

基于地理探测器的东北地区气温变化影响因素定量分析

于 佳, 刘吉平

(吉林师范大学旅游与地理科学学院, 吉林 四平 136000)

摘要:利用地理探测器,结合 ArcGIS 技术及线性倾向率方法,对东北地区 1960–2011 年气温变化情况以及影响因素进行定量分析。研究结果表明,1960–2011 年东北地区气温线性倾向率介于 $0.22\sim 0.64\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 之间,气温呈升高趋势,升温幅度由南向北逐渐增大;影响因子贡献量由大到小为植被类型、地貌类型、湿地率、GDP、土壤类型、人口密度、农田率、气候类型、海拔高度、森林率,自然因子影响气温变化的贡献量大于社会因子;因子之间具有交互作用,主要表现为协同作用和非线性协同作用,社会因子增强了自然因子的贡献量,共同导致气温变化。本研究为更加准确认识气温变化的影响因素及制定有效预防气候变化的相关政策提供科学依据。

关键词:地理探测器;气温变化;影响因子;东北地区;贡献量

中图分类号:P94

文献标志码:A

文章编号:0439–8114(2015)19–4682–06

DOI:10.14088/j.cnki.issn0439–8114.2015.19.007

Quantitative Analysis with Geographical Detector on the Influence Factor of Temperature Variation in Northeast China

YU Jia, LIU Ji-ping

(College of Tourist and Geoscience, Jilin Normal University, Siping 136000, Jilin, China)

Abstract: The temperature variation and its influence factors were analyzed quantitatively combined with ArcGIS and linear trend analysis. The results showed that the temperature linear tendency rate ranged from $0.22^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ to $0.64^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ from 1960 to 2011. The temperature rise gradually increased from south to north in northeast China. The contribution of factors to temperature rise were as following, vegetation type, geomorphic, wetland, GDP, soil, population, farmland, climate, elevation and forest. The contribution of natural factors was higher than that of social factors. There was interaction between factor, mainly fo synergies and nonlinear synergies. The social factors enhanced the contribution of natural factors to the temperature rise, and both social factors and natural factors lead to rising the temperature of northeast China.

Key words: geographical detector; temperature variation; influence factors; Northeast China; contribution

根据全球政府间气候专门委员会的第五次评估报告,全球变暖既成事实,该事实所引起的负面影响已获得广泛关注^[1]。国内外学者对气温变化的特征及其机理进行了深入的研究^[2–12],包括对于全球气候变化成因的研究,中国气温变化的区域差异和时空变化的研究,还包括对于未来气温变化预估等研究,而对气温变化影响因素的定量研究相对较少^[3]。中国气温也呈现明显增温趋势,与全球气温

变化趋势一致^[2–7],但不同地区气温变化幅度有所不同。就中国东北地区而言,东北地区位于亚欧大陆东部中高纬度地区,气候的季节性变化与整个东亚大气环流紧密相连,气候变率比较大^[10],影响因素复杂多样。

为了定量分析东北地区气温变化的影响因素,以及影响因素之间的相互关系,本研究尝试利用地理探测器进行探测分析。目前地理探测器主要

收稿日期:2014–10–17

基金项目:国家自然科学基金项目(41071037);教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NCET–12);吉林省科技厅项目(20130101097JC);吉林省教育厅项目(吉教科合字[2013]201号);吉林师范大学研究生创新科研计划项目(2013036)

作者简介:于 佳(1989–),女,吉林桦甸人,硕士研究生,(电话)13089288778(电子信箱)yujia1208@163.com;通信作者,刘吉平(1972–),男,山东定陶县人,教授,博士,主要从事资源与环境信息系统研究,(电子信箱)liujpjl@163.com。

应用环境因子与人类健康之间的关系研究^[13-15],如 Wang 等^[14]利用地理探测器研究中国和顺地区神经中枢缺陷疾病的致病因子,但在气候变化与其驱动因子间的关系研究尚不多见。本研究利用地理探测器研究东北地区气温变化与其驱动因子之间的定量关系,比较不同驱动因子对气温变化的贡献量大小,研究驱动因子在影响气温变化中的相互关系,为更加准确认识气候变化的影响因素及制定有效预防气候变化的相关政策提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

东北区在行政区划上包括黑龙江省、辽宁省和吉林省以及内蒙古地区的 4 个盟市(通辽市、呼伦贝尔市、赤峰市和兴安盟),地理位置为 38°72'N-53°55'N,115°52'E-135°09'E(图 1),属于温带大陆性季风气候。东北地区总面积为 $1.26 \times 10^6 \text{ km}^2$,约占全国总面积的 13%。地貌类型和土地利用类型复杂多样,主要的自然地理单元包括大兴安岭、小兴安岭、长白山地和松嫩平原。主要的植被类型为寒温带落叶针叶林、温带针阔叶混交林、温带森林草原、草甸草原和干草原。东北地区是我国综合经济发展水平较高的经济增长地区。

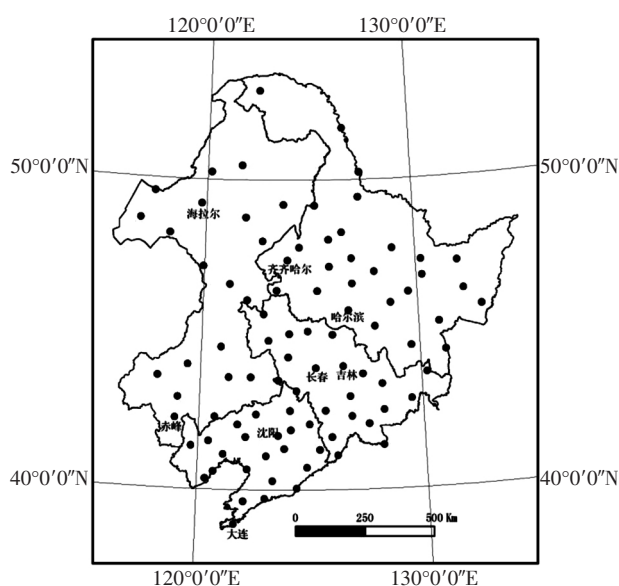


图 1 东北地区位置及所选气象台站分布

1.2 方法

1.2.1 数据来源 研究尺度不同,气候变化的影响因素亦不同。具体区域与全球尺度的气候变化影响因素亦不同。全球尺度上气候变化的影响因素,主要研究的是气候系统内部变率(如环流因子)和外强迫因子(如太阳活动、火山活动、人类活动),而对于区域(东北地区)的气候变化,其影响因素主要包

括区域的下垫面性质以及人类活动的影响,因此本研究应用的数据主要包括东北地区气候区划图、地貌区划图、植被区划图、土壤区划图、DEM 数据、东北地区各县市的气象资料、社会经济数据等。选用东北地区 1960-2011 年 119 个气象台站的年平均气温数据,数据源自中国气象科学数据共享服务网(<http://cdc.cma.gov.cn/>);湿地率、森林率和农田率的变化幅度随着时间的推移变化比较大,所以采用中间时期东北地区 1985 年的数据进行分析研究;气候区划图、地貌区划图、植被区划图、土壤区划图来源于东北地区自然地图集^[15];DEM 数据由马里兰大学地球科学数据中心(<http://glcfpp.umi.acs.umd>)提供;社会经济数据来源于 1960-2011 年黑龙江省、吉林省、辽宁省和内蒙古自治区的统计年鉴及相关历史统计资料。海拔高度采用每个网格海拔高度的平均值,GDP 和人口密度采用 1960-2011 年的平均值。利用平均气温计算气温线性倾向率,在 ArcGIS 9.3 里对 DEM 数据进行处理,计算得到平均海拔高度,对区划图进行数字化处理。且为保证数据时空上的连续性和完整性,对于缺失数据通过与邻近点的线性回归分析进行插值补齐,将插值后的数据与原数据相结合进行处理分析。

1.2.2 研究方法 根据东北地区的面积和研究尺度,结合地理探测器的应用要求^[16],将整个研究区域划分成 1 812 个网格,每个网格的面积为 625 km^2 。本研究用线性倾向率方法计算每一个气象台站的气温倾向率,然后利用 ArcGIS 9.3,采用克里金插值方法,预测每一个网格的气温倾向率,并利用地理探测器定量分析气温变化的影响因素。

线性倾向率方法一般采用一元线性回归模型描述,即:

$$y=a+bx \quad (1)$$

(1)式中, y 为气候要素序列(气温), x 为时间序列(1960-2011 年), b 为线性趋势项,其值为线性倾向率,单位为 $^{\circ}\text{C}/\text{a}$ 。

本研究主要应用地理探测器中的风险探测器、因子探测器和交互作用探测器。

风险探测器,探测因子对气温变化是否具有风险性,计算方法如下:

$$t_{R_{z=1}-R_{z=2}} = \frac{\overline{R_{z=1}} - \overline{R_{z=2}}}{\left[\frac{1}{n_{z=1,p}} \sigma_{R_{z=1}}^2 + \frac{1}{n_{z=2,p}} \sigma_{R_{z=2}}^2 \right]^{1/2}} \quad (2)$$

$$df =$$

$$\frac{\left[\frac{1}{n_{z=1,p}} \sigma_{R_{z=1}}^2 + \frac{1}{n_{z=2,p}} \sigma_{R_{z=2}}^2 \right]}{\frac{1}{n_{z=1,p}} \left[\frac{1}{n_{z=1,p}} \sigma_{R_{z=1}}^2 \right] + \frac{1}{n_{z=2,p}} \left[\frac{1}{n_{z=2,p}} \sigma_{R_{z=2}}^2 \right]} \quad (3)$$

式中 $n_{z,p}$ 表示 z 区域内的样本单元 p , R 表示因子, σ 表示标准差。

因子探测器, 用因子的解释力 $P_{D,H}$ 进行判断, 解释力越大, 因子对于气温变化的贡献量越大, 即关系越密切。计算方法如下:

$$F = \frac{\sigma_{D,p}^2}{\sigma_{D,z}^2} = \frac{ms_{1m}^2(n-1)}{ns_{2n}^2(m-1)} \quad (4)$$

$$P_{D,H} = 1 - \frac{\sigma_{D,z}^2}{\sigma_{D,p}^2} \quad (5)$$

式中 D 为影响因子, H 为气温倾向率, $P_{D,H}$ 为 D 对 H 的解释力, 即贡献量。

交互作用探测器, 探测风险因子之间是否存在交互作用, 计算公式如下:

$$L = C = A \cap B: 1 - \frac{\sigma_{D,z}^2}{\sigma_{D,p}^2} \quad (6)$$

$$A+B: \sum_{L=A,B} (1 - \frac{\sigma_{D,z}^2}{\sigma_{D,p}^2}) \quad (7)$$

协同作用: $P_{D,H}(D_1 \cap D_2) > P_{D,H}(D_1)$ 或 $P_{D,H}(D_2)$

双协同作用: $P_{D,H}(D_1 \cap D_2) > P_{D,H}(D_1)$ 和 $P_{D,H}(D_2)$

非线性协同作用: $P_{D,H}(D_1 \cap D_2) > P_{D,H}(D_1) + P_{D,H}(D_2)$

拮抗作用: $P_{D,H}(D_1 \cap D_2) < P_{D,H}(D_1) + P_{D,H}(D_2)$

单拮抗作用: $P_{D,H}(D_1 \cap D_2) < P_{D,H}(D_1)$ 或 $P_{D,H}(D_2)$

非线性拮抗作用: $P_{D,H}(D_1 \cap D_2) < P_{D,H}(D_1)$ 和 $P_{D,H}(D_2)$

相互独立: $P_{D,H}(D_1 \cap D_2) = P_{D,H}(D_1) + P_{D,H}(D_2)$

利用地理探测器软件, 以气温倾向率作为 GridSystem 图层, 其他驱动因子作为地理区域图层, 进行探测分析。

2 结果与分析

2.1 东北地区气温变化区域差异

根据所选择的 1960–2011 年气象台站观测数据, 通过线性倾向率和克里金插值方法, 结合 ArcGIS 技术, 得到东北地区气温线性倾向率空间插值图(图 2)。东北地区气温线性倾向率介于 0.22~0.64 °C/10 a 之间, 最小值与最大值分别位于东北地区南端辽宁省内, 以及东北地区东北角黑龙江省内以呼玛为中心周围地区, 呈现由南向北递增趋势, 说明整个东北地区升温幅度由南向北逐渐增大。气温线性倾向率由南向北呈现条带状分布, 北部地区以哈尔滨、齐齐哈尔一线大致呈现东南—西北走向, 南部大部分区域呈现东北—西南走向。

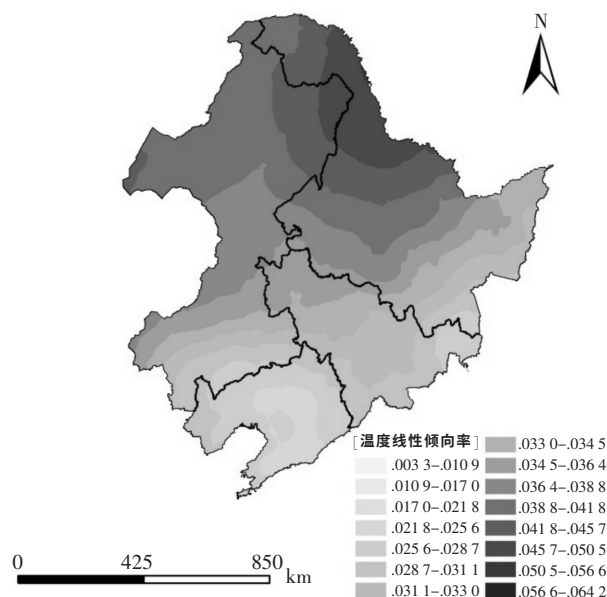


图 2 东北地区气温变化空间分布

从行政区划上分析, 吉林省、辽宁省和内蒙古南部小部分区域增温幅度较小, 而且区域内地区之间升温幅度差别不大, 最大值与最小值的差值为 0.07 °C/10 a, 黑龙江省和内蒙古北部区域增温幅度较大, 区域内相邻地区之间气温变化幅度差别不大, 但非相邻地区之间气温变化幅度差值较大, 最大值与最小值的差值为 0.331 °C/10 a。

2.2 气温变化影响因子的定量分析

2.2.1 风险分析 为了确定驱动因子对气温变化的具体影响, 本研究从自然驱动因子和社会驱动因子两个层面开展风险分析。自然因子有土壤类型、植被类型、地貌类型、气候类型、海拔高度、湿地率、森林率(图 3 和图 4); 社会因子有人口密度、国内生产总值和农田率(图 5)。以不同的海拔高度为例(表 1), 比较气温变化的差异性情况, 编号 1~8 代表不同的海拔高程, 1 代表海拔高度(h) < 120 m, 2 代表 120 m ≤ h < 240 m, 3 代表 240 m ≤ h < 360 m, 4 代表 360 m ≤ h < 480 m, 5 代表 480 m ≤ h < 600 m, 6 代表 600 m ≤ h < 720 m, 7 代表 720 m ≤ h < 840 m, 8 代表 h ≥ 840 m。

结果表明, 当将平均海拔高度按照以上数值进行分级时, 气温变化统计显著差异性结果为最佳, 说明海拔高度对气温变化具有风险性。如同海拔高程的风险分析, 对其他因子做类似分析, 将分类因子(土壤、植被、地貌、气候)按照不同类型进行分级, 经风险探测器探测, 结果显示当地貌类型分为 6 类, 植被类型分为 9 类, 土壤类型分为 9 类, 气候类型分为 4 类时, 因子的统计显著差异性为最佳。因此将土壤、植被、地貌和气候按照不同类型进行分类; 其他因子通过风险探测器反复探测统计显著差异

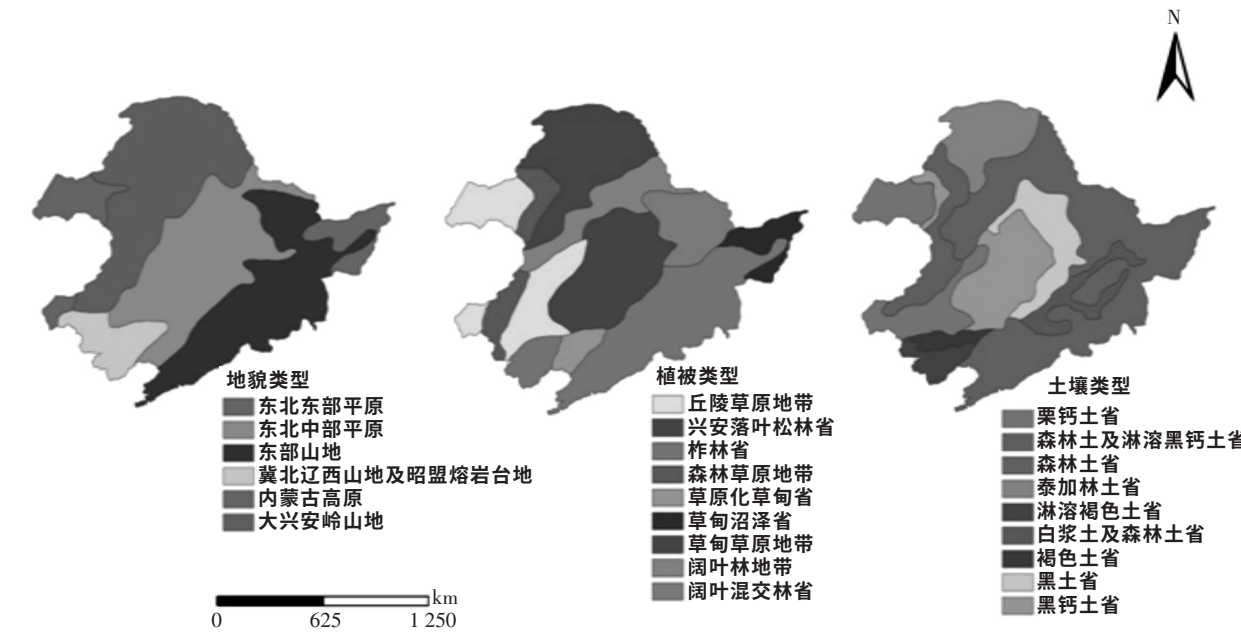


图 3 东北地区地貌、植被、土壤分布

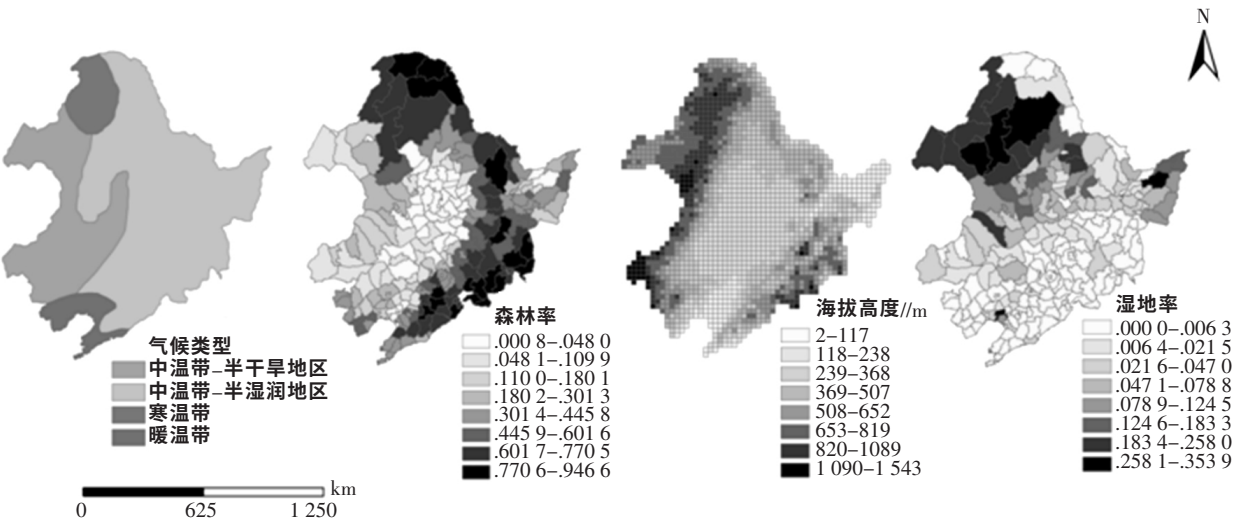


图 4 自然驱动因子

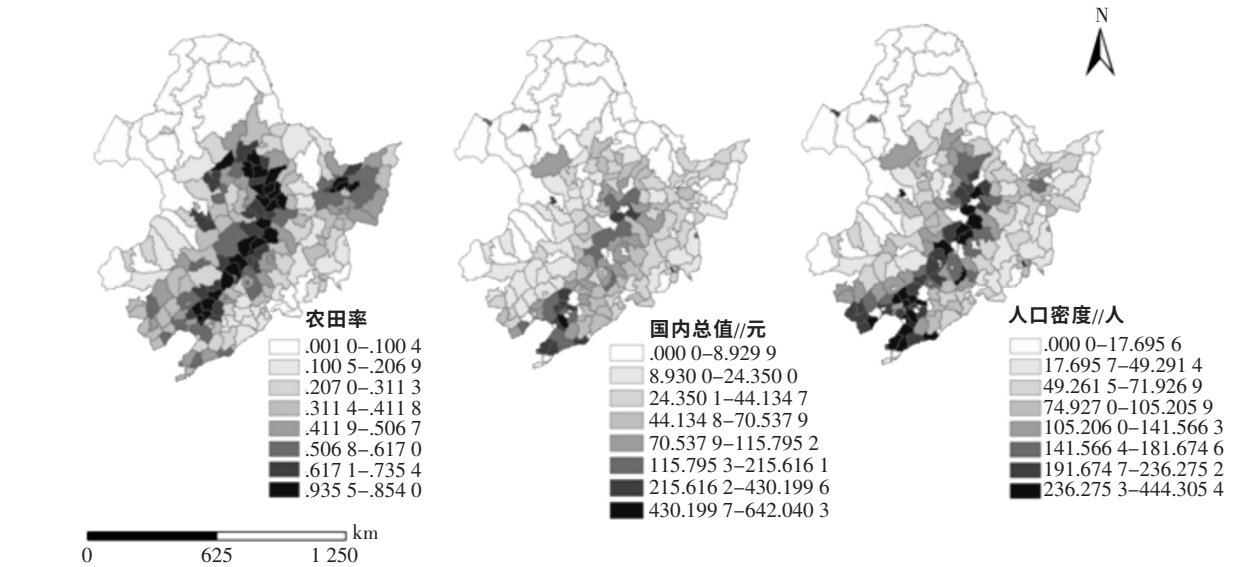


图 5 社会驱动因子

表 1 不同海拔高程之间气温倾向率差异性的统计显著性

海拔高程	1	8	7	2	6	3	4	5
1								
8	Y							
7	Y	Y						
2	Y	Y	N					
6	Y	Y	Y	N				
3	Y	Y	Y	Y	Y			
4	Y	Y	Y	Y	Y	Y		
5	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	

注:数字表示不同海拔高程代码,Y表示两个高程之间气温倾向率在 95%的程度上差异显著,N表示不显著。

性情况,根据探测结果进行分级,结果显示当分为 8 级时,因子的显著差异性为最佳,因此将这些研究因子根据不同数值分为 8 级进行探测研究。探测结果表明所有因子均存在差异性,且差异性显著,说明所研究的影响因子对气温变化具有风险性。

2.2.2 因子分析 利用因子探测器探测影响因子之间的相对重要性,即每个因子对气温变化的贡献量($P_{D,H}$),排列顺序如下。

自然因子:植被类型(67.5%)>地貌类型(42.0%)>湿地率(34.6%)>土壤类型(20.3%)>气候类型(17.8%)>海拔高度(6.9%)>森林率(6.6%)。

社会因子:GDP(30.5%)>人口密度(28.3%)>农田率(24.9%)

植被类型和地貌类型影响气温变化的贡献量排在前两位,表明区域自然环境对气温变化有主导作用;森林率和海拔高度对气温变化的贡献量最

小, $P_{D,H}$ 小于 10%;植被类型与 GDP 的贡献量差值较大,即自然因子与社会因子在影响气温变化时差异性较大,并以不同方式和强度影响气温变化;社会因子中 $P_{D,H}$ 最小的农田率,大于气候类型、海拔高度和森林率的 $P_{D,H}$,表示并不是所有自然因子对气温变化的影响都有主导作用,社会因子对气温变化影响不容忽视;比较社会因子影响气温变化的贡献量, $P_{D,H}$ 差值均不超过 5%,这主要是由于所有社会活动都与人口数量变化密切相关,所以社会因子如社会活动、人口数量等对气温变化的影响力相当。

2.2.3 交互分析 在自然环境中,气温变化是多种因素共同作用的结果,而在实际环境中,也不可能存在单一因素或者单一性质的因素影响气温变化。利用交互探测器探测驱动因子之间影响气温变化的相互关系。驱动因子之间主要是协同作用和非线性协同作用,不存在相互独立起作用的因子(表 2)。湿地率∩森林率两种因子在影响气温变化时具有协同作用[湿地率∩农田率>湿地率(0.346)+农田率(0.066)],根据 C 与 A+B 的差值来分析,协同作用相对于其他因子之间的协同作用较为显著。

社会因子中,GDP 与农田率和人口密度之间的交互结果($GDP \cap 农田 < (GDP + 农田率)$, $GDP \cap 人口密度 < (GDP + 人口密度)$)相比较,农田率与 GDP 交互作用($P_{D,H}$)大于人口密度与 GDP 的交互作用($P_{D,H}$),而农田率的贡献量小于人口密度,表示 GDP 增强农田率影响气温变化的强度大于人口密度。此外,社会因子交互作用的贡献量与两个因子单独作用贡

表 2 气温变化影响因子之间的交互作用

C	A+B	结果	解释
海拔高度∩土壤类型 =0.359	>0.272=海拔高度(0.069)+土壤类型(0.203)	C>A+B	非线性增强
海拔高度∩气候类型 =0.248	>0.247=海拔高度(0.069)+气候类型(0.178)	C>A+B	非线性增强
海拔高度∩植被类型 =0.725	<0.744=海拔高度(0.069)+植被类型(0.675)	C<A+B C>A,B	相互增强
海拔高度∩地貌类型 =0.487	<0.489=海拔高度(0.069)+地貌类型(0.42)	C<A+B C>A,B	相互增强
土壤类型∩气候类型 =0.291	<0.381=土壤类型(0.203)+气候类型(0.178)	C<A+B C>A,B	相互增强
气候类型∩植被类型 =0.723	<0.853=气候类型(0.178)+植被类型(0.675)	C<A+B C>A,B	相互增强
湿地率∩森林率=0.57	>0.412=湿地率(0.346)+森林率(0.066)	C>A+B	非线性增强
GDP∩农田率=0.544	<0.554=GDP(0.305)+农田率(0.249)	C<A+B C>A,B	相互增强
GDP∩人口密度=0.42	<0.588=GDP(0.305)+人口密度(0.283)	C<A+B C>A,B	相互增强
农田率∩人口密度=0.548	>0.532=农田率(0.249)+人口密(0.283)	C>A+B	非线性增强

注:由于因子交互数量过多,以上只列出部分因子的交互结果。

献量之和的差值较小,进一步说明社会因子之间影响气温变化的差异性较小。此外,存在一种因子对其他因子影响不大,或几乎没有影响的情况,但是该因子的作用不能被忽略,仍然属于协同作用。社会因子可以增强自然因子对气温变化的贡献量,说明社会因子,即人类活动对气温变化的影响越来越大。

自然因子与社会因子的交互作用,交互结果为:农田率 $\cap$ 湿地率(61.9%)> GDP $\cap$ 湿地率(61.4%)> GDP $\cap$ 森林率(58.3%)>农田率 $\cap$ 森林率(47.5%)

不同自然因子与社会因子交互作用的贡献量不同,交互作用最大($P_{D,H}$)为 61.9%(农田率 $\cap$ 湿地率),大于社会因子之间交互作用($P_{D,H}$)的最大值 54.8%(农田率 $\cap$ 人口密度),小于自然因子之间交互作用($P_{D,H}$)的最大值 72.5%(海拔高度 $\cap$ 植被类型),说明在所有影响气温变化的因子中,区域自然因子占主导作用,当自然因子与社会因子共同作用影响气温变化时,社会因子会增强自然因子对气温变化的影响力度,共同作用导致气温变化。

3 结论

1)东北地区气温幅度由南向北逐渐增大,升温幅度最大的地区是黑龙江省呼玛县,增温幅度最小的是辽宁省辽阳市。气温变化呈现条带状分布,低纬地区大致呈现东北—西南走向,高纬地区以哈尔滨、齐齐哈尔一线大致呈现东南—西北走向。

2)因子探测器探测结果显示,自然因子植被类型和地貌类型影响气温变化的贡献量相对较大;湿地在影响气温变化方面具有相对重要的地位;自然因子影响气温变化的差异性较大,社会因子影响气温变化的差异性相对较小。

3)交互探测器探测结果显示,所研究的影响因子具有交互作用,共同导致气温变化;存在交互贡献量大于两个因子单独作用贡献量之和,属于非线性协同作用,因子海拔高度和土壤类型、海拔高度和气候类型、湿地率和森林率、农田率和人口密度呈现非线性协同作用;同时也存在交互贡献量小于两个因子单独作用贡献量之和,但大于每一个因子单独作用的贡献量,属于协同作用,如自然因子海拔高度和植被类型、社会因子 GDP 和人口密度呈现协同作用,因子之间相互增强影响气温变化的驱动强度。但随着人类活动范围和强度的增大,社会因子影响气温变化的贡献量也会随之增大

由于数据缺失以及数据的不可用性,本研究中只对影响气温变化的一部分驱动因子做了定量分析,量化说明自然因子和社会因子在影响气温变化

时,因子之间的相对重要性以及二者交互作用时影响气温变化的相对重要性,进一步分析驱动因子之间的相互关系。在自然空间中,自然因子和社会因子不会单独存在,而是相互依附相互影响相互改变,人为因子对自然环境的影响越来越大^[16,17],例如贺建林等^[17]关于人类社会活动对自然环境的影响与对策初探的研究,张丽玲^[18]对人与自然关系的主体原因探析的研究,均说明了社会因子与自然因子之间相互影响相互依存的关系。而对于每个影响因子具体怎样影响气温变化,其作用过程和作用机制有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 秦大河,STOCKER T. IPCC 第五次评估报告第一工作组报告的亮点结论[J].气候变化研究进展,2014,10(1):1-6.
- [2] 杨冬红,杨学祥.全球气候变化的成因初探[J].地球物理学进展,2013,28(4):1666-1677.
- [3] KING D. Climate change: the science and policy[J]. Journal of Applied Ecology, 2005, 42(5): 779-783.
- [4] WEART S R. The discovery of global warming[M]. Cambridge: Harvard University Press, 2008.
- [5] 董思言,高学杰.长期气候变化——IPCC 第五次评估报告解读[J].气候变化研究进展,2014,10(1):56-59.
- [6] 张雪芹,孙 杨,毛炜峰,等.中国干旱区气温变化对全球变暖的区域响应[J].干旱区研究,2010,27(4):592-599.
- [7] 闫敏华.东北地区器测时期气候变化及其地域差异研究[M].北京:科学出版社,2007.
- [8] 张 强,韩永翔,宋连春.全球气候变化及其影响因素研究进展综述[J].地球科学进展,2005,20(9):990-998.
- [9] 张晶晶,陈 爽,赵昕奕.近 50 年中国气温变化的区域差异及其与全球气候变化的联系[J].干旱区资源与环境,2006,20(4):1-6.
- [10] 赵宗慈,罗 勇. 21 世纪中国东北地区气候变化预估[J].气象与环境学报,2007,23(3):1-4.
- [11] 董满宇,吴正方.近 50 年来东北地区气温变化时空特征分析[J].资源科学,2008,30(7):1093-1099.
- [12] 汪 凯,叶 红,唐立娜,等.气温日较差研究进展:变化趋势及其影响因素[J].气候变化研究进展,2010,6(6):417-423.
- [13] HU Y, WANG J F, REN D, et al. Geographical-detector-based risk assessment of the under-five mortality in the 2008 Wenchuan Earthquake, China[J]. PLoS ONE, 2011, 6(6): e21427.
- [14] WANG J F, LI X H, CHRISTAKOS G, et al. Geographical detectors-based health risk assessment and its application in the neural tube defects study of the Heshun Region, China [J]. International Journal of Geographical Information Science, 2010, 24(1): 107-127.
- [15] 中国科学院黑龙江流域综合考察队.东北地区自然地图集[Z].北京:科学出版社,1965.
- [16] CAO F, GE Y, WANG J F. Optimal discretization for geographical detectors-based risk assessment [J]. GIScience & Remote Sensing, 2013, 50(1): 78-92.
- [17] 贺建林,张 勇.人类社会活动对自然环境的影响与对策初探[J].云南地理环境研究,2001,13(1):28-33.
- [18] 张丽玲.人与自然关系的主体原因探析[J].洛阳师范学院学报,2002(6):13-14.

(责任编辑 龚 艳)