

引用格式:张瑜,孟鑫,刘扬,廖斌,曾胜兰. 1981—2020 年东北地区地理要素对四季开始时间的影响分析[J]. 山地学报, 2024, 42(2): 154-163.

ZHANG Yu, MENG Xin, LIU Yang, LIAO Bin, ZENG Shenglan. Influence of geographic elements on the beginning of four seasons in Northeast China for the period 1981-2020 [J]. Mountain Research, 2024, 42(2): 154-163.

1981—2020 年东北地区地理要素对四季开始时间的影响分析

张瑜¹, 孟鑫², 刘扬³, 廖斌¹, 曾胜兰⁴

(1. 北京应用气象研究所, 北京 100029; 2. 辽宁省丹东市气象局, 辽宁 丹东 118000;
3. 国家气象中心, 北京 100081; 4. 成都信息工程大学 大气科学学院, 成都 610225)

摘要: 经度、纬度、海拔高度等地理要素影响四季开始时间, 其影响程度与性质、同一地理因素对不同季节的差异性影响等问题尚无定论。本文基于东北地区 1981—2020 年 27 个气象站逐日平均气温资料, 采用候温法计算四季开始时间, 分析四季开始时间时空分布, 并使用偏相关分析法分析其与地理要素间的相关性。结果表明: (1) 春季和夏季开始时间与海拔高度正相关, 秋季和冬季开始时间与海拔高度负相关。春季开始时间与纬度正相关, 秋季和冬季开始时间与纬度负相关。春季和夏季开始时间与经度正相关, 冬季开始时间与经度负相关。(2) 经度、纬度和海拔高度分别对四季开始时间有不同影响。春季开始时间受海拔高度影响最大、纬度次之、经度最小; 夏季开始时间受海拔高度影响最大、经度次之; 秋季开始时间受纬度影响最大、海拔高度次之; 冬季开始时间受纬度影响最大、海拔高度次之、经度影响很小。(3) 经度、纬度和海拔高度整体对不同季节开始时间影响程度不同, 冬季受影响最大、春季其次、夏季和秋季受影响程度较小。本研究结果可为开展东北地区作物种植种类和作物选址提供科学指导, 对促进东北地区农业、经济发展具有重要意义。

关键词: 四季开始时间; 海拔高度; 经度; 纬度; 偏相关分析

中图分类号: P461

文献标志码: A

季节变化与自然界、作物的生长发育、人类生产生活息息相关^[1-2]。在全球变暖、极端气候频发, 严重影响自然环境和人类生存条件的背景下, 国内外已开展针对四季开始时间、季节长度变化的研究^[3-9]。中国四季开始、长度变化特征、时间空间分布因地域不同而有所差异, 且同一地区四季开始时间并非一成不变^[10-12]。海拔高度、纬度等地理要素不仅影响气温和四季开始时间, 还影响作物成分和品质^[13-14]。然而, 海拔高度和纬度对四季开始时间的影响程度是否相同、经度对四季开始时间是否有影响、同一地理因素对不同季节的影响程度是否有

所差异等问题, 尚无系统性深入研究。

中国东北地区纬度、海拔跨度大, 且有长白山、大兴安岭和小兴安岭等山地, 四季差异显著, 适合开展海拔高度、纬度等对四季开始时间影响程度的对比研究。研究发现, 1980—2010 年东北地区在土地类型增多和科学组合种植等多种条件下, 种植结构发生了显著变化^[15]; 东北地区平均气温以 0.18 °C/10a 的速率显著上升, 面临着更高的极端灾害风险和气候变化影响^[16]。因此, 在东北地区开展地理要素对四季开始时间的影响研究, 可进一步为开展东北地区作物种植种类和作物选址提供科学指导,

收稿日期(Received date): 2024-01-10; 改回日期(Accepted date): 2024-04-18

基金项目(Foundation item): 地理信息工程国家重点实验室自主研究课题(SKLGIE2021-ZZ-8)。[State Key Laboratory of Geo-Information Engineering (SKLGIE2021-ZZ-8)]

作者简介(Biography): 张瑜(1988-), 女, 辽宁丹东人, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 大气污染探测、数值预报模式、气候学。[ZHANG Yu (1988-), female, born in Dandong, Liaoning province, M. Sc., engineer, research on atmospheric pollution detection, numerical forecasting model, climatology] E-mail: 514950869@qq.com

对促进东北地区农业、经济等发展具有重要意义。

本文利用近 40 a 的气象资料,采用候温法对东北地区四季开始时间进行空间分布研究,并使用偏相关分析法创新性地开展海拔高度、纬度和经度对东北地区四季开始时间的影响程度研究,研究结果可为进一步开展地理位置、地形要素等对中国气候影响的研究提供支撑。

1 研究区域、方法与数据来源

1.1 研究区域和数据来源

东北地区位于中国东北部,包括辽宁、吉林、黑龙江省和内蒙古自治区东北部($38^{\circ} \sim 55^{\circ} \text{N}$, $110^{\circ} \sim 135^{\circ} \text{E}$)^[17],是中国纬度最高的地区。本文所用数据来源于国家气候信息中心整编的国家级地面气象站日气温数据集,数据时间跨度为 1981—2020 年,共计 40 a,国家气象信息中心已经对该数据集进行了较为严格的质量控制。在此基础上,本文对研究站点进一步筛选,要求研究站点覆盖研究区域内不同地形,且剔除有数据缺测的站点(即观测数据中只要有缺测的站点就剔除),确保研究年限范围内数

据完整无缺测。最终确定了 27 个站点,其具体地理位置和空间分布如图 1 所示。

1.2 研究方法

1.2.1 四季划分

季节划分有多种方法,主要有节气法、公历法、气候学候温法。节气法和公历法在划分四季上比较简便,但使用这两种方法意味着全国各地都在同一天进入同一季节,未考虑各地的实际情况,尤其东北地区地处中高纬,不同地区温差相差较大。因此,本研究采用候温法^[18]进行季节的划分,具体方法参照中华人民共和国气象行业标准的《气候季节划分》(GB/T 42074—2022),以 5 d 为一候,将候平均气温(即 5 d 滑动平均气温)作为划分四季的温度指标,当候平均气温(T)首次达到四季温度阈值(冬季 $T < 10^{\circ} \text{C}$,夏季 $T \geq 22^{\circ} \text{C}$,春季和秋季 $10^{\circ} \text{C} \leq T < 22^{\circ} \text{C}$)时,这一候的首日为四季的开始日期。当测站某一年的 5 日滑动平均气温均小于 22°C ,或 5 日滑动平均气温大于等于 22°C 仅出现 1 次,则认为当年无夏季,秋季开始日期为当年滑动平均气温的最高日^[19]。已有研究在对青藏高原、黑龙江、哈尔滨等高海拔、高纬度地区进行四季分析时采用阈值

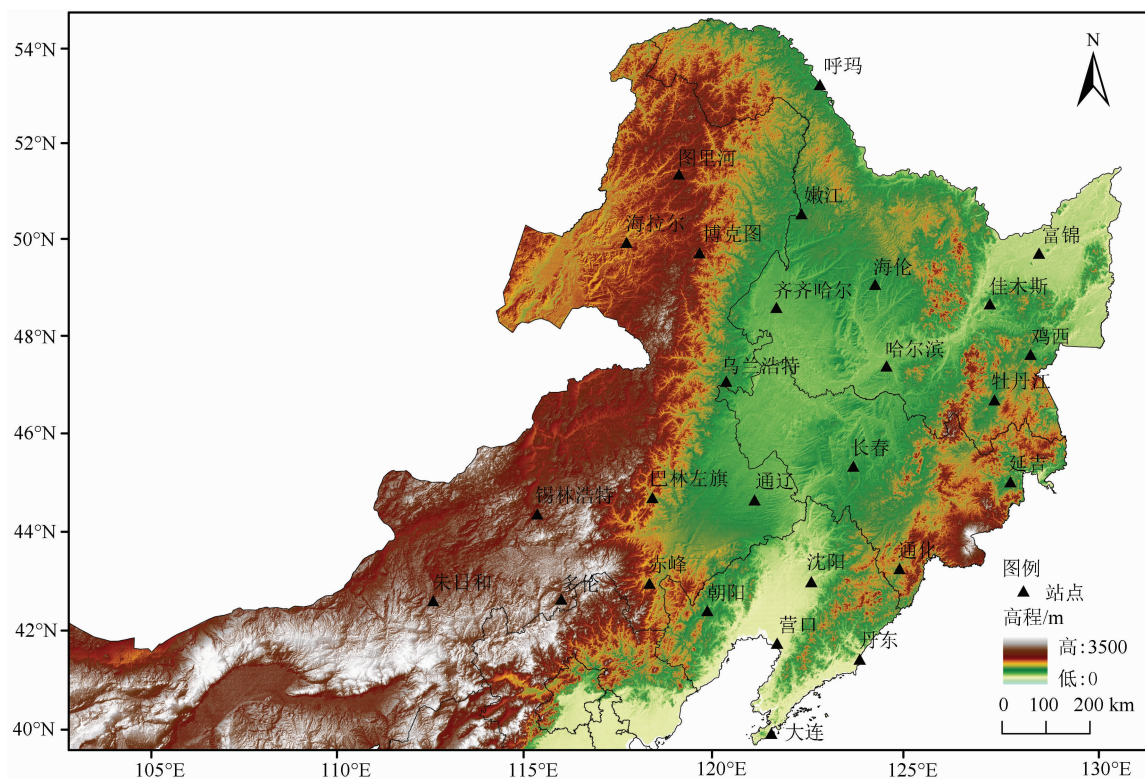


图 1 东北地区及气象站点空间分布

Fig. 1 Spatial distribution of meteorological stations in Northeast China

调整的候温法^[20-21],但此次将东北地区作为一个整体,且研究目的主要是海拔、经度和纬度对四季开始时间的影响,故本研究阈值不作调整。

1.2.2 偏相关分析

偏相关分析是一种适用于分析多个变量之间去掉其他变量的影响,只分析其中两个变量之间线性相关程度的方法^[14,22]。相关系数绝对值越接近 1,说明二者相关性越强,具体计算公式^[23-24]如下:

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (1)$$

式中, S_x 为变量 x 的标准差; x_i 为第 i 个变量 x 的值; \bar{x} 为变量 x 的平均值; n 为样本数。

$$S_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n-1} \quad (2)$$

式中, S_{xy} 为变量 x 和变量 y 的协方差; y_i 为第 i 个变量 y 的值; \bar{y} 为变量 y 的平均值。

$$r_{xy} = \frac{S_{xy}}{S_x S_y} \quad (3)$$

式中, r_{xy} 为变量 x 和变量 y 的相关系数; S_y 为变量 y 的标准差。

$$r_{xy \cdot h} = \frac{r_{xy} - r_{xh}r_{yh}}{\sqrt{(1-r_{xh}^2)(1-r_{yh}^2)}} \quad (4)$$

式中, $r_{xy \cdot h}$ 为变量 x 和变量 y 在剔除变量 h 影响下的偏相关系数。

$$r_{xy \cdot hm} = \frac{r_{xy \cdot h} - r_{xm \cdot h}r_{ym \cdot h}}{\sqrt{(1-r_{xm \cdot h}^2)(1-r_{ym \cdot h}^2)}} \quad (5)$$

式中, $r_{xy \cdot hm}$ 为变量 x 和变量 y 在剔除变量 h 和变量 m 影响下的偏相关系数。

利用公式(1)~(5),可计算得到剔除其他两个地理因素影响的四季开始时间分别与经度、纬度、海拔高度之间的相关系数。

2 四季开始时间空间分布

图 2 为东北地区近 40 a 平均四季开始时间空间分布,春季开始时间由南向北越来越晚,最早位于

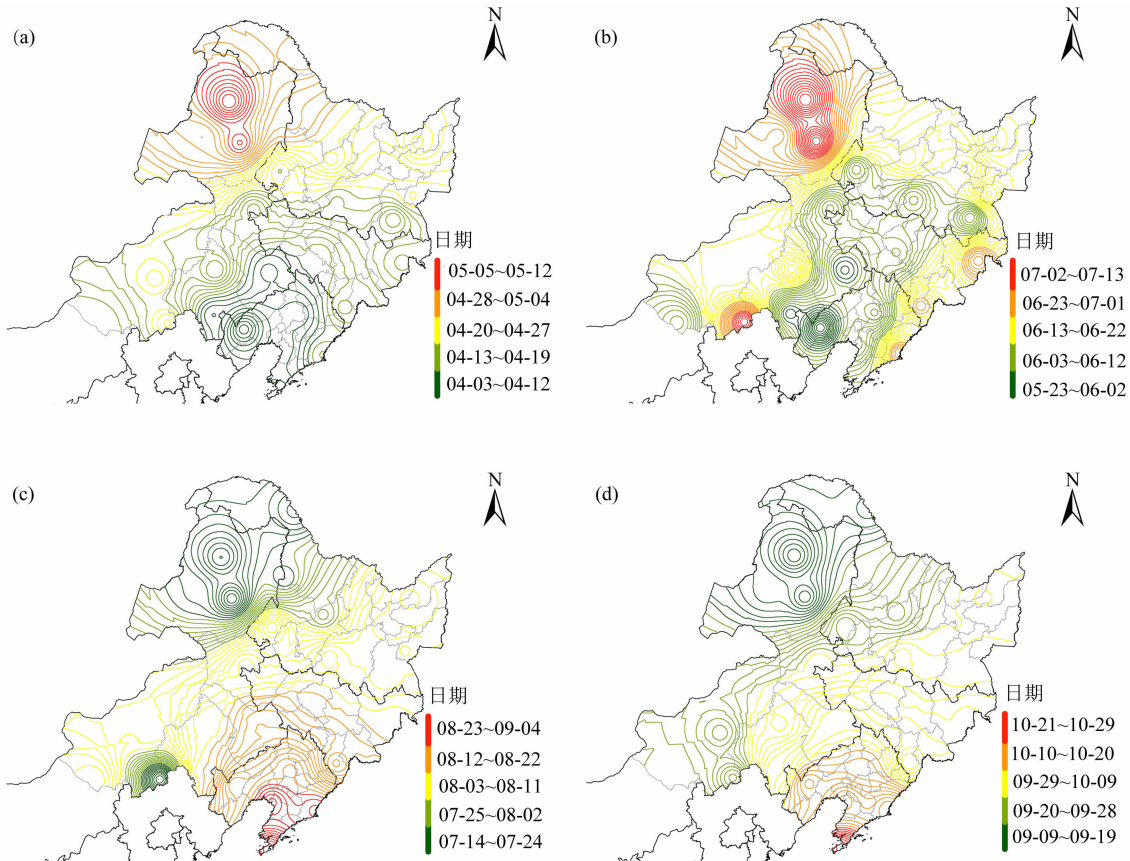


图 2 东北地区近 40 年平均四季开始时间空间分布:(a)春季;(b)夏季;(c)秋季;(d)冬季

Fig. 2 Spatial distribution of the beginning of four seasons in Northeast China during the last four decades:

(a) spring; (b) summer; (c) autumn; (d) winter

朝阳,最晚位于图里河—博克图一带,中间值位于西南—东北方向的锡林浩特—乌兰浩特—哈尔滨—富锦一带;夏季开始时间最早位于朝阳,最晚位于多伦、图里河—博克图一带和通化—延吉一带,整体上夏季开始时间与海拔高度分布一致;秋季开始时间由南向北越来越早,最早位于图里河—博克图—海拉尔一带和多伦一带,最晚位于大连—丹东—营口一带,除海拔较高的多伦外,秋季开始时间与纬度分布一致;冬季开始时间由南向北越来越早,最早位于图里河—博克图—海拉尔一带,最晚位于大连,冬季开始时间与海拔高度和纬度分布均有一致的部分。

3 影响因子相关分析

3.1 偏相关分析

利用偏相关分析法计算得到四季开始时间与经度、纬度、海拔高度的偏相关系数(表1),同时得到在0.05水平(双侧)和0.01水平(双侧)上显著相关的年数占比,负值表示二者负相关(图3)。

春季开始时间受海拔高度的影响最大,纬度次

之,经度最小。春季开始时间与海拔高度相关系数为0.21~0.87,通过0.05和0.01显著检验(以下简称“显著检验”)的年份占比分别为60%和35%,二者正相关;春季开始时间与纬度相关系数为-0.11~0.65,相关系数为正的年份占95%,通过显著检验的年份占比分别为45%和15%,二者正相关;春季开始时间与经度相关系数为-0.26~0.59,相关系数为正的年份占77.5%,通过显著检验的年份相关系数均为正,占比分别为7.5%和5%,二者正相关。因此,海拔高度越高、纬度越大、经度越大,春季开始时间越晚。

夏季开始时间受海拔高度影响最大,经度次之,与纬度不相关。夏季开始时间与海拔高度相关系数为-0.02~0.67,相关系数为正的年份占95%,通过显著检验的年份占比分别为40%和15%,二者正相关;夏季开始时间与经度相关系数为-0.06~0.63,相关系数为正的年份占92.5%,通过显著检验的年份占比分别为35%和12.5%,二者正相关;夏季开始时间与纬度相关系数为-0.41~0.51,相关系数为正、负的年数分别占60%和40%,通过显

表1 四季开始时间与经度、纬度、海拔高度的相关性
Tab. 1 Correlations between the beginning of four seasons and longitude, latitude and altitude

地理要素	偏相关系数			
	春	夏	秋	冬
经度	-0.26 ~ 0.59	-0.06 ~ 0.63	-0.30 ~ 0.36	-0.57 ~ 0.48
纬度	-0.11 ~ 0.65	-0.41 ~ 0.51	-0.73 ~ -0.13	-0.80 ~ -0.25
海拔高度	0.21 ~ 0.87	-0.02 ~ 0.67	-0.89 ~ 0.31	-0.85 ~ -0.08

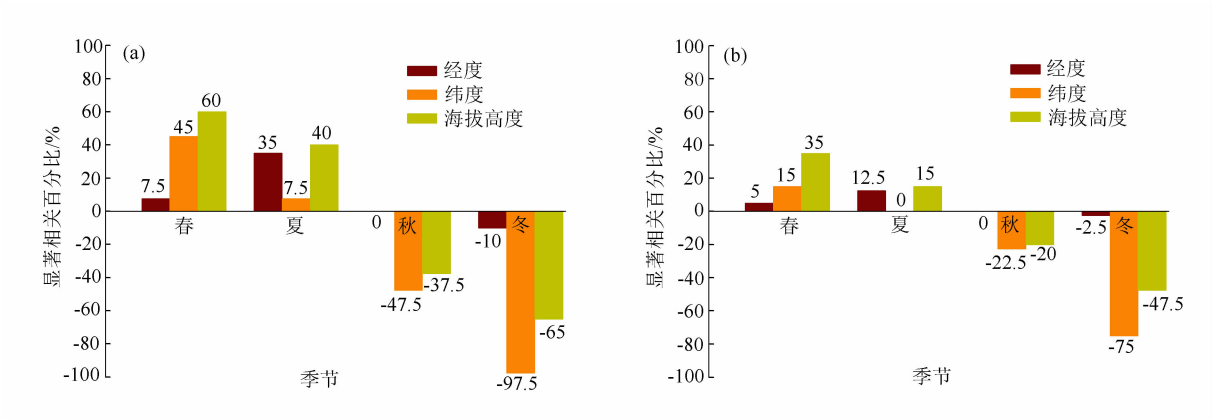


图3 不同因子与四季开始时间显著相关百分比: (a) 0.05 水平(双侧); (b) 0.01 水平(双侧)
Fig. 3 Significant correlation percentage between the factors and the start time of four seasons:
(a) 0.05 level(bilateral); (b) 0.01 level(bilateral)

著检验的年份占比为 7.5% 和 0%, 二者不相关。因此, 海拔高度越高、经度越大, 夏季开始时间越晚。

秋季开始时间受纬度影响最大, 海拔高度次之, 与经度不相关。秋季开始时间与纬度相关系数为 $-0.73 \sim -0.13$, 通过显著检验的年份占比分别为 47.5% 和 22.5%, 二者负相关; 秋季开始时间与海拔高度相关系数为 $-0.89 \sim 0.31$, 相关系数为负的年份占 77.5%, 通过显著检验的年份相关系数均为负, 占比分别为 37.5% 和 20%, 二者负相关; 秋季开始时间与经度相关系数为 $-0.30 \sim 0.36$, 相关系数为正、负的年数分别约占 70% 和 30%, 没有通过显著检验的年份, 二者不相关。因此, 纬度越大、海拔高度越高, 秋季开始时间越早。

冬季开始时间受纬度影响最大, 海拔高度次之, 经度最小。冬季开始时间与纬度相关系数为 $-0.80 \sim -0.25$, 通过显著检验的年份占比分别为 97.5% 和 75%, 二者负相关; 冬季开始时间与海拔高度相关系数为 $-0.85 \sim -0.08$, 通过显著检验的年份占比分别为 65% 和 47.5%, 二者负相关; 冬季开始时间与经度相关系数为 $-0.57 \sim 0.48$, 相关系数为正、负的年数分别占 62.5% 和 37.5%, 通过显著检验的年份相关系数均为负, 占比分别为 10% 和 2.5%, 二者负相关, 但相关性较弱。因此, 纬度越大、海拔高度越高、经度越大, 冬季开始时间越早。

总体而言, 经度、纬度和海拔高度整体对不同季节开始时间的影响程度不同。冬季受影响最大、春季其次、夏季和秋季受影响程度较小。同时, 经度、纬度和海拔高度分别对不同季节的影响程度存在差异, 春季开始时间主要受海拔高度和纬度影响, 夏季开始时间主要受海拔高度和经度影响, 秋季开始时间主要受纬度和海拔高度影响, 冬季开始时间主要受纬度和海拔高度影响, 经度影响较小。

3.2 站点对比验证

为进一步验证偏相关分析结果, 选择一种地理要素相差较大, 其他两种地理要素相差不大的两个站点进行对比分析。海拔高度、经度、纬度三种要素各选两组(图 4)。

图 4a 和图 4b 为两组海拔高度对比分析。多伦和赤峰海拔高度差为 674.3 m(图 4a)。多伦春季开始时间明显晚于赤峰, 秋季和冬季开始时间均明显早于赤峰, 符合相关性研究结果。此外, 多伦夏季有

19 a 出现无夏情况, 其余年份夏季开始时间均晚于赤峰; 多伦秋季开始时间, 仅 1996 年晚于赤峰, 这可能是由于多伦该年为春秋相连情况, 该年多伦和赤峰的秋季开始时间计算方法不同, 其余 39 a 均早于赤峰。通化和沈阳海拔高度差为 361.3 m(图 4b)。通化春季开始时间有 2 a 与沈阳相同(1983 年、1991 年), 其余 38 a 均晚于沈阳; 通化夏季开始时间均晚于沈阳; 通化秋季开始时间有 1 a 与沈阳相同(1984 年)、1 a 晚于沈阳(2010 年), 其余 38 a 均早于沈阳。通化冬季开始时间有 5 a 与沈阳相同, 其余 35 a 均早于沈阳。整体上, 海拔高度的两组分析符合相关性研究结果, 海拔高度对春季和夏季开始时间的影响最大, 两组对比中海拔高度较高的站春季和夏季开始时间均早于和等于海拔高度较低的站; 多伦和赤峰两站的海拔高度差明显大于通化和沈阳, 多伦和赤峰两站四季开始时间的差也明显大于通化和沈阳。

图 4c 和图 4d 为两组纬度对比分析。海拉尔和赤峰纬度差为 6.95° (图 4c)。海拉尔春季开始时间明显晚于赤峰, 且冬季开始时间明显早于赤峰。海拉尔夏季开始时间有 6 a 无夏、2 a 与赤峰相同(1992 年、1997 年)、1 a 仅早于赤峰 1 d(2003 年), 其余 32 a 均晚于赤峰。海拉尔秋季开始时间有 4 a 晚于赤峰(1983 年、2002 年、2007 年和 2017 年), 其余 36 a 均早于赤峰, 其中有 20 a 相差 15 d(含)以上, 最大相差 80 d。嫩江和长春纬度差为 5.27° (图 4d)。嫩江春季开始时间有 1 a 与长春相同(2010 年), 其余 39 a 均晚于长春。嫩江夏季开始时间有 1 a 无夏(1983 年)、8 a 早于长春、2 a 与长春相同(2008 年、2009 年), 其余 29 a 均为晚于长春。嫩江秋季开始时间有 3 a 晚于长春(1999 年、2004 年和 2010 年), 其余 37 a 均早于长春, 其中 19 a 相差 15 d(含)以上, 最大相差天数达 70 d。嫩江冬季开始时间有 1 a 与长春相同(2018 年), 其余 39 a 均早于长春。整体上, 纬度对春季、秋季和冬季开始时间影响均显著, 符合相关性研究结果。

图 4e 和图 4f 为两组经度对比分析。延吉和朝阳经度差为 9.02° (图 4e)。延吉春季开始时间明显晚于朝阳, 夏季开始时间有 1 a 无夏(1992 年), 其余 39 a 均明显晚于朝阳。延吉秋季开始时间有 5 a 晚于朝阳、3 a 与朝阳相同(1982 年、2005 年、2020 年), 其余 32 a 均早于朝阳。延吉冬季开始时间有

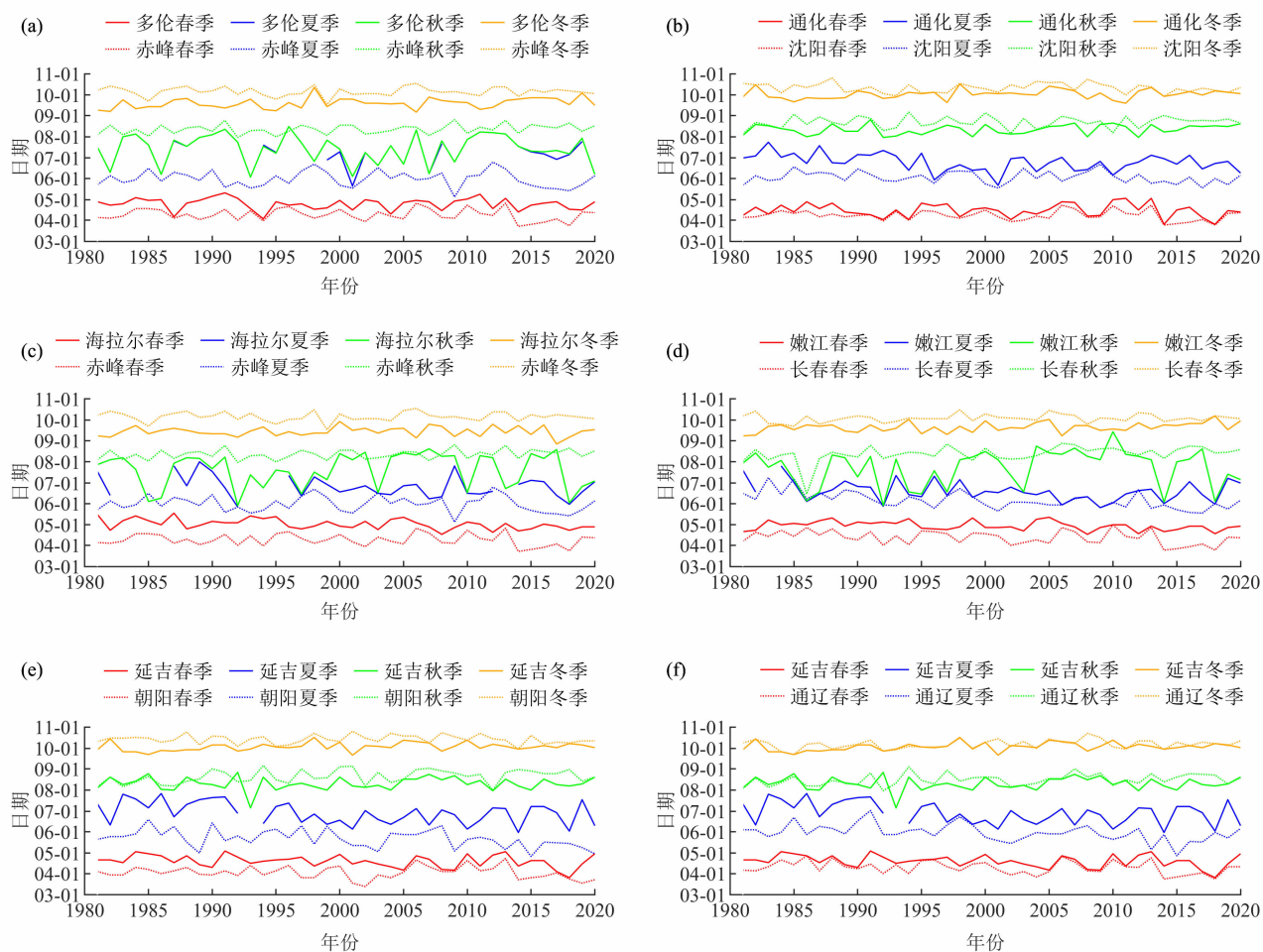


图4 不同因子四季开始时间站点对比:

- (a) 海拔对比(多伦和赤峰); (b) 海拔对比(通化和沈阳); (c) 纬度对比(海拉尔和赤峰);
 (d) 纬度对比(嫩江和长春); (e) 经度对比(延吉和朝阳); (f) 经度对比(延吉和通辽)
- Fig. 4 Beginning of four seasons between the stations with different factors:
 (a) altitude contrast (Duolun vs Chifeng); (b) altitude contrast (Tonghua vs Shenyang);
 (c) latitude contrast (Hailar vs Chifeng); (d) latitude contrast (Nenjiang vs Changchun);
 (e) longitude contrast (Yanji vs Chaoyang); (f) longitude contrast (Yanji vs Tongliao)

3 a 与朝阳相同(2007 年、2010 年、2014 年)、其余 37 a 均早于朝阳。延吉和通辽经度差为 7.2° (图 4f)。延吉春季开始时间有 1 a 与通辽相同(1986 年),其余 39 a 均晚于通辽。延吉夏季开始时间有 1 a 无夏(1992 年),其余 39 a 均明显晚于通辽。延吉秋季开始时间有 8 a 晚于通辽、4 a 与通辽相同(1990 年、2000 年、2003 年、2019 年),其余 28 a 均早于通辽。延吉冬季开始时间有 12 a 晚于通辽、8 a 与通辽相同、20 a 早于通辽。整体上,经度对春季和夏季的影响较为显著,两组对比分析符合相关性研究结果,尤其夏季的对比结果明显优于海拔高度和纬度。

4 讨论

(1) 季节转换是太阳辐射的季节变化和大气环流共同产生的结果,同时太阳辐射和大气环流又彼此相互影响。理论上,到达地面的辐射强弱主要由太阳高度角决定,太阳高度角变化不大时,海拔越高、高空大气越稀薄、大气反射回地面的辐射越少、温度则越低,即春季和夏季开始时间越晚,秋季和冬季开始时间越早。

(2) 春夏开始时间受海拔高度影响最大、秋冬开始时间受纬度影响最大,其主要机制可能是大气

环流的季节性变化。理论上,纬度越高,太阳高度角越小,温度越低,即春季和夏季开始时间越晚,秋季和冬季开始时间越早。同时,对流层大气环流的季节变化具有突变性,纬度越低,夏季环流持续时间越长,会导致秋季开始时间越晚,说明纬度对四季开始时间的影响是太阳辐射和大气环流共同作用的结果^[25]。已有研究表明,大气环流与季节转换存在密切联系,中国北方冬季的大气环流强度明显强于夏季,春季和秋季则是大气环流由强变弱和由弱增强的过渡期,因此本文结果是太阳辐射和大气环流对气温的影响在海拔高度、经度、纬度上的体现。例如,冬季强冷空气从高纬向低纬侵入,使其在经向上(南北向)带来的气温变化大于海拔高度上升带来的气温变化;夏季大气环流强度减弱,海拔高度上升带来的气温变化大于大气环流在经向上带来的气温变化。本文揭示经度对夏季开始时间的影响较大,说明大气环流对夏季开始时间的影响更多是体现在经度上,这可能是大气环流通过影响降水进而对夏季开始时间产生影响的缘故,已有研究揭示,夏季降水与气温的相关性最强^[26],夏季开始时间偏早(晚)年,中国东北地区夏季降水偏多(少),导致辐射偏少(多),气温偏低(高),最终秋季开始时间更早(晚)^[25]。

(3)本文运用的偏相关分析结果会受到样本容量的影响,延长分析年份、增大站点数量与分布范围,可能会得到不同结果。此外,影响气温的因素很多,太阳辐射经过大气层时,由于受到云、水汽、大气中的 CO₂ 和 O₃ 等气体以及气溶胶粒子的吸收、反射和散射作用,地面最终吸收的太阳辐射会出现不同程度的减弱,本文未考虑其他影响因素,仅从地理要素角度,对海拔高度、经度、纬度与四季开始时间进行初步相关性分析,并由此对太阳辐射和大气环流对四季开始时间的影响程度进行了推理分析。未来可在本文基础上开展深入研究,尝试针对经度、纬度、海拔高度三个要素,进一步开展两个相近、一个差异大,一个相近、两个差异大,三个差异都不大,三个差异都大等系统性研究,通过不同要素的定量分析,进一步探讨季节转换可能的物理机制,以及地理位置、地形要素等对中国气候的影响研究。

5 结论

本文创新性地东北地区开展海拔高度、纬度

和经度对四季开始时间影响程度的对比研究,初步探索了东北地区不同季节开始时间的影响因素和相关程度。研究结论如下:

(1)春季和夏季开始时间与海拔高度正相关,秋季和冬季开始时间与海拔高度负相关。春季开始时间与纬度正相关,秋季和冬季开始时间与纬度负相关。春季和夏季开始时间与经度正相关,冬季开始时间与经度负相关。

(2)春季开始时间受海拔高度影响最大、纬度次之、经度最小,夏季开始时间受海拔高度影响最大、经度次之,秋季开始时间受纬度影响最大、海拔高度次之,冬季开始时间受纬度影响最大、海拔高度次之、经度最小。

(3)经度、纬度和海拔高度整体对不同季节开始时间影响不同,对冬季开始时间影响最大,春季其次,夏季和秋季最小。

参考文献 (References)

- [1] 周静,肖国华,武大勇,等. 北戴河国家湿地公园后生浮游动物功能群季节分布及影响因子[J]. 河北大学学报(自然科学版), 2022, 42(2): 190-198. [ZHOU Jing, XIAO Guohua, WU Dayong, et al. Temporal distribution of metazoan zooplankton functional groups and environmental driving factors in Beidaihe national wetland park [J]. Journal of Hebei University (Natural Science Edition), 2022, 42(2): 190-198] DOI: 10.3969/j.issn.1000-1565.2022.02.013
- [2] 陈正洪,史瑞琴,陈波. 季节变化对全球气候变化的响应——以湖北省为例[J]. 地理科学, 2009, 29(6): 911-916. [CHEN Zhenghong, SHI Ruiqin, CHEN Bo. Responses of changing of climatic seasons to global warming: A case of Hubei province in central China [J]. Scientia Geographica Sinica, 2009, 29(6): 911-916] DOI: 10.13249/j.cnki.sgs.2009.06.911
- [3] 贺程程,柏峰,喻雨知,等. 近 56 a 湖北荆州四季初日与季节长度变化特征[J]. 干旱气象, 2018, 36(4): 636-643+683. [HE Chengcheng, BAI Feng, YU Yuzhi, et al. Variation characteristics of the beginning date and length of four seasons in Jingzhou of Hubei province in recent 56 a [J]. Journal of Arid Meteorology, 2018, 36(4): 636-643+683] DOI: 10.11755/j.issn.1006-7639(2018)-04-0636
- [4] 胡艳,史军,张敏. 长江三角洲地区四季变化特征及城市化影响研究[J]. 长江流域资源与环境, 2021, 30(6): 1343-1355. [HU Yan, SHI Jun, ZHANG Min. Variation in the starting date and length of four seasons and its urbanization effect in Yangtze River Delta during 1961-2017 [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2021, 30(6): 1343-1355] DOI: 10.11870/cjlyzyhj202106006

- [5] 王亚明, 李丹阳, 石林芝, 等. 廊坊市近 50 a 四季初日及时间长度的变化[J]. 河北农业科学, 2020, **24**(1): 75–79. [WANG Yaming, LI Danyang, SHI Linzhi, et al. Variation characteristics of beginning day and length of four seasons in Langfang city in recent 50 years [J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2020, **24**(1): 75–79] DOI: 10.12148/hbnykx.20200003
- [6] 曲学斌, 赵岳冀, 王彦平, 等. 1961—2016 年内蒙古四季开始日期及长度变化特征[J]. 中国农学通报, 2019, **35**(26): 129–134. [QU Xuebin, ZHAO Yueji, WANG Yanping, et al. Variation of the beginning date and length of four seasons in Inner Mongolia during 1961–2016 [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2019, **35**(26): 129–134] DOI: 10.11924/j.issn.1000–6850.casb18050102
- [7] 陈涛, 袁智生, 李超, 等. 湖南省近 54 年四季变化特征[J]. 气象科技, 2017, **45**(5): 851–857. [CHEN Tao, YUAN Zhisheng, LI Chao, et al. Variation characteristics of four seasons in Hunan province in recent 54 years [J]. Meteorological Science and Technology, 2017, **45**(5): 851–857] DOI: 10.19517/j.1671–6345.20160487
- [8] ALLEN M J, SHERIDAN S C. Evaluating changes in season length, onset, and end dates across the United States (1948–2012) [J]. International Journal of Climatology, 2016, **36**(3): 1268–1277] DOI: 10.1002/joc.4422
- [9] 林长伟, 朱艳丽, 常晓丽. 东北地区四季气温变化趋势研究[J]. 国土与自然资源研究, 2018, **40**(4): 68–72. [LIN Changwei, ZHU Yanli, CHANG Xiaoli. Study on the changing trend of temperature in the four seasons of northeast China [J]. Territory and Natural Resources Study, 2018, **40**(4): 68–72] DOI: 10.16202/j.cnki.tnrs.2018.04.019
- [10] 郁珍艳, 范广洲, 华维, 等. 近 47 年我国四季长度的变化研究[J]. 高原气象, 2011, **30**(1): 182–190. [YU Zhenyan, FAN Guangzhou, HUA Wei, et al. Research for length change of four seasons over China in recent 47 years [J]. Plateau Meteorology, 2011, **30**(1): 182–190] DOI: 1000–0534(2011)01–0182–09
- [11] 任妍, 赵巧华. 1971—2013 年我国四季开始日期及生长期长度的变化特征分析[J]. 气候与环境研究, 2017, **22**(2): 203–211. [REN Yan, ZHAO Qiaohua. Analysis of changes in starting dates of the four seasons and the length of the growing season in China during 1971 to 2013 [J]. Climatic and Environmental Research, 2017, **22**(2): 203–211] DOI: 10.3878/j.issn.1006–9585.2016.16030
- [12] 秦爱民, 钱维宏, 蔡亲波. 1960—2000 年中国不同季节的气温分区及趋势[J]. 气象科学, 2005, **25**(4): 4338–4345. [QIN Aimin, QIAN Weihong, CAI Qinbo. Seasonal division and trend characteristic of air temperature in China in the last 41 years [J]. Scientia Meteorologica Sinica, 2005, **25**(4): 4338–4345]
- [13] 古亚丽, 范思睿. 青藏高原四季开始日期随海拔高度和纬度变化[J]. 高原山地气象研究, 2012, **32**(3): 16–21. [GU Yali, FAN Sirui. Research on the relationships between the beginning data of seasons and the change of altitude and latitude [J]. Plateau and Mountain Meteorology Research, 2012, **32**(3): 16–21] DOI: 10.3969/j.issn.1674–2184.2012.03.003
- [14] 沈燕金, 张一扬, 李德青, 等. 文山烟叶主要化学成分与海拔经纬度相关性分析[J]. 湖南农业科学, 2015, **54**(11): 29–31. [SHEN Yanjin, ZHANG Yiyang, LI Deqing, et al. Correlation analysis between chemical compositions of flue-cured tobacco leaves and altitude, longitude and latitude in Wenshan [J]. Hunan Agricultural Sciences, 2015, **54**(11): 29–31] DOI: 10.16498/j.cnki.hnnykx.2015.11.009
- [15] 刘珍环, 唐鹏钦, 范玲玲, 等. 1980—2010 年东北地区种植结构时空变化特征[J]. 中国农业科学, 2016, **49**(21): 4107–4119. [LIU Zhenhuan, TANG Pengqin, FAN Lingling, et al. Spatio-temporal changes of cropping types in northeast China during 1980–2010 [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2016, **49**(21): 4107–4119] DOI: 10.3864/j.issn.0578–1752.2016.21.005
- [16] 《东北区域气候变化评估报告:2020》编写委员会. 东北区域气候变化评估报告:2020—决策者摘要[M]. 北京: 气象出版社, 2021: 3. [Editorial Board of Assessment Report of Regional Climate Change in Northeast: 2020. Assessment report of regional climate change in northeast: 2020 – Summary for policymakers [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2021: 3]
- [17] 孟鑫, 张瑜, 高松影, 等. 东北近 60 年盛夏降水特征及其与不同类型厄尔尼诺的联系[J]. 水土保持研究, 2022, **29**(2): 170–178. [MENG Xin, ZHANG Yu, GAO Songying, et al. Characteristics of midsummer precipitation in northeast China during the last 60 years and its relationship with different types El Niño events [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2022, **29**(2): 170–178] DOI: 10.13869/j.cnki.rswc.2022.02.006
- [18] 张宝堃. 中国四季之分配[J]. 地理学报, 1934, **1**(1): 29–74 + 198. [ZHANG Baokun. The duration of four seasons in China [J]. Acta Geographica Sinica, 1934, **1**(1): 29–74 + 198] DOI: 10.11821/xb193401002
- [19] GB/T 42074–2022. 气候季节划分[S]. 北京: 国家市场监督管理总局、国家标准化管理委员会, 2022. [GB/T 42074–2022. Division of climatic season [S]. Beijing: State Administration for Market Regulation, Standardization Administration, 2022]
- [20] 郑红, 王艳秋, 苍蕴琦. 哈尔滨的四季与季节划分指标的探讨[J]. 黑龙江气象, 2001(3): 32–33. [ZHENG Hong, WANG Yanqiu, CANG Yunqi. Investigation on the four seasons of Harbin and division of season index [J]. Heilongjiang Meteorology, 2001(3): 32–33] DOI: 10.14021/j.cnki.hljqx.2001.03.011
- [21] 范思睿, 范广洲, 董一平, 等. 青藏高原四季划分方法探讨[J]. 高原山地气象研究, 2011, **31**(2): 1–11. [FAN Sirui, FAN Guangzhou, DONG Yiping, et al. Research of the seasonal division method on Tibetan Plateau [J]. Plateau and Mountain

- Meteorology Research, 2011, **31**(2): 1 – 11] DOI: 10.3969/j.issn.1674-2184.2011.02.001
- [22] 严丽坤. 相关系数与偏相关系数在相关分析中的应用[J]. 云南财贸学院学报, 2003, **19**(3): 78 – 80. [YAN Likun. Application of correlation coefficient and biased correlation coefficient in related analysis [J]. Journal of Yunnan University of Finance and Economics, 2003, **19**(3): 78 – 80] DOI: 10.16537/j.cnki.jynufe.2003.03.018
- [23] 傅德印. 对相关系数计算的系统分析[J]. 统计与信息论坛, 1994, **9**(1): 15 – 19. [FU Deyin. Systematic analysis of correlation coefficient calculation [J]. Statistics and Information Forum, 1994, **9**(1): 15 – 19]
- [24] 汪柳皓, 魏显虎, 张宗科, 等. 青藏高原地区植被指数变化及其与温湿度因子的关系[J]. 森林与环境学报, 2022, **42**(2): 141 – 148. [WANG Liuhao, WEI Xianhu, ZHANG Zongke, et al. NDVI variation and its relationship with temperature and precipitation on the Tibetan Plateau [J]. Journal of Forest and Environment, 2022, **42**(2): 141 – 148] DOI: 10.13324/j.cnki.jfcf.2022.02.004
- [25] 张邦林, 曾庆存. 论大气环流的季节划分和季节突变 II. 个别年份的分析[J]. 大气科学, 1998, **22**(2): 129 – 136. [ZHANG Banglin, ZENG Qingcun. A study on the seasons of general atmospheric circulation and their abrupt changes_Part II: Case study of particular year [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 1998, **22**(2): 129 – 136] DOI: 10.1007/s00376-999-0032-1
- [26] 陈阳, 马龙, 刘廷玺, 等. 中国北方地区季节降水与气温关系及其时空变异性[J]. 干旱区地理, 2021, **44**(6): 1545 – 1558. [CHEN Yang, MA Long, LIU Tingxi, et al. Relationship between seasonal precipitation and temperature and its spatiotemporal variability in northern China [J]. Arid Land Geography, 2021, **44**(6): 1545 – 1558.] DOI: 10.12118/j.issn.1000-6060.2021.06.04

Influence of Geographic Elements on the Beginning of Four Seasons in Northeast China for the Period of 1981 – 2020

ZHANG Yu¹, MENG Xin², LIU Yang³, LIAO Bin¹, ZENG Shenglan⁴

(1. Beijing Institute of Applied Meteorology, Beijing 100029, China;

2. Dandong Meteorological Bureau of Liaoning, Dandong 118000, Liaoning, China; 3. National Meteorological Center, Beijing 100081, China;

4. College of Atmospheric Science, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

Abstract: Geographical elements such as longitude, latitude, and altitude have direct effect on the start time of four seasons; however, the extent and nature of the influences, and the variability in the extent on which the same geographical element affects different seasons, had not yet been revealed, particularly for Northeast China, where the rising temperature with prolonged/shortened seasons have been significantly changing the structure of forestry for years.

In this study, based on original the records of daily mean temperature of 1981–2020 collected at 27 meteorological stations established over northeast China, it used a pentad mean temperature method to calculate the start time of four seasons, and then their spatio-temporal distribution subjected to geographical elements was addressed by partial correlation analysis.

(1) In Northeast China, the beginning dates in spring and summer was positively correlated with altitude, but the dates in autumn and winter was negatively correlated with altitude. The beginning date in spring was positively correlated with latitude, but the dates in autumn and winter was negatively correlated with latitude. The beginning date of spring and summer was positively with longitude, but the date in winter was negatively correlated with longitude.

(2) Longitude, latitude, and altitude had different impacts on the start of four seasons. The beginning date of

spring was influenced most by altitude, second by latitude, and least by longitude. The beginning date of summer was influenced most by altitude, followed by longitude. The beginning date of autumn was influenced most by latitude, followed by altitude. The beginning date of winter was influenced most by latitude, second by altitude, and least by longitude.

(3) Longitude, latitude, and altitude generally had different effects on the start of four seasons, with winter being the most affected, followed by spring, and to a lesser extent summer and fall.

This study identified the start time of four seasons with associated influencing facts in Northeast China, which would provide a scientific guidance for local crop seed selection and site selection, to promote the development of agriculture and economy.

Key words: beginning dates of seasons; altitude; longitude; latitude; partial correlation coefficient

(责任编辑 朱颖彦 钟雨倩)