

武强,马家良,张悦,等.基于气候适宜度指数不同权重系数确定方法的茎瘤芥产量预报准确率比较[J].气象与环境科学,2024,47(2):79-85.
Wu Qiang, Ma Jialiang, Zhang Yue, et al. Accuracy Comparison of Yield Prediction of *Brassica Juncea* Var. *Tumida* Based on Climate Suitability Index With Different Weighting Coefficient Determination Methods[J]. Meteorological and Environmental Sciences, 2024, 47(2): 79-85.
doi:10.16765/j.cnki.1673-7148.2024.02.010

基于气候适宜度指数不同权重系数确定方法的 茎瘤芥产量预报准确率比较

武 强¹, 马家良², 张 悦¹, 蔡国强³, 徐倩倩⁴

(1. 中国气象局气候资源经济转化重点开放实验室, 重庆市气象科学研究所, 重庆 401147; 2. 中国气象局气候资源经济转化重点开放实验室, 重庆市气象信息与技术保障中心, 重庆 401147; 3. 重庆市铜梁区气象局, 重庆 402560; 4. 合肥市气象局, 合肥 230041)

摘 要: 利用绝对值法、归一化法、相关系数法确定各旬气象条件对茎瘤芥产量影响的权重系数,从而得到不同权重系数确定方法的气候适宜度指数,基于气候适宜度指数与气象影响指数,建立茎瘤芥产量动态预报模型。结果表明,绝对值法与归一化法作为茎瘤芥气候适宜度指数权重系数确定方法,在实际应用中存在一定局限,相关系数法权重系数计算得到的气候适宜度指数能够更好地反映茎瘤芥产量受气象条件影响的变化情况。相关系数法作为气候适宜度指数权重系数确定方法的产量预报模型,在起报时间模型均通过方程有效性检验,回代检验结果显示,不同起报时间的产量预报准确率平均值为 92.0%,归一化均方根误差平均值为 0.195,丰歉趋势准确率平均值为 70.3%。外推检验显示,相关系数法作为气候适宜度指数权重系数确定方法的产量预报模型,除个别起报日期,其产量预报准确率均表现为 90.0% 以上的较高水平。丰歉趋势准确率总体较好。说明在利用气候适宜度指数进行产量预报时,相关系数法是一种适用性和准确性较高的权重系数确定方法。

关键词: 产量预报;气候适宜度指数;绝对值法;归一化法;相关系数法;茎瘤芥

中图分类号: S162.5⁺4

文献标志码: A

文章编号: 1673-7148(2024)02-0079-07

引 言

茎瘤芥 (*Brassica juncea* var. *tumida* Tsen & Lee) 是重庆最具特色的经济作物之一,其膨大肉质茎的腌制加工产品即为榨菜,以重庆涪陵榨菜最为有名^[1]。涪陵区也是茎瘤芥的核心产区,除东南部武陵山系高海拔地区外,全区都有种植。

关于作物农业气象产量预报方法已有诸多研究^[2-5]。基于气候适宜度指数的作物产量预报方法耦合了光、温、水与作物生长发育的供需关系,以及与产量形成的相关关系建立预报模型,在大宗粮油作物的产量预报中已有较为广泛的应用^[6-8]。但特

色经济作物的植物生理生化活动所需要的环境气象条件与大宗粮油作物存在差异,且作物的生长发育是动态过程,在同一生育期的不同时段植物生理生化活动对环境气象条件的需求与耐受程度也有一定不同。因此对于作物生育期时间段的合理划分并明确气象条件对作物生长发育影响的不同权重系数,对科学地确定气候适宜度指数具有重要意义。常用的权重系数确定方法有平均加权法^[9]、绝对值法^[10]、归一化法^[11]、相关系数法^[12]等,平均加权法认为作物生育期内各旬气象要素对产量形成是无差别贡献,具有计算简单的优点,但是与作物不同时期气象条件需求的实际情况并不一致,估算误差较大。

收稿日期:2021-01-11;修订日期:2021-03-19

基金项目:重庆市气象部门业务技术攻关项目(YWJSGG-202213);重庆市技术创新与应用发展专项(cstc2020jscx-msxmX0111);重庆市气象部门智慧气象技术创新团队项目(ZHCXTD-202016);重庆市气象局科技计划项目(QNJJ-201703)

作者简介:武强(1989-),男,高级工程师,硕士,从事农田小气候与气象仪器研究。E-mail:theodorus@yeah.net

通信作者:徐倩倩(1986-),女,高级工程师,硕士,从事农业气象与天气学研究。E-mail:nancy013@163.com

绝对值法、归一化法、相关系数法各有其理论指导意义,并在大宗粮油作物的产量预报中均有应用^[13-15]。但针对同一作物,尤其是在特色经济作物的产量预报中,不同权重系数确定方法是否导致产量预报的准确性差异还有待进一步研究。

本文以茎瘤芥为研究对象,选取在大宗粮油的产量预报中有较好应用效果的绝对值法、归一化法、相关系数法三种权重系数确定方法,以旬为时间划分单位,利用三种方法确定旬权重系数计算气候适宜度指数,并建立茎瘤芥产量动态预报模型,比较其预测结果准确性,旨在得到更加科学的权重系数确定方法,进而建立产量动态预报模型,以期寻求实现茎瘤芥产量预报的切实方案,为茎瘤芥产量预报及其他特色经济作物的产量预报提供科学依据与方法参考。

1 材料与方法

1.1 研究区域与对象

研究区域为重庆市涪陵区(29°21′—30°01′N、106°56′—107°43′E,海拔138—1977 m),全区除东南部靠近武陵山系海拔较高的武陵山乡、大木乡以外,其余各乡镇均有茎瘤芥种植。

研究对象为茎瘤芥。重庆地区茎瘤芥幼苗期9月上旬—10月下旬,瘤茎膨大期11月上旬—次年2月中旬,开花结实期2月下旬—4月^[1]。由于茎瘤芥主要产生经济价值部分为瘤茎,开花结实后瘤茎纤维增多,筋多皮厚,丧失经济价值,故一般于2月下旬前基本完成采收。所以本研究针对幼苗期至瘤茎膨大期(9月上旬—次年2月中旬)作为参考数据集进行统计分析,开花结实期不涉及瘤茎产量,故不予讨论。

1.2 资料来源与处理

基于气候适宜度指数的茎瘤芥产量动态预报模型的建立用到1984—2019年重庆市涪陵区逐日气象数据与茎瘤芥历年产量数据。气象数据来自涪陵区国家基本气象站、涪陵区72个区域气象站,气象要素包括逐日平均气温、最高气温、最低气温、空气相对湿度、降水量、土壤含水量、日照时数。茎瘤芥产量数据来自涪陵区统计局,由总产和种植面积计算得到单产。

1.2.1 气象影响指数

对茎瘤芥产量进行处理,得到瘤茎产量气象影响指数^[16-17](ΔY_i)为

$$\Delta Y_i = \frac{Y_i - Y_{i-1}}{Y_{i-1}} \times 100\% \quad (1)$$

式中, Y_i 、 Y_{i-1} 为第*i*年、第*i*-1年瘤茎单产。气象影响指数 ΔY_i 正负值代表产量丰和歉。

1.2.2 气候适宜度

为量化分析茎瘤芥产量形成的气象条件,本文应用模糊数学方法^[18-19],结合茎瘤芥不同生育期气象指标建立温度、水分、光照适宜度模型,并应用几何平均法建立茎瘤芥综合气候适宜度模型。

温度适宜度(P_T):

$$P_T = \frac{(T - T_1)(T_2 - T)^B}{(T_0 - T_1)(T_2 - T_0)^B} \quad (2)$$

$$B = \frac{(T_2 - T_0)}{(T_0 - T_1)} \quad (3)$$

式中, T 为日平均气温, T_1 、 T_2 、 T_0 分别是研究生育期内茎瘤芥生长所需的最低温度、最高温度和最适宜温度。幼苗期 $T_1 = 10^\circ\text{C}$ 、 $T_2 = 25^\circ\text{C}$ 、 $T_0 = 20^\circ\text{C}$,瘤茎膨大期 $T_1 = 0^\circ\text{C}$ 、 $T_2 = 15^\circ\text{C}$ 、 $T_0 = 10^\circ\text{C}$ ^[1]。由公式(2)计算得到温度适宜度的日值,按所在旬日数求取算术平均,得到旬温度适宜度。

水分适宜度(P_R):

$$P_R = \begin{cases} \frac{P}{P_a} & \frac{(P - P_a)}{P_a} \times 100\% < -30\% \\ 1 & -30\% \leq \frac{(P - P_a)}{P_a} \times 100\% \leq 30\% \\ \frac{P_a}{P} & \frac{(P - P_a)}{P_a} \times 100\% > 30\% \end{cases} \quad (4)$$

式中, P 为旬降雨量(mm)、 P_a 为多年旬降雨量平均值(mm)。

光照适宜度(P_S)

$$P_S = \begin{cases} 1 & S \geq S_a \\ \frac{S}{S_a} & S < S_a \end{cases} \quad (5)$$

式中, S 为旬日照时数, S_a 为多年旬日照时数平均值。

第*i*旬综合气候适宜度 $[P_i(y)]$ 模型为

$$P_i(y) = \sqrt[3]{P_T(y_i) \times P_R(y_i) \times P_S(y_i)} \quad (6)$$

式中, $P_T(y_i)$ 、 $P_R(y_i)$ 、 $P_S(y_i)$ 分别为第*i*旬温度、水分和光照适宜度。

1.2.3 气候适宜度指数旬权重确定方法

(1)绝对值法

计算茎瘤芥各旬综合气候适宜度与气象影响指数相关系数,得到各旬权重系数(K_i)为

$$K_i = \frac{|R_i|}{\sum_{i=1}^n |R_i|} \quad (7)$$

式中, R_i 为第 i 旬气候适宜度与气象影响指数的相关系数, n 为研究生育期总旬数。

(2) 归一化法

将茎瘤芥各旬气候适宜度与气象影响指数的相关系数进行归一化处理, 得到各旬权重系数 (K_i) 为

$$K_i = \frac{R_{si}}{\sum_{i=1}^n R_{si}} \quad (8)$$

$$R_{si} = \frac{R_i - R_{\min}}{R_{\max} - R_{\min}} \quad (9)$$

式中, R_{si} 为相关系数标准化数值, R_i 为第 i 旬气候适宜度与气象影响指数的相关系数, $R_{\max}$ 、 $R_{\min}$ 为相关系数序列的最大值和最小值, n 为研究生育期总旬数。

(3) 相关系数法

计算茎瘤芥各旬气候适宜度与气象影响指数相关系数, 得到各旬权重系数 (K_i) 为

$$K_i = \frac{R_i}{\sum_{i=1}^n R_i} \quad (10)$$

式中, R_i 为第 i 旬气候适宜度与气象影响指数的相关系数, n 为研究生育期总旬数。

1.2.4 气候适宜度指数

分别按照绝对值法、归一化法、相关系数法 3 种气候适宜度指数旬权重系数确定方法, 得到气候适宜度指数 (CSI) 为

$$CSI = \sum [K_i \cdot P_i(y)] \quad (11)$$

1.3 产量丰歉预报模型建立

利用逐年茎瘤芥气象影响指数 ΔY 与不同起报时间点气候适宜度指数 CSI 建立一元线性方程:

$$\Delta Y = a \cdot CSI + b \quad (12)$$

式中, ΔY 为茎瘤芥气象影响指数, CSI 为气候适宜度指数, a 为回归系数, b 为回归常数。

根据趋势预测结果计算预报产量为

$$Y_i = Y_{i-1} (1 + \Delta Y_i / 100) \quad (13)$$

1.4 产量丰歉预报模型检验

采用产量预报准确率^[20]、丰歉趋势准确率^[20]、归一化均方根误差^[21]检验产量丰歉预报模型效果。

$$\text{产量预报准确率} = \left(1 - \frac{Y_1 - Y_0}{Y_0} \right) \times 100\% \quad (14)$$

式中, Y_1 、 Y_0 分别为产量预报值和产量实际值。

归一化均方根误差 NRMSE 为

$$\text{NRMSE} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(Y_{1i} - Y_{0i})^2}{n}}}{\bar{Y}_0} \times 100\% \quad (15)$$

式中, Y_{1i} 、 Y_{0i} 分别为第 i 年的产量预报值和产量实际值, $\bar{Y}_0$ 为实际产量的平均值, n 为参与检验的年数。

丰歉趋势准确率为趋势预报准确年份占总年数百分比。

2 结果分析

2.1 不同权重系数确定方法的气候适宜度指数与气象影响指数关系特征

茎瘤芥从出苗至瘤茎膨大采收, 生育期为 9 月上旬—次年 2 月中旬, 约 170 天。其中幼苗期为 9 月上旬—10 月下旬, 约 60 天, 瘤茎膨大期为 11 月上旬—次年 2 月中旬, 约 110 天。其不同生育期, 以及同一生育期的不同时段, 对于气象条件的需求有一定差异。利用 1984—2020 年逐旬气候适宜度与气象影响指数进行相关性统计, 得到逐旬相关系数, 利用绝对值法、归一化法、相关系数法, 得到各旬气象条件对茎瘤芥产量影响的权重系数 (图 1a)。由图 1(a) 可见, 3 种方法得到的各旬权重系数的变化趋势较为一致, 但是在部分时段尤其是逐旬权重系数变化的极值处表现出较大差异。如 10 月上旬—10 月下旬、12 月下旬—次年 1 月上旬, 绝对值法权重系数表现为正值, 分别为 0.026~0.091、0.032~0.054; 归一化法得到权重系数在 10 月中下旬接近于 0, 在 12 月下旬—次年 1 月上旬为 0.019~0.030; 而相关系数法计算得到权重系数为负值, 分别为 -0.064~-0.226、-0.079~-0.135, 即该时段气象条件对茎瘤芥产量的形成为负贡献。在 9 月中旬—9 月下旬、11 月中旬、2 月上旬等处出现权重系数逐旬变化的极大值, 绝对值法与归一化法得到的权重数值较为接近, 分别为 0.105~0.116、0.122~0.146、0.135~0.173, 相关系数法得到的权重系数极大值要明显高于以上两种方法的, 分别为 0.288、0.363、0.428。关于气象条件对产量影响负效应的表达也仅在相关系数法中出现, 绝对值法与归一化法权重系数除个别点为 0 外, 其余为正值, 表示各旬气象条件对产量的形成均有正贡献。

气象影响指数反映了受年际气象条件变化的产量波动, 气候适宜度指数综合反映茎瘤芥生育期光、温、水的气候适宜程度。以绝对值法、归一化法、相关系数法分别求得逐旬气象条件对产量形成影响的权重系数, 计算得到气候适宜度指数 (图 1b)。由图 1(b) 可看出, 3 种算法得到的气候适宜度指数的变化趋势总体一致, 但在气象影响指数发生较为明显变化的年份, 绝对值法与归一化法的气候适宜度指数的波

动较小,相关系数法的气候适宜度指数的变化幅度与气象影响指数的更为一致。绝对值法的气候适宜度指数与气象影响指数进行拟合(图 1c),得到 $R^2 = 0.1849$ ($n=35$, 通过 $\alpha=0.05$ 显著性检验)。归一化法气候适宜度指数与气象影响指数进行拟合(图 1d),得到 $R^2 = 0.2109$ ($n=35$, 通过 $\alpha=0.05$ 显著性检

验)。相关系数法的气候适宜度指数与气象影响指数进行拟合(图 1e),得到 $R^2 = 0.3806$ ($n=35$, 通过 $\alpha=0.05$ 显著性检验)。相关系数法的气候适宜度指数与气象影响指数的拟合效果更好,说明相关系数法权重系数计算得到的气候适宜度指数能够更好地反映茎瘤芥产量受气象条件影响的变化情况。

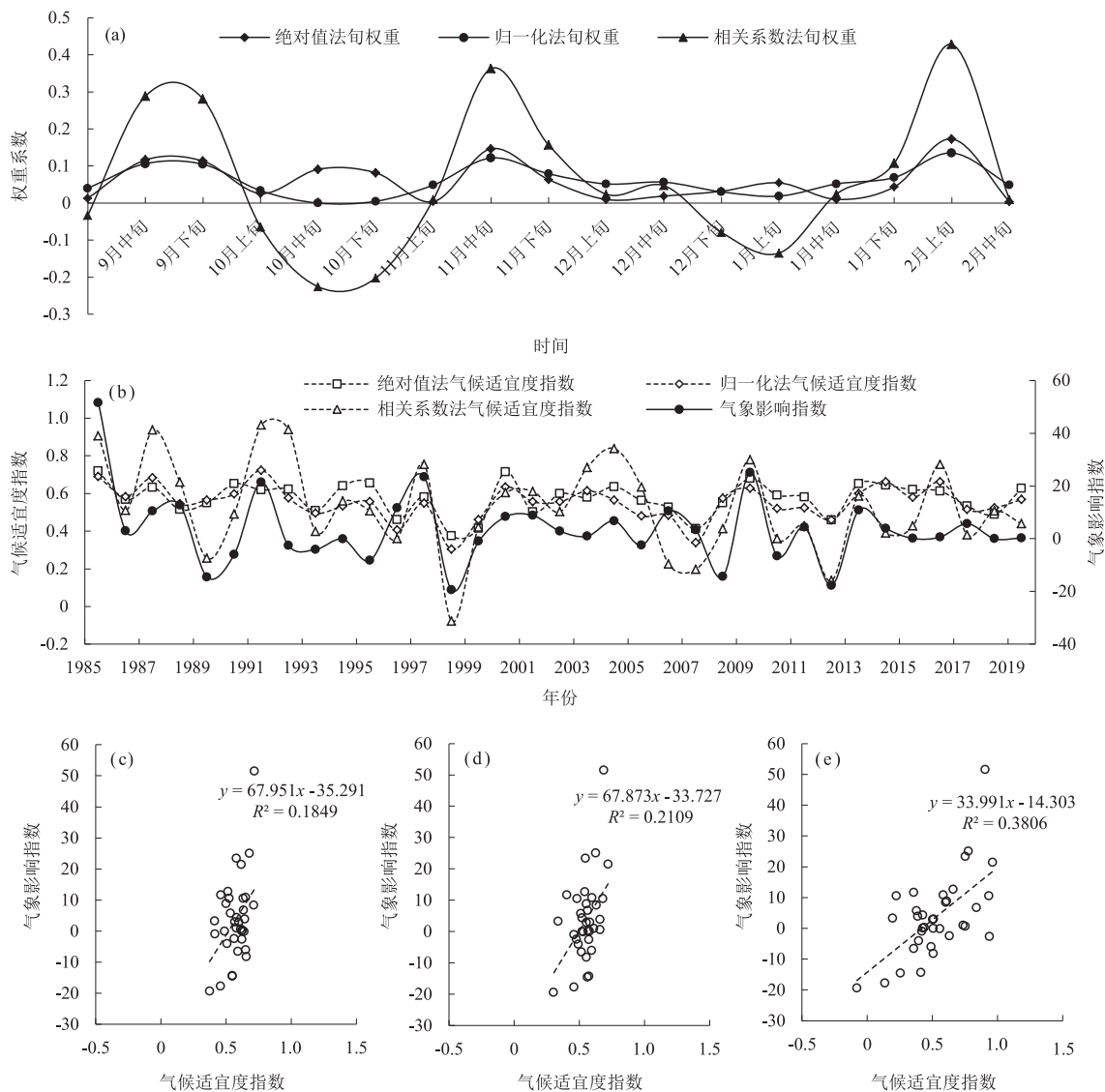


图 1 3 种权重系数确定方法的气候适宜度指数与气象影响指数的关系特征

(a) 为 3 种权重系数的逐旬时间变化特征, (b) 为 3 种权重系数确定方法的气候适宜度指数与气象影响指数的年际变化特征, (c) — (e) 分别为绝对值法、归一化法、相关系数法权重系数确定方法的气候适宜度指数与气象影响指数的相关关系

2.2 不同权重系数确定方法的茎瘤芥产量预报动态模型建立与回代检验

以 1984—2016 年气象数据与茎瘤芥产量作为校正数据集, 利用预报日前的气候适宜度指数与气象影响指数建立一元回归方程, 得到茎瘤芥产量丰歉动态预报模型。为对比研究茎瘤芥进入产量形成关键期以后的动态预报效果, 同时综合考虑直至茎瘤

芥采收全生育期气象条件能否提升产量预报准确率, 故以进入瘤茎膨大期以后每月初始日 (12 月 1 日、1 月 1 日、2 月 1 日), 以及膨大瘤茎采收基本结束后初日 (2 月 21 日) 为起报时间, 采用不同权重系数确定方法得到茎瘤芥气候适宜度指数, 并建立预报模型 (表 1)。由表 1 可见, 绝对值法确定权重系数得到的预报模型, 仅以 2 月 21 日为起报时间的预

报模型通过 0.05 的显著性检验。归一化法确定权重系数得到的预报模型,以 12 月 1 日、1 月 1 日为起报时间的预报模型通过 0.05 的显著性检验,以 2 月 21 日为起报时间的预报模型通过 0.01 的显著性检验。相关系数法确定权重系数得到的预报模型,各起报时间的预报模型均通过 0.01 的显著性检验。

对表 1 所建立各预报模型进行回代检验,将 1984—2016 年历年气候资料与产量资料按照不同气候适宜度指数权重系数确定方法,以及不同起报时间计算方案计算得到各年份茎瘤芥产量预报结果。对比不同起报时间的预测单产值(表 2)发现,绝对值法作为气候适宜度指数权重系数确定方法在 12 月 1 日、1 月 1 日、2 月 1 日起报时间的预报模型均未通过显著性检验,以 2 月 21 日作为起报时间,瘤茎产量预报准确率为 90.6%;归一化均方根误差为 0.204;丰歉趋势准确率为 51.5%。归一化法作为气候适宜度指数权重系数确定方法在 2 月 1 日起报

时间的预报模型未通过有效性检验,其余起报时间瘤茎产量预报准确率为 90.5%~91.2%,平均值 90.9%;归一化均方根误差为 0.204~0.211,平均值 0.207;丰歉趋势准确率为 51.5%~60.6%,平均值 55.5%。相关系数法作为气候适宜度指数权重系数确定方法的预报模型,不同起报时间瘤茎产量预报准确率为 91.65%~92.4%,平均值为 92.0%;归一化均方根误差为 0.192~0.198,平均值为 0.195;丰歉趋势准确率为 69.7%~71.9%,平均值为 70.3%。随着起报日期的延后,产量预报准确率有所提升,3 种气候适宜度指数权重系数确定方法得到的预报模型均表现为 2 月 21 日起报的准确率最高。丰歉趋势准确率与归一化均方根误差随起报日期的延后提升不明显,但丰歉指数以 1 月 1 日起报准确率最高。对比 3 种气候适宜度指数权重系数确定方法得到的预报模型,相关系数法作为气候适宜度指数权重系数确定方法的预报模型的回代效果最好。

表 1 3 种权重系数确定方法的气候适宜度指数茎瘤芥产量动态预报模型

参考数据集	起报时间	预报模型	F 值	样本量
绝对值法	12 月 1 日	$\Delta Y = 54.096 \text{CSI} - 26.849$	3.587	33
	1 月 1 日	$\Delta Y = 49.202 \text{CSI} - 24.099$	2.838	33
	2 月 1 日	$\Delta Y = 46.815 \text{CSI} - 22.416$	2.180	33
	2 月 21 日	$\Delta Y = 71.184 \text{CSI} - 37.146$	7.125 *	33
归一化法	12 月 1 日	$\Delta Y = 65.479 \text{CSI} - 29.662$	7.984 *	33
	1 月 1 日	$\Delta Y = 46.675 \text{CSI} - 20.829$	4.171 *	33
	2 月 1 日	$\Delta Y = 45.304 \text{CSI} - 20.163$	3.582	33
	2 月 21 日	$\Delta Y = 68.501 \text{CSI} - 34.053$	8.187 **	33
相关系数法	12 月 1 日	$\Delta Y = 28.834 \text{CSI} - 8.399$	14.362 **	33
	1 月 1 日	$\Delta Y = 28.644 \text{CSI} - 8.375$	15.338 **	33
	2 月 1 日	$\Delta Y = 22.799 \text{CSI} - 6.496$	12.932 **	33
	2 月 21 日	$\Delta Y = 34.501 \text{CSI} - 14.695$	18.977 **	33

注: ΔY 为茎瘤芥气象影响指数,CSI为9月上旬—预报日前一句气候适宜度指数,*、**分别表示通过0.05、0.01水平的显著性检验。

表 2 1985—2016 年涪陵茎瘤芥产量丰歉预报模型回代检验结果

参考数据集	检验项	12 月 1 日起报	1 月 1 日起报	2 月 1 日起报	2 月 21 日起报	平均值
绝对值法	产量预报准确率/%	—	—	—	90.6	90.6
	归一化均方根误差	—	—	—	0.204	0.204
	丰歉趋势准确率/%	—	—	—	51.5	51.5
归一化法	产量预报准确率/%	90.9	90.5	—	91.2	90.9
	归一化均方根误差	0.204	0.211	—	0.206	0.207
	丰歉趋势准确率/%	51.5	60.6	—	54.5	55.5
相关系数法	产量预报准确率/%	91.6	92.3	91.7	92.4	92.0
	归一化均方根误差	0.196	0.193	0.198	0.192	0.195
	丰歉趋势准确率/%	69.7	71.9	69.7	69.7	70.3

2.3 不同权重系数确定方法的茎瘤芥产量动态预报模型外推检验

利用 2017—2019 年气象数据与产量数据对表 1 建立的茎瘤芥产量丰歉预报模型进行检验,结果见

表 3。绝对值法作为气候适宜度指数权重系数确定方法的预报模型,以 2 月 21 日作为起报时间的瘤茎产量预报准确率为 92.8%~97.6% 的较高水平。但 2 月 21 日一般茎瘤芥已收获完毕,或接近尾声,此

时茎瘤芥产量基本可通过实测获得,丰歉预报对于生产指导意义不大。归一化法作为气候适宜度指数权重系数确定方法的预报模型,各起报时间在 2017—2019 年均表现为较高的预报准确率,但 2 月 1 日起报的预报模型未通过有效性检验,在实际应用

中仍存在一定局限。相关系数法作为气候适宜度指数权重系数确定方法的预报模型,在 2017—2019 年不同起报时间的茎瘤芥产量丰歉预报中,除个别起报日期,其产量预报准确率均表现为 90.0% 以上的较高水平。

表 3 2017—2019 年涪陵茎瘤芥产量丰歉预报模型准确率 %

参考数据集	年份	12 月 1 日起报	1 月 1 日起报	2 月 1 日起报	2 月 21 日起报	平均值
绝对值法	2017	—	—	—	95.4	95.4
	2018	—	—	—	97.6	97.6
	2019	—	—	—	92.8	92.8
归一化法	2017	96.5	97.8	—	95.8	96.7
	2018	93.0	97.5	—	98.1	96.2
	2019	98.8	97.4	—	95.4	97.2
相关系数法	2017	98.3	97.6	93.3	93.1	95.6
	2018	90.9	89.8	93.0	97.2	92.7
	2019	98.7	99.9	99.3	99.8	99.4

3 结论与讨论

利用绝对值法、归一化法、相关系数法得到各旬气象条件对茎瘤芥产量影响的权重系数,计算得到不同权重系数确定方法的气候适宜度指数,结合其与气象影响指数的相关关系,相关系数法权重系数计算得到的气候适宜度指数能够更好地反映茎瘤芥产量受气象条件影响的变化情况。

利用气候适宜度指数与气象影响指数建立一元回归方程得到茎瘤芥产量丰歉动态预报模型。绝对值法作为气候适宜度指数权重系数确定方法的预报模型,仅以 2 月 21 日为起报时间的预报模型通过方程有效性检验;归一化法作为气候适宜度指数权重系数确定方法的预报模型,各起报时间在 2017—2019 年均表现为较高的预报准确率,但 2 月 1 日起报的预报模型未通过有效性检验。绝对值法与归一化法作为气候适宜度指数权重系数在实际应用中仍存在一定局限。相关系数法作为气候适宜度指数权重系数确定方法的预报模型,在各起报时间均通过方程有效性检验,回代检验结果显示,不同起报时间瘤茎产量预报准确率为 91.65%~92.4%,平均为 92.0%;归一化均方根误差 0.192~0.198,平均值为 0.195;丰歉趋势准确率为 69.7%~71.9%,平均值为 70.3%。外推检验显示,相关系数法作为气候适宜度指数权重系数确定方法的预报模型,除个别起报日期,其产量预报准确率均表现为 90.0% 以上的较高水平,丰歉趋势准确率总体较好,说明相关系数法作为气候适宜度指数权重系数确定方法的预报模型,具有较高的适用性与准确性。

本研究比较了绝对值法、归一化法、相关系数法 3 种权重系数确定方法的气候适宜度指数茎瘤芥产量丰歉预报动态模型准确性,尚需结合不同生育期茎瘤芥的植物生理生化活动作进一步精细化研究。通过精准量化茎瘤芥在不同时期的气象条件适宜程度权重系数,可以进一步提高气候适宜度指数的科学性与适用性,从而提高茎瘤芥产量动态预报方法的准确性。

参考文献

[1] 刘佩英. 中国芥菜[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996: 77-120.

[2] 邱美娟, 刘布春, 刘园, 等. 春玉米产量动态预报技术的改进方法探索[J]. 气象与环境科学, 2020, 43(1): 1-8.

[3] 张佩, 陈郑盟, 刘春伟, 等. 冬小麦产量结构要素预报方法[J]. 农业工程学报, 2020, 36(8): 78-87.

[4] Dumont B, Leemans V, Ferrandis S, et al. Assessing the potential of an algorithm based on meanclimatic data to predict wheat yield [J]. Precision Agriculture, 2014, 15(3): 255-272.

[5] Marletto V, Ventura F, Fontana G, et al. Wheat growth simulation and yield prediction with seasonal forecasts and a numerical model [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2007, 147(1): 71-79.

[6] 刘伟昌, 陈怀亮, 余卫东, 等. 基于气候适宜度指数的冬小麦动态产量预报技术研究[J]. 气象与环境科学, 2008, 31(2): 21-24.

[7] 易灵伟, 杨爱萍, 余焰文, 等. 基于气候适宜度指数的江西晚稻产量动态预报模型构建及应用[J]. 气象, 2016, 42(7): 885-891.

[8] 邱美娟, 宋迎波, 王建林, 等. 耦合土壤墒情的气候适宜度指数在山东省冬小麦产量动态预报中的应用[J]. 中国农业气象, 2015, 36(2): 187-194.

[9] 张佩, 田娜, 赵会颖, 等. 江苏省冬小麦气候适宜度动态模型建立及应用[J]. 气象科学, 2015, 35(4): 468-473.

[10] 魏瑞江, 张文宗, 康西言, 等. 河北省冬小麦气候适宜度动态模型的建立及应用[J]. 干旱地区农业研究, 2007(6): 5-9, 15.

[11] 张建军, 马晓群, 许莹. 安徽省一季稻生长气候适宜性评价指标

- 的建立与试用[J]. 气象, 2013, 39(1): 88-93.
- [12] 李曼华, 薛晓萍, 李鸿怡. 基于气候适宜度指数的山东省冬小麦产量动态预报[J]. 中国农学通报, 2012, 28(12): 291-295.
- [13] 易雪, 王建林, 宋迎波. 早稻产量综合动态预报方法研究[J]. 气象与环境科学, 2009, 32(4): 8-12.
- [14] 徐敏, 吴洪颜, 张佩, 等. 基于气候适宜度的江苏水稻气候年景预测方法[J]. 气象, 2018, 44(9): 1200-1207.
- [15] 金林雪, 李云鹏, 吴瑞芬, 等. 基于气候适宜度预报内蒙古大豆发育期及产量[J]. 中国油料作物学报, 2020, 42(5): 903-910.
- [16] 杜春英, 李帅, 王晾晾, 等. 基于历史产量丰歉影响指数的黑龙江省水稻产量动态预报[J]. 中国农业气象, 2010, 31(3): 427-430.
- [17] 宋迎波, 王建林, 杨霏云, 等. 粮食安全气象服务[M]. 北京: 气象出版社, 2006: 182-196.
- [18] 李昊宇, 王建林, 郑昌玲, 等. 气候适宜度在华北冬小麦发育期预报中的应用[J]. 气象, 2012, 38(12): 1554-1559.
- [19] Allen R G, Pereira L S, Raes D, et al. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements[R]. FAO irrigation and drainage paper No. 56. Rome: food and agriculture organization of the United Nations. 1998: 1-327.
- [20] 杜春英, 李帅, 王晾晾, 等. 基于历史产量丰歉影响指数的黑龙江省水稻产量动态预报[J]. 中国农业气象, 2010, 31(3): 427-430.
- [21] 莫志鸿, 冯利平, 邹海平, 等. 水稻模型 ORYZA2000 在湖南双季稻区的验证与适应性评价[J]. 生态学报, 2011, 31(16): 4628-4637.

Accuracy Comparison of Yield Prediction of *Brassica Juncea* Var. *Tumida* Based on Climate Suitability Index With Different Weighting Coefficient Determination Methods

Wu Qiang¹, Ma Jialiang², Zhang Yue¹, Cai Guoqiang³, Xu Qianqian⁴

(1. CMA Key Open Laboratory of Transforming Climate Resources to Economy, Chongqing Institute of Meteorological Sciences, Chongqing 401147, China;

2. CMA Key Open Laboratory of Transforming Climate Resources to Economy, Chongqing Meteorological Information and Technology Support Center, Chongqing 401147, China;

3. Tongliang Meteorological Station of Chongqing, Chongqing 402560, China;

4. Hefei Meteorological Bureau, Hefei 230041, China)

Abstract: In this study, methods of absolute value, normalization, and correlation were used to obtain the weight coefficients of the influence of meteorological conditions on the yield of *Brassica juncea* var. *tumida*. The dynamic yield prediction model was established based on the meteorological influence index and climatic suitability index with different weight coefficient determination methods. The results showed that the methods of absolute value and normalization as the weight coefficient of climate suitability index have limitation in practical application, while the climatic suitability index calculated by the weight coefficient of correlation method could better reflect the change of yield of *Brassica juncea* var. *tumida* affected by meteorological conditions. The dynamic prediction model by the correlation method as the weight coefficient of climate suitability index has passed the validity test. The average prediction accuracy, average root mean square error of homogenization and average accuracy of the bumper or poor harvest trend of back-substitution test results with different starting time was 92.0%, 0.195, and 70.3%, respectively. Extrapolation test showed that the prediction accuracy of the dynamic prediction model by the correlation method as the weight coefficient of climate suitability index was greater than 90.0%, except for a few starting dates. The bumper or poor harvest trend was accurate. The dynamic prediction model by the correlation method as the weight coefficient of climate suitability index had high applicability and accuracy.

Key words: yield prediction; climatic suitability index; absolute value method; normalization method; correlation method; *brassica juncea* var. *tumida*