

# 玉米锈病综合分析与防治策略报告

**摘要：**玉米锈病是全球范围内严重威胁玉米（*Zea mays* L.）产量和品质的真菌性病害。本报告系统性地阐述了玉米普通锈病（由 *Puccinia sorghi* 引起）和南方锈病（由 *Puccinia polysora* 引起）的病原学特性、田间症状与诊断要点、传播途径与流行规律、以及侵染寄主的发病机制。报告重点考量了玉米从苗期到成熟期的不同生长阶段对病害的易感性，以及温度、湿度等关键环境因子对病害发生发展的影响。最后，基于综合病害管理（IPM）理念，提出了一套包含农业防治、监测预警和化学防治在内的多维度、分阶段的精准防控方案，旨在为玉米安全生产提供科学、严谨的技术支持。

## 一、病原研究 (Pathogen Research)

玉米锈病主要由两种不同的锈菌引起，它们在生物学特性、流行条件和致病力上存在显著差异。

### 1. 普通锈病 (Common Rust)

- 病原菌：**玉米柄锈菌 (*Puccinia sorghi* Schwein.)，隶属于担子菌门、柄锈菌纲、锈菌目、柄锈菌属。
- 生物学特性：**
  - 专性寄生菌 (Obligate Parasite)：**无法在人工培养基上进行腐生生长，其生命活动完全依赖于活体寄主细胞。
  - 转主寄生菌 (Heteroecious)：**具有完整的五种孢子世代（性孢子、锈孢子、夏孢子、冬孢子、担孢子），其生命周期需在两种亲缘关系较远的寄主上完成。主要寄主为玉米，转主寄主（中间寄主）为多种酢浆草属植物 (*Oxalis* spp.)。在温带地区，转主寄主在病害的越年循环中起到一定作用，但远距离气流传播的夏孢子是更主要的初侵染源。

### 2. 南方锈病 (Southern Rust)

- 病原菌：**玉米多堆柄锈菌 (*Puccinia polysora* Underw.)，分类学地位与普通锈菌相近。
- 生物学特性：**
  - 专性寄生菌。**
  - 单主寄生趋势 (Autoecious Tendency)：**虽然其转主寄主已被报道，但在其主要流行的热带和亚热带地区，病菌通常无需转主寄主即可完成周年循环。它主要以夏孢子形态在冬季无霜冻地区的活体玉米植株、自生苗或其它禾本科寄主上越冬，次年通过高空气流向高纬度地区传播，是典型的“气传病害”。

## 二、症状分析与田间诊断 (Symptom Analysis and Field Diagnosis)

准确区分两种锈病是制定有效防治策略的前提。

诊断特征	玉米普通锈病 (Common Rust)	玉米南方锈病 (Southern Rust)

诊断特征	玉米普通锈病 (Common Rust)	玉米南方锈病 (Southern Rust)
流行环境	偏好凉爽 (16-25°C)、湿润天气。	偏好高温 (25-32°C)、高湿天气。
发生时期	通常在玉米生长前期（苗期至拔节期）即可发生。	通常在玉米生长中后期（抽雄后）迅速爆发流行。
病斑位置	夏孢子堆在叶片上下表面均可散生。	夏孢子堆主要集中在叶片上表面，分布更密集。
病斑形态	夏孢子堆较大，呈长圆形或椭圆形，稍隆起，分布较稀疏。	夏孢子堆较小，呈近圆形，密集分布，常融合成片。
病斑颜色	夏孢子堆破裂后散出肉桂色至红褐色的粉末（夏孢子）。	夏孢子堆破裂后散出橘黄色至浅褐色的粉末（夏孢子）。
后期症状	病害后期，在原夏孢子堆附近或内部形成黑褐色、表皮不破裂的冬孢子堆。	极少形成冬孢子堆，即使形成，表皮也通常不破裂。
危害严重性	对大部分商业品种危害相对较轻，除非在感病品种上严重发生。	危害性极强，发展速度快，可导致叶片在7-10天内迅速枯死，严重影响光合作用，造成产量和品质的巨大损失。

### 三、传播途径与发病规律 (Transmission and Epidemiology)

1. 侵染源：
- 初侵染源： 主要为远距离气流传播的夏孢子。南方锈病的菌源地通常位于低纬度的热带、亚热带越冬区，随季节性主导气流（如夏季风）向北、向高纬度玉米产区传播，形成“侵入性流行”。普通锈病的初侵染源可来自远距离传播的夏孢子，也可来自本地转主寄主酢浆草上产生的锈孢子。

- **再侵染源：** 田间发病植株上产生的夏孢子是再侵染的主要来源。在适宜条件下，一个侵染循环（从孢子附着到产生新一代孢子）仅需7-14天，通过风雨传播，导致病害在田间呈指数级蔓延。

## 2. 影响发病的关键因素：

- **环境因素：**
  - **温度：** 是区分两种锈病流行的决定性因素。普通锈病在凉夏年份或地区流行；南方锈病则在高温年份或季节爆发。
  - **湿度：** 孢子萌发、侵入过程需要高湿度（相对湿度 >95%）或叶面存在游离水（露水、雨水）持续4-8小时。因此，多雨、多雾、多露的季节和地区发病重。
- **寄主因素（玉米生长周期）：**
  - **苗期至大喇叭口期 (VE-V12)：** 植株幼嫩，若遇凉爽多湿天气，易受普通锈病侵染。但此时植株生长旺盛，受损叶片可被新生叶片补偿，对产量影响有限。
  - **抽雄至灌浆期 (VT-R3)：** 这是玉米产量形成的关键期，也是对南方锈病最敏感的时期。此阶段，穗位叶及其以上的功能叶片是光合作用的主力，直接决定粒重。南方锈病在此期爆发，会迅速摧毁这些关键叶片，导致光合能力锐减，籽粒灌浆严重不足，形成“秕粒”，造成毁灭性减产。
  - **蜡熟至成熟期 (R4-R6)：** 植株逐渐衰老，抗性下降，但病害在此阶段发生对已基本形成的产量影响较小。
- **栽培因素：**
  - **品种抗性：** 是最核心的内因。抗性品种能有效抑制病菌侵入和扩展。
  - **种植密度与施肥：** 密度过大、偏施氮肥导致田间郁闭、植株组织柔嫩，会显著加重病害。增施磷、钾肥能增强植株组织强度和抗病性。

## 四、发病机制 (Pathogenesis)

- 识别与附着：** 夏孢子落在玉米叶片表面，通过物理和化学信号识别寄主。
- 萌发与侵入：** 在适宜温湿度下，孢子吸水萌发，产生芽管。芽管顶端在气孔上方形成附着器，并分化出侵入栓，通过机械压力和酶解作用穿过气孔进入叶片内部的气孔下腔。
- 定殖与营养窃取：** 菌丝在寄主细胞间隙扩展，并分化出特化的吸收结构——**吸器 (Haustorium)**。吸器侵入寄主活细胞（但不破坏质膜），形成一个巨大的生物合成界面，高效地窃取宿主细胞的光合产物（如糖类）和营养物质，供自身生长繁殖。
- 症状显现与繁殖：** 菌丝体大量增殖，在表皮下形成菌丝垫，并分化产生新的夏孢子。成熟的夏孢子堆（Uredinium）体积膨大，最终撑破寄主表皮，将大量夏孢子释放到空气中，完成再侵染。这一过程严重破坏了叶片的物理结构（表皮、叶肉组织），干扰了光合作用、蒸腾作用和呼吸作用，导致叶片早衰枯死。

## 五、综合防治策略 (Integrated Management Strategies)

防治玉米锈病，尤其是高风险的南方锈病，必须采取“预防为主，综合防治”的策略。

### 1. 农业防治 (Cultural Control) - 基础防线

- **选用抗（耐）病品种：** 这是最经济、环保、有效的核心措施。根据当地锈病历史发生情况和流行风险，选择经过审定的高抗或兼抗南方锈病和普通锈病的玉米品种。

- **优化栽培管理：**

- **合理密植：** 确保田间通风透光，降低冠层湿度。
- **平衡施肥：** 依据测土配方，增施磷、钾肥和微量元素，避免后期偏施或过施氮肥，培育健壮植株。
- **清除菌源：** 在普通锈病常发区，清除田边地头的转主寄主酢浆草。在南方越冬区，及时处理自生玉米苗。
- **适期播种：** 在某些地区，适当调整播期，可能使玉米关键生育期避开锈病高发期。

## 2. 监测预警 (Monitoring and Forecasting) - 精准决策

- **系统监测：** 关注全国农业技术推广服务中心的病虫情报，了解南方锈病菌源地的发生动态和向北扩散的路径预测。
- **田间调查：** 从玉米大喇叭口期开始，定期（5-7天一次）进行田间调查。重点检查田块中部、地势低洼处的植株中上部叶片。当发现中心病株或病叶率达到5%时，即为防治预警信号。
- **气象预警：** 密切关注天气预报。当预测到将出现连续“高温（日均温>25℃）+高湿（降雨、重露）”天气时，即为南方锈病爆发的高风险期，应提前做好防治准备。

## 3. 化学防治 (Chemical Control) - 关键干预

化学防治是控制锈病流行的关键手段，核心在于**把握最佳防治时机**。

- **防治时机：**

- **最佳预防窗口：** 玉米大喇叭口末期至抽雄初期 (V12-VT)。在此期进行保护性喷药，可以在病菌大规模侵染前保护好决定产量的穗位叶及以上功能叶片，效果最佳，投入产出比最高。
- **补救治疗时机：** 若错过最佳窗口，应在**病害发生初期（田间病叶率5%-10%或穗位叶刚见病斑时）**立即施药。最晚不应迟于灌浆初期 (R2)。进入蜡熟期后，防治效果和经济效益均显著下降。

- **高效药剂选择：**

- **甲氧基丙烯酸酯类 (QoI)：** 如吡唑醚菌酯、嘧菌酯、肟菌酯。具有优异的保护活性，并能提升植物健康水平（绿叶效应），但易产生抗性。
- **三唑类 (DMI)：** 如戊唑醇、丙环唑、氟环唑、苯醚甲环唑。具有内吸治疗作用，是防治锈病的骨干药剂。
- **推荐方案：** 优先选用**甲氧基丙烯酸酯类与三唑类的复配制剂**，如**吡唑醚菌酯·丙环唑、肟菌酯·戊唑醇、嘧菌酯·苯醚甲环唑**等。这类产品兼具保护和治疗作用，作用位点不同，可以延缓抗性产生。

- **科学施药技术：**

- 使用高秆作物喷杆机、植保无人机 (UAV) 等高效施药器械，确保药液均匀覆盖植株中上部叶片。
  - 保证足量用水，确保药液能够穿透冠层。
  - 注意轮换使用不同作用机理的杀菌剂，避免连续单一使用，以减缓病菌抗药性的发展。
-

## 六、参考文献 (References)

- Dolezal, W. E., Tiwari, R., Kemerait, R. C., et al. (2021). Corn Rusts: Common and Southern. In *A Farmer's Guide to Corn Diseases*. APS Press. (这本书提供了面向实践的详细指南).
- Pataky, J. K., & Raid, R. N. (2009). Diseases of Corn. In *Compendium of Corn Diseases, 4th Edition*. APS Press. (这是玉米病害领域的权威工具书).
- Li, X., Wu, J., Wang, X., & Hu, X. (2020). Epidemiology and management of southern corn rust. *Annual Review of Phytopathology*, 58, 313-333. (这篇综述详细阐述了南方锈病的流行病学和管理).
- 王晓鸣, 曹雅忠, 李晓, 等. (2019). 玉米南方锈病研究进展. *植物保护学报*, 46(1), 1-12. (这篇中文综述系统总结了国内外的研究进展).
- Purdue University Extension. (Updated Annually). *Corn & Soybean Field Guide*. (普渡大学等美国中西部高校的推广手册, 每年更新, 提供最新的药剂推荐和管理策略).

## 玉米热带锈病 (Maize Tropical Rust) 综合分析防治报告

**摘要:** 玉米热带锈病是由真菌 *Physopella zeae* 引起的一种重要叶部病害, 主要在热带和亚热带地区对玉米生产构成严重威胁。本报告旨在系统阐述该病的病原学特性、典型症状与诊断要点、传播途径与流行规律、侵染发病机制, 并基于玉米的生长周期、环境条件及栽培模式, 提出一套涵盖农业、化学、生物及抗性育种等多方面的综合防治策略, 为该病的科学有效防控提供理论依据和实践指导。

### 1. 病原研究 (Pathogen Research)

#### 1.1 病原菌鉴定与分类地位

- 病原菌名称:** 玉米柄锈菌 (*Physopella zeae* (Mains) Cummins & Ramachar)。
- 分类地位:** 隶属于真菌界 (Fungi)、担子菌门 (Basidiomycota)、柄锈菌纲 (Pucciniomycetes)、柄锈菌目 (Pucciniales)、栅锈菌科 (Phakopsoraceae)。
- 生活史类型:** 该病原菌被认为是**单主寄生 (Autoecious)** 的**短生活史 (Microcyclic)** 锈菌, 主要在玉米上完成其生活史, 目前尚未发现其转主寄主。其生命周期中, **夏孢子 (Urediniospore)** 是主要的侵染和再侵染单位, 而**冬孢子 (Teliospore)** 则作为其休眠或越冬结构。

#### 1.2 形态学特征

- 夏孢子堆 (Uredinium):** 在叶片上形成, 初期被表皮覆盖, 后破裂。颜色为肉桂褐色至橙黄色, 散生或聚生。
- 夏孢子 (Urediniospore):** 卵圆形至近球形, 淡黄色至金黄色, 单胞。表面具细刺, 有4-6个分散的芽孔。夏孢子是该病远距离传播和重复侵染的关键。
- 冬孢子堆 (Telium):** 通常在夏孢子堆周围或内部形成, 位于叶片表皮下, 不破裂, 呈黑色。
- 冬孢子 (Teliospore):** 形状不规则, 多角形, 单胞或由2-4个细胞组成, 壁厚, 褐色。其在流行病学中的作用尚不完全明确, 但被认为是病菌的生存结构。

## 2. 症状分析与诊断 (Symptom Analysis and Diagnosis)

### 2.1 典型症状

- 发病部位：** 主要侵染叶片，也可侵染叶鞘和苞叶。
- 初期症状：** 叶片上出现褪绿的小斑点。
- 典型症状：** 病斑发展为小的、圆形至椭圆形的凸起孢子堆（锈疱）。这些孢子堆的颜色为**鲜明的橙黄色或肉桂褐色**。成熟后，孢子堆表皮破裂，散发出锈色粉末（夏孢子）。
- 关键诊断特征：**
  - 坏死或失绿晕圈 (Necrotic or Chlorotic Halo)：** 热带锈病的孢子堆周围通常环绕着一圈明显的褪绿或坏死晕圈，这是区别于玉米普通锈病和南方锈病的重要特征。
  - 孢子堆形态：** 孢子堆相对较小，但数量多，常密集分布在叶片两面。
  - 分布模式：** 病害通常从植株下部叶片开始，随条件适宜逐渐向上蔓延。

### 2.2 与其他玉米锈病的区别

- 玉米普通锈病 (*Puccinia sorghi*):** 孢子堆较大，长椭圆形，红褐色，主要分布在叶片上表面，通常无明显晕圈。
- 玉米南方锈病 (*Puccinia polysora*):** 孢子堆更小、更圆，浅肉桂褐色，密集分布于叶片两面，破裂较晚，通常也无明显晕圈。

## 3. 传播途径与流行规律 (Transmission and Epidemiology)

### 3.1 传播途径

- 初侵染源：** 主要来自周边的病株、自生苗或随气流远距离传播而来的夏孢子。在常年种植玉米的热带地区，病原菌可以周年循环侵染。
- 再侵染：** 病株上产生的夏孢子是主要的再侵染源，通过气流传播，可在田间快速蔓延，并进行多次重复侵染。

### 3.2 流行规律（环境因素）

热带锈病的爆发与环境条件密切相关，满足以下条件时极易流行：

- 温度：** 温暖的环境是关键。夏孢子萌发和侵染的适宜温度为 **22-28°C**。
- 湿度：** 高湿度是发病的决定性因素。需要**相对湿度 >95%** 且叶片表面有**持续6-8小时的游离水（露水、雨水）**，以保证夏孢子能够顺利萌发、形成附着胞并侵入寄主。
- 光照：** 黑暗或弱光条件有利于孢子萌发和侵入。因此，夜间长时间结露是病害发生的重要诱因。
- 寄主：** 玉米品种的感病性差异显著。密植、通风透光不良、偏施氮肥导致植株徒长柔嫩，都会加重病情。

## 4. 发病机制 (Pathogenesis)

玉米热带锈病的侵染过程是一个典型的真菌侵染循环：

- 附着与萌发：** 气流传播的夏孢子降落在玉米叶片表面。在适宜的温湿度下，孢子吸水萌发，长出芽管。

2. **识别与附着胞形成**：芽管在叶片表面爬行，通过物理和化学信号识别气孔。在气孔上方，芽管顶端膨大形成附着胞（Appressorium）。
3. **侵入**：附着胞产生一个细长的侵染钉（Infection Peg），穿透气孔进入叶片内部的气孔下腔。
4. **定殖与吸器形成**：侵染菌丝在叶肉细胞间隙扩展，并向寄主细胞内伸入特化的营养吸收结构——**吸器（Haustorium）**。吸器不破坏寄主细胞膜，但能高效地从寄主中窃取养分。
5. **病症显现与繁殖**：病原菌利用寄主养分大量繁殖，在叶片组织内形成新的夏孢子堆。随着菌丝体和孢子的积累，夏孢子堆隆起，最终撑破寄主表皮，将大量夏孢子释放到空气中，完成一个侵染循环。此过程通常需要7-10天。

## 5. 综合防治策略 (Integrated Prevention and Control Strategy)

防治玉米热带锈病必须采取“预防为主，综合防治”的植保方针，并根据玉米不同生育阶段和环境条件动态调整策略。

### 5.1 农业与栽培措施（基础防线）

- **选用抗病品种**：这是最经济、最有效的核心措施。在热带锈病高发区，应优先种植经审定的、对该病具有良好抗性的玉米杂交种。
- **合理轮作与田间卫生**：与非寄主作物（如大豆、棉花）进行2-3年的轮作。收获后及时清除田间病残体和自生玉米苗，深耕土壤，减少初侵染源。
- **科学栽培管理**：
  - **合理密植**：避免种植过密，保证田间通风透光，降低局部湿度。
  - **平衡施肥**：增施磷、钾肥，避免偏施或过施氮肥。健壮的植株抗病能力更强。
  - **科学灌溉**：尽量采用滴灌或沟灌，避免傍晚进行大水漫灌或喷灌，以缩短叶片湿润时间。

### 5.2 化学防治（关键控制手段）

化学防治是病害发生时的重要补救措施，关键在于**时机和药剂选择**。

- **防治时机（结合生育周期）**：
  - **预防窗口期（大喇叭口期至抽雄前，V12-VT）**：这是决定产量的关键叶片（穗位叶及其上下叶片）形成和功能化的时期。若天气预报显示将出现持续高温高湿天气，且种植的是感病品种，应在此阶段进行**首次预防性喷药**。
  - **关键保护期（抽雄-吐丝-灌浆期，R1-R3）**：此阶段是光合作用和营养物质向籽粒转运的高峰期。病害在此期发生对产量影响最大。田间一旦发现中心病株或发病率达到5-10%，应立即施药控制，必要时7-10天后进行第二次喷药。
- **药剂选择**：
  - **保护性杀菌剂**：如代森锰锌、百菌清等，可在病害发生前使用。
  - **治疗性杀菌剂**：
    - **三唑类（DMI）**：如丙环唑、戊唑醇、氟环唑等。内吸性好，治疗效果显著。
    - **甲氧基丙烯酸酯类（QoI）**：如嘧菌酯、吡唑醚菌酯等。具有保护和治疗双重作用，并能提升植物健康水平（绿叶效应），但易产生抗性。
  - **推荐方案**：优先使用**复配制剂或轮换用药**，如“三唑类 + 甲氧基丙烯酸酯类”的复配产品（例如：苯甲·丙环唑、肟菌·戊唑醇、吡唑醚菌酯·氟环唑等）。这不仅能扩大杀菌谱，还能延缓抗性产生。

- **施药注意事项：** 确保喷雾均匀周到，特别是要保证中上部功能叶片着药。

### 5.3 生物防治与抗性育种（未来方向）

- **生物防治：** 研究利用木霉菌（*Trichoderma* spp.）、芽孢杆菌（*Bacillus* spp.）等拮抗微生物来抑制病原菌的生长和侵染，是绿色防控的研究方向，但目前大规模应用尚不成熟。
- **抗性育种：** 利用分子标记辅助选择等现代育种技术，聚合多个抗病基因，培育持久、广谱的抗性品种，是解决该病害的根本途径。

### 5.4 基于环境与生育期的动态管理模型

1. **播前决策：** 根据当地历史发病情况和气候特点，选择适宜的抗病品种。
2. **苗期至大喇叭口期（VE-V12）：** 重点是田间管理，培育壮苗。此期一般无需用药，但需监测天气。
3. **大喇叭口期至灌浆期（V12-R4）：**
  - **建立监测系统：** 定期下田调查，重点观察下部叶片。
  - **启动预警：** 当气象条件（连续2-3天夜间高温高湿）满足发病需求时，发布预警。
  - **精准决策：**
    - **低风险情景：** 抗病品种 + 干燥天气 → 继续监测。
    - **中风险情景：** 感病品种 + 干燥天气 / 抗病品种 + 高湿天气 → 加强监测，做好施药准备。
    - **高风险情景：** 感病品种 + 持续高温高湿天气 → 立即进行预防性施药。
    - **发病后控制：** 无论何种情景，一旦田间见病，立即启动化学防治。

---

## 6. 结论 (Conclusion)

玉米热带锈病是一种由环境驱动的、具有爆发潜力的重要病害。对其进行有效管理，需要摒弃单一依赖化学防治的思路，转向一个**以抗病品种为核心，以健康栽培为基础，以环境监测预警为依托，以精准化学防治为关键保障**的综合管理体系。通过对玉米生育周期各阶段风险的精准评估和对环境条件的动态响应，才能实现**对玉米热带锈病的经济、高效和可持续控制，保障玉米生产安全。**