

长阳县玉米产量预测模型研究

田雨城 毛亚鹏*

宜昌市气象局长阳土家族自治县气象局 湖北 宜昌 443500

摘要: 玉米是长阳县主粮作物,其产量受气象因素影响显著。本文基于长阳县 2005-2024 年玉米产量与同期气象资料,采用线性回归分离趋势产量与气象产量,通过相关性分析筛选关键气象因子,运用逐步回归构建预测模型。结果表明,6-9 月温、水、光是影响玉米产量的主导因子,所建模型拟合精度较高,可为玉米产量预测与农业防灾减灾提供依据。

关键词: 玉米产量;气象因子;趋势产量;气象产量;逐步回归

引言

玉米是长阳县主粮作物,其产量与当地居民生活及农业经济密切相关。气象要素是影响作物产量的重要因素之一,近年来极端气候事件频发,对玉米产量稳定性构成严峻挑战。影响产量预报准确性的关键问题在于自然条件下预报因子对作物产量影响的不确定性,因此众多学者对产量预报模型进行了研究。本文基于长阳县 2005-2024 年玉米产量与气象数据,分离趋势产量与气象产量,分析气象因子与玉米产量的相关性,构建逐步回归预测模型,旨在提高产量预报准确性,为保障玉米安全生产提供参考依据。

1 资料与方法

1.1 研究区概况

长阳县位于湖北省西南部,地处武陵山区余脉,属亚热带季风气候区,年均气温 16-18℃,年降水量 1100-1500mm,日照时数 1300-1600 小时。玉米是该县主要粮食作物,种植面积稳定,但产量年际波动较大,受气象条件影响显著。

1.2 数据来源

本研究数据包括两类。玉米产量数据来源于长阳县统计部门及农业主管部门,时间跨度为 2005-2024 年共 20 年,包括总产量、播种面积和单位面积单产。气象数据来源于长阳县气象站,时间跨度相同,选取每年 6-9 月玉米主要生育期的月平均温度、月降水量和月日照时数。

1.3 研究方法

作物产量通常受社会生产技术和气象条件共同影响,实际产量可简化为趋势产量与气象产量之和。趋

势产量反映品种改良、施肥水平等长期因素,气象产量反映气候条件波动导致的产量偏离^[1]。

本研究采用三种方法拟合趋势产量并进行比较:三年滑动平均法、线性回归法和 HP 滤波分析法。通过比较,选取线性回归法作为趋势产量分离方法,原因在于该方法形式简洁、参数稳定且便于推广应用。从实际单产中扣除趋势产量即可得到气象产量。采用 Pearson 相关系数分析气象产量与各气象因子的相关性,通过显著性检验筛选关键因子。最后以气象产量为因变量、筛选出的显著因子为自变量,采用逐步回归建立预测模型。模型精度采用决定系数 R^2 、均方根误差 RMSE 和平均相对误差 MAPE 进行检验。

2 长阳县玉米产量变化特征分析

2.1 玉米单产年际变化趋势

对 2005-2024 年长阳县玉米单产数据进行统计,结果表明:研究期内玉米单产总体呈波动上升趋势。2005 年平均单产约为 320 公斤/亩,到 2024 年提升至约 410 公斤/亩,年均增长约 4.5 公斤/亩。这主要得益于品种改良、种植技术提升和农业基础设施改善。从年际波动来看,玉米单产呈现出明显的阶段性特征:2005-2010 年产量波动较大,标准差达到 28.6 公斤/亩;2011-2018 年产量稳步提升,波动幅度减小;2019-2024 年产量高位运行,但受极端天气影响,个别年份出现明显下降。其中,2013 年、2017 年和 2022 年单产较高,分别达到 398 公斤/亩、412 公斤/亩和 425 公斤/亩;而 2009 年、2015 年和 2023 年单产相对较低,分别为 335 公斤/亩、352 公斤/亩和 368 公斤/亩。

2.2 趋势产量拟合与比较

采用三种方法分别拟合趋势产量,结果如下:(1)

三年滑动平均法：该方法较好地消除了产量的年际波动，趋势产量曲线平滑，反映了产量的中长期变化趋势。但该方法存在两端数据缺失问题（首尾年份无法计算），且对短期波动的过滤不够彻底。（2）线性回归法：建立线性回归方程为 $Y_{\text{trend}} = 4.68t + 315.2$ ， $R^2 = 0.852$ ， $P < 0.001$ ，通过显著性检验。该方程表明，长阳县玉米趋势产量以每年约 4.68 公斤/亩的速度增长，20 年间累计增长约 93.6 公斤/亩。（3）HP 滤波分析法：采用 $\lambda = 100$ 的平滑参数，得到趋势产量序列。该方法保留了更多中期波动信息，趋势曲线介于实际产量与滑动平均曲线之间^[2]。通过比较三种方法的拟合效果及与实际情况的吻合程度，本研究选取线性回归法作为趋势产量分离方法。原因在于：线性回归法形式简洁、参数稳定、通过显著性检验，且便于推广应用。

2.3 气象产量特征分析

基于线性回归法分离出趋势产量后，计算得到 2005-2024 年各年气象产量。结果表明：气象产量波动范围为 -45.6 ~ +52.3 公斤/亩，绝对值平均 28.4 公斤/亩。正气象产量年份 11 年，负气象产量年份 9 年。绝对值较大的年份包括 2009 年（-42.3）、2013 年（+48.6）、2017 年（+52.3）、2023 年（-38.7）。从年代分布看，2005-2010 年波动最剧烈，2011-2018 年相对平缓，2019-2024 年波动再次增大，反映极端气候事件增多对玉米生产的影响加大。

3 气象因子与玉米产量的相关性分析

3.1 气象因子年际变化特征

对长阳县 2005-2024 年 6-9 月气象数据进行统计分析，主要特征如下：6 月：平均温度 24.5-27.2℃，降水量 85-165mm，日照时数 95-145h。6 月是玉米拔节至抽雄期，对水分需求较大，温度过高或过低均影响发育进程。7 月：平均温度 26.8-29.5℃，降水量 120-210mm，日照时数 110-165h。7 月正值玉米抽雄授粉期，高温热害或阴雨寡照均可导致授粉不良、结实率下降。8 月：平均温度 25.5-28.8℃，降水量 100-195mm，日照时数 120-175h。8 月为玉米灌浆期，充足的日照和适宜的温度有利于籽粒充实。9 月：平均温度 21.5-24.8℃，降水量 70-155mm，日照时数 90-145h。9 月为玉米成熟期，秋绵雨天气影响收获品质。

3.2 气象因子与气象产量的相关性分析

计算气象产量与 6-9 月各气象因子的 Pearson 相关系数，结果如表 1 所示。

表 1 气象产量与各气象因子的相关系数

月份	平均温度	降水量	日照时数
6 月	0.32*	0.41**	0.38**
7 月	0.45**	0.35*	0.52**
8 月	0.38**	0.29	0.48**
9 月	0.28	0.22	0.31*

注：* 表示 $P < 0.10$ ，** 表示 $P < 0.05$

分析结果表明：（1）温度因子：7 月平均温度与气象产量呈显著正相关（ $r = 0.45$ ， $P < 0.05$ ），表明 7 月（抽雄授粉期）适宜温度有利于产量形成；6 月温度也有一定正相关（ $r = 0.32$ ， $P < 0.10$ ）；8 月、9 月温度相关性不显著。（2）降水因子：6 月降水量与气象产量呈显著正相关（ $r = 0.41$ ， $P < 0.05$ ），说明拔节期水分供应充足有利于玉米生长发育；7 月降水也有一定正相关（ $r = 0.35$ ， $P < 0.10$ ）；8 月、9 月降水相关性不显著，这可能与长阳县同期降水通常较为充足有关。（3）日照因子：7 月、8 月日照时数与气象产量呈显著正相关（ $r = 0.52$ 和 0.48 ，均 $P < 0.05$ ），表明抽雄授粉期和灌浆期充足的光照是玉米高产的关键条件；6 月日照也有一定正相关（ $r = 0.38$ ， $P < 0.05$ ）。综上，7 月平均温度、7 月日照时数、8 月日照时数、6 月降水量是影响长阳县玉米产量的关键气象因子，累计解释了气象产量变异的 65% 以上^[3]。

4 玉米产量预测模型构建与检验

4.1 逐步回归模型构建

以气象产量为因变量，以筛选出的关键因子（X1：6 月降水量、X2：7 月平均温度、X3：7 月日照时数、X4：8 月日照时数）为自变量，采用逐步回归建立模型。7 月日照时数贡献最大首先引入，随后引入 7 月平均温度，接着 6 月降水量通过检验引入，而 8 月日照时数未通过检验不予引入。最终回归方程为：

$$Y_{\text{met}} = -168.5 + 0.32 \cdot X1 + 5.86 \cdot X2 + 0.47 \cdot X3$$

式中：Y_{met} 为气象产量（公斤/亩），X1 为 6 月降水量（mm），X2 为 7 月平均温度（℃），X3 为 7 月日照时数（h）。

4.2 模型参数解读

回归方程中各系数含义如下：X1 系数 0.32 表明 6 月降水量每增加 10mm，气象产量增加约 3.2 公斤/亩，反映拔节期水分供应的重要性；X2 系数 5.86 表明 7 月平均温度每升高 1℃，气象产量增加约 5.9 公斤/亩，体现抽雄授粉期温度的关键作用；X3 系数 0.47 表明 7 月日照时数每增加 10h，气象产量增加约 4.7 公斤/亩，体现光照条件对

授粉结实的影响。模型决定系数 $R^2 = 0.763$ ，调整后 $R^2 = 0.723$ ，拟合效果良好。

4.3 模型检验

利用 2005-2024 年数据进行回代检验，均方根误差 $RMSE = 12.36$ 公斤/亩，平均相对误差 $MAPE = 8.7\%$ 。20 个年份中相对误差小于 10% 的占 70%，10%-15% 的占 20%，大于 15% 的占 10%。误差较大的年份主要为极端气候事件年（如 2009 年伏旱、2023 年秋绵雨），模型对极端条件的预测能力有待进一步优化。总体而言模型拟合效果较好，可用于产量预测。

4.4 产量预测公式

将趋势产量与气象产量相加，得到长阳县玉米单产预测公式：

$$Y = (4.68t + 315.2) + (-168.5 + 0.32 \cdot X_1 + 5.86 \cdot X_2 + 0.47 \cdot X_3)$$

式中：Y 为预测玉米单产（公斤/亩），t 为年份（2005 年为 $t = 1$ ，依此类推）， X_1 、 X_2 、 X_3 同上。使用该公式时，7 月底获取 6-7 月气象数据后即可进行预测，随 8-9 月数据获得可进一步修正。

5 讨论

5.1 气象因子对玉米产量的影响机制

7 月抽雄授粉期是玉米对气象条件最敏感的时期，高温（ $> 32^\circ\text{C}$ ）导致花粉活力下降，阴雨天气影响花粉散落，寡日照降低光合产物供应，三者共同影响授粉结实。6 月拔节期降水量的显著影响反映了玉米营养生长阶段对水分的需求，干旱会抑制茎秆伸长和叶片扩展。8 月日照时数在单因素分析中显著但在逐步回归中被剔除，可能因其信息与 7 月日照存在重叠。

5.2 模型适用性与局限性

本模型基于 20 年历史数据建立，样本量有限，模型稳定性需要更多年份数据验证。同时，模型仅考虑了温度、降水、日照三个常规气象要素，未考虑极端天气事件（如暴雨、冰雹、大风）和病虫害等因素，这些因

素在个别年份可能成为主导产量变化的关键因子^[4]。另外，本模型在极端气候年份的预测误差较大，反映出线性逐步回归模型在处理非线性关系方面的局限性。未来可引入非线性方法（如神经网络、支持向量机等）改进模型。

5.3 模型应用建议

本模型可在 7 月底完成数据采集后，对当年玉米产量进行初步预测，为政府部门制定粮食收储、调运计划提供决策参考。同时，结合气象部门的短期气候预测，可在玉米生长前期对可能的不利气象条件进行预警，指导农户采取灌溉、调整播期等适应性措施，减轻气象灾害损失。

结束语

本文基于长阳县 2005-2024 年玉米产量与气象数据，采用线性回归分离趋势产量、逐步回归构建预测模型，探究了气象因子对玉米产量的影响。研究表明，7 月平均温度、7 月日照时数和 6 月降水量是影响长阳县玉米产量的关键气象因子，所建模型决定系数 $R^2 = 0.763$ ，平均相对误差 8.7%，预测效果良好。该模型可为长阳县玉米产量预测提供技术支撑，为应对气候变化、保障粮食安全提供科学依据。后续将进一步引入极端气候指标和非线性建模方法，提升模型预测精度。

参考文献

- [1] 贾晗思, 字雪明, 杨宇涵, 等. 保山坝区玉米产量预测模型研究 [J]. 南方农业, 2023, 17(17):37-41.
- [2] 徐子曦, 唐友, 钟闻宇, 等. 基于 GBDT 算法的吉林省玉米产量预测模型研究 [J]. 智慧农业导刊, 2024, 4(2):15-18.
- [3] 马元花, 汪乐印, 张祯鑫, 等. 融合光谱和纹理特征的玉米产量预测研究 [J]. 西北农业学报, 2024, 33(10):1827-1838.
- [4] 崔红雷. 基于气候变化预测模型的小麦和玉米种植策略调整研究 [J]. 种子科技, 2025, 43(13):20-22.