 1.7%~5.1%, 特早初霜冻发生频率为特晚终霜冻的近 2 倍, 犹以巴里坤发生年份最多, 占 10.2%。

偏晚终霜冻发生的年份在 8~10a 之间, 发生频率在 13.6%~16.9%, 主要出现在 20 世纪 70 至 80 年代, 近 10a 偶有出现; 除淖毛湖外, 其他地区偏早初霜冻发生频率略低于偏晚终霜冻, 发生频率在 10.2%~13.6%, 而淖毛湖偏早初霜冻发生频率高达 18.6%。偏早初霜冻主要出现在 20 世纪 90 年代之前, 与偏晚终霜冻特征较一致。

**Table 3.** The year and frequency of abnormal frost in Hami nearly 59 years

**表 3.** 近 59a 哈密市各站点异常霜冻出现年份和出现频率

站点	终霜期			初霜期
	特晚	偏晚	特早	偏早
哈密	1979, 1991 (3.4)	1963, 1968, 1977, 1983, 1984, 1986, 1998, 1999, 2001, 2014 (16.9)	1969, 2004, 2015 (5.1)	1961, 1962, 1973, 1974, 1984, 1992 (10.2)
巴里坤	1961, 1971, 1980 (5.1)	1966, 1972, 1974, 1975, 1978, 1979, 1981, 1988, 2009 (15.3)	1965, 1969, 1972, 1973, 1978, 1984 (10.2)	1963, 1967, 1970, 1976, 1979, 1981, 1986, 1996 (13.6)
伊吾	1961(1.7)	1970, 1976, 1979, 1993, 1994, 1995, 1998, 2007, 2016, 2019 (16.9)	1963,1972 (3.4)	1968, 1985, 1986, 1992, 1994, 2006, 2009, 2011 (13.6)
淖毛湖	1962,1983 (3.4)	1963, 1968, 1976, 1977, 1984, 1986, 1998, 2008 (13.6)	1967, 1968, 1969 (5.1)	1961, 1962, 1963, 1964, 1970, 1972, 1973, 1974, 1978, 1981, 1992 (18.6)

注: 括号内为发生频率(%)。

## 5. 结论和讨论

(1) 1961~2019 年哈密市平均初霜日为 10 月 12 日, 平均终霜日为 4 月 25 日, 平均无霜冻期为 158 d。总体表现为随着海拔高度的增加, 终霜日逐渐推迟、初霜日逐渐提前。

(2) 近 59a, 全市及各站点初霜冻呈推迟趋势, 终霜冻呈提前趋势, 无霜冻期呈延长趋势。各地终霜日提前 0.6~2.8 d/10a, 初霜日推迟 0.1~3.7 d/10a, 无霜期延长 0.7~6.6 d/10a, 均以巴里坤、淖毛湖变化最为显著。

(3) 各地无霜期日数有各自的周期变化特征, 但也有共性存在, 目前各地无霜期均处于偏长时期。

(4) 哈密市特晚终霜冻发生年份最少, 发生频率仅为 1.7%~5.1%, 特早初霜冻发生频率为特晚终霜冻的近 2 倍。偏晚终霜冻发生的年份在 8~10a 之间, 发生频率在 13.6%~16.9%, 偏早初霜冻发生频率为 10.2%~18.6%, 两者均主要出现在 20 世纪 90 年代之前。

## 基金项目

哈密市气象局课题“哈密市低温霜冻预报预警方法研究”资助。

## 参考文献

- [1] 崔读昌. 关于冻害、寒害、冷害和霜冻[J]. 中国农业气象, 1999(1): 3-5.
- [2] 许艳, 王国复, 王盘兴. 近 50a 中国霜期的变化特征分析[J]. 气象科学, 2009, 29(4): 4427-4433.
- [3] 张山清, 普宗朝, 李景林, 徐文修, 王命全, 赵书琴. 气候变暖背景下新疆无霜冻期时空变化分析[J]. 资源科学,

---

2013, 35(9): 1908-1916.

- [4] 郑玉萍, 宫恒瑞, 曹兴, 蒲洁. 近 53a 乌鲁木齐农区霜冻变化特征[J]. 沙漠与绿洲气象, 2015, 9(1): 52-57.
- [5] 王荣梅, 张晓琴, 刘姣, 候宇珂, 李凤晶. 新疆喀什地区近 50a 来霜冻变化特征及其对农业的影响[J]. 干旱气象, 2013, 31(2): 309-312.
- [6] 隆永兰, 刘濛濛, 张山清, 夏玉莲. 1961-2015 年焉耆盆地霜冻气候分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2017, 11(1): 81-86.
- [7] 蒲云锦, 韩春光. 石河子地区霜冻变化及其对农业的影响[J]. 沙漠与绿洲气象, 2010, 4(6): 50-53.
- [8] 林婧婧, 郭慧. 1971-2012 年平凉市霜冻变化特征分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2015, 9(3): 57-62.
- [9] 苗运玲, 张林梅, 卓世新. 哈密地区霜冻气候特征分析及其对农业的影响[J]. 陕西气象, 2016(3): 12-16.
- [10] 郭俊文, 单红洮, 郭俊瑞. 陇中黄土高原半干旱区霜冻时空分异特征[J]. 水土保持研究, 2020, 27(3): 101-105.