Растителна защита
електронно списание за растителна защита
семена, торове и земеделие
ISSN 2815-522X

水果物种上由*白粉菌属*病原体引起的白粉病

гл. експерт д-р Анелия Райкова, Институт по земеделие – Кюстендил, ССА

日期 16.04.2026 | **期号** 4/2026 | **ISSN** 2815-522X | **语言** ZH
www.plant-protection.com/article/2403?lang=zh



摘要

由*叉丝单囊壳属*（*Podosphaera*）真菌引起的果树白粉病，是果树栽培中普遍存在且具有重要经济意义的植物病理学问题。该病害既影响仁果类果树，也影响核果类果树，并对各种农业生态条件具有高度适应性。此类病害的防治基于综合策略，结合农业技术措施、使用抗病和低感品种、适当的防治方法，以及应用预测模型评估感染风险。具有经济重要性的代表病害包括由白叉丝单囊壳（*Podosphaera leucotricha* (Ellis and Everh.) E. S. Salmon）引起的苹果白粉病，以及由桃叉丝单囊壳（*Podosphaera pannosa* (Wallroth) de Bary）引起的桃白粉病，这要求针对病原菌实施环境友好的防治措施。



苹果白粉病

*叉丝单囊壳属*包含引起白粉病的真菌病原体，已在多种果树上被鉴定出来，也在草莓、醋栗和榛子上发现[1,12,15,18]。经济损失主要发生在苹果上，主要病原体是白叉丝单囊壳（*Podosphaera leucotricha* (Ellis et Everhart) E. S. Salmon），其无性阶段为*Oidium farinosum* Cooke [1,9,20]；在桃树上则为桃叉丝单囊壳（*Podosphaera pannosa*）[7,15]。根据EPPO全球数据库的数据，果树白粉病的病原体属于*叉丝单囊壳属*，白粉菌科（Erysiphaceae），白粉菌目（Erysiphales），子囊菌纲（Ascomycetes）。这两个物种都是专性活体营养的子囊菌病原体，专门侵染活体寄主组织[11,12]。苹果白粉病的病原体*P. leucotricha* 具

ISSN 2815-522X

有多循环发育特性，以菌丝体越冬，菌丝通过附着胞（特化分枝）附着在植物器官上，并通过吸器从植物细胞获取营养。在被感染的叶芽和混合芽的菌丝体上，会形成分生孢子梗，其上着生6-9个单细胞孢子，呈链状排列。该病原体的子实体为闭囊壳，但在我国很少形成[3]。闭囊壳呈深色、球形，具有两种类型的附属丝——简单型和二叉分枝型。子实体内形成一个子囊，内含单细胞子囊孢子[4]。春季，病害呈现系统型发展，而在生长季节，病害通过分生孢子传播。病原体在较宽的温度范围（4-30°C）内发育，分生孢子萌发不需要水滴，因为它们能够在空气湿度高于34%时萌发。有作者报告称，菌丝体在33°C以上时停止发育[3]。



苹果白粉病

由*P. leucotricha* 引起的苹果病害症状，可在前一年被感染的叶芽和混合芽上观察到（系统型病害）。被感染的叶芽萌发出发育不良的枝条，其上覆盖一层由真菌菌丝体和孢子组成的浓密白色粉状物。被感染的混合芽产生的叶片和花朵完全被粉状覆盖物覆盖，导致叶片变黄和过早脱落。被感染的花芽变小、畸形，不能坐果，变成褐色并脱落。在同一年生长季内感染的情况下（局部型病害），叶片上会出现灰白色粉状物，其在受害部位停止发展，并观察到叶片变形。叶柄上也观察到粉状斑点，被菌丝体覆盖，菌丝体延伸并包围健康的芽。该真菌有可能定殖于高度感病品种的果实上，表现出锈色网状迹象，以不同形式和深度覆盖果实。许多作者描述了高度感病的品种，如'金冠'、'乔纳金'[14,19,4]，如果不实施病害防治，这些品种的产量可能会显著降低。来自德累斯顿-皮尔尼茨育种项目的长期田间观察数据显示，苹果品种'Remo'、'Regia'、'Rewena'和'Rebella'对白粉病具有高度抗性[10]。在相似的天然侵染压力条件下进行的一项较新的田间研究发现，品种'Delicious'、'Demir'、'Dayton'和'Burgundy'在两个连续生长季内未表现出病害症状，并显示出高度的田间抗性[8]。品种'Gala'、'Honeycrisp'、'Mutsu'[4,23]被发现具有中等感病性。在丘斯滕迪尔农业研究所进行的长期研究表明，通过使用更具抗性的品种，降低侵染压力，可以有助于控制病原体。在该研究所进行的研究确定了苹果品种的不同感病程度，突出了低感品种 'Prima' 和 'Erwin Baur'[1,20]，中等感病品种'Mutsu'[21]，以及高度感病品种'Moira'[1,9]。



桃白粉病

由桃叉丝单囊壳（*Podosphaera pannosa* (Wallroth) de Bary）引起的桃白粉病症状，其无性阶段为*Oidium leucoconium* Desmazières，与苹果上的症状相似。该病害影响植物的绿色器官，包括叶片、嫩枝和果实。病原体以两种形式表现——系统型（弥漫型）和局部型，其中系统型在植被生长的早期阶段尤为重要。春季，当被感染的芽破裂时，发育出的枝条带有特征性的粉状覆盖物，导致生长和发育受阻[4]。在有利条件下，该病害还可能影响幼果，导致果实变形和商品品质的永久性下降。*Podosphaera pannosa* 的侵染过程是专性活体营养型病原体的典型过程，病原体通过直接穿透角质层侵入植物组织，并在表皮细胞中形成吸器[17]。

防治策略

农业技术措施

针对白粉病病原体的主要农业技术措施包括：

- 选择对病原体具有抗性或低感性的适宜品种，这将显著降低侵染压力和对杀菌剂处理的需求[1,14]。
- 选择合适的地点和栽植距离，并配合良好的树冠整形，以改善通风，限制有利于病原体发育的小气候形成[1,2]。
- 均衡施肥有助于实现最佳的营养生长，并限制对白粉病的感病性，而过量施用氮肥则会增加感病性[2,13]。
- 以去除受感染的枝条和分枝为目标的修剪，减少了初侵染源的数量，是限制春季早期侵染的关键措施[2,23]。

化学与生物防治方法

施用经批准用于该病害的杀菌剂喷雾具有限制作用，防治策略应旨在有效限制初侵染和再侵染。针对*P. leucotricha* 使用最广泛的一类活性物质是麦角甾醇生物合成抑制剂（脱甲基化抑制剂 - DMI，FRAC 组3），包

括腈菌唑、戊菌唑、四氟醚唑、苯醚甲环唑和粉唑醇[23,25]，以及甲氧基丙烯酸酯类（外部醌抑制剂 - QoI，FRAC 组11）[25]。应遵守活性物质的轮换使用，以防止对DMI和QoI类杀菌剂产生抗药性。重要的是，杀菌剂处理应按照该国针对该病害批准的植物保护产品进行。

除了化学防治，近年来对利用生物制剂限制苹果白粉病病原体的兴趣有所增加。研究最充分的白粉病生物制剂之一是*芽孢杆菌属*（*Bacillus*）的代表菌株，它们对多种*叉丝单囊壳属*物种显示出有效性，包括在果树上，主要通过增加叶绿素含量和改善光合活性，有助于改善植物的生理状态并增强对*P. leucotricha* 侵染的抗性[16]。也有研究证明酵母菌在将*P. leucotricha* 的侵染程度降低37.4%方面的有效性[5,6]。

最后但同样重要的是，使用病害发展预测模型作为优化苹果白粉病防治的重要工具。诸如RIMpro等模型利用气象数据、作物的物候发育以及病原体的生物学参数来预测初侵染和再侵染风险增加的时期，从而能够更精确、及时地采取植物保护措施。在欧洲和保加利亚的研究表明，使用此类模型有助于在不影响防治效果的前提下减少处理次数，并通过限制不必要的施用，支持杀菌剂抗药性的管理[13,20,22]。尽管大多数预测模型最初是为苹果黑星病开发的，但包括RIMpro在内的许多模型都成功整合了白粉病模块，使其成为在不断变化的气候条件下针对*P. leucotricha* 的现代有害生物综合管理（IPM）中一个宝贵的元素。

白粉病仍然是具有经济意义的关键植物病理学挑战之一，特别是在集约化生产和气候变化条件下。将抗病或低感品种与综合病害管理方法相结合，包括辅以预测模型的农业技术和植物保护措施，为长期有效且前景广阔的防治策略提供了机会[16,21,23,24]。

参考文献

[1] Borovinova, M. (2007). *苹果和酸樱桃的经济重要性真菌病害及其在综合水果生产中的防治* 丘斯滕迪尔农业研究所。

[2] Dzhuvinov, V., Gandev, S., Arnaudov, V., Rankova, Z., Nacheva, L., & Dobrevska, G. (2016). *苹果*. Biofruit BG - EOOD。

[3] Nakova, M., Nakov, B., Karov, S., & Neshev, G. (2015). *特殊植物病理学*. IMN出版社 - 普罗夫迪夫。

[4] Stancheva, Y. (2021). *多年生作物病害*. INFINITY BOOKS。

[5] Alaphilippe, A., Elad, Y., David, D. R., Derridj, S., & Gessler, C. (2008). 苹果白粉病（*Podosphaera leucotricha*）生物防治剂对寄主植物及非靶标生物的影响：一种害虫（*Cydia pomonella*）和一种病原体（*Venturia inaequalis*）。*生物防治科学与技术*, *18*(2), 121-138。https://doi.org/10.1080/09583150701818964

[6] Alaphilippe, A., Elad, Y., Derridj, S., & Gessler, C. (2007). 引入的附生酵母对一种害虫（*Cydia pomonella* L.）、苹果病原体（*Venturia inaequalis* 和 *Podosphaera leucotricha*）以及叶面化学组成的影响。*IBOC 公报*, *30*, 259-263。

[7] Ashraf, M. A., Khan, A. S., Shireen, F., Nawaz, S., Ayyub, S., Mohibullah, S., Asim, M., Riaz, T., Khalid, B., & Azam, M. (2025). 气候变化下的桃树病害：病原体、抗性和可持续解决方案。*微生物病原学*, 108110。

[8] Awan, S. I., Thapa, R., Svara, A., Feulner, H., Streb, N., & Khan, A. (2023). 苹果属种质资源评估为苹果育种鉴定白粉病和蛙眼叶斑病抗性的遗传来源。*植物病理学®*, *113*(7), 1289-1300。 https://doi.org/10.1094/phyto-11-22-0417-r

[9] Borisova, A., Borovinova, M., & Kamenova, I. (2014). 保加利亚丘斯滕迪尔地区苹果树的主要病害。*土耳其农业与自然科学杂志*, *1*(特刊-1), 695-700。

[10] Fischer, M., & Fischer, C. (2004). 遗传资源作为新型抗病苹果品种的基础。*果树与观赏植物研究杂志*, *12*(特刊 2).

[11] Gañán-Betancur, L., Peever, T. L., Evans, K., & Amiri, A. (2021). 来自美国苹果园的白粉病真菌*Podosphaera leucotricha* 主要呈克隆性种群中的高遗传多样性。*应用与环境微生物学*, *87*(15), e00469-00421。https://doi.org/doi:10.1128/AEM.00469-21

[12] Glawe, D. A. (2008). 白粉病：对世界上最常见（但鲜为人知）的植物病原体的综述。*植物病理学年评*, *46*(1), 27-51。

[13] Holb, I. (2014). 由*Podosphaera leucotricha* 引起的苹果白粉病：病害管理的若干方面。

[14] Holb, I. J. (2009). 由*Podosphaera leucotricha* 引起的苹果白粉病：生物学和流行病学的一些重要特征。*国际园艺科学杂志*, *15*(1-2), 45-51。https://ojs.lib.unideb.hu/IJHS/article/view/1096

[15] Leus, L., Dewitte, A., Van Huylenbroeck, J., Vanhoutte, N., Van Bockstaele, E., & Höfte, M. (2006). 蔷薇属和 *Prunus* 属上的*Podosphaera pannosa*（同义词 *Sphaerotheca pannosa*）：通过差异植物反应和ITS序列进行病理型鉴定。*植物病理学杂志*, *154*(1), 23-28。https://doi-org.salford.idm.oclc.org/10.1111/j.1439-0434.2005.01053.x

[16] Liu, B., Xu, Y., Ji, S., Zhang, P., Zhang, H., Han, J., Fan, H., Wang, J., Qi, J., Ma, Y., & Liu, Z. (2023). *芽孢杆菌*的分离鉴定及三株功能菌株防治新疆野苹果白粉病和促进幼苗生长的能力。*欧洲植物病理学杂志*, *167*(1), 11-24。https://doi.org/10.1007/s10658-023-02680-5

[17] Marimon de María, N. (2020). 通过应用分子工具进行流行病学和遗传抗性研究，迈向桃白粉病（*Podosphaera pannosa*）的综合防治 [博士论文，莱里达大学]。

[18] Marimon, N., Eduardo, I., Martínez-Minaya, J., Vicent, A., & Luque, J. (2020). 基于度日法启动西班牙加泰罗尼亚桃白粉病杀菌剂喷雾计划的决策支持系统。*植物病害*, *104*(9), 2418-2425。 https://doi.org/10.1094/pdis-10-19-2130-re

[19] Morariu, P. A., Sestras, A. F., Andrecan, A. F., Borsai, O., Bunea, C. I., Militaru, M., Dan, C., & Sestras, R. E. (2025). 不同果园条件下苹果品种对真菌病害和害虫的反应：一项多地点研究。*作物*, *5*(3), 30。 https://www.mdpi.com/2673-7655/5/3/30

[20] Petrova, V., & Borovinova, M. (2014). 抗黑星病苹果品种上白粉病（*Podosphaera leucotricha*）和欧洲红蜘蛛（*Panonychus ulmi*）的防治。*保加利亚作物科学杂志*, *51*(4-5), 7-11。 https://agriacad.eu/ojs/index.php/bjcs/article/view/3687

[21] Petrova, V., Dimitrova, S., & Georgieva, V. (2025). 三个苹果品种的生物学表现及对苹果黑星病和白粉病的受害程度。*保加利亚作物科学杂志*, *62*(6), 103-110。 https://doi.org/10.61308/OBJS5429

[22] Rossi, V., Salinari, F., Poni, S., Caffi, T., & Bettati, T. (2014). 解决农业决策支持系统中的实施问题：以vite. net® 为例。*农业中的计算机与电子技术*, *100*, 88-99。

[23] Strickland, D. A., Hodge, K. T., & Cox, K. D. (2021). 从过去到现在的苹果白粉病及*Podosphaera leucotricha* 生物学考察。*植物健康进展*, *22*(4), 421-432。 https://doi.org/10.1094/php-03-21-0064-rv

[24] Strickland, D. A., Spychalla, J. P., van Zoeren, J. E., Basedow, M. R., Donahue, D. J., & Cox, K. D. (2023). 通过分子检测评估纽约州苹果白粉病病原菌*Podosphaera leucotricha* 种群的杀菌剂抗性。*植物病害*, *107*(9), 2606-2612。 https://doi.org/10.1094/pdis-12-22-2820-sr

[25] Vielba-Fernández, A., Polonio, Á., Ruiz-Jiménez, L., de Vicente, A., Pérez-García, A., & Fernández-Ortuño, D. (2020). 白粉病真菌的杀菌剂抗性。*微生物*, *8*(9), 1431。 https://www.mdpi.com/2076-2607/8/9/1431