

气候变化背景下北京地区倒春寒时空演变特征研究

刘海涛¹, 杨洁² (1. 北京市气候中心, 北京 100089; 2. 北京市气象台, 北京 100089)

摘要 为了掌握气候变暖背景下北京地区倒春寒变化规律, 利用 1951~2012 年北京地区 20 个气象站的逐日气温资料, 结合北京地区春季气候特点, 定义了北京地区倒春寒气候监测指标; 从倒春寒发生频率、站次比、年代际变化等方面, 分析了北京地区倒春寒的时空演变特征。结果表明, 观象台的倒春寒等级序列对于农区和城区来说均有很好的代表性, 北京地区倒春寒测站总数存在明显的年际变化; 除佛爷顶以外, 林区的弱倒春寒频率较高, 在 40% 以上; 除佛爷顶和汤河口外, 林区强倒春寒频率在 10% 以上; 农区弱倒春寒频率在 20%~40%, 除石景山以外, 农区强倒春寒频率在 10% 以下。总的来说, 北京地区倒春寒频率差异显著, 从南向北依次升高, 房山倒春寒频率最低, 为 21%, 汤河口最高, 为 54%; 弱倒春寒发生频率空间分布与总的倒春寒发生频率较为相似。

关键词 倒春寒; 春季; 气候季节; 时空变化

中图分类号 S426; P466 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2015)04-182-04

Spatiotemporal Evolution Characteristics of Late Spring Cold in Beijing under Global Climate Change

LIU Hai-tao¹, YANG Jie² (1. Beijing Municipal Climate Center, Beijing 100089; 2. Beijing Meteorological Observatory, Beijing 100089)

Abstract In order to master the characteristics of late spring cold (LSC) in Beijing, the late spring cold intensity index and disaster grade division standard was defined combined with the spring climate characteristics by using daily temperature data from 20 meteorological stations in Beijing. The spatiotemporal characteristics of LSC, including LSC occurrence frequency, ratio of LSC-occurring stations to all stations, decadal variation was analyzed in this paper. The results showed that the time series of LSC of the Beijing Observatory station was representative for agriculture area and city area in Beijing. Results indicated that LSC occurrence frequency had obvious interannual variations under the background of global warming. The occurrence frequency of no LSC was the highest, followed by weak LSC and the strong LSC. Studies showed that the occurring frequency of weak LSC was more than 40% except the Foyeding Observatory station in forest region and that the occurring frequency of strong LSC was more than 10% except the Foyeding and Tanghekou Observatory station in forest region. The occurring frequency of weak LSC was between 20% and 40% and the occurring frequency of strong LSC was under 10% in agricultural area. In general, the occurring frequency rises from the south to the north region in Beijing. Fangshan has the lowest frequency of LSC (21%) and Tanghekou has the highest frequency of LSC (54%). The spatial distribution characteristics of weak LSC is similar to that of total LSC.

Key words Late spring cold; Spring; Climatic season; Temporal and spatial variation

在全球变暖背景下, 气象灾害的时空分布特征正在发生重大变化, 气象防灾减灾的形势越来越严峻^[1]。气象条件是限制林业、农业生产的最重要因素之一, 倒春寒就是一种非常严重的林业和农业气象灾害, 是指春天由于受较强冷空气频繁袭击气温下降较快, 并造成大范围地区树木和农作物持续受冻害的天气气候现象^[2]。倒春寒常引起我国北方花生、蔬菜、棉花和小麦的烂种现象, 也会影响我国南方水稻播种、出苗和生长, 给农业和林业生产等带来严重危害^[1,3-7]。我国学者对倒春寒发生规律等方面也进行了一些研究^[1,3-9], 如李勇等基于贵州省气象站的逐日平均气温资料, 定义了倒春寒强度指数指标和灾害等级划分标准^[3]; 黄继用等提出由不同持续天数确定倒春寒等级的方法^[10]; 尤红等对倒春寒灾害天气进行了成因诊断分析^[4,7]。

倒春寒也是对北京地区林业与农业危害较大的极端气候灾害。由于北京地区 3~5 月份正值作物和果树生长期, 如果出现倒春寒将造成严重损失。如 2010 年 4 月, 据不完全统计, 北京郊区樱桃有 1 333.3 hm² 进入结果期, 预计产量超过 400 万 kg, 由于遭遇了倒春寒, 约有 60% 的樱桃减产, 还造成北京郊区旅游业损失严重。由此可以看出倒春寒造成的社会经济损失是非常巨大的。农业和林业防御倒春寒的

危害, 除提高栽培管理水平和保温育苗之外, 还需要依据各地倒春寒的发生规律, 做好监测预警和预测工作, 以避免其危害。加强倒春寒发生规律的研究, 对于提高防灾减灾的能力、趋利避害以及保障林业、农业增产具有十分重要的意义^[11-12]。对于北京及华北地区倒春寒的气候监测和气候预测方法的研究还比较少, 目前北京地区还没有统一的、规范的、操作性强的倒春寒业务化指标。因此研究针对北京地区倒春寒的气候监测方法, 既是提高气候服务水平、适应现代气候业务发展需要的工作, 也是提高抗灾减灾服务质量所需要的工作, 具有重要的现实意义和应用价值。该研究根据北京地区气候特点, 结合倒春寒历史记录, 从倒春寒发生频率、年际变化等方面分析气候变化背景下北京地区 1951~2012 年倒春寒发生规律, 建立北京地区倒春寒气候监测模型, 为北京地区防灾减灾提供科学依据。

1 资料和方法

1.1 资料选取 选取北京各测站从建站到 2012 年 12 月 31 日平均气温资料, 资料来自北京气象局信息中心, 经过了严格的质量控制。北京地区测站可分为林区、农区和城区测站。林区测站有汤河口、上甸子、斋堂、霞云岭、佛爷顶, 农区测站有顺义、密云、怀柔、通州、大兴、门头沟、房山、延庆、昌平、平谷 10 个远郊区县站, 城区测站有朝阳、海淀、丰台、石景山、观象台。该研究采用了气候季节定义, 即 5 d 滑动平均气温稳定 ≤ 10℃ 为冬季, ≥ 22℃ 为夏季, 10~22℃ 为春秋季节, 所谓“稳定”就是滑动平均气温高于(春、夏季)或低于

基金项目 公益性(气象)行业科研专项(GYHY201306033)。

作者简介 刘海涛(1971-), 男, 江苏徐州人, 高级工程师, 博士, 从事气候变化研究。

收稿日期 2014-12-11

(秋、冬季)规定的指标持续 5 d 以上^[13-14]。

1.2 倒春寒气象指标 尽管在各地气象服务中均有倒春寒的概念,由于北京地区气候复杂多样,目前还没有统一的、规范的、操作性强的业务化指标,因此在制定可供北京地区气象服务的倒春寒气象指标时,代表性、通用性、可操作性是必须要遵守的原则。目前可以查到的北京地区倒春寒指标定义如下,发生在 2 月下旬~4 月上旬,满足以下 3 个条件之一者,确定为倒春寒天气过程:①日平均气温 5 d 平均 $\geq 5\text{ }^{\circ}\text{C}$,然后气温下降,最低气温 $\leq -5\text{ }^{\circ}\text{C}$;②日平均气温 6 d 平均 $\geq 4\text{ }^{\circ}\text{C}$,然后气温下降,最低气温 $\leq -4\text{ }^{\circ}\text{C}$,连续 2 d,这种升降温过程要重复 2 次以上;③连续 6 d 日平均气温达 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$,然后气温下降,最低气温降至 $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。以上指标简称为旧指标。根据以上定义,通过实际计算检验得知,北京地区倒春寒旧指标存在以下几点问题。

1.2.1 春季的定义问题。北京地区很多倒春寒发生在 4 月下旬~5 月上旬,旧指标定义发生时段在 2 月下旬~4 月上旬会漏掉很多年份的倒春寒。“倒春寒”顾名思义应该是发生在春天的现象,参考国家标准《气候季节划分》,进入春天的气象指标一般采用日平均气温稳定通过 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的日期^[14]。由于我国各地气候差异大,各地稳定通过 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的日期差别很大,考虑到各地每年春季的开始日期和结束日期是动态变化的,并不是固定的,因此将春季简单确定为每年的 3~5 月并不合适,这也是旧指标的局限之一。因此首先需要根据《气候季节划分》的定义,确定春季的开始日期和结束日期,从而界定了倒春寒的发生时段,把倒春寒与发生在冬季与夏季的冷空气活动区别开。

1.2.2 指标阈值问题。由于北京地区气候差异显著,在 2 月下旬~4 月上旬 50 d 左右的时间段里,北京地区逐日气温上升很快,而旧指标采用气温绝对值作为北京地区倒春寒判定,采用同样的逐日气温和逐日最低气温标准显然不合理。北京地区春季气候的最大特点就是乍暖还寒:一是春季的气温日夜温差较大;二是春季冷空气活动频繁,天气变化较多。倒春寒出现的主要指标是冷空气入侵造成比较明显的降温,参考国家标准《冷空气等级》^[15]和《寒潮等级》^[16],采用中等偏弱冷空气活动 24 h 降温 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 作为倒春寒出现的气象指标。在各地开展的倒春寒气象服务指标中,很多均用到了日平均气温、极端最低气温 2 个指标^[3-9]。因为各地气候生态特性不一样,无法形成统一的标准,采用气温降幅和气温距平就不会出现上述问题。

1.2.3 旧指标没有给出倒春寒过程结束的定量标准。在倒春寒天气过程结束时,需要给出一个指标来界定是否结束,采用“回复正常”即“当日日平均气温超过 5 d 滑动平均气候标准值”作为过程结束的指标,可以保证气候代表性。

由于旧指标在北京地区气候服务过程中,并没有很规范的倒春寒过程的指标界定和历史记录,在制定过程中所做的检验只是针对常规气象资料做的测算,也未与历史上的倒春寒天气过程进行对比,因此应根据当地的天气气候特点及时组织修订。

综合目前国内外研究,结合北京地区天气气候特点,针对北京地区倒春寒旧指标的不足,现给出新的北京地区倒春寒定义,即北京地区倒春寒是指发生在春季,在春季回暖过程中,由于受较强冷空气频繁袭击,气温下降较快,气温持续低于同一历史时期气候平均值,持续时间长达 3 d 以上那种前暖后冷,并造成大范围地区林业和农作物受冻害的天气气候现象。新指标定义了 ΔT (最大降温幅度)、 δT (过程气温距平)、 L (过程持续时间)3 个倒春寒特征参数。最大降温幅度 ΔT 是指倒春寒过程中日平均气温的 24 h(ΔT_{24})或 48 h(ΔT_{48})降温幅度的最大值,气温距平 δT 是指倒春寒过程平均气温的距平值($^{\circ}\text{C}$),持续时间 L 是指倒春寒出现到终止持续的天数(d)。 ΔT 指标的选取参考了冷空气等级和寒潮等级国家标准中的降温指标^[15-16]; δT 界限值参考了农业气候评价中对于与倒春寒天气过程的时间尺度相近的周、旬平均气温异常程度的判别而制定; L 参数参照了日常农业气象服务中“造成农业灾害的不利气象因素一般要持续 3 d 以上”而确定。根据 ΔT 、 δT 、 L 的不同组合情况,可以得到北京地区各测站的倒春寒等级序列。北京地区倒春寒等级可以分为弱倒春寒和强倒春寒 2 级。北京地区倒春寒等级指标如表 1 所示。该标准规定了倒春寒的定义、倒春寒起始日期、终止日期和倒春寒等级气象指标,适用于北京地区倒春寒的界定,可供农业和林业气象服务参考。

表 1 北京地区倒春寒等级气象指标

倒春寒等级	最大降温幅度 $\Delta T/^{\circ}\text{C}$	过程气温距平 $\delta T/^{\circ}\text{C}$	过程持续时间 L/d
弱倒春寒	$6 < \Delta T_{24} \leq 10$ 或 $8 < \Delta T_{48} \leq 12$	$-4 \leq \delta T < -2$	$5 \leq L < 10$
强倒春寒	$\Delta T_{24} > 10$ 或 $\Delta T_{48} > 12$	$\delta T < -4$	$L \geq 10$

2 倒春寒演变特征

2.1 北京地区倒春寒统计

2.1.1 林区倒春寒。由于北京农区、城区与林区气候差异较大,定义一个北京地区统一的倒春寒标准显然不合适,因此可对农区与城区、林区分别考虑。由表 2 可见,在同一时期,林区测站中,如果至少 2 个测站出现倒春寒,且其中至少 1 个测站为强倒春寒,则定义为一次林区弱倒春寒事件;在同一时期,林区测站中,有 3 个或 3 个以上测站出现弱倒春寒,则定义为一次林区弱倒春寒事件;在同一时期,林区测站中,有 2 个或 2 个以上测站出现强倒春寒,则定义为林区强倒春寒。根据以上定义,1965、1979、1986、1987 和 2001 年为林区强倒春寒年,1960、1977、1978、1988、1991、1995、1998、2002、2006、2008、2011 年为林区弱倒春寒年,其余年份未出现倒春寒。

2.1.2 农区和城区倒春寒。统计北京地区农区倒春寒(表 3)发现,在同一时期,如果农区 10 个测站中至少 5 个测站出现弱倒春寒事件,则定义为农区弱倒春寒事件;在同一时期,出现倒春寒事件时,如果至少 4 个测站出现强倒春寒事件,

表2 北京地区林区倒春寒统计

年份	汤河口	上甸子	斋堂	霞云岭	延庆	持续时间//d	开始日期	结束日期	区域等级
1960		1(65~71)		2(65~71)	2(65~71)	7	05-04	05-10	1
1965		2(48~67)		2(48~53)	2(48~67)	20	04-17	05-06	2
1977	1(74~76)	1(74~77)	2(74~83)	0	1(47~49)	10	05-13	05-22	1
1978	1(76~78)	1(76~78)	1(76~79)	0	1(76~79)	3	05-15	05-17	1
1979	1(55~62)	1(55~62)	2(55~79)	2(55~62)	1(66~86)	8	04-24	05-01	2
1986	2(50~59)	2(50~59)	2(50~59)	2(50~59)	1(50~60)	10	04-19	04-28	2
1987	1(41~57)	2(40~57)	2(40~50)	1(62~66)	2(97~110)	10	04-10	04-19	2
1988	1(48~54)	2(48~54)	1(48~55)	1(48~54)	1(48~54)	7	04-17	04-23	1
1991	1(55~70)	1(55~69)	1(55~69)	1(83~94)	1(55~69)	15	04-24	05-08	1
1995	1(62~65)	1(62~65)	1(62~65)	1(62~65)	1(62~65)	4	05-01	05-04	1
1998	1(82~105)	0	1(82~105)	1(82~99)	1(82~98)	17	05-21	06-06	1
2001	0	2(25~44)	2(25~43)	2(25~44)	0	19	03-25	04-12	2
2002	2(53~63)	1(53~63)	1(53~68)	1(53~68)	1(53~63)	11	04-22	05-02	1
2006	0	2(36~58)	0	1(43~59)	0	16	04-12	04-27	1

注:表中数据为倒春寒等级,0表示没有倒春寒,1表示出现弱倒春寒,2表示出现强倒春寒;表中()中的数字为从3月1日开始计算的天数,分别为该站某年倒春寒的起始日期和结束日期。

表3 北京地区农区倒春寒统计

年份	顺义	密云	怀柔	通州	大兴	门头沟	房山	延庆	昌平	平谷	持续时间 d	开始日期	结束日期	等级
1960	1(65~81)	1(65~71)	1(65~71)	1(65~71)	1(65~81)	0	0	2(65~71)	0	1(65~71)	7	05-04	05-10	1
1965	2(48~67)	2(48~53)	2(48~67)	2(48~67)	2(48~67)	2(48~67)	2(48~67)	2(48~67)	2(48~67)	2(48~53)	20	04-17	05-06	2
1967	1(37~50)	0	1(37~50)	0	1(37~50)	1(37~50)	1(37~50)	0	1(37~50)	1(37~50)	14	04-06	04-19	1
1969	1(45~59)	0	0	0	1(45~59)	2(45~59)	0	0	1(45~59)	1(72~74)	15	04-14	04-28	1
1979	2(56~79)	1(56~79)	2(43~78)	0	2(56~78)	2(43~78)	2(43~78)	1(66~86)	2(42~78)	2(55~79)	23	04-25	05-17	2
1987	2(40~57)	2(40~58)	2(40~58)	2(40~58)	2(40~57)	2(40~58)	2(40~57)	2(97~110)~	2(40~58)	1(41~58)	19	04-09	04-27	2
1990	1(78~87)	1(53~68)	1(33~38)	1(78~87)	1(78~87)	0	0	1(78~87)	0	0	10	05-17	05-26	1
1991	1(55~69)	1(55~70)	1(55~68)	1(37~50)	0	1(55~68)	0	1(55~69)	0	1(55~70)	14	04-24	05-07	1
1993	1(34~43)	1(34~44)	1(34~44)	1(34~43)	1(34~43)	1(34~44)	1(34~44)	1(54~63)	1(34~44)	1(34~45)	11	04-03	04-13	1
1995	1(62~75)	2(62~76)	0	1(62~75)	1(62~65)	2(62~76)	1(41~50)	1(62~65)	2(62~75)	2(62~75)	14	05-01	05-14	2
2001	2(25~43)	0	2(25~43)	0	0	0	0	0	1(25~31)	0	7	03-25	03-31	1
2002	1(53~63)	1(53~63)	1(47~63)	1(53~63)	1(53~63)	1(53~63)	1(53~63)	1(53~63)	1(53~63)	1(53~63)	11	04-22	05-02	1
2006	0	0	1(47~58)	1(39~57)	1(43~52)	1(39~58)	1(43~58)	0	1(39~58)	2(36~51)	16	04-12	04-27	1
2010	1(40~60)	1(57~61)	0	1(40~60)	1(42~60)	1(42~60)	1(42~61)	0	1(42~60)	1(40~61)	20	04-11	04-30	1

注:表中数据为倒春寒等级,0表示没有倒春寒,1表示出现弱倒春寒,2表示出现强倒春寒;表中()中的数字为从3月1日开始计算的天数,分别为该站某年倒春寒的起始日期和结束日期。

表4 北京城区倒春寒统计

年份	朝阳	海淀	丰台	石景山	观象台	持续时间//d	开始日期	结束日期	等级
1960	1(65~81)		0		0	7	05-04	05-10	1
1965	2(48~67)		2(48~67)		2(48~67)	20	04-17	05-06	2
1967	1(37~50)		1(37~50)		1(37~50)	14	04-06	04-19	1
1969	0		1(45~59)		1(45~59)	15	04-14	04-28	1
1979	2(37~62)	2(43~78)	2(42~78)	2(42~78)	2(55~79)	23	04-25	05-17	2
1987	2(40~57)	2(40~58)	2(40~57)	2(40~58)	2(40~57)	19	04-09	04-27	2
1990	1(78~87)	1(78~87)	1(78~87)	1(78~87)	0	10	05-17	05-26	1
1991	1(55~68)	1(55~68)	0	1(55~68)	1(55~68)	14	04-24	05-07	1
1993	1(34~43)	1(34~44)	1(34~44)	1(34~44)	1(34~43)	11	04-03	04-13	1
1995	1(62~75)	2(62~75)	1(62~65)	2(62~75)	1(62~65)	14	05-01	05-14	2
2001	0	1(25~31)	0	2(25~41)	1(25~41)	7	03-25	03-31	1
2002	1(53~68)	1(53~63)	0	0	1(53~68)	11	04-22	05-02	1
2006	1(39~58)	1(39~58)	1(39~58)	1(39~58)	1(39~58)	16	04-12	04-27	1
2010	1(40~60)	1(42~60)	1(42~60)	1(42~60)	1(40~60)	20	04-11	04-30	1

注:表中数据为倒春寒等级,0表示没有倒春寒,1表示出现弱倒春寒,2表示出现强倒春寒;表中()中的数字为从3月1日开始计算的天数,分别为该站某年倒春寒的起始日期和结束日期。

则定义为农区强倒春寒事件。按照以上标准,北京农区 1960、1965、1967、1969、1979、1987、1990、1991、1993、1995、2001、2002、2006、2010 年为倒春寒年,其中 1965、1979、1987、1995 年为强倒春寒年,其余年份未出现倒春寒。统计北京地区城区倒春寒(表 4)发现,在同一时期,如果城区 5 个测站中至少 3 个测站出现弱倒春寒事件,则定义为城区弱倒春寒事件;在同一时期,出现倒春寒事件时,如果至少 2 个测站出现强倒春寒,则定义为城区强倒春寒事件。从表 3 和表 4 可以发现,农区和城区的倒春寒出现日期和强度具有高度的相关。为了研究农区和城区倒春寒事件的联系,计算了观象台倒春寒等级序列与其他测站倒春寒等级序列之间的相关系数。研究表明,观象台倒春寒等级序列与顺义、密云、怀柔、通州、大兴、门头沟、房山、平谷、昌平等农区测站的倒春寒等级序列的相关系数分别为 0.81、0.57、0.77、0.60、0.72、0.81、0.80、0.75、0.83,均通过了 0.01 的信度检验;观象台与城区朝阳、海淀、丰台、石景山之间的相关系数分别为 0.75、0.90、0.75、0.78,也均通过了 0.01 的信度检验;观象台倒春寒等级序列与延庆之间的相关系数为 0.24,没有通过 0.01 的信度检验;观象台倒春寒等级序列与林区汤河口、上甸子、斋堂、霞云岭等测站之间的相关系数分别为 0.06、0.44、0.42、0.39,除了与上甸子的相关系数通过 0.01 的信度检验外,与其余测站的相关不显著。上

述相关系数的分析表明,观象台的倒春寒等级序列与农区(除延庆外)和城区各测站的倒春寒等级序列相关均比较好,观象台的倒春寒等级序列与林区的倒春寒等级序列相关较低。由此可见,观象台的倒春寒等级序列基本可以代表北京地区农区和城区的倒春寒情况,表明观象台的倒春寒等级序列对于农区和城区来说均有很好的代表性。

2.2 倒春寒频率分布 倒春寒发生频率(F_i)定义为 $F_i = n/N \times 100\%$,式中, N 为某站气象资料的总年数, n 为该站发生倒春寒的年数,可按不同等级的倒春寒发生年数计算同等级倒春寒频率。从 1981~2012 年北京倒春寒等级频率空间分布(图 1)可以看到,除佛爷顶以外,林区的弱倒春寒发生频率较高,在 40% 以上;西部山区的斋堂和北部山区的上甸子强倒春寒发生频率较高,强倒春寒频率在 10% 以上;农区弱倒春寒发生频率在 20%~40%,除石景山以外,平原地区各测站强倒春寒发生频率较低,农区强倒春寒基本在 10% 以下,大兴在 1981~2012 年间仅有 1987 年有一次强倒春寒。由此可知,弱倒春寒发生频率的空间分布与总的倒春寒发生频率较为相似,这是因为各站弱倒春寒发生次数远比强倒春寒次数多。总的来说,北京地区倒春寒频率差异显著,从南向北依次升高,房山倒春寒发生频率最低,为 21%,汤河口最高,为 54%。

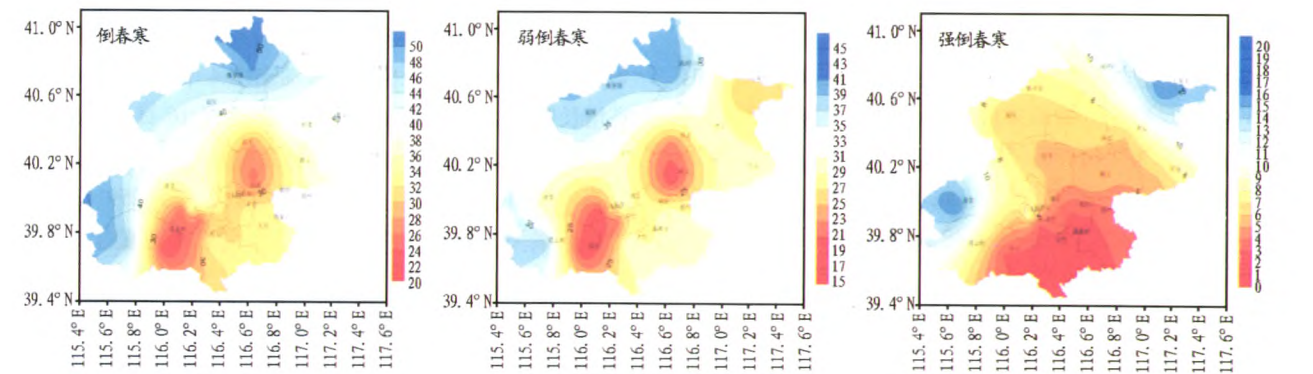


图 1 1981~2012 年北京地区倒春寒等级频率空间分布(单位:%)

2.3 倒春寒测站总数演变 从 1977~2012 年北京地区发生倒春寒测站总数演变(图 2)可看到,1986 年前,除 1979 年以外,北京地区农区和城区倒春寒发生测站总数较少,1987~1995 年北京农区和城区倒春寒发生测站总数明显增多,

1987、1990、1991、1993、1995 年农区和城区倒春寒发生测站总数均超过 10 个;而 1996~2001 年农区和城区发生倒春寒测站总数减少,1997、1999、2000 年城区均未发生倒春寒;2002 年后农区和城区发生倒春寒测站总数有增加的趋势,其中

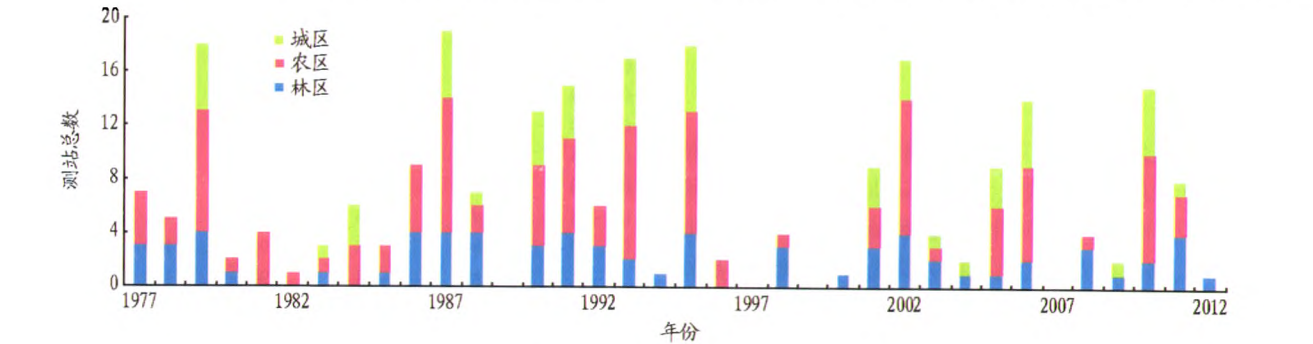


图 2 1977~2012 年北京倒春寒的测站总数演变

- [11] 向彩虹. 珠江河口水生生物中 PBDEs 的初步研究[D]. 北京:中国科学院研究生院, 2006:27-55.
- [12] INGER J, KARINE H M, GUIOT N. Catherine Munschy. Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in mussels from selected French coastal sites[J]. Chemosphere, 2006, 64:296-305.
- [13] ALLCHIN C R, LAW R J, MORRIS S. Polybrominated diphenyl ethers in sediments and biota downstream of potential sources in the UK[J]. Environmental Pollution, 1999, 105:197-207.
- [14] OROS D R, HOOVER D, CRANE D, et al. Levels and distribution of polybrominated diphenyl ethers in water, surface sediments and bivalves from the San Francisco Estuary[J]. Environmental Science and Technology, 2005, 39:33-41.
- [15] BETHUNE C, NIELSEN J, JULSHAMN K. Current levels of primary polybrominated diphenyl ethers in Norwegian seafood[J]. Organohalogen Compounds, 2004, 66:3861-3866.
- [16] MOON H B, KANNAN K, LEE S J, et al. Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in sediment and bivalves from Korean coastal waters[J]. Chemosphere, 2007, 66(2):243-251.
- [17] BAYEN S, THOMAS G O, LEE H K, et al. Occurrence of polychlorinated biphenyls and polybrominated diphenyl ethers in green mussels (*Perna viridis*) from Singapore, Southeast Asia[J]. Environmental Toxicology and Chemistry, 2003, 22:2432-2437.
- [18] CHRISTENSEN J H, GLASIUS M, PECSELI M, et al. Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in marine fish and blue mussels from Southern Greenland[J]. Chemosphere, 2002, 47:631-638.
- [19] CHRISTENSEN J H, PLATZ J. Screening of polybrominated diphenyl ethers in blue mussels, marine and freshwater sediments in Denmark[J]. Journal of Environment Monitoring, 2001, 3:543-547.
- [20] JOHANSSON I, GUIOT N, MUNSCHY C. Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in mussels from selected French coastal sites[J]. Chemosphere, 2006, 64:296-305.
- [21] PAN J, YANG Y L, CHEN D Z, et al. PCBs, PCNs and PBDEs in sediments and mussels from Qingdao coastal sea in the frame of current circulations and influence of sewage sludge[J]. Chemosphere, 2007, 66:1971-1982.
- [22] YING LIU, ZHENG G J, YU H X, et al. Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in sediments and mussel tissues from Hong Kong marine waters[J]. Marine Pollution Bulletin, 2005, 50:1173-1184.
- [23] 国家海洋局. 海洋污染概况[M]. 北京:石油化学工业出版社, 1975:122-127.

(上接第 185 页)

2002、2005、2006、2010 年农区和城区发生倒春寒测站总数均超过 7 个。以上分析可见,北京地区农区和城区发生倒春寒测站总数存在明显的年际变化和年代际变化。

3 结论与讨论

综合目前的研究,结合北京地区天气气候特点,给出了北京地区倒春寒气象指标新定义,新指标定义了最大降温幅度、过程气温距平和过程持续时间 3 个倒春寒特征参数。研究表明,观象台的倒春寒等级序列对于农区和城区来说均有很好的代表性;北京地区农区和城区发生倒春寒测站总数存在明显的年际变化;除佛爷顶以外,林区的倒春寒发生频率较高,在 40% 以上,除佛爷顶和汤河口外,林区强倒春寒在 10% 以上;农区倒春寒发生频率在 20%~40%,除石景山以外,农区强倒春寒在 10% 以下。总的来说,北京地区倒春寒发生频率差异显著,从南向北依次升高,房山倒春寒发生频率最低,为 21%,汤河口最高,为 54%;弱倒春寒发生频率空间分布与总的倒春寒发生频率较为相似。

目前国内外在倒春寒的指标研究方面,几乎所有现有指数和指标均是仅针对单一台站,该研究的倒春寒指标也是基于单站的倒春寒气候监测指标。倒春寒等气候事件总是具有一定的持续时间以及表现为一定的影响范围,即区域性倒春寒事件。因此若要识别出区域倒春寒事件,需要解决时间连续性识别(时间分离)和逐日自然异常带分离(空间分离)2 个关键技术^[17-18]。结合国内外气候监测的最新进展,区域性指标研究正逐步成为倒春寒等区域性气候事件研究中一个新的领域^[17-18]。

参考文献

- [1] 王春乙, 娄秀荣, 王建林. 中国农业气象灾害对作物产量的影响[J]. 气象, 2007, 16(5):37-43.
- [2] 《大气科学辞典》编委会. 大气科学辞典[M]. 北京:气象出版社, 1994:980.
- [3] 李勇, 杨晓光, 代妹玮, 等. 气候变化背景下贵州省倒春寒灾害时空演变特征[J]. 应用生态学报, 2010(8):2099-2108.
- [4] 尤红, 曹中和, 郭文华, 等. 昆明静止锋下的云南强倒春寒天气分析[J]. 气象, 2006, 32(3):56-62.
- [5] 张淑惠. 福建的倒春寒及其环流背景[J]. 气象, 1996, 22(3):51-53.
- [6] 张云瑾, 尹红梅. 云南 70-90 年代倒春寒的天气气候特征[J]. 云南大学学报:自然科学版, 1999, 21(5):370-373.
- [7] 周国莲, 普贵明, 李磊, 等. 2005 年 3 月云南倒春寒天气的成因分析[J]. 气象, 2006, 32(12):82-87.
- [8] 郑建萌, 段旭. 云南春季强低温的诊断分析[J]. 气象, 2001, 27(5):35-37.
- [9] 张云瑾, 戴卫帮, 程建刚. 云南省“倒春寒”灾害性天气的研究[J]. 云南地理环境研究, 2007, 19(3):15-17.
- [10] 黄继用, 毛荣华. 贵州倒春寒的气候统计分析[J]. 贵州气象, 1994, 18(1):11-17.
- [11] 肖子牛. 我国短期气候监测预测业务进展[J]. 气象, 2010(7):21-25.
- [12] 李清泉, 孙丞虎, 袁媛, 等. 近 20 年我国气候监测诊断业务技术的主要进展[J]. 应用气象学报, 2013(6):666-676.
- [13] 张宝堃. 中国季节之分配[J]. 地理学报, 1934, 1(1):29-74.
- [14] 中国气象局. 气候季节划分. 中华人民共和国气象行业标准 QX/T 152-2012[S]. 北京:气象出版社, 2012.
- [15] 中华人民共和国质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 冷空气等级. 中华人民共和国国家标准 GB/T 20484-2006[S]. 北京:中国标准出版社, 2006.
- [16] 中华人民共和国质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 寒潮等级. 中华人民共和国国家标准 GB/T 21987-2008[S]. 北京:中国标准出版社, 2008.
- [17] 龚志强, 王晓娟, 崔冬林, 等. 区域性极端低温事件的识别及其变化特征[J]. 应用气象学报, 2012(2):195-204.
- [18] 王艳姣, 任福民, 闫峰. 中国区域持续性高温事件时空变化特征研究[J]. 地理科学, 2013(3):314-321.