

人工智能背景下玉米防卫反应的研究

陈洁

山东理工大学, 山东 淄博 255000

DOI: 10.61369/SSSD.2026040003

摘 要 : 玉米作为我国重要的粮食与经济作物, 其产量与品质是农业领域的重点问题。人工智能技术以其强大的数据挖掘、模式识别与预测分析能力, 为玉米防卫反应研究提供了新的思路与技术范式。本文将浅析玉米防卫反应的核心机制与传统研究方法, 以及人工智能背景下玉米防卫反应研究的挑战, 并对常见应用进行探讨。

关 键 词 : 人工智能; 玉米防卫反应; 应用展望

Research on Maize Defense Responses Under the Background of Artificial Intelligence

Chen Jie

Shandong University of Technology, Zibo, Shandong 255000

Abstract : As an important food and cash crop in China, the yield and quality of maize are key issues in the agricultural field. With its powerful capabilities in data mining, pattern recognition, and predictive analysis, artificial intelligence (AI) technology has provided new ideas and technical paradigms for the research on maize defense responses. This paper will briefly analyze the core mechanisms and traditional research methods of maize defense responses, as well as the challenges in the research on maize defense responses under the background of AI, and discuss common applications.

Keywords : artificial intelligence; maize defense responses; application prospects

玉米种植的高品质、高产量是保障粮食安全、发展畜牧业及生物能源产业的基础与前提。而病虫害是导致玉米产量损失的重要因素, 威胁着粮食安全与农业可持续发展。玉米防卫反应是玉米在长期进化过程中形成的一套抵御外界生物胁迫的复杂生理生化机制, 其核心包括病虫害识别、信号传导、防卫基因表达及次生代谢物合成等多个环节。因此, 开展人工智能背景下玉米防卫反应的研究, 对于突破传统研究瓶颈、提升玉米抗性研究水平、构建绿色智能的玉米病虫害防控体系具有重要的理论价值与实践意义。

一、玉米防卫反应的核心机制与传统研究方法

(一) 玉米防卫反应的核心机制

玉米防卫反应是一个复杂多层次调控过程, 主要包括两个组成部分: 即原体相关分子模式触发的免疫反应 (PTI) 及效应子触发的免疫反应 (ETI), 前者是玉米识别病原菌暴露的保守性病原相关分子模式 (PAMPs) 后所启动的基础防卫反应, 主要有活性氧爆发、钙离子内流、丝裂原活化蛋白激酶 (MAPK) 级联反应激活及防卫相关基因表达等表现。后者则是玉米在 PTI 基础上, 通过抗病基因 (R 基因) 识别病原体分泌的效应子后启动的特异性防卫反应, 常伴随过敏反应, 可摧毁周围细胞来阻止病原体扩散。而参与调控玉米防卫反应的信号通路众多, 但以水杨酸 (SA)、茉莉酸 (JA) 和乙烯 (ET) 这三个最为关键, 它们分别介导了寄生性病原菌营养型病害的抗性和坏死型病害以及虫害的抗性, 相互协同从而达到精细调控的目的^[1]。此外, 还可利用玉米合成的黄酮类、萜类等次生代谢物形成物理或化学屏障, 增强其

防卫能力。

(二) 玉米防卫反应的传统研究方法与局限性

分子生物学方法、生理学方法、遗传学方法及病理学方法等是传统玉米防卫反应研究方法。从分子水平上揭示抗性基因的功能及其调控机理通常是采用分子生物学方法, 如实时荧光定量 PCR (qRT-PCR)、基因克隆、基因沉默、基因过表达及蛋白质免疫印迹 (Western blot) 等; 对玉米受病虫害胁迫后生理变化分析则是生理学方法, 如活性氧含量测定、酶活性测定、次生代谢物含量分析等; 利用遗传学手段进行抗性基因的筛选和克隆为遗传学方法, 以数量性状位点 (QTL) 定位、关联分析、图位克隆等技术最为常见; 病理学方法是鉴定玉米抗性的重要方式之一, 通过人工接种病虫害, 观察发病程度与发病速度, 确定玉米的抗性等级^[2]。

上述玉米防卫反应的研究方法虽然为玉米种植增产奠定了坚实基础, 但也存在一定局限性。一方面, 很多研究仅聚焦于个别基因、蛋白甚至单一信号通路的研究上, 无法从整体上把握复杂

项目信息: 山东省自然科学基金资助 (ZR2022QC166)。

的防卫反应调控机制，忽视了基因之间及信号通路间的相互作用。另一方面，传统研究方法难以高效地整合海量的生理生化数据、基因表达数据及表型数据，进而容易导致关键信息丢失。此外，按照依赖于人工观察症状的传统诊断方法，难以在病虫害发生初期作出正确判断，进而失去最佳防控时机。

二、人工智能背景下玉米防卫反应研究的挑战

（一）数据数量与质量参差不齐

人工智能模型的训练与优化离不开海量的数据支撑，而目前针对玉米防卫反应的数据样本较少，尤其是缺少同时包含图像数据、基因表达数据、生理生化数据及田间表型数据，导致复杂模型的训练需求得不到满足。同时，数据质量参差不齐，不同研究人员采用的实验方法、数据采集标准各不相同，使得所获得的数据存在形式不一、精度较差的问题，进而影响了模型训练的质量。此外，虽然已有的数据资料大部分被开放出来，但总体而言，缺乏数据的有效整合与共享机制，这也是阻碍人工智能技术大规模推广应用的原因之一。

（二）模型泛化能力与解释性不足

一方面，当前基于人工智能的玉米防卫反应研究中，现有模型多在特定的实验条件、特定的病虫害种类下训练而成。从而模型在不同的环境条件、不同的病虫害种类下应用时，其识别的准确率与预测精度容易大幅下降，进而泛化能力不足。另一方面，深度学习模型作为一种“黑箱模型”，其决策过程难以解释。例如，基于 CNN 的模型虽然能够准确识别病虫害，但无法明确说明识别结果是基于哪些图像特征开展的。而基于机器学习的基因功能预测模型则无法在预测基因功能的同时，解释基因功能与特征之间的关联，这也影响了模型结果的可靠性与应用价值。

（三）技术伦理与安全有待提升

目前对基于人工智能技术的玉米防卫研究的融合仍处于浅层次阶段，在应用方面表现为：第一，大部分人工智能技术主要应用于病虫害识别等表层问题，在一些深层方向的应用，如防卫信号通路解析、抗性基因挖掘等领域较少；第二，没有将人工智能技术与传统研究方法有机结合，未能充分发挥二者间的协同作用。例如，在抗性基因挖掘中，仅利用机器学习算法对基因组数据进行分析，而没有用传统分子生物学实验加以验证，导致发现的基因可靠性不足；第三，缺少跨学科人才也是影响该技术发展的原因之一。由于同时掌握人工智能技术与玉米防卫反应的复合型人才并不多，技术融合的广度和深度受到限制。

三、人工智能技术在玉米防卫反应中的应用

（一）精准诊断早期玉米病虫害

传统诊断方法依赖于人工观察症状，不仅容易受主观因素影响，还难以在病虫害症状不明显的早期进行识别。人工智能背景下，计算机视觉与深度学习技术为早期玉米病虫害的精准诊断提供了有效手段。图像采集、图像预处理、特征提取与分类识别是

基于计算机视觉的玉米病虫害诊断的主要环节。首先，借助数码相机、无人机等设备采集玉米叶片、茎秆等部位的图像，并对图像的灰度化、去噪、图像增强等进行预处理。其次，通过特征提取算法，提取病虫害的颜色特征、纹理特征、形状特征等，然后利用机器学习或深度学习算法构建分类模型对病虫害进行识别与分类。近年来，以 CNN 模型为代表的深度学习技术在玉米病虫害识别中的应用日益广泛。基于 CNN 的玉米病虫害识别模型能够自动提取图像中的深层特征，相对于传统方法的特征提取更加客观化，进而提高识别精度。例如，一些学者曾用经典的 CNN 模型如 AlexNet、VGG 和 ResNet 构建了玉米叶斑病、锈病以及玉米螟等病虫害的识别模型，其识别准确率均高于 90%^[3]。

（二）系统解析玉米防卫信号通路

玉米防卫信号通路涉及多个基因、蛋白及小分子物质的相互作用，是一个复杂的调控网络。系统解析该网络的结构与调控机制一直是困扰传统研究方法的关键问题，而人工智能技术能够通过整合基因组、转录组、蛋白质组、代谢组等多组学数据，构建调控网络模型，可以对防卫信号通路进行系统解析。机器学习算法在基因调控网络构建中的应用，是利用转录组学信息分析得到相关基因之间的共表达关系，建立基因共表达网络；利用蛋白质组学信息分析得到蛋白间的相互作用关系，建立蛋白相互作用网络；而对于代谢组数据的整体使用则可以发现代谢物与基因及蛋白间的关联性，构建代谢调控网络。例如，有研究人员利用 WGCNA 算法对玉米锈病胁迫下的转录组数据分析中发现了多个参与锈病响应的重要基因模块，并指明了这些模块在锈病防卫反应中的调控作用。

（三）高效挖掘的玉米抗性基因

应用基于人工智能技术的机器学习、深度学习等算法构建的预测模型，能够实现对多组学数据的高效整合，从而实现对玉米抗性基因的高效挖掘与功能预测。例如，Nudix 水解酶（NUDT）家族编码一类广泛存在的焦磷酸酶，其特征是在蛋白中含有高度保守的 Nudix 盒基序^[4]。这些酶能够水解多种“核苷二磷酸-X”底物，如氧化的 dNTP、ADP-核糖等，在清除有害代谢物和维持细胞稳态方面充当“清道夫”。研究表明，Nudix 家族成员在植物免疫中具有重要的调节作用：例如模式植物拟南芥中的 AtNUDT7 是一个负调节因子，其功能缺失会触发植株产生超敏反应并提高抗病性。相应地，在玉米中也发现了 Nudix 基因与防卫响应的关联。有报告显示玉米 NUDX13 在真菌侵染过程中显著上调，推测其可能充当玉米免疫的负调控者^[5]。此外，在小麦中鉴定的 TaNUDX23 具有抑制免疫的作用：沉默 TaNUDX23 会增强活性氧积累并提高植株对条锈菌的抗性，证明该 Nudix 酶充当防御的负调节因子^[6]。鉴于玉米基因组中 Nudix 家族成员众多，近年来，人工智能技术在快速锁定其中关键的抗病相关基因方面展现出巨大潜力，研究者通过整合大规模转录组数据的人工智能分析，可以高效识别出在玉米抗病过程中起重要作用的 Nudix 家族成员，为进一步功能验证和作物抗性改良提供了有力线索^[7]。

（四）动态调控与优化玉米防卫反应

人工智能技术能够通过模拟防卫反应的动态过程，预测不同

调控措施对防卫反应的影响,实现对防卫反应的优化调控。例如,基于玉米受病虫害胁迫后的生理生化数据、基因表达数据等,构建神经网络模型,预测玉米防卫反应的强度与持续时间。使用学习算法,构建强化学习模型,以玉米产量损失最小化为目标,能够动态优化防控策略,实现对病虫害的精准防控。例如,运用强化学习算法模拟玉米螟的发生过程,根据玉米的生长状态、环境条件等动态调整防治时间与防治剂量,从而在有效控制玉米螟的危害的同时,减少农药的使用量,降低对环境的污染^[8]。

四、人工智能技术在玉米防卫反应中的应用展望

首先,打造高质量多源数据共享平台。建立统一的标准采集标注机制,规范操作流程,保证数据质量。同时,构建数据开放共享机制,鼓励科研机构开放研究成果,推动数据深度整合及共享,以促进人工智能技术在玉米防卫反应中的应用的高质量发展^[9]。

其次,增强模型泛化能力与解释性。通过迁移学习、联邦学习等新技术,加强多场景数据的收集与训练,采用提高模型在不

同环境、不同病虫害种类下的适应性,以及加强可解释人工智能技术的研究与应用,开发具有解释性的机器学习与深度学习模型,明确模型的决策依据^[10]。

最后,完善技术伦理与安全规范建设。明确数据隐私保护条例,对数据的采集、存储与共享过程进行严格规范,从而保障数据隐私与安全。建立技术应用评估机制,定期对人工智能技术在玉米防卫反应中的应用进行伦理与安全评估,从而减少人工智能技术滥用的情形。

四、结语

综上所述,人工智能技术的应用为玉米防卫反应研究注入了新的生机与活力。人工智能技术以其强大的数据处理、模式识别与预测分析能力,在玉米病虫害早期诊断、防卫信号通路解析、抗性基因挖掘及防卫反应调控等方面具有广泛的应用前景,能够突破传统方法的局限性,既能实现玉米高产的目标,又有助于推动我国农业现代化和智能化发展。

参考文献

[1] 李海霞. 关于现代玉米种植技术优化举措及病虫害防治办法的深入探讨 [J]. 种子世界, 2025, (04): 81–83.

[2] 李运江, 张贵涛. 智能农业技术在玉米种植中的应用 [J]. 种子科技, 2025, 43(06): 222–224.

[3] 杨君. 玉米种植过程中现代农业技术的科学运用与未来发展分析 [J]. 种子世界, 2025, (03): 78–80.

[4] Bartsch M. et al. (2006). Salicylic acid-independent ENHANCED DISEASE SUSCEPTIBILITY1 signaling in Arabidopsis immunity and cell death is regulated by the monooxygenase FMO1 and the Nudix hydrolase NUDT7. *Plant Cell* 18: 1038–1051.

[5] Liu M. et al. (2015). Transcriptome analysis of maize leaf systemic symptom infected by *Bipolaris zeicola*. *PLoS ONE* 10(3): e0119858.

[6] Yang Q. et al. (2020). A stripe rust effector Pst18363 targets and stabilises TaNUDX23 that promotes stripe rust disease. *New Phytologist* 225(2): 880–895.

[7] Pradhan A.K. et al. (2025). Predictive prioritization of genes significantly associated with biotic and abiotic stresses in maize using machine learning algorithms. *Frontiers in Plant Science* 16: 1611784.

[8] 张俊法. 信息技术在玉米种植及病虫害防治中的应用 [J]. 农家参谋, 2024, (34): 40–42.

[9] 姜涛, 陈梦非, 肖巍, 等. 信息技术在玉米种植质量控制中的应用 [J]. 农业工程技术, 2024, 44(32): 70–71.

[10] 陈留江. 玉米全程机械化种植技术研究 [J]. 世界热带农业信息, 2024, (05): 80–82.