

赤峰市农业气候年景评估技术研究

苑 俐¹, 徐立强², 赵亚楠¹

(1. 赤峰市气象局, 内蒙古 赤峰 024000; 2. 宁城县气象局, 内蒙古 宁城 024200)

摘要: 针对赤峰市极端天气事件发生频率明显增加的现状, 建立全面的赤峰市农业气候年景评估标准, 为开展农业气候年景预测奠定基础。基于气候年景相关标准, 采用 1991—2020 年赤峰市 14 个国家基本、基准气象观测站的气温、降水、日照时数、地面最低气温以及相对湿润度指数(MI)等数据, 从气象要素和气象灾害两方面构建适用于赤峰市农业生产的气候年景指数计算方法, 结合赤峰地区气候特点选取主要气象灾害, 对赤峰市农业气候年景进行客观定量评估, 并使用产量数据对评估结果进行验证。结果表明, 近年来气象要素年景变化不显著, 而气象灾害年景呈向差的趋势; 农业气候年景指数以 0.78/10 a 的速率呈显著上升, 评估结果与农业产量的变化大致相符, 基本符合率(相差2级以下)达到 86.67%, 能够一定程度上定性反映农业年景的好坏, 说明研究结果能够为赤峰市气象部门开展农业气象服务提供客观、量化的年景指标, 同时也适用于农业部门的气候年景评估工作。

关键词: 气候年景; 农业年景; 赤峰市

中图分类号: S165.27

文献标志码: A

文章编号: 2097-2172(2025)08-0748-08

doi: 10.3969/j.issn.2097-2172.2025.08.011

Study on Agricultural and Climatic Status Assessment Technology in Chifeng

YUAN Li¹, XU Liqiang², ZHAO Yanan¹

(1. Chifeng Meteorological Bureau, Chifeng Inner Mongolia 024000, China; 2. Ningcheng County Meteorological Bureau, Ningcheng Inner Mongolia 024200, China)

Abstract: In response to the increasing frequency of extreme weather events in Chifeng, a comprehensive standard for annual agricultural and climatic status assessment in the city was established to lay the foundation for agricultural climate year forecasting. Based on relevant standards of annual climatic status, data from 14 national basic and benchmark meteorological observation stations in Chifeng during 1991—2020, including temperature, precipitation, sunshine hours, ground minimum temperature, and relative moisture index (MI), were used to construct a climate and weather index calculation method suitable for agricultural production in Chifeng. The method integrated both meteorological elements and disasters. Main disaster types were selected according to local climatic characteristics to conduct an objective and quantitative assessment of agricultural climate years, and the results were validated using yield data. Results showed that meteorological element conditions showed insignificant interannual variations in recent years, while meteorological disaster conditions exhibited a deteriorating trend. The agricultural climate year index demonstrated a significant upward trend at 0.78 per decade. The assessment results were generally consistent with changes in agricultural yield, with a basic consistency rate (discrepancy within two levels) of 86.67%, indicating the index can qualitatively reflect annual agricultural conditions. The findings provide a scientific, quantitative reference for climate services by the Chifeng Meteorological Department and can also support climate year assessments in agricultural sectors.

Key words: Annual climate status; Annual agriculture status; Chifeng City

农业是赤峰市主要产业之一, 农牧民人口占总人口 3/4。2021 年赤峰市农作物播种面积达到 155 万 hm², 农作物产量连续 3 a 突破 60 亿 kg。赤

峰市位于温带半干旱大陆性季风气候区域, 其地界内地形复杂多变, 包括山地、丘陵和沙地等多种地貌类型。由于水资源分布不均衡, 加之气象

收稿日期: 2024-10-09; 修订日期: 2025-04-26

基金项目: 内蒙古自治区自然科学基金面上项目(2024MS05047)。

作者简介: 苑 俐(1992—), 女, 辽宁朝阳人, 工程师, 硕士, 主要从事天气预报及气候分析工作。Email: yuan-li_cams@sina.com。

通信作者: 赵亚楠(1992—), 女, 内蒙古赤峰人, 工程师, 主要从事农业气象预报预测工作。Email: 948077826@qq.com。

灾害频发, 其气候状况对农业生产的影响显著。在全球变暖的大背景下, 赤峰市近年来遭遇极端天气事件的频率显著上升, 致使每年因气象灾害导致的农业经济损失不断增多。尤其是干旱、洪涝及秋季连续阴雨等区域性气象灾害, 直接影响到当年的农业收成。

气候年景能够综合表征某区域一年的气候状况^[1-3], 农业气候年景则是指在农作物生长发育及产量形成期间将影响最终粮食产量的综合气候条件, 气候年景不仅对产量有所影响, 而且对品质也具有至关重要的意义。农业气候年景评价是对一年农业气候状况的整体把握, 通过分析影响农作物的主要气象要素和气象灾害, 从而判断农作物收成的多寡^[4-6]。近年来, 随着气候变化风险加剧, 国内外对农业生产与气候变化的关系开展了许多研究, 孙家民等^[7]利用降水构建了农业气候年景旱涝评价指标, Chmielewski 等^[8]分析了英格兰南部温度和降水分别与冬小麦产量的长期变化关系, 周晋红等^[9]基于降水和气温确定了夏、秋粮气候年景评价模式。农业生产与气候条件息息相关, 客观评估粮食生产与气候的关系, 对于保障粮食安全、促进农业可持续发展具有重要意义。多数研究仅考虑气温和降水两种因子, 忽略了气象灾害对农业产量的影响, 农业气候年景评估要至少包含气象要素和气象灾害两方面因素, 因此本研究以气候年景评估方法为基础^[10], 根据赤峰地区气候特点, 增加了干旱、暴雨、霜冻 3 种气象灾害因子, 形成能够用于日常业务中简便、准确评估赤峰市农业气候年景的指数计算方法, 并利用产量数据对构建算法进行效果检验, 从而建立客观、定量和全面的赤峰市农业气候年景评估标准, 提升气候基础业务能力和应对气候变化科技实力, 为进一步开展农业气候年景预测研究奠定基础。

1 数据来源与方法

1.1 数据来源

数据来源于赤峰市 14 个国家基本、基准气象观测站 1991—2020 年的日平均气温、日地面最低温度、逐日降水(当日 20:00 时至次日 20:00 时)、日照时数以及逐日相对湿润度指数(MI)等气象观测资料。气象灾害数据由赤峰市气象局提供。产量

数据由赤峰市统计局提供。

1.2 方法

1.2.1 标准差计算 标准差是衡量数据离散程度的统计量, 反映数据点与均值的平均偏离程度。其本质是方差的算术平方根, 通过量化数据波动性来评估分布的集中或分散状态, 若标准差较小, 说明数据紧密围绕均值分布; 标准差较大, 则表明数据点分散范围广, 波动性更强。计算公式如下。

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}$$

式中, $\bar{Y}$ 为样本序列的平均值, Y_i 为第 i 个样本值, n 为样本总数。

1.2.2 标准化计算 利用标准差和均值能够将不同量纲的数据转换为统一的无量纲数, 从而实现科学比较和进一步计算分析, 计算公式如下。

$$C_i = \frac{Y_i - \bar{Y}}{\sigma}$$

式中, C_i 为第 i 个样本的标准化值, σ 为标准差。

1.2.3 百分位计算方法 百分位数通过将数据集按数值大小排序后, 基于特定分位点将数据划分为若干等级区间, 每个区间对应不同的相对位置或表现水平。其本质是通过相对位置量化实现数据分布的标准化分层, 适用于非正态分布或量纲差异较大的数据集。本文中利用百分位数对各类气候年景进行分级, 计算方法采用 Hyndman 等^[11]的公式, 即,

$$\hat{Q}_i(P) = (1 - \gamma) X_j + \gamma X_{j+1}$$

$$j = \text{int} \left[P \times n + \frac{1+P}{3} \right]$$

$$\gamma = P \times n + \frac{1+P}{3} - j$$

式中, $\hat{Q}_i(P)$ 为第 i 个分位数, X 为升序排列后样本序列, P 为百分位数, n 为序列总数, j 为第 j 个序列数, γ 为权重参数。

2 评估方法

单一考虑气候要素或气象灾害来评估气候对农业的影响都是不全面的^[12-15], 气候主要从两个方面影响农作物生产^[5], 一是气象要素, 如气温、

降水、日照等，二是气象灾害。因此，本文将农业气候年景主要分为气象要素和气象灾害两部分。

2.1 农业气象要素年景

气象要素的异常程度是气候年景异常的直接体现^[5]。通过将逐旬气象要素的异常值进行标准化处理，得到可以表征各旬气象要素异常程度的指数，异常程度越大，对农作物生长的影响也越大。对农业生产来说，生长季(4—9月)气象要素对农业的影响最大，其他时间的影响可忽略不计，因此在计算气象要素年景指数(气温、日照和降水年景指数)时，仅考虑生长季的变化。利用1991—2020年赤峰市14个国家气象观测站的日平均气温、日降水量及日照时数数据，分别计算农作物生长季(4—9月)的气温、降水以及日照年景指数。

2.1.1 气温年景指数 利用赤峰市14个国家基本、基准气象观测站的日平均气温数据，将某年各站生长季内逐旬气温标准化距平进行平均，即能表征该区域内气温在该年的异常程度^[14]。气温年景指数(I_t)的计算公式如下。

$$I_t = \left[\sum_{j=1}^N \sum_{i=10}^{27} \left(\frac{|T_{i,j} - \bar{T}_{i,j}|}{\sigma_{i,j}} \right) \right] / N$$

式中， $T_{i,j}$ 、 $\bar{T}_{i,j}$ 为第 j 站第 i 旬平均气温和气候平均值(气象要素和气候变量的气候平均值采用连续3个整年代的平均值或统计值)； $\sigma_{i,j}$ 为第 j 站第 i 旬平均气温的标准差； N 为区域内参加统计的国家基本、基准气象观测站数，下同。

2.1.2 降水年景指数 某一地区降水量的动态变化可以利用标准化降水指数(SPI)来反映，某年各站生长季内逐旬末的30d标准化降水指数的平均值可以反映该区域该时段的降水异常程度，降水年景指数(I_p)的计算公式如下。

$$I_p = \left[\sum_{j=1}^N \sum_{i=10}^{27} |(SPI_{30})_{i,j}| \right] / N$$

式中， $(SPI_{30})_{i,j}$ 为第 j 站第 i 旬末的30d标准化降水指数^[12]。

2.1.3 日照年景指数 与气温年景指数的计算方法相同，利用某年各站生长季内逐旬日照标准化距平的平均值来表征日照的异常程度，日照年景指数(I_s)的计算公式如下。

$$I_s = \left[\sum_{j=1}^N \sum_{i=10}^{27} \left(\frac{|S_{i,j} - \bar{S}_{i,j}|}{\sigma_{i,j}} \right) \right] / N$$

式中， $S_{i,j}$ 、 $\bar{S}_{i,j}$ 分别为第 j 站第 i 旬日照时数和气候

平均值， $\sigma_{i,j}$ 为第 j 站第 i 旬日照时数的标准差。

2.1.4 农业气象要素年景指数 当各气象要素年景指数越大时，表明与常年的差异越大，对农业生产的影响越显著。由于不同气象要素对农业的影响程度也有所不同，应考虑各气象要素的权重差异。本研究中，将其中某一指数序列与其他两种指数序列之间相关系数的平均值占有所有指数序列间相关系数平均值总和的比值作为该指标的权重系数^[13]，能够表征各年景指数对气象要素整体变化的影响强弱。据此计算得到气温、降水、日照的权重系数分别是0.31、0.28、0.41，最终将标准化后的气温年景指数、降水年景指数和日照年景指数加权累加，即得到农业气象要素年景指数(I_{me})的计算公式。

$$I_{me} = A \times I_t + B \times I_p + C \times I_s$$

式中， A 、 B 、 C 分别为气温年景指数 I_t 、降水年景指数 I_p 、日照年景指数 I_s 的权重系数，取值为0.31、0.28、0.41。

2.2 农业气象灾害年景

通过查阅赤峰市历年灾害数据资料，统计各类灾害造成的农作物损失数据，发现对赤峰市农作物影响较大的气象灾害主要有干旱、暴雨、冰雹、霜冻4种。由于冰雹灾害的局地性较强，影响时间短，在气候尺度上难以统计分析，所以本研究主要考虑干旱、暴雨、霜冻对农作物生长的影响。

2.2.1 干旱年景指数 基于相对湿度指数(MI)建立干旱年景指标， MI 为某时段内降水量与同时段内潜在蒸散量之差与同时段潜在蒸散量的比值，能够表征该时段内的干旱程度，具体按照气象干旱等级GB/T 20481—2017中附录B规定的公式计算^[16]。

首先根据日 MI 值，参照表1中 MI 值与异常值对应关系确定单站日干旱异常值(I_{ddr})。以月为单位，累加当月逐日干旱异常值，得到月干旱异常值(I_{mddr})，具体计算公式如下。

$$I_{mddr} = \sum_{i=1}^D \sum_{j=1}^N I_{ddr, i, j}$$

式中， $I_{ddr, i, j}$ 为第 i 天第 j 站的日干旱异常值， D 为某月天数。

同时考虑干旱灾害越严重，对年景影响越大，因此引入月干旱异常系数(ω)：以该月月干旱异常

值的一个气候标准期(30 a)序列为基础, 分别计算 10%、30%、70%、90%对应的百分位数, 根据百分位数作为阈值划分出 5 个等级, 从而确定当月干旱异常等级和干旱异常系数(ω_{mdr}), 异常等级及对应异常系数见表 1。

表 1 不同 MI 值和百分位对应的异常值及异常系数

干旱类型	异常等级	MI	异常值	百分位(P)	异常系数
无旱	1	$-0.4 < MI$	0	$P \leq 10\%$	0
轻旱	2	$-0.65 < MI \leq -0.4$	0.1	$10\% < P \leq 30\%$	0.1
中旱	3	$-0.8 < MI \leq -0.65$	0.2	$30\% < P \leq 70\%$	0.2
重旱	4	$-0.95 < MI \leq -0.8$	0.4	$70\% < P \leq 90\%$	0.4
特旱	5	$MI \leq -0.95$	0.8	$P > 90\%$	0.8

由于不同月份的降水对农作物生长的影响程度不同, 因此以当月区域平均降水量占年平均降水量的比率 R_m 为权重系数, 加权累加当年生长季内(4—9 月)干旱异常值与当月干旱异常系数的乘积, 得到干旱年景指标(I_{dr}), 具体计算公式如下。

$$I_{dr} = \sum_{m=10}^{27} I_{mdr, m} \times \omega_{mdr, m} \times R_m$$

式中, $I_{mdr, m}$ 为某月干旱异常值, $\omega_{mdr, m}$ 为某月干旱异常系数, R_m 为某月月平均降水量与年平均降水量的比值。

2.2.2 暴雨年景指数 暴雨年景及等级的确定以日降水量为基础数据, 日降水量 ≥ 50 mm 为暴雨日, 易出现洪涝灾害^[17]。单站暴雨异常值 (R_i) 的计算公式如下。

$$R_i = \frac{N_i}{3} + \frac{R_{A,i}}{70} + 0.5 \times \frac{R_{M,i}}{85}$$

$$R_{A,i} = R_{S,i} / N_i$$

式中, N_i 为当年总暴雨日数, $R_{A,i}$ 为当年平均暴雨量, $R_{M,i}$ 为当年各暴雨日中的最大暴雨量, $R_{S,i}$ 为总暴雨量^[18]。

累加当年区域内所有国家气象观测站年暴雨异常值, 即得到区域年度暴雨异常值, 作为暴雨年景指数(I_{rs}), 计算公式如下。

$$I_{rs} = \sum_{i=1}^N R_i$$

式中, R_i 为第 i 站暴雨异常值。

2.2.3 霜冻年景指数 霜冻分为初霜冻和终霜冻。初霜日一般为夏末秋初气象站地面最低温度(T)小于或等于 0℃的第一日, 终霜日为春末夏初气象

站地面最低温度(T)小于或等于 0℃的最后一日。当初霜日较气候平均日期(最近 3 个连续年代平均日期)早时, 则出现初霜冻灾害; 当终霜日较气候平均期晚时, 则出现终霜冻灾害^[19]。

根据内蒙古自治区地方标准霜冻灾害等级 DB15/T 1008—2016 中的规定^[20], 可以通过地面最低温度以及霜冻出现(结束)时间较平均霜冻出现(结束)时间的早(晚)天数来判定霜冻灾害等级, 分为轻度、中度和重度灾害, 具体划分方法见表 2。

表 2 初(终)霜冻灾害等级划分指标

早(晚) 天数	温度等级(T)		
	$-1\text{℃} < T \leq 0\text{℃}$	$-3\text{℃} < T \leq -1\text{℃}$	$T \leq -3\text{℃}$
1~5 d	轻度灾害	中度灾害	重度灾害
6~10 d	中度灾害	中度灾害	重度灾害
10 d 以上	重度灾害	重度灾害	重度灾害

根据表 2 得到赤峰市 14 个国家站的霜冻灾害等级, 将计算得到的单站某年的初、终霜冻灾害等级, 参照霜冻灾害等级与异常值对应得到初霜冻异常值(FS)和终霜冻异常值(FE)。霜冻灾害等级与异常值对应为异常值为 0, 霜冻灾害等级为无灾害; 异常值为 1, 霜冻灾害等级为轻度灾害; 异常值为 2, 霜冻灾害等级为中度灾害; 异常值为 3, 霜冻灾害等级为重度灾害。

该站霜冻灾害异常值计算公式如下。

$$F_i = FS_i + FE_i$$

式中, F_i 为第 i 站霜冻灾害异常值, FS_i 、 FE_i 分别为第 i 站初霜冻灾害异常值、终霜冻灾害异常值。

将区域内所有国家基准、基本气象观测站霜冻灾害异常值进行累加, 作为该区域的霜冻年景指数(I_{fr}), 计算公式如下。

$$I_{fr} = \sum_{i=1}^N F_i$$

2.2.4 农业气象灾害年景指数 由于干旱、暴雨及霜冻对气候年景的影响程度有所不同, 可采取专家评分法或根据当地灾害气候特征决定各灾害的权重系数^[1]。根据赤峰市 1983—2019 年的灾情统计(表 3)可以发现, 暴雨发生次数最多, 干旱造成的经济损失最多, 所以干旱灾害的影响相对最大; 其次是暴雨; 最后是霜冻。故干旱的权重系数取 0.50, 暴雨的权重系数取 0.35, 霜冻的权重系数取 0.15。

将标准化后的暴雨年景、干旱年景和霜冻年

表 3 1983—2019 年赤峰市主要气象灾害灾情统计

气象灾害 种类	发生次数 /次	农业经济损失 /万元
暴雨	559	414 188
干旱	249	2 341 482
霜冻	67	164 754

景进行加权累加,得到气象灾害年景指数的计算公式,计算公式如下。

$$I_{md}=A \times I_{dr}+B \times I_{rs}+C \times I_{fr}$$

式中, I_{md} 为气象灾害年景指数, A 、 B 、 C 分别为干旱年景指数 I_{dr} 、暴雨年景指数 I_{rs} 、霜冻年景指数 I_{fr} 的权重系数,取值依次为 0.50、0.35、0.15。

2.3 农业气候年景指数

农业气候年景指数由农业气象要素年景指数和农业气象灾害年景指数加权得到,权重系数参考气候年景评估技术规范 DB52/T 1515—2020 的研究方法^[18],取为 0.35 和 0.65。具体计算公式如下。

$$ICS=A \times I_{me}+B \times I_{md}$$

式中, ICS 为农业气候年景指数, A 、 B 分别为气象要素年景指数 I_{me} 、气象灾害年景指数 I_{md} 的权重系数,取值依次为 0.35、0.65。

2.4 年景等级划分

将计算得到的最近 1 个气候标准期 (3 个连续整年代) 的某类年景指数进行排列,利用百分位数法确定阈值,具体方法:根据 10%、30%、70%、90% 所对应的百分位数,将各年景划分为 5 个等级 (表 4)。

表 4 年景等级与百分位数阈值

年景等级 ^①	年景指数对应百分位阈值(P)
1级	$P \leq 10\%$
2级	$10\% < P \leq 30\%$
3级	$30\% < P \leq 70\%$
4级	$70\% < P \leq 90\%$
5级	$90\% < P$

①1 级为好, 2 级为较好, 3 级为一般, 4 级为较差, 5 级为差。

3 年景指数效果检验

3.1 历史序列

3.1.1 气象要素年景 从图 1 可以看出,气象要素年景指数随时间呈显著波动变化。最大值 (年景最差) 出现在 1991 年,为 0.83 (等级 5),最小值 (年景最好) 出现在 2004 年,为 -0.59 (等级 1),整体以 0.03/10 a 的速率呈轻微下降趋势,即气象要素年景轻微转好。1991—2020 年的气象要素年景等级在好与差间起伏,其中 1997、2000、2002、2004、2013 年表现好,1991、1998、2001、2019、2020 年为差。

3.1.2 气象灾害年景 从图 2 可以看出,气象灾害年景指数以 0.83/10 a 的速率显著上升,说明影响农业生产的气象灾害总体越来越严重。其中 2003 年的气象灾害年景指数最小,为 -0.84,等级为 1 级,年景最好;2007 年最大,为 1.24,等级为 5 级,年景最差。1991—2020 年的气象灾害年景等级变化幅度较大,1991、1992、1993、1994、1996、1998、2003、2015 年达到好,2000、2002、

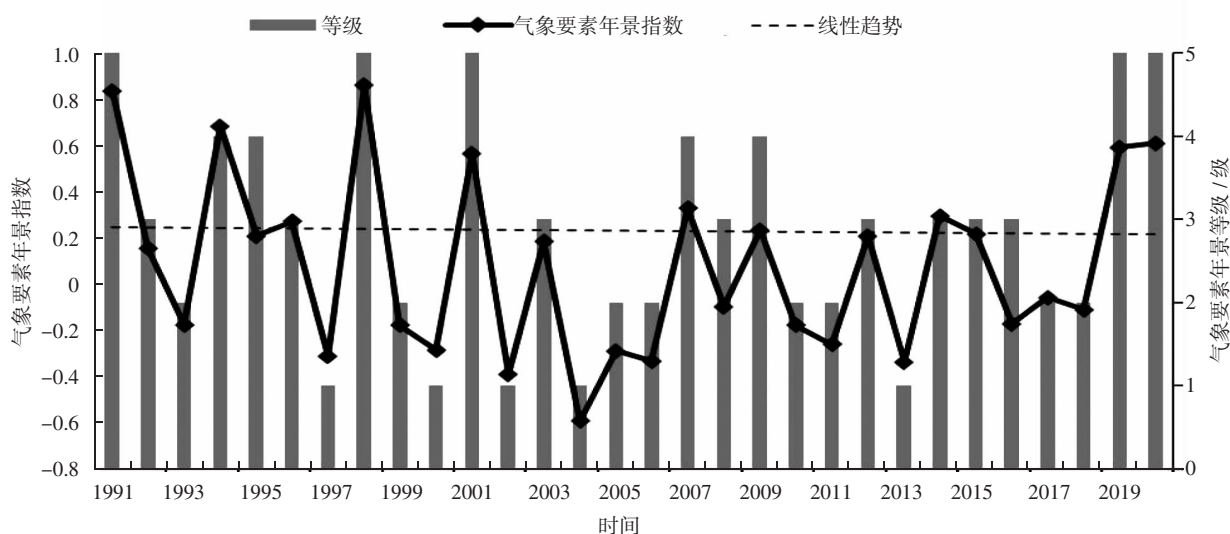


图 1 1991—2020 年赤峰市气象要素年景指数、趋势线和等级

2007、2009、2010、2017、2018、2019 年为差。

3.1.3 农业气候年景 从图 3 可以看出, 农业气候年景变化趋势与气象灾害年景相似, 呈增加趋势, 即年景越来越差, 指数上升速率为 0.78/10 a。其中 2005 年的农业气候年景指数最小, 为 -0.50, 等级为 1 级, 年景最好; 2007 年最大, 为 0.91, 等级为 5 级, 年景最差。1991—2020 年的农业气候年景等级变化以 1991、1992、1993、1994、1996、1998、2003、2005、2015 年达到好, 2000、2001、2002、2006、2007、2009、2010、2013、2017、2018、2019 年为差。

可以看出, 近 30 a 来, 气象要素年景指数、气象灾害和农业气候年景指数均呈波动变化趋势。其中气象要素年景指数线性趋势逐渐减小, 气象灾害和农业气候年景指数线性趋势趋于加重, 对农业产生不利影响, 综合来看, 近 30 a 农业气候

年景有变差的趋势。

3.2 检验评估

根据赤峰市 1991—2020 年赤峰市主要粮食作物总产量数据, 将某年产量与近 5 a 平均产量的差值作为产量距平, 能够在一定程度上表征产量的变化幅度, 距平为正说明产量有所增长, 反之说明有所下降。以产量距平为样本, 采用百分位数法分别计算 10%、30%、70%、90% 所对应的百分位数, 根据 4 个百分位数阈值将产量划分为 5 个等级, 分别为差(5 级)、较差(4 级)、一般(3 级)、较好(2 级)和好(1 级)。

将农业气候年景等级与产量等级相比较, 1991—2020 年 30 a 中有 4 个年份评价等级相差 3 级以上, 分别是 1991、1992、2003、2013 年; 8 个年份评价等级相差 2 级, 分别是 1994、2002、2010、2012、2014、2015、2018、2019 年; 其余

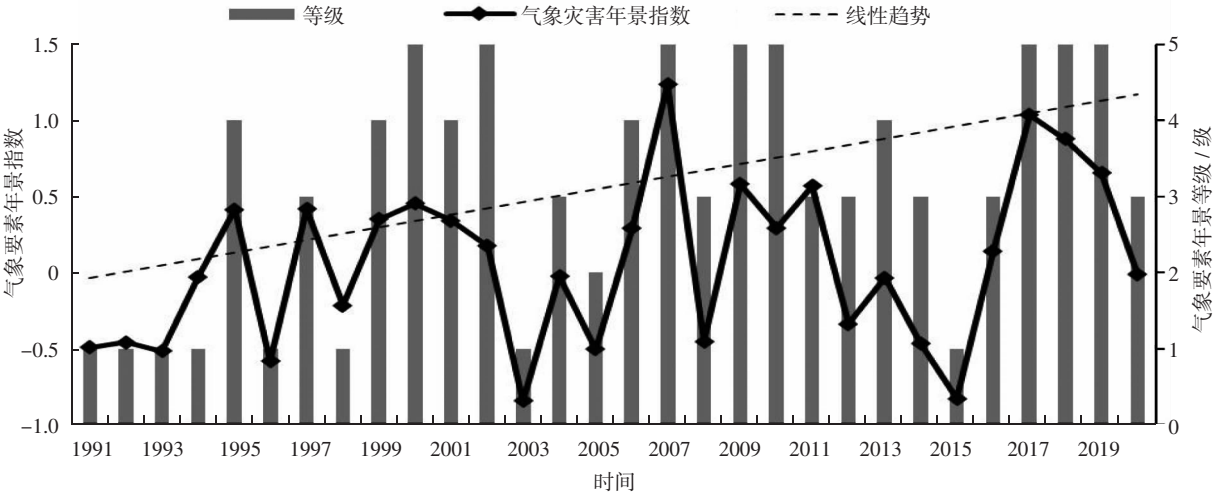


图 2 1991—2020 年赤峰市气象灾害年景指数、趋势线和等级

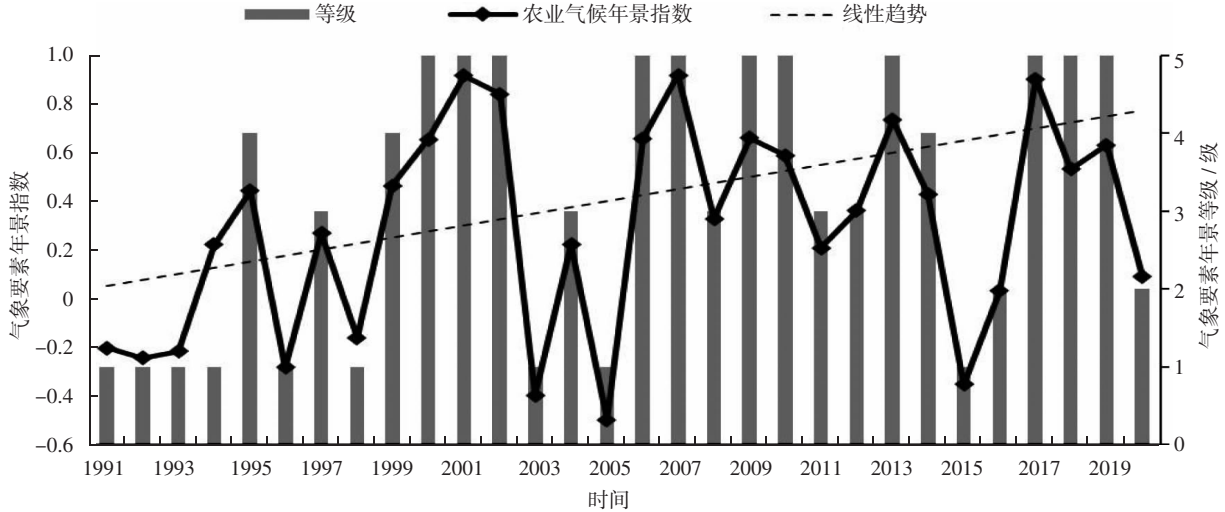


图 3 1991—2020 年赤峰市农业气候年景指数、趋势线和等级

18 个年份评价等级相差 1 级及以下 (表 5)。总体来看, 1991—2020 年中有 26 a 农业气候年景等级与产量等级相差 2 级以下, 占比 86.67%, 表明该计算方法能够一定程度地反映农业年景的好坏。

表 5 1991—2020 年农业气候年景等级与产量等级

时间	农业气候 年景等级	产量 等级	时间	农业气候 年景等级	产量 等级
1991年	1	5	2006年	5	4
1992年	1	4	2007年	5	4
1993年	1	2	2008年	3	3
1994年	1	3	2009年	5	4
1995年	4	5	2010年	5	3
1996年	1	1	2011年	3	2
1997年	3	2	2012年	3	1
1998年	1	2	2013年	5	1
1999年	4	3	2014年	4	2
2000年	5	5	2015年	1	3
2001年	5	4	2016年	2	3
2002年	5	3	2017年	5	4
2003年	1	4	2018年	5	3
2004年	3	2	2019年	5	3
2005年	1	2	2020年	2	3

4 讨论与结论

全球变暖的气候背景下, 极端气候事件频发, 光热水等气候资源条件发生一定程度的变化, 对我国农业生产有较大影响^[21-23]。通过分析历史气候条件和气象灾害事件, 揭示农业产量与气候资源的内在关系, 为更好应对气候变化提供科学参考。目前国内外已有不少学者开展了农业气候年景评估方法的研究工作, 并取得了相应成果, Kogan^[12]研究了气候变化导致的水分减少对全球 103 个小麦生产区产量的影响, Alexandrov 等^[13]分析了 20 世纪保加利亚气候变化对农业生产的影响, 石磊等^[14]、王胜等^[15]以气象灾害和气候适宜度为指标构建了安徽省气候年景和作物年景评估指标, 秦鹏程等^[24]基于气候适宜度和气象灾害指标构建了江汉平原地区农业气候年景评估综合指数, 邹燕等^[17]从冷、热、旱、涝四个方面, 构建了气候年景评价模型和等级标准。

本研究根据赤峰市本地气候特点, 定义了赤峰市农业气候年景指数的计算方法, 其中包含气象要素年景指数和气象灾害年景指数, 并划分了相应等级。结果表明, 近 30 a 赤峰市气象要素年景指数评估为差的年份有 5 a, 最差出现在 1991

年。气象要素年景整体变化不明显, 指数下降速率为 0.03/10 a, 呈轻微转好趋势, 尤其在 21 世纪以后, 年景等级相对较好。近 30 a 赤峰市气象灾害年景指数以 0.83/10 a 的速率显著上升, 说明对农业影响较大的气象灾害出现次数及强度日益增加, 这与全球变暖导致的极端气候事件增多有关^[22], 尤其在 21 世纪后的 20 a 中, 仅有 2 a 气象灾害年景等级为好, 而差等级有 8 a。由于气象灾害对气候年景的影响较大, 农业气候年景指数与气象灾害年景指数相似, 呈显著上升趋势, 上升速率为 0.78/10 a, 同样在 21 世纪以来农业气候年景等级为差的年份明显增多, 其中最大值为 0.91, 出现在 2007 年。通过对比 1991—2020 年农业气候年景等级与产量等级, 对该计算方法进行了检验。通过检验, 基本符合率 (相差 2 级以下) 达到 86.67%, 表明该计算方法能够一定程度地反映农业年景的好坏。需要注意的是, 在计算产量距平时, 由于仅有 1991—2020 年产量数据, 1991—1995 年的近 5 a 平均产量均取为该 5 a 的平均产量, 而产量距平为某年产量与近 5 a 平均产量的差值, 故在该 5 a 内产量距平的变化就是产量的变化, 同时 1991—1995 年产量呈逐年增加的趋势, 得出的产量距平存在一定误差, 可能导致农业气候年景评价等级与产量等级相差较大。

本研究计算方法简明, 物理意义清晰, 能够为赤峰市气象部门开展农业气象服务提供客观、量化的年景指标, 同时也适用于农业部门的气候年景评估工作。依据现有研究, 影响农业产量的因素比较复杂, 种植过程中栽培、育种、灌溉等技术的提高以及日益完善的灾害防御措施对不利气象条件都有着补偿作用^[25-29], 故农业气候年景不能完全等同于农业年景。为了能够实现更全面地评估农业产量, 还需结合考虑农业技术、土壤条件等因素开展下一步研究。

参考文献:

- [1] 邹燕, 伍红雨, 林昕, 等. 气候年景定量化评价方法[J]. 气象学报, 2019, 77(6): 1124-1133.
- [2] 杨世琼, 谭文, 左晋, 等. 2021 年贵州省主要粮油作物生长季农业气候评价[J]. 中低纬山地气象, 2022, 46(6): 70-75.
- [3] 曹永强, 齐静威, 王菲, 等. 辽宁省春玉米全生育期

- 的气候适宜度及年景评估[J]. 地理科学, 2020, 40(7): 1210-1220.
- [4] 冯敏玉, 胡 萍, 吴风雨. 2019 年南昌地区气候年景分析[J]. 天津农业科学, 2020, 26(8): 72-76.
- [5] 伍红雨, 邹 燕, 郭 尧. 广东气候年景的客观量化评估[J]. 大气科学学报, 2020, 43(3): 516-524.
- [6] 符 琳. 东北三省农业气候年景评估研究[D]. 北京: 中国气象科学研究院, 2011.
- [7] 孙家民, 黄朝迎. 中国农业气候年景的评估及预测[J]. 应用气象学报, 2005(S1): 111-115.
- [8] CHMIELEWSKI F M, POTTS J M. The relationship between crop yields from and experiment in southern England and long-term climate variations[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1995, 73(1-2): 43-66.
- [9] 周晋红, 李丽平, 王 宏. 气候条件及其对农业影响的评价模式研究[J]. 山西农业科学, 2009, 37(7): 58-60.
- [10] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 气候年景评估方法: GB/T 33670—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [11] HYNDMAN R J, FAN Y N. Sample quantiles in statistical packages[J]. *American Statistician*, 1996, 50(4): 361-365.
- [12] KOGAN F X. Climate constraints and trends in global grain production[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1986, 37(2): 89-107.
- [13] ALEXANDROV V A, HOOGENBOOM G. The impact of climate variability and change on crop yield in Bulgaria [J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2000, 104(4): 315-327.
- [14] 石 磊, 王 胜, 盛绍学. 近 50 年安徽省气候年景评估方法[J]. 地理研究, 2012, 31(9): 1580-1588.
- [15] 王 胜, 沈 梅, 石 磊. 安徽省近 33 年农业气象灾害年景评估[J]. 中国农业大学学报, 2013, 18(3): 192-197.
- [16] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 气象干旱等级: GB/T 20481—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [17] 邹 燕, 叶殿秀, 林 毅, 等. 福建区域性暴雨过程综合强度量化评估方法[J]. 应用气象学报, 2014, 25(3): 360-364.
- [18] 贵州省市场监督管理局. 气候年景评估技术规范: DB52/T 1515—2020[S]. 贵阳: 贵州省市场监督管理局, 2020.
- [19] 苑 俐. 赤峰市近 30 年霜冻灾害特征分析[J]. 内蒙古科技与经济, 2022(7): 78-79.
- [20] 内蒙古自治区质量技术监督局. 霜冻灾害等级: DB15/T 1008—2016[S]. 呼和浩特: 内蒙古自治区质量技术监督局, 2016.
- [21] 陈志钢, 胡 霜. 气候变化对全球粮食安全的影响与应对策略[J]. 农业经济问题, 2024(10): 44-56.
- [22] 赵敏娟, 姚柳杨, 赵明恩, 等. 气候变化对中国粮食安全的影响: 理论逻辑和应对措施[J]. 农业经济问题, 2024(10): 34-43.
- [23] 雷有宏, 雷占娇, 张 莹, 等. 1980—2022 年青海地区气候变化时空分布特征及对农牧业生产的影响[J]. 中国农学通报, 2024, 40(29): 87-95.
- [24] 秦鹏程, 夏智宏, 陈伟亮. 农业气候年景评估指数构建及在江汉平原的应用[J]. 气象科技进展, 2018, 8(5): 40-45.
- [25] 再生斌, 尚永芳, 边金霞, 等. 甘肃高海拔区饲用甜菜栽培技术[J]. 寒旱农业科学, 2023, 2(12): 1173-1176.
- [26] 段 誉, 裴希谦, 田 靖, 等. 不同育苗基质对辣椒幼苗生长发育的影响[J]. 寒旱农业科学, 2023, 2(11): 1051-1055.
- [27] 黄爱斌. 旱地谷子平膜穴播高产栽培技术[J]. 寒旱农业科学, 2023, 2(6): 539-541.
- [28] 张国平, 王红丽, 张绪成, 等. 甘肃中西部灌区沙化土地改良技术规程[J]. 寒旱农业科学, 2023, 2(5): 475-479.
- [29] 朱 君, 闫春梅, 王国平, 等. 甘南高寒区白菜型冬油菜适宜密度研究[J]. 寒旱农业科学, 2023, 2(3): 223-225.