

C O D E X A L I M E N T A R I U S

国际食品标准



联合国粮食
及农业组织



世界卫生组织

E-mail: codex@fao.org - www.codexalimentarius.org

预防与降低谷物中真菌毒素污染
操作规范

CXC 51-2003

2003年通过。

2014年、2017年修正。2016年修定。

引言

1. 产毒真菌普遍存在于适合小规模和大规模谷物生产的气候带。尽管各粮食产区的物种和菌株可能不同，但这些真菌存在于土壤、野生寄主植物物种、栽培作物和储存谷物的残留物中以及干燥和/或储存设施的灰尘中。真菌与收获前和收获后谷物中的真菌毒素污染有关。
2. 收获前真菌繁殖的严重程度在很大程度上取决于粮食产区每年变化很大的天气条件。产毒真菌的收获前感染和繁殖的严重程度也可能因昆虫和其他非产毒真菌造成的损害程度而异。由于这些因素，收获时在谷物中观察到的真菌毒素浓度每年都有很大差异。经验表明，即使应用良好农业规范（GAP）和市售杀菌剂，也很难可靠地预防收获前真菌感染。谷物育种方法仅导致在质量、产量和对其他重要谷物病害耐受性可接受的品种中对谷物镰刀菌穗枯病（赤霉病）的遗传抗性略有提高。
3. 通过 GAP 和良好生产规范（GMP）能够更好地预测和管理收获后粮食长期储存期间真菌感染和繁殖的严重程度，这些规范确保针对当地环境条件下的常见收获后真菌物种把储存粮食中的水分含量保持在孢子萌发的水平以下。然而，研究已经证实，尽管进行了认真的清洁，但这些物种的孢子在土壤、设备和储存设施中无处不在。因此，即使是少量储存的谷物因受到雨淋或昆虫侵害而导致水分含量升高，产霉菌毒素物种的孢子也会在特定温度范围内萌发。大型粮食储存设施的尺寸和设计以及技术能力有限通常使得对储存粮食中的水分和温度进行精确监测极其困难或不切实际。
4. 收获后真菌感染和储存谷物中产生霉菌毒素的风险随着储存时间的延长而增加。然而，取决于储存商品的特定生产地区的谷物需求，可能需要长期储存，通常是整个作物年度或更长时间。这可能是为了保障粮食安全以及为直接消费、加工和/或提供动物饲料而连续不断地储存谷物。
5. 即使执行了 GAP 和 GMP，也无法完全防止收获前和收获后产毒真菌物种的传播。因此，预计用于人类食品和动物饲料的谷物中会间歇性地存在某些真菌毒素。因此，在田间和储存期间严格监测谷物以了解促使真菌污染和真菌毒素积聚的各种条件，是确定商品处置的必要条件。
6. 本操作规范提供了最新相关信息，供所有国家在预防和减少谷物、谷物衍生食品和动物饲料中的真菌毒素污染的工作中参考。为了使本规范有效，每个国家的主管当局、生产商、营销商和加工商有必要考虑规范中提供的 GAP 和 GMP 的一般原则和示例，同时考虑到其当地的作物、气候和农艺实践，以在相关和可行的情况下促进这些规范的采用。本操作规范预计适用于与人类膳食摄入和健康以及国际贸易相关的所有谷物和谷物产品。
7. 谷物生产者必须认识到 GAP（包括收获后、储存、处理程序）是防止谷物被霉菌毒素污染的主要防线，其次是在用于食品和动物饲料的谷物处理、储存、加工和分销过程中实施 GMP。加工行业还需要在必要时实施 GMP，主要是在谷物分拣、清洁和加工过程中。
8. 应培训谷物生产者遵守 GAP，并与农业顾问、农技站和国家主管当局保持密切联系，以获取有关选择适合其各自产区使用的适当谷物品种和植物保护产品的信息和建议，以降低霉菌毒素的发生率和水平。
9. 本操作规范包含减少谷物中各种真菌毒素的一般原则。在从事生产商/处理商/加工商教育以及向相关方提供测试信息时，应遵守以下各项规定：
 - (a) 国家主管当局和/或其他机构应帮助生产者了解助长产毒真菌感染和适合其生长的环境因素，以及在农场环节霉菌毒素在谷类作物中如何产生。应强调的是，有关特定作物的种植、收获前和收获后策略将取决于特定地区和年份的气候条件，同时考虑到当地作物以及该特定国家或地区的传统生产方法。国家主管当局应支持有关防止田间以及收获和储存期间真菌生长的方法和技术的科学研究。

(b) 为避免谷物运输发生不应有的中断，生产商/处理商/加工商应使用经过验证的分析方法和相关的抽样计划来快速确定霉菌毒素水平。正确实施抽样计划和使用任何此类分析方法或工具对于提供准确的信息和数据至关重要。这将需要足够的资源和培训，以确保遵循抽样计划，并正确执行测试程序。应制定程序，通过隔离、修复、召回或转用来妥善处理可能对人类和/或动物健康构成威胁的谷物。

10. 本操作规范旨在预防和减少谷物和谷物衍生食品和饲料中的霉菌毒素，推荐基于 GAP 和 GMP 的做法，与危害分析关键控制点（HACCP）原则基本一致，后者目前已经纳入全球范围内有关食品生产、储存、处理、运输、加工、分销和贸易的安全规范和认证计划。HACCP 原则的实施将通过在可行范围内应用预防性控制措施（主要是在谷物储存和加工过程中）最大限度地减少霉菌毒素污染。

I. 基于良好农业规范（GAP）和良好生产规范（GMP）的建议做法

种植和轮作

11. 考虑制定和保持适当的轮作/排序计划，以避免在同一地块连续两季种植相同的作物。这样做有助于减少田间接种物，这些接种物可能来自含有产毒真菌孢子的收获后作物残骸。已发现某些作物特别容易受到某些种类的产毒真菌感染，因此应对其相互轮作进行评估。表 1 列出了最容易受到产毒真菌感染的作物和可能产生的霉菌毒素。其中一些作物在收获后被感染，其种子可能携带产毒真菌孢子。对产毒真菌易感性低的作物可以轮作，如三叶草、苜蓿和其他豆类，以减少田间接种物。已发现小麦和玉米很容易受到镰刀菌（*Fusarium*）感染，如果可能，二者不应在非常靠近的地块轮作。在同一轮作过程中，包括大豆、油籽、豆类和饲料作物可能会降低收获前感染的发生率和严重程度。

表 1. 对与霉菌毒素产生相关的产毒真菌易感的轮作作物
(非完整清单)

作物	真菌	潜在真菌毒素
花生	黄曲霉 (<i>Aspergillus flavus</i>) 寄生曲霉 (<i>A. parasiticus</i>) 集峰曲霉 (<i>A. nomius</i>) 及其他相关菌属	黄曲霉毒素
玉米	黄曲霉 寄生曲霉 及其他相关菌属	黄曲霉毒素
	禾谷镰刀菌 (<i>Fusarium graminearum</i>) 禾秆镰孢菌 (<i>F. culmorum</i>)	脱氧雪腐镰刀菌烯醇、雪腐镰刀菌烯醇、玉米赤霉烯酮
	轮枝样镰刀菌 (<i>F. verticillioides</i>) 层生镰刀菌 (<i>F. proliferatum</i>)	伏马毒素
高粱	禾谷镰刀菌 镰刀菌属 (<i>Fusarium spp.</i>)	脱氧雪腐镰刀菌烯醇、雪腐镰刀菌烯醇、玉米赤霉烯酮和双乙酰基草镰刀菌醇
	链格孢菌属 (<i>Alternaria spp.</i>)	链格孢酚、链格孢酚甲基醚、细交链孢菌酮酸和交链孢霉烯

作物	真菌	潜在真菌毒素	
	轮枝样镰刀菌 层生镰刀菌	伏马毒素	
	黄曲霉 寄生曲霉 黑节黄曲霉 (<i>A. section Flavi</i>)	黄曲霉毒素	
	疣孢青霉 (<i>P. verrucosum</i>) 赭曲霉 (<i>A. ochraceus</i>) 及其他相关菌属 炭黑曲霉 (<i>A. carbonarius</i>) 黑曲霉 (<i>A. niger</i>)	赭曲霉毒素A	
	麦角菌 (<i>Claviceps purpurea</i>) 非洲麦角菌 (<i>C. Africana</i>) 高粱麦角菌 (<i>C. sorghi</i>) 及其他相关菌属	麦角生物碱类	
	杂色曲霉 (<i>A. versicolor</i>)	杂色曲霉毒素	
	小麦	链格孢菌属 (<i>Alternaria spp.</i>)	链格孢酚、链格孢酚甲基醚、细交链孢菌酮酸
		禾谷镰刀菌 (<i>F. graminearum</i>) 禾秆镰孢菌 (<i>F. culmorum</i>) 亚洲镰刀菌 (<i>F. asiaticum</i>)	脱氧雪腐镰刀菌烯醇、雪腐镰刀菌烯醇、玉米赤霉烯酮
大麦		脱氧雪腐镰刀菌烯醇、雪腐镰刀菌烯醇、玉米赤霉烯酮	
燕麦	禾谷镰刀菌 禾秆镰孢菌 <i>F. langsethii</i>	脱氧雪腐镰刀菌烯醇、雪腐镰刀菌烯醇、玉米赤霉烯酮, T-2和HT-2毒素	
黑麦	禾谷镰刀菌 麦角菌 (<i>Claviceps purpurea</i>)	脱氧雪腐镰刀菌烯醇, 麦角生物碱类	
棉花	黄曲霉 寄生曲霉	黄曲霉毒素	
小米	禾谷镰刀菌	脱氧雪腐镰刀菌烯醇	
黑小麦	禾谷镰刀菌	脱氧雪腐镰刀菌烯醇	

播种 (种植) 前的翻耕和准备

12. 在可能和可行的情况下，采用不带产毒真菌的经认证种子，并通过翻耕或销毁或清除已经或可能成为产毒真菌基质的残留种穗、秸秆和其他残留物，为每茬新作物准备好苗床。但是，翻耕可能会影响其他经济和环境益处的实现，如保墒，保持土壤中的有机质，减少水土流失，降低燃料和水的用量，因此在采用翻耕方法之前应认真权衡利弊。
13. 利用土壤检测结果确定是否有必要施用肥料和/或土壤调节剂，以确保土壤酸碱度适度和植物营养，避免植物出现应激反应，尤其在作物生长过程中的种子发育阶段。
14. 在可能的情况下，种植对非产毒和产毒真菌以及虫害至少具有部分抗性和真菌毒素积聚量较低的选育品种。必须根据具体的生理和农学特性，只选用那些建议在特定国家中特定地区种植的品种。
15. 在可行的情况下，应合理选择种植时间，在种子发育和成熟阶段避免遭遇高温和干旱等应激因素。在可能的情况下，采用预测模型作为规划最佳种植时间的工具。
16. 遵照建议的作物种植行间距和植间距，确保合理的种植密度。有关植株间距的信息可由种子公司、国家主管当局或农技站提供。

收获前

17. 在可能的情况下，按照病虫害综合防治计划合理使用经批准的农药和其他合理措施，尽量减少作物种植区由虫害造成的损伤和真菌感染。可采用天气预测模型规划施用农药的最佳时间和方式。
18. 由于一些种类的杂草可能成为产毒真菌的寄主，使得作物在发育过程中因与杂草竞争而加重植株应激，因此必须按照综合病虫害防治计划，采用机械方法、已注册除草剂或其他安全、合理的除草措施来控制杂草生长。
19. 尽量减少种植、灌溉和病虫害防治过程中对植株造成的机械损伤。尽量减少植株倒伏，以避免植株的地上部分与土壤接触，尤其在作物扬花期。土壤及土壤中的水是产毒真菌属接种物（孢子）的源头。
20. 如果采用灌溉，应确保均匀，让田地中所有植株都能获得充足的水分。在有些生长情况下灌溉是有效减少植株应激的方法。扬花期降雨过多会助长镰刀菌属的扩散和感染，因此应避免在作物扬花期和成熟期实施灌溉，尤其是小麦、大麦和黑麦。
21. 安排在谷物处于低水分含量和完全成熟时收获，除非等待作物继续生长直至完全成熟会导致作物遭遇极热天气、降雨或干旱。已经感染镰刀菌的谷物如果收获过晚可能导致真菌毒素含量上升。可利用模型作为及时监测和调查真菌毒素水平的指导性工具，根据气候条件、农业生产条件等环境因素预测真菌毒素生成情况。
22. 如果具备机械干燥设备，提前收获可能有助于在作物成熟后限制真菌毒素生成。必须采用适当的干燥方法，以避免因不当干燥操作生成的污染物造成的污染，例如多环芳烃（PAH）¹和二恶英²。
23. 收获前应确保所有收获、干燥、清洁和储存设备均状况良好，并尽量清除作物残留物、颗粒及尘土。在这一关键环节出现设备故障可能导致谷物质量受损，促使生成真菌毒素。在农场中备足重要零部件，最大限度减少因修理造成的时间损失。确保拥有用于水分含量检测的设备，并适当调试和准备就绪。

收获

24. 应确保用于收集所收获的谷物并将其从田间运送至干燥设施以及干燥后将其运送至仓储设施的容器和运输工具（如马车、卡车）在使用和再次使用之前清洁、干燥，无作物残留物、残留谷物颗粒、谷物尘土、昆虫和可见菌斑。

¹ 《减少熏制和直接干燥过程产生的多环芳烃（PAH）对食品的污染操作规范》（CXC 68-2009）

² 《预防和降低食品和饲料中二恶英和类二恶英多氯联苯污染的操作规程》（CXC 62-2006）

25. 不同谷物生产国使用的收获方法和设备差异很大。将植株收获后成束放置，随后通过其他方式捆绑或脱粒的做法可能会导致与土壤和真菌孢子接触。应尽量避免在收获过程中对谷物造成机械损伤，并避免与土壤接触。应采取措施最大限度地限制受感染的种穗、种壳、秸秆和残茬（作物残留物）洒落在地面，致使孢子及其他真菌部位存活，成为作物的未来接种物。机械化收获方法（如采用联合收割机）会导致大量作物残留物散落地面。在作物轮作/续耕及相关耕作法允许的情况下，最好能通过翻耕或其他耕作方法将作物残留物埋入土壤。
26. 收获过程中，应在收获后的每批谷物中分几处采样检测其水分含量，因为同一地块中的水分含量可能存在差异。应尽量避免在作物因受降雨或晨露影响水分含量较高时或在傍晚时进行收获作业，因为在这些情况下干燥所需时间较长。在可能的情况下，如果收获前对作物的监测发现某个地块镰刀菌感染率较高，在收获和储存时应当将这些地块的作物与感染率较低地块的作物分开处理。
27. 如果收获后的谷物尚未通过干燥处理达到安全的储存水分含量，则不得长期储存在容器、马车或卡车里，或用这些容器长时间运输。应最大限度缩短从地头转运至干燥设施所用的时间，除非谷物在收获前已达到储存所需的水分含量要求。建议必要时将卡车和容器敞开，以便通风，最大限度地减少冷凝效应。

储存前的干燥和清洁措施

28. 在干燥处理或脱粒前，避免将高水分含量、刚收获的产品堆积或在容器内存放超过几个小时，以减少真菌生长风险。如无法立即对产品进行干燥处理，应通过强制空气循环对其进行通风处理。
29. 必要时，可在干燥前采取预清洁的方法去除可能携带霉菌或霉菌孢子的大量秸秆或其他植物材料。可采用扬场法和分拣法对谷物进行清洁。如果有清洁设备，建议在运送至仓库前利用机械方法对谷物进行清洁，去除异物、其他植物种子和作物残留物。但是，必须保证清洁过程中不对谷物造成损伤。
30. 必须保证收获后的谷物水分含量较低，适合安全储存，哪怕只是从几天到几个月的短时间储存。通常，水分含量不应超过 **15%**，这样才能防止收获前存在的真菌进一步生长，并防止储存过程中常常感染谷物和产生真菌毒素（如青霉菌）的孢子萌发。
31. 刚收获的谷物应立即进行干燥处理，处理期间确保最大限度地减少对谷物的损伤，并在储存期间将水分含量降至真菌生长需要的水平之下。在将谷物运送至储存容器和其他仓储设施之前，最好将水分含量降至可接受的水平。如无法立即对产品进行干燥，则通过强制空气循环对其进行通风处理，并尽量缩短干燥前的存放时间。最好采用机械干燥方法。对小批量产品而言，可采用平板式再循环分批干燥机，而对大批量产品而言，最好在长期储存之前采用连续流动式干燥机。谷物不应过度干燥或采用过高的干燥温度，以保存营养价值，使之适于碾磨或其他加工。干燥过程中必须遵循良好规范，避免产生污染物。避免在干燥前储存或“湿储存”过程中堆积过量谷物，尤其是在环境温度较高的情况下。将谷物储存量控制在能在合理时段内轻松完成干燥作业的范围内。
32. 如不具备机械干燥条件，应在洁净的表面上尽可能利用日光对谷物进行晾晒通风。在此期间应避免受到降雨、露水、土壤、害虫、鸟粪和其他污染物的影响。为使谷物更均匀、更迅速的干燥，应将谷物摊铺成薄层并频繁翻动。
33. 干燥作业完成后，应对谷物进行清洁处理，去除受损、未成熟颗粒和其他异物。受到感染但未表现出感染症状的颗粒无法通过标准化清洁方法去除。种粒清洁程序，如重力分选台和光学分拣等，可去除易受感染的破损颗粒。

干燥和清洁后的储存

34. 储存谷物的大桶、筒仓、棚子和其他用于储存谷物的建筑必须保持干燥、通风，避免雨、雪、地下水、冷凝的影响以及啮齿动物、鸟类和昆虫的侵扰，这些因素不仅会污染谷物，还会损坏谷物颗粒，使之易受霉菌感染。理想的做法是，在设计储存设施时，应尽量控制储存温度，避免出现大幅波动。

35. 入库前，应对储存设施进行清洁，去除灰尘、真菌孢子、谷物颗粒和作物残留物、动物和昆虫排泄物、土壤、昆虫、石块、金属和碎玻璃等异物、以及其他污染源。
36. 袋装产品应保证包装袋清洁、干燥，堆放在托盘上，或在谷物袋和地面之间设置防水层。谷物袋应透气，由无毒食品级材料制成，不易吸引昆虫或啮齿动物，并具有足够的强度，适合长期储存。
37. 测定整批产品的水分含量，必要时将水分含量降至适合储存的水平。谷物中的真菌生长与水活度（ a_w ）密切相关，水活度通常指未与食品分子（如经碾磨的谷物产品）结合、有助于细菌、酵母和真菌生长的水分。虽然对不同谷物而言适合真菌生长的水分含量各不相同，但避免真菌生长的最高容许水活度基本相同。通常认为，水活度低于 0.70 即可抑制真菌生长。谷物的合理水分含量应根据谷物品种、颗粒大小、质量、储存时间长短和储存条件（如温度）而定。此外，应根据每个地区的环境条件提出安全储存指导意见。表 2 显示了部分谷物在 25°C 时水分含量值与水活度之间的关系。

表 2. 部分谷物在 25°C 时水分含量值与水活度之间的关系

谷物	不同水分含量活度下的水分含量 (%)			
	0.60	0.65	0.70	0.75
稻米	13.2	13.8	14.2	15.0
燕麦	11.2	12.2	13.0	14.0
黑麦	12.2	12.8	13.6	14.6
大麦	12.2	13.0	14.0	15.0
玉米	12.8	13.4	14.2	15.2
高粱	12.0	13.0	13.8	14.8
小麦	13.0	13.6	14.6	15.8

38. 必须持续保持对储存谷物的监测，确保温度、水分含量处于可接受的水平，基本无啮齿动物和甲虫、象甲、螨等储存产品害虫。谷物储存温度大幅波动和水分含量升高都会为霉菌生长提供有利条件，促使真菌毒素生成。储存过程中啮齿动物及昆虫和螨虫等害虫造成的谷物颗粒破损也会加快霉菌生长。必要时应采用适合真菌毒素监测系统的完备的采样和检测计划，对进出库谷物的真菌毒素水平进行检测。
39. 为更有效监测储存谷物的状况，如有可能，建议在储存期间定期检测储存设施及储存谷物的温度和湿度。储存谷物温度上升 2-3°C 可能意味着微生物生长和/或出现虫害。如温度或水分含量出现异常上升，应尽可能对储存区进行通风处理，让温度保持在合理、均匀的水平。如有可能，可在环境相对湿度较低的时段内将空气吹入储存谷物，来实现通风的目的。如在相对湿度较高的时段通风，可能会实际使温度低于周围气温的储存谷物增加冷凝的可能性，并提高其水活度。储存过程中，为利于通风和阻止潜在热点的出现，也可将谷物从一个容器转入另一个容器。如发现谷物变质或出现霉菌生长，可将明显受感染的部分谷物隔离，并采用适当采样方法收集样本进行真菌毒素分析。在去除受感染储存谷物时，必须尽量避免将变质谷物与看起来状态良好的剩余谷物相互混合。少量严重受感染的谷物也可能大幅提高原本状态良好的谷物的真菌毒素水平。去除变质谷物后，可能有必要对剩余谷物进行通风，将温度和水分含量降至可接受的水平。

40. 对于气候寒冷的国家，必须注意，温带谷物生产区在较冷的月份将谷物储存温度降至 15°C 以下有助于安全储存，防止霉菌生长和真菌毒素生成。极寒温度也能抑制昆虫的生长与繁殖，从而降低虫蚀的风险，而虫蚀往往会促进霉菌生长。
41. 采用良好的仓储管理措施来最大限度降低仓储设施受啮齿动物、昆虫和真菌侵扰的程度。这些措施包括在综合病虫害防治计划指导下使用合理、已注册的杀虫剂、杀真菌剂或其他替代方法。应注意只选用那些不会对谷物的最终预期用途产生安全影响的病虫害防治产品，并遵循法规或买方规定的农药最高容许残留量。由于啮齿动物会在储存过程中对作物造成破坏，因此必须尽可能确保仓储设施中杜绝此类动物。
42. 采用合适、经批准的防腐剂（如丙酸等有机酸）可能有益。这些酸类能有效杀灭各种真菌，从而防止仅用作动物饲料的谷物中产生真菌毒素。采用有机酸盐通常对长期储存更加有效。使用过程中必须谨慎，因为这些化合物可能对谷物的味道和气味产生不良影响。
43. 对每季的收获、干燥、清洁和储存等各环节做好记录，具体包括记录测量值（如温度、水分含量、湿度）和任何与传统做法不同的偏差和变化。这些信息可能非常有用，可用于解释某种作物年真菌生长和真菌毒素生成的原因，有助于避免未来发生类似情况。如有可能，可基于经过验证的预测模型来采取管理措施，以便在以上环节控制真菌生长和真菌毒素生成。

储存后的运输

44. 用于运输的容器、卡车、火车等车辆及船只均应保持干燥，无残留陈年谷物颗粒、谷物尘土、可见菌斑、霉味、昆虫和任何可能导致一批或全部谷物的真菌毒素水平上升的任何受污染材料。必要时，运输容器每次使用或重复使用前均应采用适合所承运货物的适当物质（不会导致不良气味、味道或污染谷物）进行清洁和消毒。采用经注册的熏虫剂或杀虫剂可能有用。卸货时应将所有货物从运输容器全部清空，并对容器进行适当清洁。
45. 运输中应采用有盖子或密封的容器或防水帆布防止谷物进一步受潮。最大限度地降低温度波动，避免采用可能导致谷物出现冷凝的措施，因为这可能使得局部水分含量积聚，导致真菌生长和真菌毒素生成。
46. 在运输过程中采用防虫防鼠容器，或采用经批准适合谷物预期用途的驱虫驱鼠化学处理方法，以避免昆虫、鸟类和啮齿动物的侵扰。

储存后的加工和清洁措施

47. 分拣和清洁是去除受感染谷物颗粒、降低谷物中真菌毒素含量的有效步骤。应剔除肉眼可见的受感染和/或受损颗粒，防止其进入食品和动物饲料供应链。如谷物直接供人食用，而不是用于工业加工，这一点就尤为重要。
48. 可把分析检测作为一种工具，来监测谷物供应链全过程的真菌毒素浓度。必须保证采样计划和分析检测能按要求进行，以便提供准确、有代表性的结果。有时，市场上可以买到针对某些真菌毒素的简单检测盒，如呕吐毒素（DON）检测盒；但按要求执行采样计划和使用任何此类检测方法或工具依然十分重要，这样才能保证提供准确的信息和数据。必须划拨充足的资源和提供充足的培训，确保采样计划和检测程序能够严格实施。必须保证从仓库中运出的谷物在装货或卸货时对真菌毒素浓度进行检测，随后才能进入加工厂的仓库，尤其是在谷物生产和收获过程中因不利条件导致真菌毒素污染风险较高时。真菌毒素水平较高的货物应经过彻底清洁和加工，将真菌毒素大幅降至可接受水平，保证向消费者供应安全的产品。
49. 去除谷物颗粒外壳和糠皮的脱壳、去皮、抛光等步骤能大幅减少胚乳碾磨后所得制品（如面粉）中的真菌毒素含量，因为多数谷物的外皮通常有较高的真菌毒素含量，或附着较多的受污染尘土。未加工谷物中含有的真菌毒素的此类重新分布可能会导致其他部分（如糠皮）的真菌毒素达到难以接受的高水平。如这些部分将用作食品而不是被丢弃，就必须对真菌毒素进行监测，以确保食品安全。在将这些碾磨过程的副产品用作动物饲料时，应小心谨慎，并遵循适当程序。

50. 整粒干法碾磨保留了未加工谷物颗粒中的所有天然成分，因此不会降低未加工谷物上观测到的真菌毒素水平。将谷物颗粒外皮部分或完全去除的干法碾磨流程能大幅减少胚乳碾磨后用作食品原料的部分（颗粒内部部分）的真菌毒素含量，使之低于未加工谷物中的原有水平。玉米颗粒湿法碾磨则能将大部分真菌毒素从用作食品的淀粉中分离出来。
51. 碾磨后的谷物制品如长期储存，也容易出现霉菌生长，霉菌产生的真菌毒素水平会随之上升。因此，必须避免长期储存面粉和其他谷物制品，但如果无法避免，则应将其储存在合适的容器中，保持安全水分含量水平，将温度变化控制在最小幅度。此类容器必须能够防虫防鼠，并应采取综合病虫害防治措施。
52. 对于需经过发酵的谷物制品和谷物制成的食品，发酵剂保存不当会成为真菌毒素的污染源。发酵剂应保持纯净、有活力、密封保存、防止进水和受到其他污染。
53. 啤酒生产中的浸泡过程（浸泡和发芽阶段）会将种粒的水分含量提升至约 45%，适合真菌生长和真菌毒素生成。如果该过程在开放、卫生条件差的情况下进行，则可能造成问题。因此，浸泡过程应在受控环境下在密封容器中进行。
54. 所有谷物加工活动均应严格遵循良好卫生操作规范和基于危害分析关键控制点（HACCP）的良好生产规范（GMP）。

预防与降低谷物中玉米赤霉烯酮污染

基于良好农业规范（GAP）和良好生产规范（GMP）提出的建议操作规范

1. 良好农业规范和良好生产规范包括在作物生长发育、收获、储存、运输和加工各环节为降低镰刀菌（主要为禾谷镰刀菌和禾秆镰孢菌）感染和玉米赤霉烯酮（ZEN）生成所采用的方法。而玉米赤霉烯酮的产生主要由玉米、小麦和大麦在收获前感染相关镰刀菌属所致。

种植和轮作

2. 参见通用《操作规范》第 11 段。

播种（种植）前的翻耕和准备

3. 参见通用《操作规范》第 12-16 段。

收获前

4. 参见通用《操作规范》第 17-23 段。
5. 在收获前应通过检查、采样和标准微生物检测监测作物种穗在扬花期是否受到产毒镰刀菌的感染。另外，应确定收获前采集的代表性样本中的真菌毒素含量。应根据谷物的感染率和真菌毒素含量来确定作物的用途。
6. 收获前遭遇降雨会增加小麦中出现玉米赤霉烯酮（ZEN）的风险，尤其在收获因此推迟的情况下。在降雨天气开始之前，可采用镰刀菌感染风险预测模型来规划收获时间。可将天气预报与镰刀菌风险预测模型结合使用。

收获

7. 参见通用《操作规范》第 24-27 段。

储存前的干燥和清洁措施

8. 参见通用《操作规范》第 28-33 段。

干燥和清洁后的储存

9. 参见通用《操作规范》第 34-43 段。

储存后的运输

10. 参见通用《操作规范》第 44-46 段。

储存后的加工和清洁措施

11. 参见通用《操作规范》第 47-54 段。
12. 小麦和玉米的湿法碾磨能大幅降低供食用淀粉中的玉米赤霉烯酮含量。但玉米赤霉烯酮（ZEN）实际上已被转移至淀粉、明胶和甜味剂生产过程中产生的副产品中，这些副产品通常被用作动物饲料。

预防和减少谷物中伏马毒素污染

基于良好农业规范（GAP）和良好生产规范（GMP）提出的建议操作规范

1. 良好农业规范和良好生产规范包括在作物生长发育、收获、储存、运输和加工各环节为降低镰刀菌感染（主要为轮枝样镰刀菌和层生镰刀菌）和伏马毒素污染所采用的方法。

种植和轮作

2. 参见通用《操作规范》第 11 段。

播种（种植）前的翻耕和准备

3. 参见通用《操作规范》第 12-16 段。

收获前

4. 参见通用《操作规范》第 17-23 段。

收获

5. 参见通用《操作规范》第 24-27 段。
6. 应当谨慎规划玉米收获时间。经验显示，在较暖和月份生长和收获的玉米所含伏马毒素水平高于在较寒冷月份生长和收获的玉米。可采用镰刀菌感染风险预测模型来规划最佳收获时间。

储存前的干燥和清洁措施

7. 参见通用《操作规范》第 28-33 段。

干燥和清洁后的储存

8. 参见通用《操作规范》第 34-43 段。

储存后的运输

9. 参见通用《操作规范》第 44-46 段。

储存后的加工和清洁措施

10. 参见通用《操作规范》第 47-54 段。
11. 玉米加碱浸泡脱皮法是将玉米浸泡在氢氧化钙溶液中烹煮，以脱去外皮。这一过程可能会降低加工后玉米和用于制作玉米薄饼（tortilla）、包馅玉米面团卷（tamale）、玉米馅饼（pupusa）和其他玉米粉制品的玉米粉中的伏马毒素水平。
12. 挤压玉米可降低伏马毒素水平，但一部分毒素则会与食品基质中的蛋白质、糖或其他化合物结合在一起。

预防和减少谷物中赭曲霉毒素 A 污染

基于良好农业规范（GAP）和良好生产规范（GMP）提出的建议操作规范

1. 良好农业规范和良好生产规范包括在作物生长发育、收获、储存、运输和加工各环节为降低曲霉菌（主要为赭曲霉类和相关菌属、炭黑曲霉和黑曲霉）和青霉菌（主要为疣孢青霉）感染以及赭曲霉毒素 A（OTA）污染所采用的方法。

种植和轮作

2. 参见通用《操作规范》第 11 段。
3. 不要将谷物种植在靠近可可树、咖啡树或葡萄藤的地方，因为这些作物极易感染能产生赭曲霉毒素的真菌和受到赭曲霉毒素 A 的感染，成为土壤中接种物的来源。

播种（种植）前的翻耕和准备

4. 参见通用《操作规范》第 12-16 段。

收获前

5. 参见通用《操作规范》第 17-23 段。
6. 虽然赭曲霉毒素 A 与收获后储存谷物受到真菌感染有关，但霜冻、竞争性真菌的存在、降雨过量和干旱等则是影响所收获谷物中赭曲霉毒素 A 水平的收获前因素。作物在田间受涝也会导致赭曲霉毒素 A 在潮湿条件下生成。

收获

7. 参见通用《操作规范》第 24-27 段。

储存前的干燥和清洁措施

8. 参见通用《操作规范》第 28-33 段。
9. 赭曲霉毒素 A 会在谷物干燥不充分或储存条件不良的情况下产生。应根据当地环境和作物情况尽量在收获前让谷物干燥。如有必要在谷物的水活度降低至 0.70 前收获，则应通过干燥处理降低其水分含量，直至水活度低于 0.70（最好低于 0.65）。在温带气候地区，因干燥能力有限而有必要进行过渡性或临时储存时，通常应确保水分含量低于 15%，过渡储存时间少于 10 天，谷物温度低于 20°C。可依据谷物品种、颗粒大小、质量和外界气温等因素来确定过渡性或临时储存的合适条件。

干燥和清洁后的储存

10. 参见通用《操作规范》第 34-43 段。

储存后的运输

11. 参见通用《操作规范》第 44-46 段。

储存后的加工和清洁措施

12. 赭曲霉毒素 A 极为稳定，不会在初级加工（如碾磨成面粉）或深层加工（如烤成面包）过程中出现降解。该毒素在未加工谷物中广泛存在，因为该毒素通常会在极少数谷物颗粒（“热点”）中以高浓度的方式存在。随着谷物被加工，赭曲霉毒素 A 会在碾磨后的不同部分中重新分布，与未加工谷物相比，胚乳粉中含量减低，糠麸中含量升高。
13. 参见通用《操作规范》第 47-54 段。

预防和减少谷物中单端孢霉烯族污染

基于良好农业规范（GAP）和良好生产规范（GMP）提出的建议操作规范

1. 良好农业规范和良好生产规范包括在作物生长发育、收获、储存、运输和加工各环节为降低能产生单端孢霉烯族的镰刀菌属感染以及单端孢霉烯族污染所采用的方法。常见的单端孢霉烯族包括脱氧雪腐镰刀菌烯醇（DON）（主要由禾谷镰刀菌和禾秆镰孢菌产生）、T-2毒素和HT-2毒素（主要由拟枝孢镰刀菌和梨孢镰刀菌产生）、双乙酰基草镰刀菌醇（DAS）（主要由木贼镰刀菌、梨孢镰刀菌、锐顶镰刀菌产生）、以及雪腐镰刀菌烯醇（NIV）（由亚洲镰刀菌、梨孢镰刀菌、禾秆镰孢菌和禾谷镰刀菌产生）。

种植和轮作

2. 参见通用《操作规范》第11段。

播种（种植）前的翻耕和准备

3. 参见通用《操作规范》第12-16段。

收获前

4. 参见通用《操作规范》第17-23段。
5. 采用为监测小麦和其他小粒谷物感染镰刀菌风险而开发的预测模型，这可能有助于生产者决定是否有必要使用杀真菌剂和何时使用。在收获前有必要通过采样和标准微生物检测来监测作物种穗在扬花期是否受到镰刀菌感染。另外，应确定收获前采集的代表性样本中的真菌毒素含量。对于打算用作食物或动物饲料的作物，应根据谷物的感染率和真菌毒素含量来作出决定。

收获

6. 参见通用《操作规范》第24-27段。
7. 不要让成熟的谷物长期留在地里，尤其在寒冷、潮湿的天气，以避免生成T-2毒素和HT-2毒素。

储存前的干燥和清洁措施

8. 参见通用《操作规范》第28-33段。

干燥和清洁后的储存

9. 参见通用《操作规范》第34-43段。

储存后的运输

10. 参见通用《操作规范》第44-46段。

储存后的加工和清洁措施

11. 参见通用《操作规范》第47-54段。
12. 挤压谷物可降低加工产品中的单端孢霉烯族水平，尤其是脱氧雪腐镰刀菌烯醇（DON）。
13. 谷物加工过程中分离出的用作食品的外壳和种衣（糠麸层）可能有极高的脱氧雪腐镰刀菌烯醇含量，必须在加工成消费品之前检测该毒素的含量。

预防和减少谷物中黄曲霉毒素污染

基于良好农业规范（GAP）和良好生产规范（GMP）提出的建议操作规范

1. 良好农业规范和良好生产规范包括在作物生长发育、收获、储存、运输和加工各环节为降低能产生黄曲霉毒素的真菌感染（主要为黄曲霉、寄生曲霉和集峰曲霉）以及黄曲霉毒素生成所采用的方法。

种植和轮作

2. 参见通用《操作规范》第 11 段。
3. 如市面有售且具备成本效益，农技站人员应帮助农民购买不会产生黄曲霉毒素的黄曲霉和寄生曲霉，并按照厂家说明将其释放到农业生产环境中，借此抑制会产生黄曲霉毒素的真菌的自然发生。可采用生物方法，如其他生物杀真菌剂和生物农药。

播种（种植）前的翻耕和准备

4. 参见通用《操作规范》第 12-16 段。

收获前

5. 参见通用《操作规范》第 17-23 段。
6. 可采用生物方法控制黄曲霉毒素，但所采用的产品需经主管当局批准，安全可靠，并在防控目标产毒真菌方面具有良好的成本效益。

收获

7. 参见通用《操作规范》第 24-27 段。

储存前的干燥和清洁措施

8. 参见通用《操作规范》第 28-33 段。
9. 玉米收获前，可能因为受虫害、鸟类及其他动物损伤、干旱或冰雹造成的损伤、或以上各项因素的共同作用导致产毒真菌生长而出现黄曲霉毒素。黄曲霉毒素很少出现在小粒谷物上，但可能出现在高粱中和储存不当的情况下。应根据当地环境和作物情况尽量在收获前使谷物保持干燥。如有必要，在谷物的水活度降低至 0.70 前收获，应通过干燥处理降低其水分含量，确保在收获后立即或尽快使水活度低于 0.70（最好低于 0.65）。在温带气候地区，因干燥能力有限而有必要进行过渡性或临时储存时，通常应确保水分含量低于 15%，过渡性储存时间少于 10 天，谷物温度低于 20°C。可依据谷物品种、颗粒大小、质量和外界气温等因素来确定过渡性或临时储存的合适条件。

干燥和清洁后的储存

10. 参见通用《操作规范》第 34-43 段。
11. 为防止谷物在储存过程中产生黄曲霉毒素，应尽量缩短收获于储存和运输前适当干燥处理之间的间隔时间，并将水分含量控制在安全水平（<0.70）。

储存后的运输

12. 参见通用《操作规范》第 44-46 段。

储存后的加工和清洁措施

13. 参见通用《操作规范》第 47-54 段。
14. 玉米加碱浸泡脱皮法是将玉米浸泡在氢氧化钙溶液中烹煮，以脱去外皮。这一过程可能会降低加工后玉米和用于制作玉米薄饼（tortilla）、包馅玉米面团卷（tamale）、玉米馅饼（pupusa）和其他玉米粉制品的玉米粉中的黄曲霉毒素水平。

预防和减少谷物中麦角和麦角生物碱类污染

基于良好农业规范（GAP）和良好生产规范（GMP）提出的建议操作规范

1. 本文建议的操作规范原则上适用于所有谷物，但特别适用于最容易受到麦角菌核污染的作物，如黑麦、小黑麦、高粱和珍珠粟。在一些国家，小麦中麦角菌核的流行率增加也可能是一个新出现的问题。
2. 良好农业规范包括在作物生长发育、收获、储存、运输和加工各环节为减少谷物麦角菌（主要为黑麦角菌）感染和麦角生物碱（与麦角中毒有关）污染所采用的方法。本附件仅涉及对麦角菌属的控制。

种植和轮作

3. 参见通用《操作规范》第 11 段。

播种（种植）前的翻耕和准备

4. 参见通用《操作规范》第 12-16 段。
5. 作物的早期和同时扬花是抵抗麦角菌感染的最佳方法。以下建议有助于预防谷物的麦角菌感染：
 - (a) 确保使用不含麦角的播种材料和良好的种植环境，确保最佳植物种群、肥料和植物生长调节剂的最佳应用以及良好的排水。
 - (b) 确保对田地内的杂草（尤其是作为麦角菌寄主的杂草）进行良好控制。应特别注意田地岬角上的杂草种群。可以使用培养和化学方法。应继续控制禾本科杂草，特别是在已知田间发生麦角污染时。
 - (c) 可以考虑为农用车辆设置足够宽的重复使用车道，以避免增加感染风险的新芽。
6. 如果先前的谷类作物感染了麦角病（或有大量的禾本科杂草感染了麦角病）：
 - (a) 后续谷类作物的栽培应采用倒耕方法。
 - (b) 然后不应在种植随后的谷类作物时进行翻耕，因为这可能会使菌核返回到地表。
 - (c) 在使用最少栽培方法时，种子深度应至少为 5 厘米（0.16 英尺）。
 - (d) 也可以安排该田地次年不种植谷物。
 - (e) 在通常采用低耕和零耕轮作的情况下，其他缓解措施更为重要（收获前阶段的措施、干燥和清洁）。

收获前

7. 参见通用《操作规范》第 17-23 段。
8. 可以考虑仅仅收获一部分作物。对麦角高发的田地/地块，可单独脱粒，同时保证人畜安全。与田间较深的区域（距田地边缘至少 30 米）相比，在田地边缘（超过 1 米）可以发现大部分菌核。对田地边界（3 至 4 米区域）进行单独收获可以显著减少所收获谷物中的麦角菌核。

收获

9. 参见通用《操作规范》第 24-27 段。
10. 应尽可能使用气流清洁方法，以去除谷物中的麦角菌核和粉尘。

储存前的干燥和清洁措施

11. 参见通用《操作规范》第 28-33 段。
12. 收获的谷物中存在的菌核具有比收获的谷物更柔软的结构。
 - (a) 因此，来自菌核的任何粘性物质都可能粘附在谷物表面。此外，破碎很容易发生，细微的麦角粉尘可能会沉积在谷物表面。因此，重要的是在可行情况下尽快从谷物中去除麦角菌核。

(b) 此外，在食品加工链的每个阶段尽可能多地消除麦角菌核和粉尘颗粒非常重要，以防转移到下一个加工阶段。

干燥和清洁后的储存

13. 参见通用《操作规范》第 34-43 段。

储存后的运输

14. 参见通用《操作规范》第 44-46 段。

储存后的加工和清洁措施

15. 参见通用《操作规范》第 47-54 段。
16. 应考虑基于麦角菌核颜色与谷物颜色之间的明显区别进行颜色分选，因为这是去除菌核的有效方法。也可以使用建议的其他分离方法，例如称重选择器、重力表或窝眼式选粮筒（trieurs）。
17. 在使用上述分离技术之后，应考虑采用有助于谷物清洁的其他程序（擦、刷、去皮和擦洗），以去除表面的麦角粉尘。
18. 为防止碾磨的面粉中积聚麦角粉尘，可酌情更换磨粉机粉碎器部位的面粉过滤器。
19. 所有废料都应以防止重新进入食品或饲料供应链的方式进行处置。