太阳能供电传感器可近乎实时检测葡萄园霉菌孢子

研究人员表示，该设备利用数字全息和人工智能，可在病害症状出现前指导更具选择性的喷药。

2026年9月24日星期四



研究人员介绍了一种太阳能供电传感器，它利用数字全息和人工智能，近乎实时检测葡萄园中霜霉病和白粉病的空气传播孢子。研究人员称，这一进展有望帮助种植者减少杀菌剂处理次数，同时不损失病害防控效果。

这项发表在《Frontiers in Plant Science》上的研究聚焦葡萄种植中最昂贵、也最顽固的两种真菌威胁。由 Plasmopara viticola 引起的霜霉病通常在温和潮湿的条件下传播；由 Erysiphe necator 引起的白粉病则更偏好温暖干燥的天气。这两种病害都会损害产量和葡萄品质，而通常的管理方式是在感染变得可见之前进行预防性喷洒。

这种预防性做法使种植者只能在不确定性下作决定。在许多葡萄园里，杀菌剂从萌芽后不久一直施用到转色开始，往往一个生长季要进行7到12轮。相关决策通常依据天气预报和病害模型。作者表示，这种体系可能导致某些处理事后看来并无必要，但那时风险期已经过去。

这款新设备旨在为这些决策加入直接的生物学证据。它不再只依赖可能有利于感染的天气条件，而是测量这两种病原体的孢子是否确实存在于空气中，以及其数量多少。其目标是在叶片或果实出现症状之前，为种植者提供更快的病害压力信息。

论文报告了来自瑞士昌宾和法国 Château le Puy 的案例研究，田间应用时间跨越2021年至2023年三个季节。作者称，这些早期部署指向了“有前景的策略”，即在保持对这两种病害有效控制的同时，大幅减少杀菌剂使用。他们也提醒，还需要更多案例研究来确认这些发现，并提供更强的统计支持。

该系统被设计为独立的田间仪器。空气以1.4立方米/小时的受控速率进入，并将颗粒浓缩到一块旋转的蓝宝石圆盘上。随后激光照射沉积物，48百万像素图像传感器记录全息图。软件检测圆盘上颗粒产生的衍射图样，再由一个两阶段人工智能模型对其分类。作者表示，该设备由太阳能板供电，通过4G移动连接传输图像，并且无需田间维护即可运行整个季节。

研究称，基于与参考气溶胶光谱仪的田间校准活动，目前的实际检测下限约为在3小时采集窗口内每立方米2个孢子。之所以重要，是因为与感染相关的空气中浓度可能很低。论文回顾既往研究时指出，葡萄园中的霜霉病浓度通常被描述为每立方米2到40个孢囊，在有利条件下峰值更高。作者还引用研究称，在适宜条件下，感染风险会随着孢子负荷迅速上升，每立方米1到5个孢囊对应50%的风险，而每立方米15个孢囊对应90%的风险。

对于白粉病，论文援引先前研究指出，在生长季内其浓度可在每立方米2到100个分生孢子之间变化，在最佳条件下峰值会高得多，而每立方米5个分生孢子就可能足以引发感染。论文还指出，霜霉病的传播距离短于白粉病，有时只有约50米，这使得基于地点的局部监测尤其重要。

这一局部维度对于饮料行业，尤其是葡萄酒生产商，可能具有重要意义。如果孢子测量能够可靠反映各地块的病害压力，种植者也许就能依据每个地块的实际风险，而不只是更宏观的预报，做出更有针对性的喷药决策。这可能影响生产成本、处理时间表，并且可能影响葡萄品质，尽管该研究并未声称这些结果已在整个行业中得到证实。

作者将这项工作置于关于农药使用的更广泛政策与环境争论之中。他们指出，杀菌剂处理会给种植者带来直接成本，并引发对工人暴露、植被残留、土壤和地下水污染以及对生物多样性更广泛影响的担忧。论文引用了欧洲议会2019年的一项决议，称80%的成员国未能采取有效措施来合理化农药使用。

这项研究也针对当前孢子监测中的一个实际弱点。传统田间采样方法通常依赖粘附带或 rotorods，再通过LAMP或qPCR等分子技术进行实验室分析。这些方法虽然可以提供有用的测量结果，但劳动强度大，通常需要一到三天才能给出结果。对于需要判断是否要赶在快速推进的感染事件之前喷药的种植者来说，这样的延迟可能太长。

时机对于霜霉病尤其关键。作者表示，该病害的防治产品需要在病原体的侵染阶段就存在于植株表面，而此时游动孢子会在约12到24小时内通过表面水分释放。一旦病原体侵入植物组织，治疗效果就会下降，暴发风险也会增加。

该设备背后的人工智能系统使用在实验室和田间采集的孢子全息图像进行训练。论文描述了一对卷积

神经网络，用于将目标孢子与其他空气传播物质区分开来，包括噪声、污垢、颗粒团聚体以及无关的生物物质。早期田间部署还包括对部分结果进行人工核验，以纠正偶发误分类，并随着时间推移改进训练数据。

作者表示，这款设备不同于许多现有农业监测工具，因为它并不是只根据湿度、温度或卫星图像等间接指标来推断病害风险。相反，它试图直接测量作物上方空气中的病原接种体。在葡萄园中，他们认为这有助于种植者评估近期处理是否已降低孢子数量、基于天气的预警是否得到了病原体实际存在的支持，以及某些计划中的杀菌剂施用是否可以推迟或取消。

论文称，该原型的商用版本有望在不久的将来推出。目前，研究人员将这项工作视为朝着精准葡萄栽培中实时孢子检测迈出的早期但实用的一步，在这一领域，病害防控决策正日益依赖地块级数据，而不是宽泛的季节性安排。