

青岛地区倒春寒时空特征及气象指标研究

李德萍, 张凯静, 张璐, 董海鹰, 郭丽娜, 刘学刚

引用本文:

李德萍, 张凯静, 张璐, 等. 青岛地区倒春寒时空特征及气象指标研究[J]. *中国生态农业学报(中英文)*, 2020, 28(11): 1673–1681.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.200560>

(向下翻页, 阅读全文)

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

西南区域水稻关键生育期界限温度起始期的预测研究

Prediction of threshold temperature start date for rice at critical development stages in Southwest China

中国生态农业学报(中英文). 2019, 27(8): 1172–1182 <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.180686>

近30年中国主要农业气象灾害典型场时空格局分异特征

Spatio-temporal patterns of typical agro-meteorological disasters in China in the past 30 years

中国生态农业学报. 2018, 26(9): 1302–1314 <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.170697>

山东省干旱时空分布特征及其与ENSO的相关性

Spatio-temporal distribution characteristics of drought in Shandong Province and its relationship with ENSO

中国生态农业学报. 2018, 26(8): 1236–1248 <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.171024>

气候变化对四川盆地主要粮食作物生产潜力的影响

Impact of climate change on potential productivities of main grain crops in the Sichuan Basin

中国生态农业学报(中英文). 2020, 28(11): 1661–1672 <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.200150>

淮北平原夏玉米花期高温热害综合气候指标研究

Use of integrated climatic index to determine high temperature damage to summer maize at florescence in the Huaibei Plain

中国生态农业学报. 2015(8): 1035–1044 <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.150061>

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.200560

李德萍, 张凯静, 张璐, 董海鹰, 郭丽娜, 刘学刚. 青岛地区倒春寒时空特征及气象指标研究[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2020, 28(11): 1673–1681

LI D P, ZHANG K J, ZHANG L, DONG H Y, GUO L N, LIU X G. Spatial and temporal characteristics and meteorological indexes of late spring coldness in Qingdao[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2020, 28(11): 1673–1681

青岛地区倒春寒时空特征及气象指标研究*

李德萍^{1,2}, 张凯静², 张璐², 董海鹰², 郭丽娜², 刘学刚²

(1. 青岛市气象灾害防御工程技术研究中心 青岛 266003; 2. 青岛市气象局 青岛 266003)

摘要: 本文基于青岛地区 7 个国家气象站 1961—2015 年 3—5 月逐日平均气温、最低气温资料及农作物霜冻、低温冷害或冻害资料, 依据 GB/T 34816—2017《倒春寒气象指标》, 统计研究出倒春寒气象指标及时空特征, 为提高作物防御能力提供参考。结果表明, 青岛地区倒春寒分轻度和中度两级, 分别占 67.3%和 32.7%, 无重度。倒春寒年均发生 1.1 站次, 主要在 4 月份。自 20 世纪 90 年代以来, 年际或年代际变化主要呈减少趋势。空间分布从西北部地区到东南沿海逐渐减少, 即墨中度出现概率最大。进一步分析得知, 倒春寒致灾概率为 26.3%。通过灾情发生时气象条件分析得出致灾性倒春寒气象指标: 轻度型最低气温降至 0~5℃、过程平均气温偏低 2~4℃, 持续时间 3~5 d; 中度型最低气温降至 0℃以下、过程平均气温偏低 4℃以上, 持续时间 6 d 以上。从影响范围、发生时间和致灾性分析, 青岛地区中度倒春寒范围大, 为区域性发生, 出现在 3 月下旬—4 月中旬, 可造成农作物冻害; 轻度倒春寒影响范围较小, 一般 2 站以下, 出现时间略晚, 4 月中下旬概率较大, 易造成霜冻或低温冷害。总之, 春季冷空气入侵引发青岛地区倒春寒天气现象, 其中 26.3%为致灾性倒春寒, 造成农业生产经济损失。值得重视的是轻度倒春寒, 因其发生频率高于中度, 且发生时段与本地主要农作物生长关键期重叠, 如小麦拔节—孕穗期、大部分果树开花期, 需加以防范。

关键词: 倒春寒; 气象指标; 致灾概率; 时空特征; 发生时间; 致灾性

中图分类号: S426

开放科学码(资源服务)标识码(OSID):



Spatial and temporal characteristics and meteorological indexes of late spring coldness in Qingdao*

LI Deping^{1,2}, ZHANG Kaijing², ZHANG Lu², DONG Haiying², GUO Lina², LIU Xuegang²

(1. Qingdao Engineering Technology Research Center for Meteorological Disaster Prevention, Qingdao 266003, China; 2. Qingdao Meteorological Bureau, Qingdao 266003, China)

Abstract: Meteorological services play a role in agriculture and improve defense capability. This study used data from seven national meteorological stations in Qingdao, China, including the daily mean and minimum temperatures during the spring (3–5 months) of 1961–2015 and the crop frost or low-temperature damage from disasters, as categorized by the national standard of GB/T 34816–2017 “meteorological indicators of late spring coldness.” The meteorological index and temporal and spatial characteristics of the late spring coldness were statistically analyzed. The results showed that there were two grades of mild and moderate cold periods (no severe) in late spring (67.3% and 32.7%, respectively). The average annual occurrence of

* 中国气象局气候变化专项(CCSF201417)和青岛市气象局科研项目(2015qdxm10)资助

李德萍, 主要从事气候趋势预测、气候变化及农业气象应用等研究。E-mail: ldp108@126.com

收稿日期: 2020-07-10 接受日期: 2020-09-04

* This study was supported by the Climate Change Program of China Meteorological Administration (CCSF201417) and the Research Program of Qingdao Meteorological Administration (2015qdxm10).

Corresponding author, LI Deping, E-mail: ldp108@126.com

Received Jul. 10, 2020; accepted Sep. 4, 2020

late spring coldness was 1.1 stations, mainly in April. Since the 1990s, the interannual or intergenerational changes had decreased, and the spatial distribution gradually decreased from the northwest to the southeast coast. Moderate Jimo had the greatest probability of occurrence, and the probability of causing late spring coldness was 26.3%. Based on the meteorological conditions of the disaster, we can derive the meteorological index of disaster-induced late spring coldness. The mild minimum temperature dropped to 0–5 °C, the average temperature anomaly was –4 to –2 °C, and the duration was 3–5 days. The moderate minimum temperature dropped below 0 °C, and the average temperature anomaly was <–4 °C for more than 6 days. From the influence scope, occurrence time, and disaster-causing analysis, the moderate spring coldness impact range was regional and occurred from late March to mid-April, which may cause crop freezing damage. The mild influence range was small, generally < 2 stations, the time was late, and the probability was greater in the middle and late April, which may cause frost or chilling damage. The cold spring weather caused late spring coldness; 26.3% of the coldness resulted in agricultural production-associated economic losses. Interestingly, the frequency of mild late spring coldness was higher than that of moderate late spring coldness, and the occurrence time overlapped with the critical growth period of the main crops (i.e., the wheat jointing stage to booting stage, the flowering stage of most fruit trees). This needs to be prevented. Frost damage, late frost injury, or low-temperature damage in the Qingdao area were all caused by late spring coldness. The interannual variability of the late spring coldness in Qingdao was not obvious, even interdecadal variability had even increased, which was not consistent with the overall distribution in Qingdao. This was related to the regulatory effects of the ocean. There are temperature differences from the south-eastern coast to the north-western inland region of Qingdao, and the marine climate effects also gradually weaken.

Keywords: Late spring coldness; Meteorological index; Disaster probability; Spatiotemporal characteristics; Occurrence date; Catastrophability

在全球气候变暖背景下, 农业是气候变化最敏感的对象之一^[1]。当前我国正处在发展生态农业和产业振兴大业时期, 选用优良品种和科学栽培^[2-3]是提高农作物品质和产量的必由之路。然而, 我国是农业气象灾害多发重发地区之一^[4-5], 做好农业气象灾害及生态气象灾害监测预测^[6-7]对农业发展也十分重要。倒春寒是春季(3—5月)出现的前期暖后期冷, 且后期气温明显低于正常年份的天气现象^[8-9]。主要由冷空气频繁侵入等原因造成, 它们危及小麦(*Triticum aestivum*)、水稻(*Oryza sativa*)等作物时, 就会成为冻害、霜冻和春季低温冷害等农业气象灾害。近些年我国倒春寒时有发生^[10-11]。由于春季冷空气在长江流域以南等地造成的持续性低温阴雨天气, 严重威胁到早稻育秧及秧苗, 吴增福等^[12]给出了江南部分区域倒春寒的划分标准和预报方法。李勇等^[13]、张淑惠^[14]分别对贵州、福建倒春寒的时空演变规律等进行了研究。在北方对冻害、低温冷害及春季霜冻研究较多。王位泰等^[15]研究了黄土高原中部的甘肃冬小麦生长对春季晚霜冻变化的影响, 指出甘肃 1997 年以来 4 月极端最低气温波动幅度增大, 2001 年和 2006 年出现了最小值, 冻害严重。李茂松等^[16]指出我国冬小麦主产区冻害发生的频率近年来呈加剧趋势。桑婧等^[17]在研究近 30 年中国主要农业气象灾害典型场时空格局时发现, 我国在气候变化影响下, 低温冻害等主要农业气象灾害近几年受灾率等呈下降趋势, 但北方因灾损失程度却重于南方。与

春季霜冻和低温冷害研究相比, 北方地区倒春寒研究相对较少。刘海涛等^[18]研究北京地区倒春寒时空演变特征时指出, 北京地区倒春寒发生频率差异较大, 从南向北依次升高。青岛地处山东半岛东南部, 为气象灾害频发区域之一^[19], 辖区内除沿海城市经济区外, 也是地貌类型多样的良好农区^[20]。因农业气象灾害与气象灾害关系十分密切, 近年来受冷空气影响, 春季气温波动较大, 倒春寒天气时有发生。如 2013 年 4 月 19—20 日, 受较强冷空气影响, 青岛地区部分果树遭受冻害, 个别园片减产 60%~80%。况且百年来尤其 20 世纪 90 年代以来青岛平均气温是增暖趋势^[21-22]。当春季冷空气入侵时, 更易造成此类灾害性天气。北方地区有关倒春寒研究较少, 甚至概念也较模糊^[9,23], 而青岛地区的倒春寒更鲜有探讨, 因此对本地区倒春寒天气特征的研究尤为重要。2017 年 11 月 GB/T 34816—2017《倒春寒气象指标》颁布^[8]。本研究依其定义及相关方法, 对青岛地区前期气象数据进行统计分析, 探讨其倒春寒气象等级、发生概率及时空演变特征, 并通过分析本地灾情普查资料, 得出倒春寒致灾概率。进一步分析灾情发生时气象条件, 得出本地致灾性倒春寒的气象指标, 为预测倒春寒天气趋势, 提高防御能力及气象防灾减灾服务。

1 资料与方法

1.1 资料来源

气象资料选取青岛地区 7 个国家气象站

1961—2015 年共 55 年春季(3—5 月)逐日平均气温、最低气温资料。7 个国家气象站分别位于青岛、崂山、即墨、平度、莱西、胶州和黄岛(图 1)。图中崂山站位于李村(即李村站, 区别于崂山山脉), 青岛为单站(区别于青岛地区)。

灾情资料选取 1961—2015 年青岛地区农作物冻害、霜冻或低温冷害资料, 来源于青岛市民政局灾情普查、中国气象灾害大典(山东卷)^[24]及青岛市农业农村局的调查资料。气象资料和灾情资料可靠性和连续性能满足研究需求。

1.2 研究方法

据 GB/T 34816—2017《倒春寒气象指标》, 倒春寒为春季(3—5 月)出现的前期暖后期冷, 且后期气温明显低于正常年份的现象。倒春寒气象等级用气象指标 K 值表示, 分为 3 级, 计算公式为:

$$K = \delta T_1 / 4 - \delta T_2 / 2 + L / 10 \quad (1)$$

式中: δT_1 、 δT_2 和 L 分别为倒春寒前期偏暖程度、后期偏冷程度及过程持续时间^[8]。 $K \leq 3$ 为轻度倒春寒, $3 < K < 5$ 为中度倒春寒, $K \geq 5$ 为重度倒春寒。

根据定义, 首先确定前期偏暖程度 δT_1 、后期偏冷程度 δT_2 及持续时间 L 。 δT_1 为此前连续 10 d 平均气温距平, 必须大于或等于 0。 δT_2 表示春季某时段平均气温较常年同期偏冷期间偏冷程度最大的连续 10 d 平均气温距平, 必须小于 0。 L 表示持续时间, 为倒春寒起始日期到终止日期之间的天数(d), 应大于 3, 表示倒春寒天气持续天数超过 3 d。第二, 确定起始日期和终止日期。第三, 计算气象指标, 即对青岛地区 1961—2015 年共 55 年春季(3—5 月)逐日平均气温资料循环计算, 得到各站 1991—2015 年倒春寒气象指标 K 值(其中, 1961—1990 年数据作为第 1 个 30 年气候平均值使用)。然后按照 K 值大小划分倒春寒气象等级。

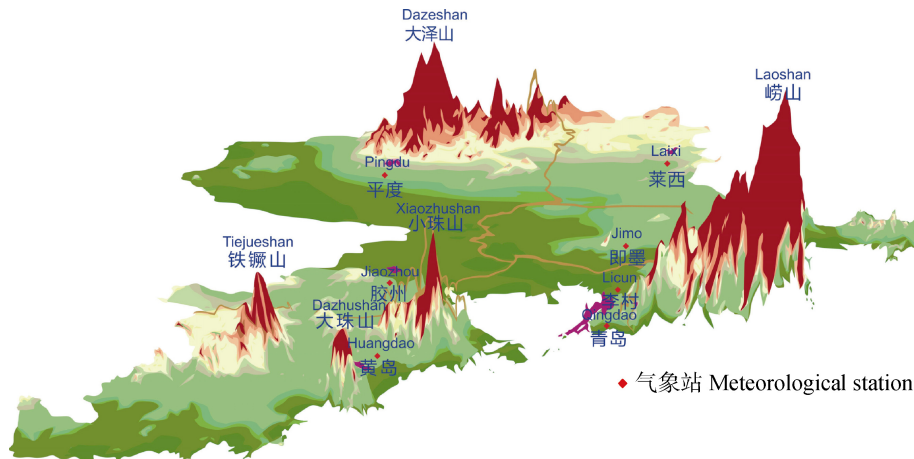


图 1 青岛地区地形和气象站点分布图

Fig. 1 Topography and distribution of meteorological stations in Qingdao area

2 结果与分析

2.1 青岛地区倒春寒发生的次数和空间特征

统计结果表明, 1991—2015 年青岛地区各站倒春寒等级指标 K 在 0.4—4.9, 均小于 5(表略)。根据等级划分, 青岛地区无重度倒春寒, 有轻度和中度两级。倒春寒年际变化不均, 有的年份出现 3 次, 有的年份 0 次; 平均持续时长 17.3 d, 其中轻度 14.4 d, 中度 23.3 d。

表 1 为青岛地区 1991—2015 年累年倒春寒总发生次数及不同程度的占比。全区 25 年平均出现倒春寒 26.6 站次(年均 1.1 站次), 其中平度最多, 年均 1.20 次; 崂山最少, 年均 0.92 次。全区轻度和中度倒春寒占比分别为 67.3% 和 32.7%。轻度南部的青岛、黄岛最多, 年均 0.84 次, 但各自站占比不一, 分别为

75.0% 和 84.0%。中度即墨最多, 年均 0.48 次, 占单站的 48.0%; 黄岛最少, 年均 0.16 次, 占单站的 16.0%。崂山倒春寒总数最少的原因主要与地形作用有关^[25], 因崂山站地处崂山山麓南边, 山体阻挡了冷空气的侵入。同样, 即墨中度最多, 也与站点位于崂山山麓北边, 冷空气直接侵入且易出现堆积效应有关。

2.2 青岛地区倒春寒时间变化特征及空间分布

2.2.1 时间变化特征

根据青岛地区 1991—2015 年倒春寒发生次数逐年变化时间序列, 发现青岛站变化趋势不明显, 其余各站年际变化均呈减少趋势。图 2A 为青岛(代表沿海地区)倒春寒年际变化趋势图, 倒春寒气候倾向率 $0.03 \text{ 次} \cdot (10\text{a})^{-1}$, 变化不明显。图 2B 为平度(代表内陆地区)倒春寒年际变化趋势图, 气候倾向率为

表 1 青岛地区 1991—2015 年倒春寒年均总次数及轻度、中度倒春寒次数占比

Table 1 Annual averages of total number of late spring coldness, and frequencies and proportions of mild to moderate late spring coldness in Qingdao area from 1991 to 2015

程度 Degree	项目 Item	站点 Station							
		青岛 Qingdao	崂山 Laoshan	即墨 Jimo	莱西 Laixi	平度 Pingdu	胶州 Jiaozhou	黄岛 Huangdao	平均 Average
	总数 Total	28	23	25	28	30	27	25	26.6
	年均 Annual average	1.12	0.92	1.00	1.12	1.20	1.08	1.00	1.06
中度 Moderate	次数 Frequency	7	9	12	9	11	9	4	8.7
	年均 Annual average	0.28	0.36	0.48	0.36	0.44	0.36	0.16	0.35
	占比 Proportion	0.25	0.39	0.48	0.32	0.37	0.33	0.16	0.33
轻度 Mild	次数 Frequency	21	14	13	19	19	18	21	17.9
	年均 Annual average	0.84	0.56	0.52	0.76	0.76	0.72	0.84	0.71
	占比 Proportion	0.75	0.61	0.52	0.68	0.63	0.67	0.84	0.67

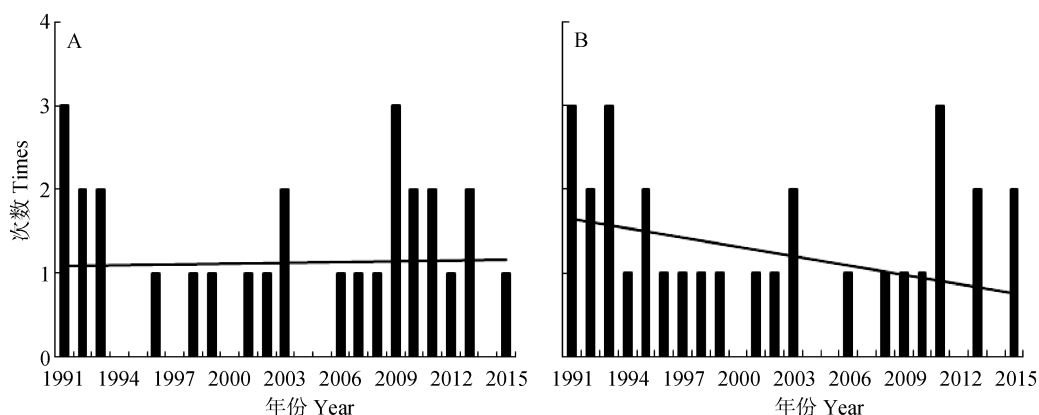


图 2 青岛站(代表沿海地区, A)和平度站(代表内陆地区, B)1991—2015 年倒春寒年际变化趋势图

Fig. 2 Interannual trends of late spring coldness in Qingdao station (representing the coastal area, A) and Pingdu station (representing the inland area, B) from 1991 to 2015

$-0.3 \text{ 次} \cdot (10\text{a})^{-1}$, 变幅最大。其余 5 站气候倾向率均为负值(图略), 胶州最小, 为 $-0.1 \text{ 次} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 。说明青岛地区倒春寒年际变化主要为减少趋势。

从年代际变化看, 青岛单站略有增加, 其余各站均呈减少趋势(图 3)。青岛站前 10 年(1991—2000 年)年均发生 1.0 次, 21 世纪的 15 年(2001—2015 年)年均发生 1.2 次; 其余站前 10 年年均发生 1.0(崂山)~1.5 次(平度), 后 15 年年均发生 0.9(崂山、黄岛和即墨)~1.0 次(胶州、莱西和平度)。可见 20 世纪 90 年代以来, 青岛地区倒春寒年代际变化主要呈减少趋势(青岛市区则略有增加)。

2.2.2 倒春寒发生时段分析

统计显示, 青岛地区倒春寒在 3 月上旬至 5 月下旬均有发生。按月份统计, 3 月、4 月和 5 月各站倒春寒平均占比分别为 34.6%、42.9%和 22.6%, 4 月出现概率最大。由于各站每年发生时段不一, 有的跨月份。将各站 1991—2015 年 3 月 1 日至 5 月 31 日逐日出现的倒春寒总次数求标准差, 将标准差 ≥ 1 的日期

作为高发时段^[26], 青岛、崂山和即墨倒春寒出现在 4 月, 莱西、胶州和黄岛倒春寒出现在 3 月中、下旬—4 月底 5 月初, 且莱西和胶州分 2~3 个时段出现, 而平度则主要集中在 4 月中下旬—5 月初(表 2)。

2.3 倒春寒致灾分析

2.3.1 与春季霜冻、低温冷害和冻害的关系分析

青岛地区地势东高西低, 崂山主峰海拔 1 132.7 m, 是胶东半岛第一高峰。农业区主要分布在西南沿海丘陵、北部丘陵及平洼地区。农作物有冬小麦、花生(*Arachis hypogaea*)、地瓜(*Ipomoea batatas*)等, 林果业主要有苹果(*Malus pumila*)、梨(*Pyrus spp.*)、桃(*Amygdalus persica*)和樱桃(*Cerasus spp.*)等^[19]。从灾情资料得知, 1961—2015 年青岛地区有 19 次春季霜冻、低温冷害和冻害(以下简称冻害)记录, 其中平度最多(11 次), 占 57.9%。1991—2015 年共有 7 次冻害记录。从长序列看, 1961—2000 年有 12 次冻害(年平均 0.3 次), 2001—2015 年 6 次(年均 0.4 次)。可见 21 世纪以来, 青岛地区春季冻害呈增

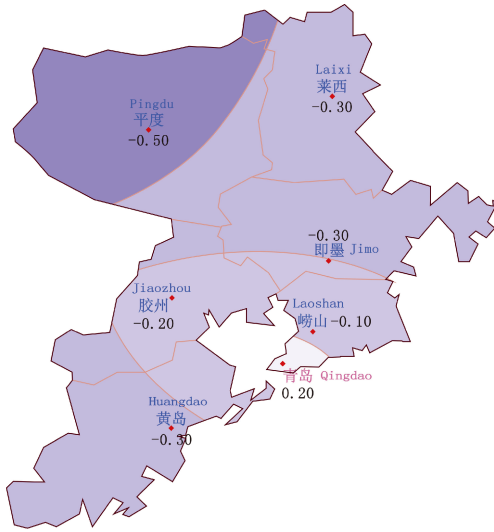


图 3 青岛地区 1991—2015 年倒春寒年代际变率空间分布图

Fig. 3 Spatial distribution of interdecadal variability of late spring coldness in Qingdao during 1991—2015

加趋势。由表 3 可见，1991—2015 年 7 次冻害记录出现在 6 年里，其中 2009 年 3 月下旬至 4 月初有 2 次记录，1993 年和 2013 年的 2 次过程影响范围较大，

前者为全区性受灾，后者遭受区域性灾害，2 次过程记录为冻害。其余过程则影响范围较小，为 2 站或 1 站，记录为霜冻或低温冷害。从倒春寒统计结果看，1993 年和 2013 年全区分别有 5 站和 4 站统计出中度倒春寒，出现时间在 4 月上旬至中旬。其余 5 次过程除 2004 年 4 月 24 日，胶州和莱西记录为霜冻，未统计出倒春寒外，均在相应时段统计出轻度倒春寒。经分析判断，该过程亦属轻度倒春寒(漏检原因后述)。从冻害发生时间分析，4 月冻害出现概率为 85.7%，因 6 次过程出现在 4 月，其中 1 次跨月。4 月份因为冬春转换季节，冷空气活动频繁，对春季气温增暖的贡献率最小^[27]。由于 1991—2015 年全区平均出现 26.6 次倒春寒，期间 7 次出现灾害，可见致灾概率为 26.3%。此类过程为致灾性倒春寒，可造成霜冻、低温冷害或冻害这样的农业气象灾害。从致灾类型看，中度和轻度有所不同。中度多造成农作物冻害，轻度造成霜冻或低温冷害。另外，从发生时段看，中度时间略早，在 4 月上旬和中旬；轻度略晚，在 4 月中下旬(占比为 66.7%)。分析中度过程偏早的原因与早春冷空气偏强有关。

表 2 1991—2015 年青岛地区各站点倒春寒高发时段(月-日)

Table 2 High incidence period (month-day) of late spring coldness in each district of Qingdao

站点 Station	第 1 时段 First period	第 2 时段 Second period	第 3 时段 Third period
青岛 Qingdao	04-02—04-15		
崂山 Laoshan	04-02—04-24		
即墨 Jimo	04-02—04-18		
莱西 Laixi	03-22—03-30	04-06—04-10	04-22—04-28
平度 Pingdu	04-19—05-03		
胶州 Jiaozhou	03-31—04-12	04-18—05-01	
黄岛 Huangdao	03-17—05-01		

2.3.2 致灾性倒春寒发生时的气象条件分析

表 3 给出了致灾性过程发生时最低气温和冷空气等级^[28]。可见，多数过程为较强等级以上冷空气造成，其中有 2 次寒潮天气过程。而两次中度倒春寒过程分别由寒潮过程和较强冷空气过程引发，最低气温下降明显。1993 年 4 月 5—10 日，受寒潮影响，4 月 8 日莱西最低气温下降至 -5.6℃，造成小麦叶片受冻干枯，穗部组织坏死，全市小麦受冻面积 4.03 万 hm²，其中 10 000 hm² 已濒临死亡^[24]。另一次过程为 2013 年 4 月中旬末，受较强冷空气影响，平度、胶州、黄岛发生冻害，最低气温降至 0.1℃ (接近 0℃)。5 次轻度过程最低气温降至 0.6~3.3℃。综合分析，轻度过程发生时最低气温一般降至 0~5℃，中度一

般降至 0℃ 以下。另一气象条件分析为过程时段内的平均气温距平，表 4 给出了 7 次过程实际发生时段内平均气温距平及持续时间。表 4 可见，过程全区平均气温距平中度为 -4.1℃ 和 -5.3℃；轻度为 -3.9~ -2.1℃，且冻害发生区域数值多数低于全区平均。由此得出：轻度发生时过程平均气温距平在 -4.0~ -2.0℃；中度在 -4.0℃ 以下。另外，表 4 中的过程时长指过程实际持续时间，可见明显低于统计时长，而且多数轻度过程为 3 d(过程实际时长是依据倒春寒定义和天气实况确定的。即起始日为前期平均气温明显偏高的终日，终止日为后期气温明显升高的始日，同时参考最低气温实况)。表 4 可见，中度倒春寒时长 6 d 和 11 d，轻度在 3~4 d。综合分

表 3 青岛地区 1991—2015 年冻害过程最低气温、冷空气等级及倒春寒等级表

Table 3 Minimum temperature, cold air level and late spring coldness grade of freezing injury processes in Qingdao area during 1991–2015

年份 Year	冻害日期(月-日) Freezing date (month-day)	灾害类型 Type of disaster	影响区域 Area of influence	最低气温 Minimum temperature ()	冷空气等级 Cold air level	倒春寒等级 Late spring coldness grade
1993	04-05—04-10	冻害 Freeze injury	全区 Whole region	-5.6	寒潮 Cold wave	中度 Moderate
2002	04-25	霜冻 Frost	胶州、即墨 Jiaozhou, Jimo	2.0	较强冷空气 Strong cold air	轻度 Mild
2004	04-24	霜冻 Frost	胶州、莱西 Jiaozhou, Laixi	2.8	寒潮 Cold wave	轻度 Mild
2006	04-13	霜冻 Frost	平度 Pingdu	3.3	较强冷空气 Strong cold air	轻度 Mild
2009	03-23—03-24	低温冷害 Chilling injury	崂山 Laoshan	0.6	较强冷空气 Strong cold air	轻度 Mild
2009	03-31—04-01	低温冷害 Chilling injury	崂山 Laoshan	1.4	弱冷空气 Weak cold air	轻度 Mild
2013	04-19—04-20	冻害 Freeze injury	平度、胶州、黄岛 Pingdu, Jiaozhou, Huangdao	0.1	较强冷空气 Strong cold air	中度 Moderate

表 4 青岛地区 1991—2015 年 7 次冻害过程平均气温距平及过程时长

Table 4 Mean temperature anomaly and process duration of 7 freezing damage processes in Qingdao area during 1991–2015

年份 Year	影响区域 Area of influence	实际过程日期(月-日) Actual process date (month-day)	过程时长 Process duration (d)	全区平均气温 Average tem- perature of the whole region ()	全区平均气温距平 Average temperature anomaly of the whole region ()	受影响区域 平均气温 Regional average temperature of the affected area ()	受影响区域 平均气温距平 Average temperature anomaly of the af- fected area ()
1993	全市 Whole region	04-04—04-14	11	7.0	-4.1	/	/
2002	胶州、即墨 Jiaozhou, Jimo	04-24—04-26	3	11.0	-2.9	11.1	-3.5
2004	胶州、莱西 Jiaozhou, Laixi	04-24—04-27	4	12.0	-2.1	12.1	-2.1
2006	平度 Pingdu	04-12—04-14	3	8.9	-2.7	8.7	-2.9
2009	崂山 Laoshan	03-23—03-25	3	3.7	-3.0	4.3	-2.7
2009	崂山 Laoshan	03-30—04-01	3	5.0	-3.9	5.7	-3.6
2013	平度、胶州、黄岛 Pingdu, Jiaozhou, Huangdao	04-17—04-22	6	8.0	-5.3	7.9	-5.5

析确定轻度倒春寒持续时长 3~5 d, 中度型持续 6 d 以上。

2.3.3 致灾性倒春寒对农作物影响分析

青岛地区主要农作物冬小麦 3 月下旬—4 月上旬处于起身生长—拔节期, 4 月中下旬处于拔节—孕穗期^[29]。苹果 3 月下旬—4 月上旬处于萌芽期, 4 月中下旬为开花期、萌芽展叶、叶片生长期; 梨 3 月下旬—4 月上旬处于萌芽期, 4 月上中旬处于开花期, 4 月下旬谢花。可见 4 月中下旬无论是冬小麦还是果树都属于生长敏感期, 此时遇到较强冷空气入境极易遭受霜冻灾害^[30-31]。综合灾情与统计分析发现, 中度倒春寒影响范围为区域性的, 发生时段主要在 3 月下旬—4 月中旬, 可引起农作物冻害发生; 轻度倒春寒则影响范围在 2 站以下, 主要出现在 4 月中旬—5 月上旬, 可造成霜冻或低温冷害。值得关注的

是轻度发生频率高, 发生时段与本地农作物生长关键期重叠, 遭受损失程度同样不容小觑。

2.4 致灾性倒春寒气象指标的确立

综合灾害发生时最低气温、过程平均气温距平及持续时间 3 个因子, 得出青岛地区致灾性倒春寒气象指标: 轻度型最低气温在 0~5 , 过程平均气温距平为-4.0~-2.0 , 持续时间 3~5 d; 中度型最低气温在 0 以下, 过程平均气温距平在-4.0 以下, 持续时间在 6 d 以上(表 5)。

2.5 GB/T 34816—2017《倒春寒气象指标》的适用性分析

青岛地区为北温带季风气候区, 沿海一带海洋性气候特点明显。通过 GB/T 34816—2017《倒春寒气象指标》在本地应用, 对其适用性分析得出 3 条结论: 1)从过程上看, GB/T 34816—2017《倒春寒气

表 5 青岛地区致灾性倒春寒气象指标

Table 5 Meteorological indexes of disaster causing late spring coldness in Qingdao

等级 Grade	最低气温 Minimum temperature (T_d) ()	平均气温距平 Mean temperature anomaly (ΔT) ()	持续时间 Duration (L) (d)
轻度型 Mild	$0 < T_d \leq 5$	$-4 < \Delta T \leq -2$	$3 \leq L \leq 5$
中度型 Moderate	$T_d \leq 0$	$\Delta T \leq -4$	$5 < L$

象指标》在青岛地区适用准确性可达 85.7%。这是因为 7 次倒春寒过程漏检 1 次。分析 2004 年 4 月 24 日过程漏检的原因, 是因为 δT_2 (后期偏冷程度) 达不到计算要求的 0 以下, 才被剔除。气象指标 K 计算公式 δT_2 作为偏冷程度最大的连续 10 d 平均气温距平, 规定必须小于 0。而 2004 年 4 月下旬 δT_2 为 0.1 (未达标)。分析天气实况, 实际过程时段 4 月 24—27 日, 为 4 d, 说明本次倒春寒实际持续时间较短, 此时段平均气温距平为 -2.1。分析前期(3 月中旬—4 月上旬)平均气温偏高 1.4, 至 4 月中旬偏高 2.9, 过程结束后气温回升, 至 5 月中旬平均气温偏高 1.2。这些都符合倒春寒定义^[8]。只是实际过程只有 4 d, 而前后气温高, 按 10 d 滑动平均气温计算的气温距平最低为 0.1, 这样才被漏选。

2) 中度倒春寒统计与本地实况匹配度高, 表明气象等级统计基本准确。3) 过程持续时间的统计偏长。分析原因发现, 按规定计算时将时长阈值定为 25 d, 这与南方大部地区处于亚热带, 冷空气造成的低温阴雨寡照时间相对较长, 即天气过程较长的气候特点相符。而北方地区气候与南方存在明显差异, 空气中水汽含量较低, 天气过程应较南方偏短, 阈值仍定为 25 d 不合理。

3 结论与讨论

青岛地区倒春寒年均出现 1.1 站次。3 月上旬至 5 月下旬均有发生, 4 月份发生概率最大。气象等级分轻度和中度两级, 无重度倒春寒。轻度与中度分别占比 67.3% 和 32.7%。20 世纪 90 年代以来, 倒春寒年际或年代际变化主要呈减少趋势。空间分布从西北部内陆到东南沿海逐渐减少。受到崂山山脉影响, 即墨发生中度倒春寒的概率最大。

青岛地区倒春寒致灾概率平均为 26.3%, 此类倒春寒可带来霜冻、低温冷害或冻害等农业气象灾害, 造成农业经济损失。中度影响范围较大, 可造成区域性冻害发生, 主要发生时段略早于轻度, 在 3 月下旬—4 月中旬, 这与早春冷空气偏强有关。轻度影响范围小于中度, 以单站或 2 站为主, 发生时段

在 4 月中下旬概率较大, 可造成霜冻或低温冷害。由于轻度发生频率高于中度, 而且主要发生时段为本地果树、冬小麦等农作物生长关键期, 所以造成的危害依然较大。

致灾性倒春寒气象指标为: 轻度型最低气温 0~5, 过程平均气温距平为 -4.0~-2.0, 持续时间 3~5 d; 中度型最低气温在 0 以下, 过程平均气温距平在 -4.0 以下, 持续时间在 6 d 以上。

GB/T 34816—2017《倒春寒气象指标》基本适用于青岛地区。在过程统计上准确率可达 85.7%, 气象等级甄别准确率高于过程筛选。但是由于气候的差异, 在北方地区应用时存在过程时长统计比本地实况明显偏长的问题。另外, 气象指标公式里个别参数阈值设定在后续使用中应注意调节。

青岛站倒春寒年际变化不明显, 年代际变率甚至有所增加, 与青岛地区整体分布不一致。原因与青岛典型气候特征有关。受海洋的调节作用, 青岛地区自东南沿海到西北内陆地区气温存在明显差异, 海洋性气候特点逐渐减弱。常年春夏季气温沿海地区低于内陆地区; 秋冬季则相反。从年平均气温来看, 青岛站为 13.0, 高于青岛地区的 12.8; 冬春季节转换从 3 月中旬起内陆地区平均气温开始高于沿海地区。反映在 4 月平均气温上, 青岛 11.3 低于青岛地区 12.3。这一气候特征从常年进入气象意义春季指标上也得以体现: 常年青岛地区大多在 4 月上旬陆续入春, 胶州最早, 在 4 月 6 日, 青岛最晚, 在 4 月 12 日^[32]。

参考文献 References

- [1] 钟秀丽, 林而达. 气候变化对我国自然生态系统影响的研究综述[J]. 生态学杂志, 2000, 19(5): 62-66
ZHONG X L, LIN E D. A summary of impacts of climate changes on the ecosystems of China[J]. Chinese Journal of Ecology, 2000, 19(5): 62-66
- [2] 王树刚, 王振林, 王平. 不同小麦品种对低温胁迫的反应及抗冻性评价[J]. 生态学报, 2011, 31(4): 1064-1072
WANG S G, WANG Z L, WANG P, et al. Evaluation of wheat freezing resistance based on the responses of the physiological indices to low temperature stress[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(4): 1064-1072
- [3] 董海鹰, 李德萍, 郭丽娜, 等. 大泽山优质葡萄气候生态适宜性分析[J]. 山东气象, 2013, 33(2): 16-19
DONG H Y, LI D P, GUO L N, et al. Climate ecological suitability analysis of high quality grape in Dazeshan[J]. Journal of Shandong Meteorology, 2013, 33(2): 16-19
- [4] 冯秀藻, 陶炳炎. 农业气象学原理[M]. 北京: 气象出版社, 1991: 84-89
FENG X Z, TAO B Y. Principles of Agrometeorology[M]. Beijing: China Meteorological Press, 1991: 84-89

- [5] 郑大玮, 李茂松, 霍治国. 农业灾害与减灾对策[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2013: 105–112
ZHENG D W, LI M S, HUO Z G, et al. Agricultural Disasters and Reduction Countermeasures[M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2013: 105–112
- [6] 朱晓华. 我国农业气象灾害减灾研究[J]. 中国生态农业学报, 2003, 11(2): 139–140
ZHU X H. The characters of agrometeorological disaster, its mechanism and countermeasures in China[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2003, 11(2): 139–140
- [7] 王春乙, 王石立, 霍治国, 等. 近 10 年来中国主要农业气象灾害监测预警与评估技术研究进展[J]. 气象学报, 2005, 63(5): 659–671
WANG C Y, WANG S L, HUO Z G, et al. Progress in research of agro-meteorological disasters in China in recent decade[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2005, 63(5): 659–671
- [8] 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. GB/T 34816—2017 倒春寒气象指标[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China; China National Standardization Management Committee. GB/T 34816—2017 Meteorological Index of Late Spring Coldness[S]. Beijing: China Standards Press, 2017
- [9] 《大气科学辞典》编委会. 大气科学辞典[M]. 北京: 气象出版社, 1994: 107–108
Editorial Board of Dictionary of Atmospheric Sciences. Dictionary of Atmospheric Sciences[M]. Beijing: China Meteorological Press, 1994: 107–108
- [10] WANG G C, SONG R N, BO Z H, et al. Analysis on causes for “Late Spring Coldness” in Dalian in 2008[J]. Meteorological and Environmental Research, 2010, 1(7): 61–63
- [11] 高艳, 唐建卫, 殷贵鸿, 等. 倒春寒发生时期和次数对冬小麦产量性状的影响[J]. 麦类作物学报, 2015, 35(5): 687–692
GAO Y, TANG J W, YIN G H, et al. Effect of different periods and frequency of late spring coldness on winter wheat yield related traits[J]. Journal of Triticeae Crops, 2015, 35(5): 687–692
- [12] 吴增福, 杨有盛, 朱福顺, 等. 倒春寒的划分和预报服务探讨[J]. 气象科学, 1998, 18(3): 288–294
WU Z F, YANG Y S, ZHU F S, et al. A study on division of late spring cold and its forecasting[J]. Scientia Meteorologica Sinica, 1998, 18(3): 288–294
- [13] 李勇, 杨晓光, 代姝玮, 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, 21(8): 2099–2108
LI Y, YANG X G, DAI S W, et al. Spatiotemporal evolution characteristics of late spring cold in Guizhou Province under global climate change[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(8): 2099–2108
- [14] 张淑惠. 福建的倒春寒及其环流背景[J]. 气象, 1996, 22(3): 51–53
ZHANG S H. The circulation background of spring cold in Fujian[J]. Meteorological Monthly, 1996, 22(3): 51–53
- [15] 王位泰, 张天峰, 蒲金涌, 等. 黄土高原中部冬小麦生长对气候变暖和春季晚霜冻变化的响应[J]. 中国农业气象, 2011, 32(1): 6–11
WANG W T, ZHANG T F, PU J Y, et al. Response of winter wheat to climate warming and late spring frost in central Loess Plateau[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2011, 32(1): 6–11
- [16] 李茂松, 王道龙, 钟秀丽, 等. 冬小麦霜冻害研究现状与展望[J]. 自然灾害学报, 2005, 14(4): 72–78
LI M S, WANG D L, ZHONG X L, et al. Current situation and prospect of research on frost of winter wheat[J]. Journal of Natural Disasters, 2005, 14(4): 72–78
- [17] 桑婧, 郝璐. 近 30 年中国主要农业气象灾害典型场时空格局分异特征[J]. 中国生态农业学报, 2018, 26(9): 1302–1314
SANG J, HAO L. Spatio-temporal patterns of typical agro-meteorological disasters in China in the past 30 years[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2018, 26(9): 1302–1314
- [18] 刘海啸, 杨洁. 气候变化背景下北京地区倒春寒时空演变特征研究[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(4): 182–185
LIU H T, YANG J. Spatiotemporal evolution characteristics of late spring cold in Beijing under global climate change[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2015, 43(4): 182–185
- [19] 李德萍, 薛允传, 董海鹰, 等. 青岛地区气象灾害分析评估[J]. 山东气象, 2013, 33(1): 1–6
LI D P, XUE Y C, DONG H Y, et al. Analysis and assessment of meteorological disasters in Qingdao area[J]. Journal of Shandong Meteorology, 2013, 33(1): 1–6
- [20] 青岛市综合农业区划委员会办公室. 青岛市综合农业区划[M]. 青岛: 青岛出版社, 1988: 77–94
Qingdao Comprehensive Agricultural Zoning Committee. Qingdao Comprehensive Agricultural Regionalization[M]. Qingdao: Qingdao Publishing House, 1988: 77–94
- [21] 张凯静, 李德萍, 郭丽娜, 等. 青岛百年气温变化特征分析[J]. 山东气象, 2013, 33(3): 1–4
ZHANG K J, LI D P, GUO L N, et al. Analysis of temperature variation characteristics in Qingdao in the past 100 years[J]. Journal of Shandong Meteorology, 2013, 33(3): 1–4
- [22] 胡桂芳, 李芸, 李德萍. 山东近百年来最高、最低温度变化[J]. 气象, 2004, 30(11): 43–46
HU G F, LI Y, LI D P. Changes of maximum and minimum temperature for recent 100 years in Shandong Province[J]. Meteorological Monthly, 2004, 30(11): 43–46
- [23] 毛留喜, 魏丽. 大宗作物气象服务手册[M]. 北京: 气象出版社, 2015: 100–102
MAO L X, WEI L. Handbook of Meteorological Services for Mass Crops[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2015: 100–102
- [24] 温克刚, 王建国, 孙典卿. 中国气象灾害大典(山东卷)[M]. 北京: 气象出版社, 2005: 421–444
WEN K G, WANG J G, SUN D Q. China Meteorological Disaster Records (Shandong Volume)[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2005: 421–444
- [25] 曹钢锋, 张善君, 朱官忠, 等. 山东天气分析与预报[M]. 北京: 气象出版社, 1988: 235–239
CAO G F, ZHANG S J, ZHU G Z, et al. Weather Analysis and Forecast in Shandong Province[M]. Beijing: China Meteorological Press, 1988: 235–239

- logical Press, 1988: 235–239
- [26] FREEDMAN R, PISANI R, PURVES R, 等. 统计学[M]. 魏宗舒, 施锡铨, 林举干, 等译. 北京: 中国统计出版社, 1997: 312–315
FREEDMAN R, PISANI R, PURVES R, et al. Statistics[M]. WEI Z S, SHI X Q, LIN J G, et al. trans. Beijing: China Statistical Publishing Press, 1997: 312–315
- [27] 夏子瑶, 万夫敬. 1987—2016 年青岛市气候变化特征分析[J]. 现代农业科技, 2018, (4): 171
XIA Z Y, WAN F J. Analysis of climate change characteristics in Qingdao City from 1987 to 2016[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2018, (4): 171
- [28] 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. GB/T 20484—2006 冷空气等级[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, China National Standardization Management Committee. GB/T 20484—2006 Grading of Cold Air[S]. Beijing: China Standards Press, 2006
- [29] 青岛市气象局业务科技处. 农业气象服务和灾害防御指标集[C]//青岛市气象局. 2013: 4–5
Science and Technology Department of Qingdao Meteorological Bureau. Agrometeorological Service and Disaster Prevention Index Set[C]. Qingdao Meteorological Bureau. 2013: 4–5
- [30] 韩湘玲, 农业气候学[M]. 太原: 山西科学技术出版社, 1999: 22–45
HAN X L. Agroclimatology[M]. Taiyuan: Shanxi Science and Technology Press, 1999: 22–45
- [31] 钟秀丽, 王道龙, 赵鹏, 等. 黄淮海区冬小麦拔节后霜冻温度出现规律研究[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(5): 17–20
ZHONG X L, WANG D L, ZHAO P, et al. Occurrence of frost temperature in Huanghuai wheat production zone after winter wheat elongation[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2007, 15(5): 17–20
- [32] 中国气象局. 中华人民共和国气象行业标准 气候季节划分. QX/T 152—2012[S]. 北京: 气象出版社, 2012
China Meteorological Administration. Meteorological Industry Standard of the People's Republic of China: Division of Climate and Seasons QX/T 152—2012[S]. Beijing: Meteorological Press, 2012