第17卷 第6期
2023年12月

沙 漠 与 绿 洲 气 象
Desert and Oasis Meteorology

张鑫,楼俊伟,范瑜越,等.不同气候背景下北疆霜期的时空变化特征[J].沙漠与绿洲气象,2023,17(6):89-95.
doi:10.12057/j.issn.1002-0799.2023.06.012

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

不同气候背景下北疆霜期的时空变化特征

张 鑫[1],楼俊伟[2],范瑜越[3],王 进[1*],贾 超[1],高 宇[1],李 杏[1]
(1.石河子气象局,新疆 石河子 832000;2.武义县气象局,浙江 武义 321200;3.金华市气象局,浙江 金华 321000)

摘 要:利用1961—2021年逐日最低气温、大气环流指数资料,基于常规气象统计方法,对不同气候背景下北疆地区初、终霜日和霜期的变化特征进行分析,揭示其变化规律及影响因素。结果表明:(1)初霜日在背景Ⅰ(1961—1990年)下呈较快推迟趋势,速率达0.36 d/a,背景Ⅱ(1991—2021年)下变化趋势很小;终霜日在背景Ⅰ下反呈推迟趋势,速率达0.15 d/a,在背景Ⅱ下呈较快提前趋势,速率达0.28 d/a;霜期在背景Ⅰ、Ⅱ下均呈缩短趋势,缩短速率分别为0.24、0.35 d/a。(2)在气候背景Ⅰ下霜期的缩短主要由初霜日推迟而导致,在气候背景Ⅱ下霜期的缩短主要由终霜日提前所导致。(3)北疆地区平均初霜日在背景Ⅱ下变化趋势很小是因为此时段下北疆初霜日西部提前、东部推迟,且推迟与提前的变化趋势相差较小;平均终霜日在背景Ⅰ下反呈推迟趋势的气候条件是此时段下北疆春季气温变化趋势为-0.357 ℃/10 a,空间变化上则是因为此时段下北疆终霜日整体呈推迟趋势,仅阿勒泰地区东部、哈密地区东部呈提前趋势,且推迟速率较大,提前速率较小。(4)由气候背景Ⅰ转为背景Ⅱ,北疆初霜日等级出现由低向高转变的趋势,终霜日和霜期则与其相反。(5)相关季节北大西洋涛动指数对于北疆地区初、终霜日的影响较显著,初霜日与夏季北大西洋涛动指数呈显著负相关,终霜日与秋季北大西洋涛动指数呈显著正相关。

关键词:北疆地区;霜期;不同气候背景;时空变化特征
中图分类号:P467 **文献标识码**:A **文章编号**:1002-0799(2023)06-0089-07

近年来,随着农业生产规模的不断扩大,霜冻给民众造成的损失越来越大,引起了国内外学者[1-5]的关注。宁晓菊等[1]将我国1951年以来初、终霜日和无霜期数据进行分析,指出中国80%以上区域呈现初霜日推后、终霜日提前和无霜期延长的趋势,且三者的变化幅度均是北方大于南方、东部大于西部。Ecmel Erlat等[3]对土耳其1950—2010年的霜冻日数进行统计分析,指出大部分站点霜冻日数呈明显减小趋势,尤其是在东安纳托利亚、马尔马拉地区和地中海沿岸。关于霜期的研究,大多学者[6-9]是分析初、终霜日和(无)霜期的气候变化特征,但也有部分学者[10-15]基于三者的变化规律进一步研究将霜冻趋利避害的方法。彭九慧等[10]基于常规观测资料与NCEP1°×1°再分析资料建立了初霜预报的天气概念模型,检验表明该模型对于中重度初霜冻预报准确率可达95%以上,对轻度初霜的预报准确率可达68%以上,无漏报出现。张雪芬等[15]从构成晚霜冻害的最低温度和小麦发育期两个因素出发,提出了晚霜冻害指数构建方法,使晚霜冻害指标定量化。由于全球气候变化的加剧,初霜日的推迟、终霜日的提前和无霜期的延长越来越明显[16]。虽然气候变暖是影响霜期变化的根本原因,但这种影响也存在着区域性和年代际的差异。

北疆位于新疆天山以北,春、秋季易受冷空气影

收稿日期:2022-10-01;**修回日期**:2023-04-17
基金项目:新疆自然科学基金(2020D01A21);新疆维吾尔自治区重点研发任务专项(2022B03027-1);新疆气象科技创新发展基金指令性(重点)项目(ZD202106);第三次新疆综合科学考察项目(2022xjkk1003)
作者简介:张鑫(1995—),男,工程师,主要从事干旱区气候变化研究。E-mail:40468607@qq.com
通信作者:王进(1979—),男,正高级工程师,主要从事农业气象灾害研究。E-mail:2799730988@qq.com

响[17],尤其春季正值春耕春播关键时期,强冷空气常造成霜冻灾害,对农作物生长影响较大。目前新疆地区的霜期研究主要是分析全疆或者个别地区的气候变化特征[18-20],任妍等[18]指出近43 a新疆终霜日提前比初霜日推迟更明显,无霜期延长比霜期缩短更明显,且北疆均比南疆地区更显著;王荣梅等[19]指出喀什地区50 a来平均初霜日出现在10月下旬,平均终霜日结束在3月中旬,平均无霜期为123~225 d,极差为102 d;郑玉萍等[20]对乌鲁木齐3个农区霜冻变化进行研究,指出1961—2013年终霜日提前了0.6~2.2 d/10 a,初霜日推迟了1.7~3.7 d/10 a,无霜期延长了2.4~5.1 d/10 a。

新疆"三山夹两盆"的地形导致南北疆气候差异较大,有必要更严谨的分开讨论南北疆霜期特征,已有学者[21]对北疆地区初、终霜日和霜期时空特征进行分析,但考虑到不同气候背景对三者影响的研究却鲜有见刊。姚俊强等[22]研究不同时间尺度下新疆气候"暖湿化"特征指出:20世纪90年代之后新疆气候多呈暖湿配置。因此,本文利用1961—2020年的北疆气象数据,将北疆初、终霜日和霜期分为1990年前和1990年后2个气候背景进行年代际背景分析,讨论过去60年内不同气候背景下前后30年之间产生的差异,以期为当地的霜冻灾害防御、农业生产布局和霜冻灾害风险区划等气候研究提供参考。

1 研究区概况

北疆地区处于79°48′~95°56′ E,42°18′~49°11′ N,具有"三山夹两盆"的地理特征,属温带大陆性干旱半干旱气候,中部为准噶尔盆地,海拔较低,在500~1 000 m(盆地西南部的艾比湖湖面海拔仅190 m),东高西低;北部与南部分别为阿尔泰山和天山山脉,山区海拔高度差异大,阿尔泰山海拔在1 000~3 000 m,主要山脊高度在3 000 m以上,北部的最高峰为友谊峰,海拔4 374 m;天山山脉东西长约1 000 km,宽35~50 km,海拔4 000~5 000 m。研究区内选取37个长时间序列具有农区代表性的气象站点。文中所涉及地图均是基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载的审图号为GS(2016)1552号的标准地图制作,底图无修改。

2 资料与方法

关于初、终霜日和霜期的确定,目前的研究主要用日最低气温或者地面0 cm最低温度来判断[23-24],本文选取每年入秋以来第一次和最后一次日最低气温低于0 ℃的日期判定为当年初霜日及终霜日[21]。根据数据连续性、统一性和时间一致性等原则,选取新疆气象信息中心1961年1月1日—2021年5月31日的逐日最低气温数据,通过统计整理,结合一元线性回归、Cressman空间插值法等常规气象统计方法(统计分析过程中,将1961—1990年记为气候背景I,1991—2020年记为气候背景II),对不同气候背景下北疆初、终霜日和霜期的时空变化特征进行分析。

基于中国气象局颁布的《全国气候影响评价标准》[25],通过计算初、终霜日和霜期的距平(Δd)和标准差(σ),建立7个等级判断气候态的转变对初、终霜日和霜期气候评价的影响。其中,1级为$\Delta d/\sigma \geqslant 2$,初、终霜日(霜期)异常偏晚(长);2级为$2 > \Delta d/\sigma \geqslant 1.5$,初、终霜日(霜期)显著偏晚(长);3级为$1.5 > \Delta d/\sigma > 1$,初、终霜日(霜期)偏晚(长);4级为$1 \geqslant \Delta d/\sigma \geqslant -1$,初、终霜日(霜期)正常;5级为$-1 > \Delta d/\sigma > -1.5$,初、终霜日(霜期)偏早(短);6级为$-1.5 \geqslant \Delta d/\sigma > -2$,初、终霜日(霜期)显著偏早(短);7级为$\Delta d/\sigma \leqslant -2$,初、终霜日(霜期)异常偏早(短)。

3 结果分析

3.1 不同气候背景下初、终霜日和霜期时间变化趋势

分析1961—2020年北疆地区平均初、终霜日和霜期的变化趋势(图1)可知,北疆地区平均初霜日呈推迟趋势,推迟速率为0.20 d/a($P<0.001$);平均终霜日呈提前趋势,提前速率为0.16 d/a($P<0.01$);平均霜期呈缩短趋势,缩短速率为0.37 d/a($P<0.001$)。气候背景I、II下的变化趋势有差异,北疆地区平均初霜日(图1a)在气候背景I下呈较快推迟趋势,推迟速率高达0.36 d/a($P<0.005$),在背景II下则变化趋势很小,呈微弱推迟趋势,推迟速率仅有0.01 d/a。平均终霜日(图1b)在气候背景I下呈推迟趋势,推迟速率为0.15 d/a,这与过去60年整体变化趋势相差很大,在背景II下呈较快的提前趋势,提前速率高达0.28 d/a($P<0.05$),虽已有研究[26]表明过去58年北疆春季气温整体呈增温趋势,且速率较快,为0.374 ℃/10 a,但仅分析气候背景I下北疆春季气温变化趋势则为-0.357 ℃/10 a($P<0.01$),这应该是导致背景I下北疆平均终霜日变化趋势与过去60年整体趋势呈相反态势的主要原因。平均霜期(图1c)在气候背景I、II下均呈缩短趋势,缩短速率分别为0.24、0.35 d/a($P<0.1$),近30年来新疆气候"暖湿化"趋

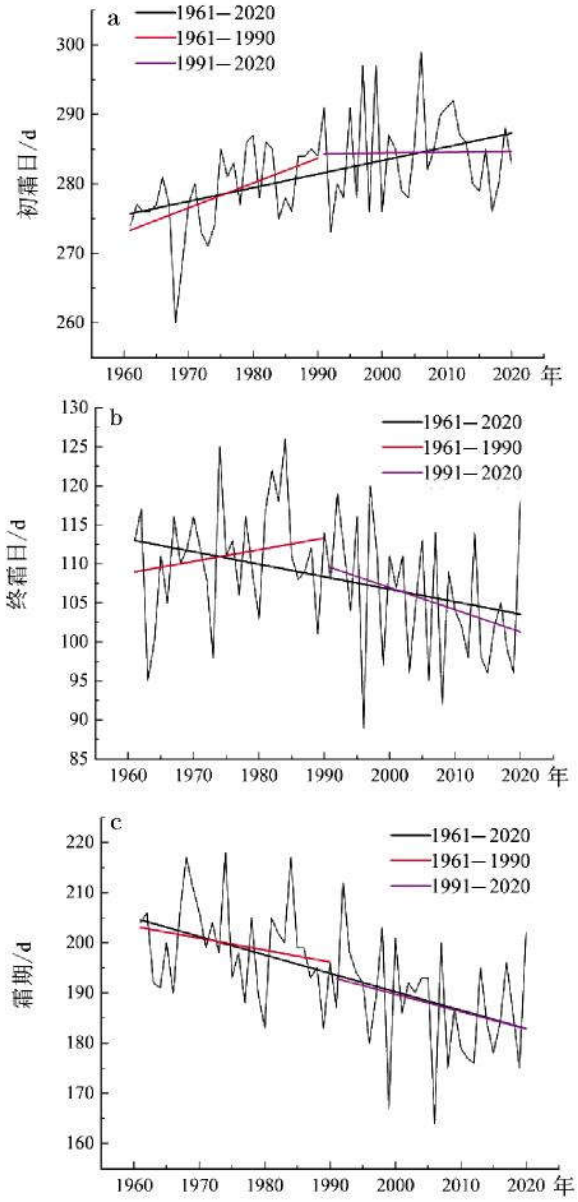

图 1　不同气候背景下北疆初霜日(a)、终霜日(b)和霜期(c)的年际变化

(图中直线为趋势线)

势明显[22]，这可能是导致霜期在气候背景 II 下的缩短速率较快的原因。

虽然过去 60 年北疆地区霜期呈缩短态势为普遍现象,但霜期的缩短并非均由初霜日推迟、终霜日提前共同影响的。在气候背景 I 下霜期的缩短主要由初霜日推迟而导致,在气候背景 II 下霜期的缩短主要由终霜日提前所导致。

3.2　不同气候背景下初、终霜日和霜期空间变化特征

3.2.1　初霜日的空间变化

对比分析气候背景 I、II 下北疆初霜日空间变化趋势(图 2a、3a)可以看出,北疆初霜日变化倾向率在气候背景 I 下整体为增加趋势,变化趋势为 0.15~0.59 d·a^{-1}(P<0.05),说明在背景 I 下北疆初霜日整体在推迟,其中哈密地区东部推迟速率最快,伊犁州中部次之,阿勒泰地区推迟速率最慢。北疆初霜日变化倾向率在气候背景 II 下西部整体呈减少趋势,东部呈增加趋势，变化趋势为-0.18~0.21 d·a^{-1}（P<0.1),说明在背景 II 下北疆初霜日西部提前、东部推迟,其中伊犁州、塔城地区中部、乌鲁木齐提前趋势较明显,石河子、昌吉州东部推迟趋势较明显。

3.2.2　终霜日的空间变化

对比分析气候背景 I、II 下北疆终霜日空间变化趋势(图 2b、3b)可以看出,北疆终霜日在气候背景 I 下整体呈推迟趋势,仅阿勒泰地区东部、哈密地区东部呈提前趋势,变化趋势为-0.16~0.39 d·a^{-1},其中伊犁州西部、中天山北部一线推迟速率最明显。北疆终霜日在气候背景 II 下整体呈提前趋势，变化趋势为-0.63~0.23 d·a^{-1}(P<0.1),其中塔额盆地、乌昌石一线部分地区提前趋势较明显,高达-0.54~-0.63 d·a^{-1}(P<0.1),伊犁州、博州、塔城地区南部提前趋势较慢。

3.2.3　霜期的空间变化

对比分析气候背景 I、II 下北疆霜期空间变化趋势(图 2c、3c)可以看出,北疆霜期在气候背景 I 下整体呈缩短趋势,局地呈延长趋势,变化趋势为-0.75~0.05 d·a^{-1}(P<0.1),其中哈密地区东部缩短速率最明显,塔城地区南部次之,伊犁州西部、阿勒泰地区中部、乌昌石部分地区呈延长趋势或缩短速率不明显。北疆霜期在气候背景 II 下西部呈较弱延长趋势,中东部整体呈缩短趋势,变化趋势为-0.17~0.27 d·a^{-1},其中昌吉州、哈密地区北部缩短趋势较明显，伊犁州、博州、塔城地区部分地区呈较弱延长趋势。

综上所述，北疆地区平均初霜日在气候背景 II 下变化趋势很小是因为背景 II 下北疆初霜日西部提前、东部推迟，且推迟与提前的变化趋势相差较小；平均终霜日在气候背景 I 下反呈推迟趋势是因为北疆终霜日在背景 I 下整体呈推迟趋势，仅阿勒泰地区东部、哈密地区东部呈提前趋势,且推迟速率较大,提前速率较小。

3.3　不同气候背景对初、终霜日和霜期等级的影响

分析气候背景 I、II 下北疆地区初、终霜日和霜期等级的变化特征(图 4)可知,相较气候背景 I,初霜日在气候背景 II 下异常偏晚的年数略微减少,异常偏早的年数显著增加;终霜日在气候背景 II 下异

常偏晚的年数有所增加，异常偏早的年数显著减少；霜期在气候背景 II 下异常偏长的年数有所增加，异常偏短的年数有所减少。由此可知，气候背景的转变会对初、终霜日和霜期的气候评价产生一定影响，由气候背景 I 转为 II，北疆初霜日等级由低向高转变（即偏晚频率降低，偏早频率增加），终霜日和霜期与其相反（即终霜日偏晚频率增加，偏早频率降低；霜期偏短频率降低，偏长频率增加）。

3.4 初、终霜日与大气环流指数相关性分析

霜期变化趋势和气候背景的转变密切相关，不同气候背景下霜期的变化特征相差较大。关于霜期的研究，常规的讨论方法往往是利用 M-K 突变检验（或结合滑动 T 检验、信噪比检验）来分析可能存在的突变情况，但本文在研究过程中曾反复选取多个滑动窗口进行突变检验，检验效果均不达标，究其原因应该是初、终霜日受极端天气影响较为严重，极端天气具有不确定性，受极端天气影响初、终霜日和霜期的突变情况也变得置信度不高。对于霜期的研究应该更多的考虑极端天气所伴随的影响，通过分析大气环流指数与初、终霜日的相关性更有利于准确把握霜的变化规律。

参考文献[27-28]选取北极涛动指数（AO）、北大西洋涛动指数（NAO）、东亚槽位置指数、厄尔尼诺—南方涛动指数（ENSO）分析与北疆初、终霜日的相关性（数据来源于国家气候中心网站 http://cmdp.ncc-cma.net/cn/monitoring.htm），其中 ENSO 指数采用 NINO 3.4 区（5°S~5°N，170°~120°W）海表温度距平（*SSTA*）表示。考虑到海气相互作用具有一定滞后性，分别将 1961—2020 年北疆初、终霜日与春、夏、秋、冬季的大气环流指数做相关分析（表 1）。初霜日与夏季北大西洋涛动指数和春季东亚槽位置指数均呈显著负相关，终霜日与秋季北大西洋涛动指数呈显著正相关，相关季节北大西洋涛动指数对于北疆地区初、终霜日的影响较为显著。

1961—2020 年夏季、秋季北大西洋涛动指数平均值分别为 0.069 和 0.109，挑选当年对应季节指数高于平均值的年份为高指数年，统计不同气候背景下高指数年份数量。夏季北大西洋涛动指数在气候

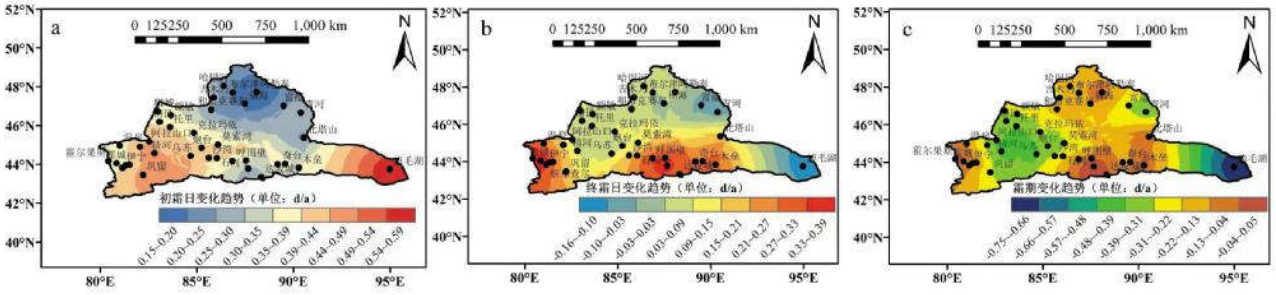

图 2 气候背景 I 下北疆初霜日（a）、终霜日（b）及霜期（c）的空间变化趋势

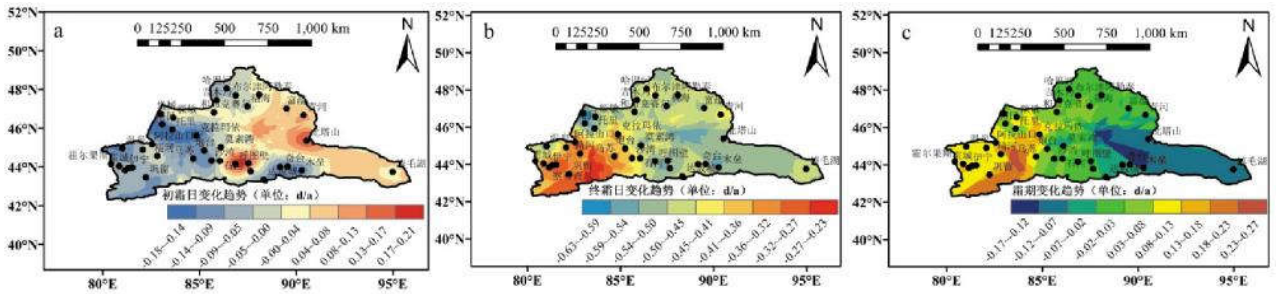

图 3 气候背景 II 下北疆初霜日（a）、终霜日（b）及霜期（c）的空间变化趋势

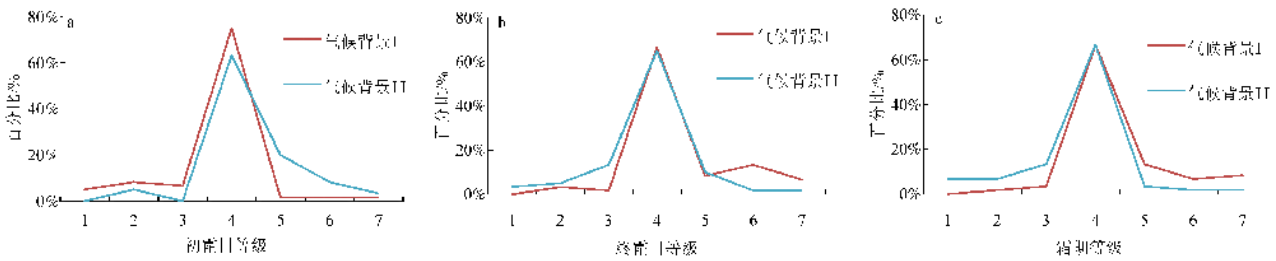

图 4 不同气候背景下北疆初霜日等级（a）、终霜日等级（b）、霜期等级（c）出现频率的变化

表 1　1961—2020 年北疆初、终霜日与季节性大气环流指数的相关

	北极涛动指数				北大西洋涛动指数			
	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬
初霜日	0.209	−0.181	0.005	0.098	−0.056	−0.367**	−0.242	0.223
终霜日	−0.099	−0.216	0.092	−0.126	0.036	0.112	0.338**	−0.046
	东亚槽位置指数				厄尔尼诺—南方涛动指数			
	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬
初霜日	−0.277*	0.211	0.076	−0.111	0.015	0.123	0.092	0.067
终霜日	0.222	−0.133	0.187	0.164	0.062	−0.034	−0.078	−0.093

注:** 代表在 α=0.01 水平(双侧)上显著相关;* 代表在 α=0.05 水平(双侧)上显著相关。

背景 I 下有 20 a 为高指数年，在气候背景 II 下有 11 a 为高指数年,由于初霜日与夏季北大西洋涛动指数呈显著负相关,随着气候背景的转变,高指数年份数量减少,对应初霜日推迟趋势增强。秋季北大西洋涛动指数在气候背景 I 下有 22 a 为高指数年,在气候背景 II 下有 9 a 为高指数年，终霜日与秋季北大西洋涛动指数呈显著正相关，随着气候背景的转变，高指数年份数量减少，对应终霜日提前趋势增强。夏、秋季北大西洋涛动指数对于北疆地区初、终霜日的变化趋势有很好的指导性意义，在霜期预测工作中应充分考虑北大西洋涛动指数的指示作用。

4　结论

利用常规气象统计方法分析了不同气候背景下北疆地区初、终霜日和霜期的时空变化特征,得到如下结论:

(1)不同气候背景下,北疆初、终霜日和霜期的时间变化趋势差异明显。初霜日在气候背景 I 下呈较快推迟趋势,速率达 0.36 d/a(P<0.005),在背景 II 下变化趋势很小。终霜日在气候背景 I 下呈推迟趋势,速率达 0.15 d/a,在背景 II 下呈较快提前趋势,速率达 0.28 d/a(P<0.05)。霜期在气候背景 I、II 下均呈缩短趋势,速率分别为 0.24、0.35 d/a(P<0.1)。

(2)北疆地区霜期在过去 60 年内整体呈缩短态势，但在不同气候背景下影响霜期缩短的原因各不相同。在气候背景 I 下霜期的缩短主要由初霜日推迟导致,终霜日对霜期的缩短为负贡献,其在气候背景 I 下反呈推迟趋势，原因是由于气候背景 I 下北疆地区春季气温变化趋势为−0.357 ℃/10 a,降温趋势明显,且北疆终霜日整体呈推迟趋势,仅阿勒泰地区东部、哈密地区东部呈提前趋势。气候背景 II 下霜期的缩短主要由终霜日提前导致，初霜日几乎没有影响到霜期的缩短,其在气候背景 II 下整体变化趋势很小,这是由于气候背景 II 下北疆地区初霜日西部在提前,东部在推迟,且推迟与提前的变化趋势相差较小。

(3)随着气候背景的转变,北疆地区初、终霜日和霜期的气候评价会受到一定影响，由气候背景 I 转为 II,北疆初霜日等级由低向高转变,即初霜日出现偏早现象的频率增多；终霜日和霜期等级则由高向低转变,即终霜日出现偏晚现象的频率增多,霜期出现偏长现象的频率增多。

(4)初霜日与夏季北大西洋涛动指数和春季东亚槽位置指数呈显著负相关，终霜日与秋季北大西洋涛动指数呈显著正相关。相关季节北大西洋涛动指数对于北疆地区初、终霜日的影响较为显著,对于初、终霜日的变化趋势有指导性意义。

目前研究不同地区霜期的文章较多，多数都停留在常规研究方法上[4],即分析时间、空间变化率,做突变检验及周期分析等。本文分不同气候背景讨论北疆霜期的变化特征，并找准影响霜期变化的关键因素(大气环流指数),对当地霜期的变化特征有了更细致的认识。虽然本文已对北疆霜期与大气环流指数的相关性进行分析,找出了对北疆初、终霜日影响较为显著的指数，但环流指数对于霜期的预报到底有怎样的指导意义有待进一步探讨。另外,姚俊强等[29]在最新的研究中表明,近 10 年新疆气候出现了从“暖湿化”向“暖干化”转折的强烈信号,这对北疆霜期的影响如何有待进一步研究。

参考文献:

[1] 宁晓菊,张丽君,杨群涛,等.1951 年以来中国无霜期的变化趋势[J].地理学报,2015,70(11):1811−1822.

[2] TERANDO,ADAM,EASTERLING.Observed and Modeled Twentieth − Century Spatial and Temporal Patterns of Selected Agro −Climate Indices in North America [J]. Journal of Climate,2012,25(2):473−490.

[3] Ecmel Erlat,Murat Türkes.Analysis of observed variability and trends in numbers of frost days in Turkey for the period 1950—2010[J].International Journal of Climatology, 2012,32(12):351−365.

[4] 楼俊伟,张鑫,王可欣,等.1951—2016 年秦巴山区霜期变化的时空特征分析[J].沙漠与绿洲气象,2019,13(5):82−88.

[5] 黄莹,杨建玲,孙银川,等.外强迫因子对宁夏初霜冻日期

的影响及其预测[J].干旱气象,2021,39(6):957-965.

[6] Slavica Malinovic-Milicevic,Gorica Stanojevic,Milan M Radovanovic.Recent changes in first and last frost dates and frost-free period in Serbia [J].Geografiska Annaler: Series A,Physical Geography,2018,100(1):44-58.

[7] 王兴菊,白慧,罗喜平,等.贵州省 1980—2019 年霜冻气候特征分析[J].沙漠与绿洲气象,2022,16(1):62-69.

[8] 慕臣英,纪瑞鹏,周晓宇,等.1960—2016 年沈阳地区霜冻初、终日和无霜冻期时空特征[J].干旱气象,2018,36(2):290-294.

[9] 滕水昌,张敏,滕杰,等.1951—2016 年甘肃乌鞘岭气候变化特征[J].干旱气象,2018,36(1):75-81,129.

[10] 彭九慧,王多,陆倩,等.承德初霜冻天气概念模型及其检验[J].沙漠与绿洲气象,2016,10(3):15-20.

[11] 余卫东.冬小麦拔节期灌溉防霜冻效果研究[J].气象与环境科学,2018,41(2):11-17.

[12] HAN R,LI W,AI W,et al.The climatic variability and influence of first frost dates in northern China [J].Acta Geographica Sinica,2010,65(5):525-532.

[13] ZHANG D,XU W,LI J,et al.Frost-free season lengthening and its potential cause in the Tibetan Plateau from 1960 to 2010[J].Theoretical & Applied Climatology,2014,115(3-4):441-450.

[14] YAN Junhui,FU Hui,ZHOU Hongsheng.Variations of Frost-free Period and Its Impact on Grain Yields in Henan Province during 1961—2013 [J].Agricultural Science&Technology,2015,(8):1588-1591,1692.

[15] 张雪芬,郑有飞,王春乙,等.冬小麦晚霜冻害时空分布与多时间尺度变化规律分析[J].气象学报,2009,67(2):321-330.

[16] 马尚谦,张勃,唐敏,等.1960—2015 年淮河流域初终霜日时空变化分析[J].中国农业气象,2018,39(7):468-478.

[17] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等.天气学原理和方法[M].北京:气象出版社,1992:266—296.

[18] 任妍,赵巧华,刘濛濛.基于 EEMD 的新疆 1971—2013 年初、终霜日及霜期变化趋势分析[J].干旱区资源与环境,2017,31(7):133-138.

[19] 王荣梅,张晓琴,刘姣,等.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.

[20] 郑玉萍,宫恒瑞,曹兴,等.近 53 a 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.

[21] 张鑫,楼俊伟,王勇,等.1961—2017 年北疆初终霜日及霜期时空变化特征[J].干旱区地理,2021,44(2):308-315.

[22] 姚俊强,李漠岩,迪丽努尔·托列吾别克,等.不同时间尺度下新疆气候“暖湿化”特征[J].干旱区研究,2022,39(2):333-346.

[23] 马尚谦,张勃,杨文义,等.1960—2015 年淮河流域异常初、终霜日时空变化及其影响因子[J].自然资源学报,2019,34(2):359-373.

[24] 焦文慧,张勃,马彬,等.近 58 年华北地区初、终霜日及无霜期变化特征分析[J].高原气象,2021,40(02):343-352.

[25] 周玲,孙慧兰,杨余辉,等.基于不同气候态对天山及其邻区气候变化的影响[J].干旱区研究,2018,35(6):1392-1401.

[26] 叶尔克江·霍依哈孜,阿吉古丽·沙依提,买买提艾力·买买提依明,等.新疆气温季节变化时空分布特征研究[J].湖北农业科学,2022,61(15):25-33,41.

[27] 丁之勇,葛拥晓,吉力力·阿布都外力,等.1957—2012 年新疆艾比湖流域极端气温与降水变化趋势[J].中国科学院大学学报,2018,35(2):160-171.

[28] 李爽,肖子牛,丁煌,等.中国地面太阳辐射季节异常与主要大气环流指数的关联分析[J].气候与环境研究,2022,27(4):447-457.

[29] 姚俊强,毛炜峄,陈静,等.新疆气候“湿干转折”的信号和影响探讨[J].地理学报,2021,76(1):57-72.

Spatial and Temporal Variation Characteristics of Frost Period in Northern Xinjiang under Different Climatic Background

ZHANG Xin[1],LOU Junwei[2],FAN Yuyue[3],WANG Jin[1],JIA Chao[1],GAO Yu[1] ,LI Xing[1]
(1.Shihezi Meteorological Bureau,Shihezi 832000,China;
2.Wuyi Meteorological Bureau,Wuyi 321200,China;
3.Jinhua Meteorological Bureau,Jinhua 321000,China)

Abstract Using the daily minimum temperature data from 1961 to 2021 provided by Xinjiang Meteorological Information Center and atmospheric circulation index data,based on the conventional meteorological statistical methods,the variation characteristics of the first frost day,the last frost day and the frost period in northern Xinjiang under the different climatic background were analyzed to reveal its changing rule and influencing factors.Results showed that:(1) The first frost date was delayed rapidly with a rate of 0.36 d/a under background I,but had small change under background II. In contrast,the last frost date was delayed with a rate of 0.15 d/a under background I and advance with a rate of 0.28 d/a under background II.The frost period was shortened under background I and II, and the shortening rates are 0.24 d/a and 0.35 d/a,respectively.(2) Under climatic background I,the shortening of frost period is mainly caused by the delay of the first frost date,while under climatic background II,the shortening of frost period is mainly caused by the advance of the last frost date. (3) The change trend of the average first frost day in northern Xinjiang is very small under the background II because the first frost day is advancing in the west and delaying in the east of northern Xinjiang under this background,and the change trend difference between the delaying and advancing is small;The climate condition background of the average last frost date in the climate background I is that the spring air temperature change trend in northern Xinjiang is -0.357 ℃/10 a under this background,and the spatial variation is because the last frost date in northern Xinjiang is delayed as a whole under this background,only the eastern Altay region and the eastern Hami region show an advance trend,and the delay rate is larger,and the advance rate is smaller.(4) From climatic background I to II,the grades of the first frost days in northern Xinjiang tended to move from low to high,while the last frost days and frost periods are the opposite.(5) The seasonal North Atlantic oscillation index has a significant effect on the first and last frost days in northern Xinjiang.The first frost days have a significant negative correlation with the summer North Atlantic oscillation index,and the last frost days have a significant positive correlation with the autumn North Atlantic oscillation index.

Key words northern Xinjiang;frost period;different climatic background;spatio-temporal variation characteristics