

近60年来辽宁省农业气候资源重心时空特征变化研究

耿文杰^{1,2}, 李晓文³, 王晓杰², 于文颖^{1,4}, 刘东明⁵, 纪瑞鹏^{4,5*}

(1. 中国气象局沈阳大气环境研究所, 沈阳 110166; 2. 朝阳县气象局, 辽宁 朝阳 122000; 3. 旅顺口区气象局, 辽宁 大连 116041; 4. 辽宁省农业气象灾害重点实验室, 沈阳 110166; 5. 辽宁省生态气象和卫星遥感中心, 沈阳 110166)

摘要:农业气候资源重心研究可为农业种植结构调整、农业产业化布局及农业气候资源合理利用提供科学参考。为研究辽宁区域内各种农业气候资源匹配状况和变化趋势,利用农业气候资源评价方法和重心模型,分析了1961-2020年辽宁省农业气候资源重心位置轨迹变化的时空演变特征,基于耦合态势模型,探讨了综合农业气候资源与光能、热量、水分资源相互之间的耦合关系。结果表明:(1)辽宁省农业气候资源重心在县域尺度上移动相对稳定,60年来综合农业气候资源重心、光能资源重心和热量资源重心始终位于盘锦市境内,水分资源重心位于鞍山市境内,各资源重心年代际间绝对移动距离在1.50~17.97 km。(2)综合农业气候资源重心与热量资源重心在空间距离上较接近,绝对距离在1.17~34.87 km;与水分资源重心距离最远,绝对距离在45.45~115.27 km。(3)光能资源重心、水分资源重心与综合农业气候资源重心的变动一致性指数均值分别为0.80、0.72,耦合度较高;热量资源重心与综合农业气候资源重心的变动一致性指数均值为-0.29,耦合度较低。综上所述,根据农业气候资源重心位置移动及各因子间耦合关系分析,辽宁西北部是光能资源优势区,辽宁东部是水分资源优势区,建议喜光且对水分要求较低的农业产业发展方向可考虑往辽宁西北部发展,对水分供应需求较高的农业产业应着重考虑辽宁东南部。

关键词:农业气候资源;重心;时空变化;耦合关系;气候变化

中图分类号:S162.3

文献标识码:A

文章编号:2096-5877(2024)03-0093-09

Spatial and Temporal Characteristics of Agricultural Climate Resource Center in Liaoning Province for Recent 60 Years

GENG Wenjie^{1,2}, LI Xiaowen³, WANG Xiaojie², YU Wenyong^{1,4}, LIU Dongming⁵, JI Ruipeng^{4,5*}

(1. *Shenyang Institute of Atmospheric Environment, CMA, Shenyang 110016*; 2. *Chaoyang County Meteorological Bureau, Chaoyang 122000*; 3. *Lvshun Meteorology, Dalian 116041*; 4. *Key Laboratory of Agrometeorological Disasters, Shenyang 110016*; 5. *Ecological Meteorology and Satellite Remote Sensing Center of Liaoning Province, Shenyang 110166, China*)

Abstract: The research on the focus of agro-climatic resources can provide scientific reference for the adjustment of agricultural planting structure, the layout of agricultural industrialization and the rational utilization of agro-climatic resources. In order to study the matching status and change trend of various agroclimatic resources in Liaoning region, the evaluation method and gravity center model of agroclimatic resources were used. This paper analyzes the spatial-temporal evolution characteristics of the gravity center migration of agro-climatic resources in Liaoning Province from 1961 to 2020 by applying the gravity center model, and discusses the coupling relationship between integrated agro-climatic resources and light energy, heat and water resources based on the coupling situation model. The results are as follows: (1) The gravity center of agro-climatic resources in Liaoning province is relatively stable at the county scale. In the past 60 years, the gravity center of comprehensive agro-climatic resources, light energy resources and heat resources has always been located in Panjin, while the gravity center of water resources is located

收稿日期:2023-11-17

基金项目:中国气象局创新发展专项(CXFZ2023J055);辽宁省应用基础研究计划项目(2022JH2/101300193、2023JH2/101300090);辽宁省民生科技计划项目(2021JH2/10200035)

作者简介:耿文杰(1991-),女,工程师,主要从事农业气候资源评价与合理利用研究。

通信作者:纪瑞鹏,男,正研级高级工程师,E-mail: jiruipeg@163.com

in Anshan. The absolute distance of the gravity center of each resource is between 1.50–17.97 km. (2) The gravity center of integrated agro-climatic resource is close to the gravity center of heat resources in space distance, and the absolute distance is 1.17–34.87 km. The absolute distance between The gravity center of integrated agro-climatic resource and the gravity center of water resources is 45.45–115.27 km. (3) The mean variable consistency index of gravity center of light resources, water resources and comprehensive agro-climatic resources is 0.80 and 0.72, respectively, with a high coupling degree. While the mean variable consistency index of gravity center of heat resources and comprehensive agro-climatic resources is -0.29, with a low coupling degree. According to the analysis of gravity center of resources, the light resource advantage area is in northwest Liaoning, the water resource advantage area is in eastern Liaoning. So suggested that the development direction of agricultural industry with light preference and low water requirement can be considered to the northwestern Liaoning. The agricultural industry with high water supply demand should focus on the southeastern Liaoning.

Key words: Agro-climatic resources; Gravity center; Spatio-temporal characteristics; Coupling relationship; Climate change

从农业角度出发,气候是重要资源,韩湘玲^[1]将农业气候资源的概念论述为“提供并保证农业生产获得收成的气候因子及其组合”。农业作为国民经济的基础性产业,直接关系到粮食安全和农民收入,即高度依赖资源环境又反作用于资源环境,气候变化对农业系统的影响及其适应性管理依然是农业可持续发展的研究热点^[2]。不同地区的气候变化会对农业资源的配置和利用产生不同程度的影响。农业气候资源主要包括光能、热量、水分、风能和空气等资源,各因子的数量、匹配度及其相互关系构成了农业生产和发展的基本自然条件,农业气候资源的时空差异关系到作物产量高低和品质优劣^[3]。随着全球气候变化成为当代人类面临的重大环境问题,农业气候资源受到的影响、变化与利用也逐渐成为关注的重点。目前,国内外关于农业气候资源的研究多数集中在农业气候资源量的增减趋势和周期性,分析农作物气候生产潜力地理分异特征,气候变暖对积温带及种植带纬向、径向移动的影响等方面。农业气候资源的区域性时空变化特征研究,多集中于规律性分析,努尔阿米娜·依明^[4]分析了新疆喀什岳普湖单站 1958–2019 年年平均气温, $\geq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 积温,降水量和日照时数等农业气候资源变化特征,计算了各要素气候倾向率;张佳意等^[5]采用线性倾向估计、突变分析方法,研究了延边州农业气候资源的时间变化特征;陆一磊^[6]对南京高淳区年、四季、逐月的气温、降水量、日照时数近 30 年的变化进行了分析。更有学者侧重于单一气象要素的时空变化研究,Assowe 等^[7]利用 1946–2017 年期间 14 个气象站的数据,首次研究了吉布提共和国降雨的时空变化,

并分析了年际和年代际降水变化与全球海表温度场的关系,王然等^[8]运用克里金插值、EOF 分解、线性倾向估计、小波分析和 M-K 检验等方法,对贵州省 1961–2017 年夏季降水量时空变化特征进行了较为详细的研究;萧炜鹏等^[9]通过年距平法、累计距平法及 ANUSPLIN 软件获取南充市(7–8 月)极端高温发生的时间特征,计算水稻高温热害累计指数并利用高温热害风险分析模型对南充市各等级水稻高温热害风险区进行识别。围绕粮食作物气候生产潜力,刘博等^[10]运用逐步订正法计算了玉米、水稻、大豆的光温生产潜力和气候生产潜力,讨论了温度和水分对气候生产潜力的影响;杜国明等^[11]利用农业生态区划模型(GAEZ),估算东北玉米生产潜力,分析了 1961–2010 年气候变化导致的东北玉米生产潜力时空格局演变特征,Guo 等^[12]利用 AEZ 模式分析了中国农业生态区划的变化趋势,探讨了气候变化和技术进步对中国玉米产量的贡献;Yuan 等^[13]分析了 1951–2100 年气候变化下,中国东北地区春玉米农业气候资源的发展轨迹及气候变化对春玉米品种分布和气候生产潜力的影响;Paymard 等^[14]利用 GCMs 模式输出的 RCP4.5 和 RCP8.5 气候情景资料,评估了未来 2025s、2055s 和 2085s 三个年代气候变化对伊朗东北部雨养小麦产量、需水量、水分利用效率、降水利用效率、参考作物蒸散量和农业降雨指数的影响。Wang 等^[15]研究了 1961–2010 年,东北三省 6 种作物光温产量潜力空间分布特征,并比较农业气候资源利用效率差异;吴海燕等^[16]对在全球气候变暖背景下,东北地区主要农作物对热量、光照和降水资源变化的响应进行了综述。曾志勇^[17]以水稻为研究对象,从

生产方式、种植制度、经营方式、结构布局等不同角度总结分析气候变化与农业活动之间的相互关系与作用机制,LI等^[18]、ZHAO等^[19]分别分析了中国北方和南方农业气候资源和种植制度界限变动情况, YE等^[20]基于1951–2010年中国南方254个气象站,分析了气候变化对中国南方水稻种植边界和潜在产量的影响;Chen等^[21]发现中国水稻种植制度对增温的产量响应存在显著差异;Yang等^[22]研究了气候变化对中国复种作物种植面积的影响,进一步估算了复种作物种植面积变化对中国玉米、小麦和水稻生产的影响。

重心概念来源于牛顿经典力学理论,是指物体内各点所受重力产生合力的作用点^[23]。重心计算模型最早于1847年由美国学者弗·沃尔克提出,国内学者对于重心模型的应用始于20世纪70年代末^[24],该模型主要用于解决农业经济与禀赋结构重心、农民收入重心、农业经济和劳动力重心等经济方面的问题^[25–27],在农业生产方面的应用研究主要有粮食产量重心轨迹及驱动^[28–29]、水土资源匹配及土地资源利用^[30–31]、作物重心与种植结构的时空变化^[26,32]等。Ling等^[33]开展了1960–2019年中国黄淮海平原年降水重心空间分布格局及移动的趋势研究。综上,前人已有成果中,鲜有提及针对农业气候资源重心轨迹变化及其驱

动力分析的研究。

农业气候资源重心即把物理学的重心概念引入到农业气候资源学领域,用来研究农业气候问题。中国幅员辽阔,气候类型多样,农业发展区域化差异明显,利用重心原理和模型,研究农业气候资源重心轨迹的时序迁移,可以更准确把握气候变化背景下农业气候资源的时空变化趋向,直观反映区域内某些资源属性的移动轨迹,解释重心变化的驱动因子。本研究统计1961–2020年辽宁省52个气象站气象资料,利用重心模型分析法、重心移动距离模型以及重心耦合态势模型,研究分析1961–2020年辽宁省农业气候资源重心年代际时空演变特征,为辽宁农业种植结构调整、农业产业化布局及农业气候资源合理利用提供科学参考。

1 数据来源与方法

1.1 数据来源

本研究使用1961–2020年辽宁省52个气象站(图1)逐日气象数据,统计计算年太阳辐射、年日照辐射、生长季日照时数、年平均气温、 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 的积温、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温、气温年较差及无霜期、年降水量、生长季降水量、年湿润度11个农业气候要素值,原始气象资料均来源于辽宁省气象档案馆。

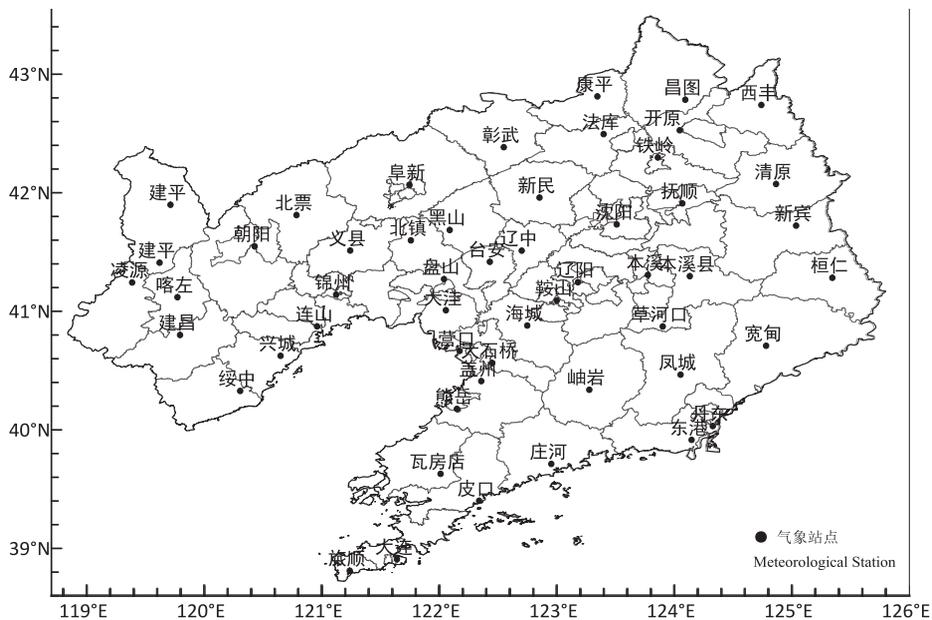


图1 辽宁省52个气象站空间分布图

1.2 农业气候资源评价方法

农业气候资源综合评价指标的构建采用特尔菲法,从光能、热量、水分3大资源系统中分别选

取11个要素作为综合评价指标,再用层次分析法确定每一个指标在农业气候资源综合评价中的权重,最后通过资源优势度方法计算农业气候资源评

价数据。其中,农业气候资源综合评价数据是在光能资源评价数据、热量资源评价数据和水分资源评价数据3个单项农业气候资源评价的基础上计算获得。具体的原理、计算步骤等详见文献[34]。

1.3 重心模型

农业气候资源重心计算方法见公式(1)和公式(2)^[25]。

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n M_i X_i}{\sum_{i=1}^n M_i} \dots\dots\dots (1)$$

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n M_i Y_i}{\sum_{i=1}^n M_i} \dots\dots\dots (2)$$

式中:X、Y分别表示所研究的某单项或综合农业气候资源重心所在地理位置的经度和纬度值;X_i、Y_i分别表示第i个气象站地理位置的经度和纬度值;M_i表示研究的某单项或综合农业气候资源评价结果。本研究基于重心模型,按6个年代(1961-1970年、1971-1980年、1981-1990年、1991-2000年、2001-2010年、2011-2020年)分别计算辽宁省52个气象站的单项和综合农业气候资源的重心位置。

不同年代际间单项或综合农业气候资源的重心空间移动方向的计算方法见公式(3)。

$$\theta_{s-k} = \frac{n\pi}{2} + \arctg\left(\frac{Y_s - Y_k}{X_s - X_k}\right), (n = 0, 1, 2) \dots (3)$$

不同年代际间单项或综合农业气候资源重心空间移动距离采用公式(4)计算:

$$D_{s-k} = C \times \left[(Y_s - Y_k)^2 + (X_s - X_k)^2 \right]^{0.5} \dots (4)$$

式中:s、k分别表示2个相邻不同年代;(X_s、Y_s)、(X_k、Y_k)分别表示第s年代和第k年代农业气候资源所在重心的地理位置(经度值、纬度值);θ_{s-k}表示不同年代际间重心移动的角度;D_{s-k}表示2个不同年代际间重心移动的距离;C为常数,取111.111,是把地理坐标单位1°转换为平面距离(km)的系数。

1.4 重心耦合态势模型

不同农业气候资源的重心耦合关系是利用重心距离指标和重心方向变动一致性指标综合分析。其中,重心耦合的静态分析使用重心距离指标,重心耦合的动态分析使用重心方向变动一致性指标。

重心距离指标Li表示同一时间段内两种资源重心在空间上的距离^[23],计算见公式如下:

$$L_i = \sqrt{(X_{iq} - X_{ip})^2 + (Y_{iq} - Y_{ip})^2} \dots\dots\dots (5)$$

重心方向变动一致性指标c,研究两种资源重心的移动轨迹,当c=1时表示重心移动轨迹完全同向,c=-1时表示重心移动轨迹完全相反,计

算公式如下:

$$c = \frac{(\Delta X_q^2 + \Delta Y_q^2) + (\Delta X_p^2 + \Delta Y_p^2) - [(\Delta X_q - \Delta X_p)^2 + (\Delta Y_q - \Delta Y_p)^2]}{2 \sqrt{[(\Delta X_q^2 + \Delta Y_q^2)(\Delta X_p^2 + \Delta Y_p^2)]}} \dots\dots\dots (6)$$

式中:i代表某一年代;p和q分别代表两种不同农业气候资源;(X_p、Y_p)、(X_q、Y_q)分别代表两种不同农业气候资源的地理坐标(经度值、纬度值)。

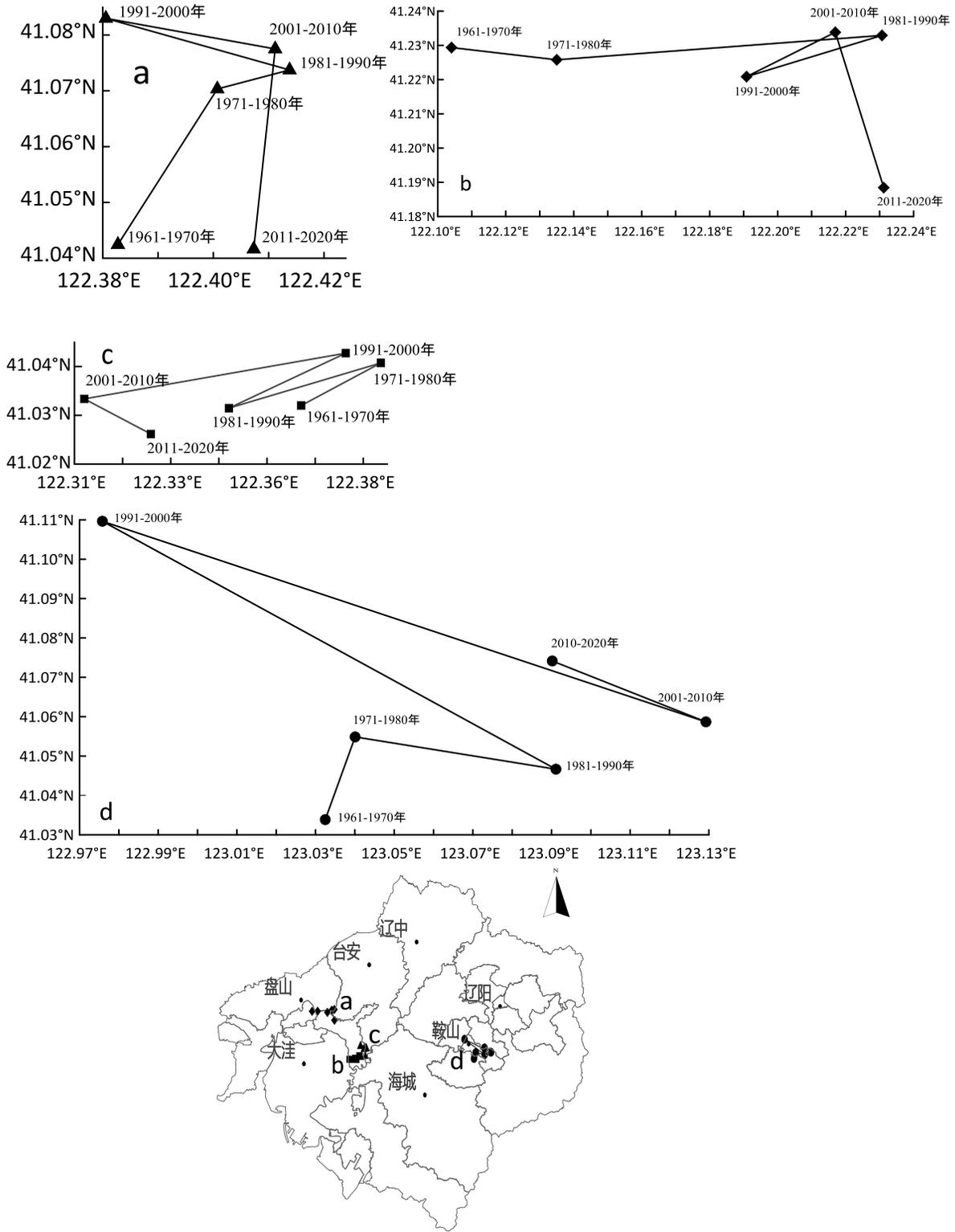
本研究计算的重心耦合态势共分6组,即:光能资源-综合农业气候资源(Radiation-Climate,简称R-C)、热量资源-综合农业气候资源(Thermal-Climate,简称T-C)、水分资源-综合农业气候资源(Moisture-Climate,简称M-C)、光能资源-热量资源(Radiation-Thermal,简称R-T)、光能资源-水分资源(Radiation-Moisture,简称R-M)、热量资源-水分资源(Thermal-Moisture,简称T-M)。

2 结果与分析

2.1 农业气候资源重心时空演变特征

1961-2020年,辽宁省综合农业气候资源重心移动范围在北纬41.045°~41.086°和东经122.381°~122.414°,重心移动曲折多变,轨迹为近似“8”字形,重心近东-西方向移动3次,近南-北方向移动2次。1961年以来,重心始终在盘山县东部与台安县、大洼区、海城市接壤附近徘徊(图2a),绝对移动距离幅度在1.499~4.008 km(表1)。光能资源重心始终位于盘山县中部(北纬41.188°~41.234°与东经122.104°~122.231°),在2010年以前,基本的移动走势主要呈东-西方向,南北向移动幅度很小,2011-2020年光能资源重心出现明显南移(图2b),近60年光能资源重心绝对移动幅度在3.240~10.660 km(表2)。热量资源重心位于综合农业气候资源重心的西南方,移动范围为北纬41.026°~41.043°与东经122.317°~122.379°,热量资源重心移动方向以东北-西南为主(图2c),东西移动距离大于南北向,绝对移动幅度在1.732~6.124 km(表3)。近60年来,辽宁省水分资源重心基本稳定在鞍山市境内,移动范围在北纬41.034°~41.110°与东经122.976°~123.129°,重心轨迹类似倒“之”字形(图2d),呈西北-东南走向,绝对移动幅度在2.483~17.965 km(表4)。

通过60年辽宁省光能、热量、水分和综合农业气候资源重心轨迹的变化对比分析可以发现,2010年之前,综合农业气候资源重心与光能资源重心的移动在东-西方向上保持一致,2011-2020



注: a为光能资源重心年代际变化;b为热量资源重心年代际变化;c为综合农业气候资源重心年代际变化;d为水分资源重心年代际变化

图2 1961-2020年辽宁省农业气候资源重心年代际变化轨迹

年两重心均向南移动,综合农业气候资源重心南偏西,而光能资源重心南偏东。综合农业气候资源与热量资源两重心在空间距离上较接近,1961-1970年,两重心均往东北方向移动,1971-2010年,两重心移动呈东-西反向,2011-2020年,两重

心移动呈南-北同向。综合农业气候资源重心和水分资源重心在1981-2010年移动在东-西方向上始终保持一致。通过3个单项资源重心轨迹变化对比分析发现,光能资源重心与热量资源重心在1961-2010年呈南-北同向移动,21世纪初同向

表1 1961~2020年辽宁省综合农业气候资源重心演变趋势

年份	综合农业资源重心空间位置		移动方向	移动距离/km
	东经	北纬		
1961-1970	122.383°	41.045°	-	-
1971-1980	122.401°	41.073°	东北	3.686
1981-1990	122.414°	41.077°	东北	1.499
1991-2000	122.381°	41.086°	西北	3.830
2001-2010	122.411°	41.081°	东南	3.455
2011-2020	122.407°	41.045°	西南	4.008

表2 1961~2020年辽宁省光能资源重心演变趋势

年份	光能资源重心空间位置		移动方向	移动距离/km
	东经	北纬		
1961-1970	122.104°	41.229°	-	-
1971-1980	122.135°	41.226°	东南	3.467
1981-1990	122.231°	41.233°	东北	10.660
1991-2000	122.191°	41.221°	西南	4.625
2001-2010	122.217°	41.234°	东北	3.240
2011-2020	122.231°	41.188°	东南	5.287

表3 1961~2020年辽宁省热能资源重心演变趋势

年份	热能资源重心空间位置		移动方向	移动距离/km
	东经	北纬		
1961-1970	122.362°	41.032°	-	-
1971-1980	122.379°	41.041°	东北	2.078
1981-1990	122.347°	41.031°	西南	3.654
1991-2000	122.371°	41.043°	东北	2.972
2001-2010	122.317°	41.033°	西南	6.124
2011-2020	122.331°	41.026°	东南	1.732

表4 1961~2020年辽宁省水资源重心演变趋势

年份	水资源重心空间位置		移动方向	移动距离/km
	东经	北纬		
1961-1970	123.032°	41.034°	-	-
1971-1980	123.040°	41.055°	东北	2.483
1981-1990	123.091°	41.047°	东南	5.745
1991-2000	122.976°	41.110°	西北	14.600
2001-2010	123.129°	41.059°	东南	17.965
2011-2020	123.090°	41.074°	西北	4.668

东南移动。光能资源重心与水分资源重心始终存在南-北反向移动,2010年前两重心移动呈东-西同向。热量资源重心与水分资源重心20世纪60年代同向东-北移动,1971-2010年呈南-北同向,

东-西反向,21世纪初移动方向相反。综合分析,20世纪70年代-20世纪末,辽宁省农业气候资源优势区重心位置稍偏北,21世纪初重心纬向位置恢复到20世纪60年代,经向位置东移,但重心位置移动绝对距离不大。

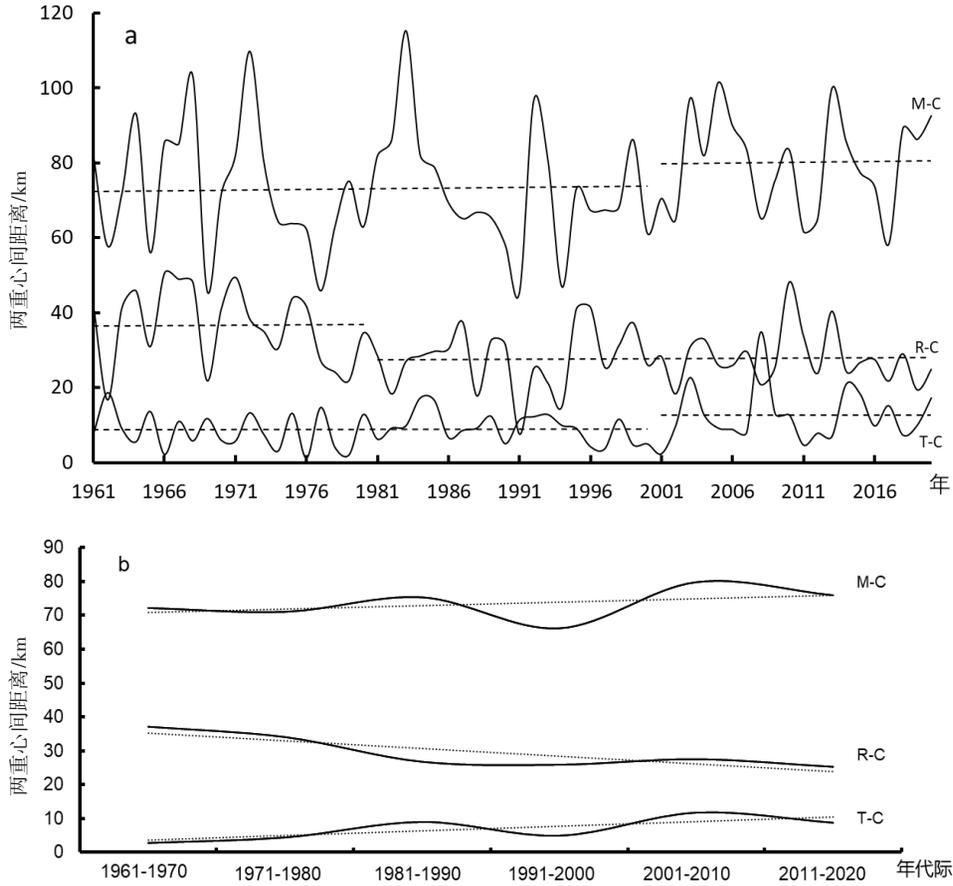
2.2 农业气候资源重心耦合关系

2.2.1 重心距离指标分析

基于重心距离指标模型,对1961-2020年辽宁省R-C、T-C和M-C3组资源重心距离变化逐年分析(图3),1961-1980年R-C两重心空间距离围绕36.7 km平均线附近上下波动,1981-2020年重心距离平均线下降至27.8 km,在1966年两重心距离最远为50.56 km,1991年两重心距离最近,仅为7.61 km,近60年来,光能资源和综合农业气象资源二者的重心空间距离呈现逐渐靠近的趋势。1961-2000年T-C两重心空间距离围绕在8.9 km平均线附近上下波动,2000年后重心距离平均线增加至12.6 km,2008年两重心距离达到最大34.87 km,而在1976年两重心距离仅为1.17 km,研究显示,1961年以来热量资源重心始终位于综合农业气候资源重心的南偏西方向,两重心距离呈现逐渐远离的趋势。1961-2000年M-C两重心空间距离围绕在73.1 km平均线上下波动,2000年以后两重心距离平均线增加至80.2 km,波动幅度呈现逐渐减小趋势,1983年两重心距离最远达115.27 km,1991年距离最近为45.45 km,水资源重心始终处于综合农业气候资源重心的东侧,M-C两重心距离呈现逐渐远离趋势(图3a)。总体而言,1961-2020年T-C两重心、M-C两重心在空间距离上均呈波动远离变化趋势,R-C两重心在空间距离上呈阶段性波动靠近趋势,并且水分资源重心离综合农业气候资源重心最远,平均距离为75.5 km,热量资源重心距综合农业气候资源重心最近,平均距离为10.1 km(图3b)。依据近60年两种资源重心空间平均距离的远近综合分析,辽宁省热量资源重心与综合农业气候资源重心的耦合度较高。

2.2.2 重心耦合态势分析

逐年农业气候资源重心方向变动一致性指标分析发现,近60年来,光能资源重心与综合农业气候资源重心变动一致性指标共出现正值38次(占总体的64%),负值21次,其中绝对值小于0.5的有17次(正值11次);热量资源重心与综合农业气候资源重心变动一致性指标中共出现正值37次(占总体的63%),负值22次,其中绝对值小于0.5的有16次(正值8次);水分资源重心与综



注:a为逐年重心距离变化曲线;b年代际间重心距离变化曲线

图3 1961~2020年辽宁省R-C、T-C和M-C重心距离变化曲线

合农业气候资源重心变动一致性指标共出现正值47次(占总体的80%),负值12次,其中绝对值小于0.5的有10次(正值5次),说明60%以上年份光能资源、热量资源和水分资源的重心与综合农业气候资源重心同向移动。

通过年代际间的农业气候资源重心变动一致

性指标(表5)可以看出,光能资源重心与综合农业气候资源重心(R-C)在所有年代际移动方向上始终是同向移动(一致性指数均大于0.4),说明光能资源是决定综合农业气候资源变化的决定性因素;热量资源重心与综合农业气候资源重心(T-C)、光能资源重心与热量资源重心(R-T)的移动

表5 1961~2020年辽宁省6组资源重心距离及变动一致性指数

类型	年代际	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2010	2011-2020	平均值
R-C	重心距离/km	37.1	34.04	26.74	25.87	27.49	25.26	29.42
	变动一致性	-	0.44	0.98	0.84	0.80	0.92	0.80
T-C	重心距离/km	2.74	4.37	8.95	4.91	11.70	8.74	6.90
	变动一致性	-	0.87	-1.00	-0.76	-0.94	0.36	-0.29
M-C	重心距离/km	72.2	71.07	75.33	66.19	79.82	75.95	73.43
	变动一致性	-	0.97	0.92	0.97	0.99	-0.27	0.72
R-T	重心距离/km	36.1	33.99	25.85	28.18	24.90	21.16	28.36
	变动一致性	-	0.83	-0.98	-0.99	-0.96	0.71	-0.28
R-M	重心距离/km	105.42	102.34	97.82	88.09	103.22	96.28	98.86
	变动一致性	-	0.23	0.97	0.70	0.71	-0.63	0.40
T-M	重心距离/km	74.48	73.51	82.69	67.57	90.29	84.54	78.85
	变动一致性	-	0.74	-0.9	-0.59	-0.88	-0.99	-0.52

方向同步,在20世纪70年代、21世纪10年代呈同向移动,20世纪80年代、90年代和20世纪末呈反向移动。水分资源重心与综合农业气候资源重心(M-C)、光能资源重心与水分资源重心(R-M)的移动走势相一致,在20世纪70年代、80年代、90年代及20世纪末移动方向同向,21世纪初重心移动方向相反;热量资源重心和水分资源重心(T-M)仅在20世纪70年代移动是同向的,其他年代的移动均为反向。从变动一致性的均值来看,光能资源重心与综合农业气候资源重心(R-C)的均值为0.80,耦合度较高;热量资源重心与综合农业气候资源重心(T-C)的均值为-0.29,耦合度较低;水分资源重心与综合农业气候资源重心(M-C)的均值为0.72,耦合度较高。

3 讨论

3.1 农业气候资源是调整农业布局和种植结构的重要因素

气候变化背景下农业生产布局和种植结构调整时,更需要重点考虑农业气候资源的数量、质量和资源匹配程度。辽宁省农业气候资源重心的位置关系反映了光、温、水等农业气候资源的空间布局,光能资源重心在几类资源中位置最偏西北,说明辽宁西北部是光能资源优势区,水分资源重心位置最偏东,证明辽宁东部是水分资源优势区,热量资源重心与综合农业气候资源重心的位置居中,两者具有较高依存性。依据资源重心位置,喜光且对水分要求较低的农业产业可以考虑往辽宁西北部发展,对水分供应需求较高的农业产业应着重考虑在辽宁东南部布局。

3.2 农业气候资源量变化具有趋势性

辽宁农业气候资源重心年代际移动轨迹在县域尺度上保持相对稳定,稳定并不代表农业气候资源稳定少变,以光能资源为例,已有研究表明辽宁省的太阳辐射和日照时数等光能资源呈显著减少趋势^[35],但60年来光能资源重心始终位于盘山县中部,绝对移动幅度在3.240~10.660 km。周晓宇等^[36]研究认为,1961-2009年年降水量整体上有减少的趋势,但是水分资源重心最大移动幅度仅有17.965 km。由此可以看出,农业气候资源重心轨迹移动表现稳定,但资源数量还是有明显变化,说明辽宁农业气候资源量的变化具有一定的整体趋势性。

3.3 农业气候资源重心变化存在异同性

各农业气候资源重心时空变化存在一致性和差异性特点,1961-2020年,水分资源重心与热量

资源重心移动,有4个年代际间重心动态一致性指数 <0 ,移动方向不一致,主要原因是降水量充足的年份温度往往偏低导致热量资源不足。光能资源与水分资源、热量资源的重心移动方向差异性相对明显,是因为光能资源主要考虑的是太阳辐射和日照,除了受降水量多少的影响外,还与云量、大气透明度、蒸发等因素有关。

4 结论

(1)1961-2020年,辽宁省农业气候资源重心移动轨迹空间范围位置比较集中,虽有时空上的波动变化,但光能资源、热量资源、水分资源及综合农业气候资源的重心年代际间最大移动距离为17.965 km(水资源重心见表4),最小移动距离仅1.499 km(综合农业气候资源重心见表1)。综合农业气候资源重心始终在盘山县东部与台安县、大洼区、海城市接壤附近徘徊,光能资源重心位于综合农业气候资源重心的西北部,平均距离为29.42 km(最近25.26 km,最远37.10 km),热量资源重心位于综合农业气候资源重心的西南部,平均距离为6.90 km(最近2.74 km,最远11.70 km),水分资源重心位于综合农业气候资源重心东部,平均距离为73.43 km(最近66.19 km,最远79.82 km)。

(2)光能资源重心与综合农业气候资源重心(R-C)在所有年代际移动方向上始终是同向移动,热量资源重心与综合农业气候资源重心(T-C)、光能资源重心与热量资源重心(R-T)的移动方向上保持同频,在20世纪70年代、21世纪初呈同向移动,20世纪80年代、90年代和20世纪末呈反向移动。水分资源重心与综合农业气候资源重心(M-C)、光能资源重心与水分资源重心(R-M)的移动走势相一致,在20世纪70年代、80年代、90年代和20世纪末移动方向相同,21世纪初重心移动方向相反;热量资源重心和水分资源重心(T-M)仅在20世纪70年代移动是同向的,其他年代的移动均为反向。从变动一致性的均值来看,光能资源与综合农业气候资源、水分资源与综合农业气候资源两组重心的耦合度较高;热量资源重心与综合农业气候资源重心的耦合度较低。

(3)1961-2020年T-C两重心、M-C两重心在空间距离上均呈波动远离变化趋势,R-C两重心在空间距离上呈阶段性波动靠近趋势,并且水分资源重心离综合农业气候资源重心最远,平均距离为75.5 km,热量资源重心距综合农业气候资源重心最近,平均距离为10.1 km。

参考文献:

- [1] 韩湘玲. 略论农业气候资源[J]. 资源科学, 1981, 3(4): 1-4.
- [2] 胡斯威, 米长虹, 师荣光, 等. 农业可持续发展研究热点与趋势—基于文献计量的可视化分析[J]. 农业资源与环境学报, 2022, 39(1): 1-10.
- [3] 罗海平, 邹楠, 胡学英, 等. 1980-2019年中国粮食主产区主要粮食作物气候生产潜力与气候资源利用效率[J]. 资源科学, 2021, 43(6): 1234-1247.
- [4] 努尔阿米娜·依明. 1958-2019年新疆岳普湖县农业气候资源时空变化特征研究[J]. 农业灾害研究, 2020, 10(4): 110-112.
- [5] 张佳意, 任景全, 李军伟, 等. 1961-2019年延边州农业气候资源时间变化特征分析[J]. 气象灾害防御, 2021, 28(1): 44-48.
- [6] 陆一磊. 1990-2019年南京市高淳区农业气候资源分析[J]. 现代农业科技, 2020(21): 216-217.
- [7] Assowe D O, Camberlin P, Pohl B, et al. Spatial and temporal variability of rainfall over the Republic of Djibouti from 1946 to 2017[J]. International Journal of Climatology, 2021, 41(4): 2729-2748.
- [8] 王然, 毛文书, 宋荣津, 等. 近60年贵州省夏季降水量时空变化特征[J]. 自然科学, 2021, 9(3): 299-309.
- [9] 萧炜鹏, 龚建周, 崔海山, 等. 水稻抽穗扬花期极端高温发生时空特征及热害风险区识别—以南充市为例[J]. 农业环境科学学报, 2021, 38(2): 198-207.
- [10] 刘博, 杨晓光, 王式功. 东北地区主要粮食作物气候生产潜力估算与分析[J]. 吉林农业科学, 2012, 37(3): 57-60.
- [11] 杜国明, 张露洋, 徐新良, 等. 近50年气候驱动下东北地区玉米生产潜力时空演变分析[J]. 地理研究, 2016, 35(5): 864-874.
- [12] GUO J P, ZHAO J F, WU D R, et al. Attribution of Maize Yield Increase in China to Climate Change and Technological Advancement Between 1980 and 2010[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2014, 28(6): 1168-1181.
- [13] Yuan B, Guo J P, Ye M Z, et al. Variety distribution pattern and climatic potential productivity of spring maize in Northeast China under climate change[J]. Chinese Science Bulletin, 2012, 57(26): 3497-3508.
- [14] Paymard P, Yaghoubi F, Nouri M, et al. Projecting climate change impacts on rainfed wheat yield, water demand, and water use efficiency in northeast Iran[J]. Theoretical and Applied Climatology, 2019, 138(3-4): 1361-1373.
- [15] WANG X Y, YANG X G, SUN S, et al. Comparison of potential yield and resource utilization efficiency of main food crops in three provinces of Northeast China under climate change. [J]. Chinese Journal of Ecology, 2015, 26(10): 3091-3102.
- [16] 吴海燕, 孙甜田, 范作伟, 等. 东北地区主要粮食作物对气候变化的响应及其产量效应[J]. 农业环境科学学报, 2014, 31(4): 299-307.
- [17] 曾志勇. 气候变化对水稻生产影响的研究综述[J]. 东北农业科学, 2021, 46(1): 89-93.
- [18] LI K N, YANG X G, LIU Z J, et al. Analysis of the Potential Influence of Global Climate Change on Cropping Systems in China III. The Change Characteristics of Climatic Resources in Northern China and Its Potential Influence on Cropping Systems[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(10): 2088-2097.
- [19] ZHAO J, YANG X G, LIU Z J, et al. The Possible Effect of Global Climate Changes on Cropping Systems Boundary in China II. The Characteristics of Climatic Variables and the Possible Effect on Northern Limits of Cropping Systems in South China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(9): 1860-1867.
- [20] YE Q, YANG X G, LIU Z J, et al. The Effects of Climate Change on the Planting Boundary and Potential Yield for Different Rice Cropping Systems in Southern China[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2014, 13(7): 1546-1554.
- [21] Chen C, Groenigen K J V, Yang H, et al. Global warming and shifts in cropping systems together reduce China's rice production[J]. Elsevier, 2020. DOI:10.1016/j.gfs.2020.100359.
- [22] YANG X G, CHEN F, LIN X M, et al. Potential benefits of climate change for crop productivity in China[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2015, 208: 76-84.
- [23] 廉莹. 我国经济重心与人口就业重心演变轨迹比较分析[D]. 长春: 吉林大学, 2007.
- [24] 白雪, 范大良, 尹攀顶. 1979-2014年广东省经济重心演变特征分析[J]. 地域研究与开发, 2015, 34(3): 17-22.
- [25] 胡晨沛, 李辉尚. 1978-2015年中国农业经济重心和禀赋结构重心时空轨迹及其耦合趋势研究[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2019(2): 91-99, 167.
- [26] 刘竞文. 中国农业集聚重心与农民收入重心变动研究—基于粮食类农作物空间布局变化的实证检验[J]. 中国农业资源与区划, 2017, 38(12): 64-73.
- [27] 高庆帅, 沈山. 中国农业经济重心和农业劳动力重心时空演变及耦合关系研究[J]. 国土与自然资源研究, 2021(3): 48-53.
- [28] 郭柏林. 我国粮食分布重心轨迹特征及动力[J]. 上海农业学报, 1992, 8(1): 68-74.
- [29] 王介勇, 刘彦随. 1990年至2005年中国粮食产量重心演进格局及其驱动机制[J]. 资源科学, 2009, 31(7): 1188-1194.
- [30] 赵洪海. 青藏高原水土资源脆弱性与匹配关系研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2019.
- [31] 郭碧云, 张正峰. 农牧交错区土地利用重心迁移研究—以河北省涪源县为例[J]. 干旱地区农业研究, 2014, 32(4): 217-221, 261.
- [32] Li E, Coates K, Li X, et al. Analyzing Agricultural Agglomeration in China[J]. Sustainability, 2017, 9(2): 313-313.
- [33] LING M H, HAN H B, WEI X L, et al. Temporal and spatial distributions of precipitation on the Huang-Huai-Hai Plain during 1960-2019, China[J]. Journal of Water and Climate Change, 2021, 12(6): 2232-2244.
- [34] JI R P, CHEN P S, FENG R, et al. A Study on Comprehensive Evaluation Method of Agro-Climatic Resources: A Case Study in Liaoning Province[J]. Journal of Natural Resources, 2010, 25(1): 121-130.
- [35] 纪瑞鹏, 张玉书, 冯锐, 等. 辽宁省农业气候资源变化特征分析[J]. 资源科学, 2007, 29(2): 74-82.
- [36] 周晓宇, 赵春雨, 张新宜, 等. 1961-2009年辽宁省气温、降水变化特征及突变分析[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(10): 87-93.

(责任编辑:王昱)