

小麦穗萌动发生程度与产量损失的关联性分析及防控对策

艾雅娜^{1,2,3} 王健^{1,2,3} 徐芷怡^{1,2,3}

1 陕西农业发展集团有限公司

2 陕西地建土地工程技术研究院有限责任公司

3 自然资源部退化及未利用土地整治工程重点实验室

DOI:10.32629/as.v9i5.3951

[摘要] 小麦穗萌动是小麦收获前籽粒在穗上提前萌发的生理现象,受遗传、环境等多因素共同影响,是制约小麦安全生产的重要灾害之一。本文系统综述了小麦穗萌动的发生机制、分级标准,重点分析其发生程度与产量损失、品质劣变的量化关联,整合遗传育种、栽培管理、化学调控及应急减灾等方面的防控对策,为小麦减损保产、保障粮食安全提供理论支撑与实践参考。

[关键词] 小麦; 穗萌动; 产量损失; 关联性; 防控对策

中图分类号: S512.1 文献标识码: A

Analysis of the Correlation between the Degree of Wheat Spike Germination and Yield Loss and Control Countermeasures

Ya'na Ai^{1,2,3} Jian Wang^{1,2,3} Zhiyi Xu^{1,2,3}

1 Shaanxi Agricultural Development Group Co., Ltd.

2 Institute of Land Engineering and Technology, Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co., Ltd.

3 Key Laboratory of Degraded and Unused Land Consolidation Engineering, Ministry of Natural Resources

[Abstract] Wheat spike germination is a physiological phenomenon where grains germinate prematurely on the spike before harvest, influenced by multiple factors such as genetics and environment. It is one of the significant disasters restricting the safe production of wheat. This paper systematically reviews the occurrence mechanism and classification standards of wheat spike germination, focuses on analyzing the quantitative correlation between its occurrence degree and yield loss as well as quality deterioration, and integrates control countermeasures from aspects such as genetic breeding, cultivation management, chemical regulation, and emergency disaster reduction, providing theoretical support and practical references for reducing losses and ensuring wheat production and food security.

[Key words] Wheat; Spike germination; Yield loss; Correlation; Control countermeasures

1 引言

小麦是全球主要粮食作物,也是我国保障粮食安全的核心作物,其产量与品质直接关系到粮食供给与产业效益。近年来,受全球气候变化影响,小麦成熟期连阴雨、高湿天气频发,穗萌动问题日益突出,在长江中下游、西南、黄淮等小麦主产区尤为严重^[1]。小麦穗萌动是籽粒成熟前吸水后胚部启动萌发的生理过程,与穗发芽为连续阶段,萌动作为发芽前兆,即使轻度萌动也会导致籽粒养分消耗、品质下降,严重时造成大幅产量损失,威胁小麦生产安全。明确小麦穗萌动发生程度与产量损失的关联性,建立科学有效的防控体系,对降低灾害损失、提升小麦生产效益具有重要意义。本文围绕穗萌动发生机制、分级标准、产量损失关联及防控对策展开综述,为相关研究与生产实践提供参考。

2 小麦穗萌动的发生机制与分级标准

2.1 发生机制

内因方面,种子休眠性是影响穗萌动的核心遗传因子。不同小麦品种休眠期差异显著,野生小麦休眠性较强,而现代栽培小麦经驯化后休眠性普遍减弱,白皮小麦种皮较薄、抑制物质含量低,休眠期短,较红皮小麦更易发生穗萌动;红皮小麦种皮厚、含色素及抑制物质多,休眠期较长,穗萌动抗性更强。激素平衡对穗萌动起关键调控作用,脱落酸(ABA)作为萌发抑制剂,赤霉素(GA)作为萌发促进剂,二者比值决定籽粒休眠与萌动状态,穗萌动启动时,ABA降解加快、GA合成增加,激活 α -淀粉酶活性,启动籽粒萌发进程^[2]。此外,籽粒性状也影响穗萌动抗性,颖壳紧密、穗型紧凑、蜡质层厚的品种,可减少籽粒吸水,降低萌动风险。

外因方面,湿度是穗萌动发生的临界条件,小麦成熟期间田间相对湿度>85%、籽粒含水量≥25%时,籽粒易吸水启动萌动;温度为萌动提供适宜条件,15-25℃是穗萌动的最适温度,高湿与适温叠加会显著加速萌动发生。同时,收获延迟会增加穗萌动风险,小麦成熟后5-7天内未及时收割,穗萌动发生率会呈指数级上升。

2.2 分级标准

结合生产实践与研究成果,目前常用的小麦穗萌动分级标准主要依据萌动特征、发生率及内部生理变化,分为5个等级,明确区分不同萌动程度,为产量损失关联分析与防控提供依据,具体分级如下:

0级(无萌动):籽粒饱满、种皮完整,无胚部膨大现象,萌动发生率为0,籽粒酶活正常,无产量与品质损失;1级(轻度萌动):胚部微隆、种皮轻微开裂,萌动发生率5%-15%, α -淀粉酶活性轻度上升,对产量与品质影响较小;2级(中度萌动):胚部明显膨大、种皮裂口明显,萌动发生率15%-30%,淀粉与蛋白质开始水解,产量与品质显著下降;3级(重度萌动):胚根突破种皮但未伸出颖壳,萌动发生率30%-50%,籽粒储藏物质大量消耗,千粒重显著降低;4级(严重萌动):胚芽或胚根伸出颖壳,部分籽粒发霉,萌动发生率>50%,籽粒干瘪、易落粒,基本失去商品价值。

3 穗萌动发生程度与产量损失的关联性分析

3.1 直接产量损失

千粒重降低是穗萌动导致的主要直接产量损失,籽粒萌动过程中,胚乳中的淀粉、蛋白质等储藏物质被大量消耗,导致籽粒干瘪、重量下降。轻度萌动(1级)时,千粒重下降3%-8%,产量损失3%-10%;中度萌动(2级)时,千粒重下降10%-20%,产量损失10%-25%;重度萌动(3级)时,千粒重下降25%-40%,产量损失25%-40%;严重萌动(4级)时,千粒重下降40%以上,产量损失达40%-60%,部分籽粒因发霉、落粒导致整穗报废,损失进一步叠加。

3.2 品质劣变与间接经济损失

穗萌动不仅导致直接产量损失,还会引发籽粒品质劣变,降低商品价值与利用价值,造成间接经济损失^[3]。萌动过程中, α -淀粉酶、蛋白酶活性升高,淀粉被水解为还原糖,蛋白质降解,导致小麦加工品质下降,面筋强度减弱、沉降值降低,面包、面条等制品口感变差^[4]。轻度萌动时,小麦品质略降,仍可作为食用粮,但商品价格下降10%-20%;中度萌动时,加工品质显著下降,只能作为饲料或配粉使用,价格下降30%-50%;重度及以上萌动时,籽粒易发霉,可能产生毒素,基本失去食用价值,仅能作为工业原料或废弃处理,经济损失惨重。

此外,穗萌动会导致小麦种用价值丧失,轻度萌动时种子发芽率略有下降,重度萌动时发芽率降至50%以下,种子活力差,无法作为种用,进一步增加种植成本^[5]。

3.3 关联性特点

小麦穗萌动发生程度与产量损失的关联性具有明显特点:一

是非线性递增,萌动发生率<15%(轻度萌动)时,产量损失缓慢上升;萌动发生率>30%(重度萌动)时,产量损失急剧增加,呈现“轻度可控、重度失控”的态势。二是累积效应,连阴雨天数每增加1天,穗萌动发生率上升8%-12%,产量损失增加5%-8%,高湿环境持续时间越长,损失越严重。三是品种差异显著,易感品种的产量损失是抗性品种的2-3倍,同一萌动等级下,白皮小麦损失高于红皮小麦,休眠性弱的品种损失高于休眠性强的品种。

4 小麦穗萌动综合防控对策

4.1 遗传育种防控

选用抗穗萌动品种是防控穗萌动最经济有效的治本措施。生产中应优先选用红皮、休眠期长(≥7天)、穗型紧凑、颖壳厚的抗萌动品种,如黄淮麦区的济麦22、鲁原502(中抗),长江中下游麦区的扬麦系列、镇麦系列(抗萌性较强)^[6-7]。同时,加强分子育种研究,利用Vp1、MFT、PM19等抗穗萌动基因,通过标记辅助选择、CRISPR/Cas9基因编辑等技术,培育无休眠缺陷、抗萌性强且产量品质优良的小麦新品种,从遗传层面提升小麦抗穗萌动能力^[8-9]。

4.2 栽培管理防控

科学的栽培管理可有效降低穗萌动发生风险,减少产量损失。一是适期播种,根据不同麦区气候特点,合理安排播种时间,使小麦成熟期避开雨季,如长江中下游麦区适宜播种期为10月25日-11月5日,黄淮麦区为10月10-20日,易涝区可选用早熟品种,缩短籽粒成熟期高湿暴露时间。二是科学水肥管理,控制氮肥用量,拔节期尿素施用量不超过15kg/亩,避免小麦贪青晚熟;增施磷钾肥,提升籽粒饱满度与种皮厚度,增强抗萌性;小麦乳熟期后停止灌溉,降低田间湿度^[10]。三是降渍防涝,健全田间“三沟配套”(畦沟、腰沟、围沟),雨后12小时内排干田间积水,采用高垄栽培,降低穗部与根系周围湿度,减少籽粒吸水机会。四是防倒伏,小麦拔节期喷施多效唑、烯效唑等调节剂,控旺壮秆,防止倒伏,因倒伏后田间通风透光性差、湿度升高,会使穗萌动风险增加3-5倍。

4.3 化学调控防控

小麦乳熟末期至蜡熟初期,若预报有连续阴雨天气,可喷施穗萌抑制剂进行应急防控,抑制籽粒萌动。常用抑制剂包括多效唑、烯效唑、脱落酸(ABA)、穗萌净等,其中多效唑使用浓度为100-150mg/L,每亩喷施30-40kg,可有效抑制穗萌动发生率60%-80%。使用时需严格控制药剂浓度与喷施时期,喷施过早会抑制籽粒灌浆,影响千粒重;喷施过晚则无法发挥抑制效果,同时避免药剂残留影响小麦品质。

4.4 收获与产后减灾

及时收获与科学产后处理是减少穗萌动损失的最后防线。小麦成熟度达85%-90%时,应立即抢晴收割,密切关注气象预报,在雨前完成收割,避免收获延迟导致穗萌动加剧。收获后,若籽粒含水量>13%,需立即采用机械烘干(烘干温度≤40℃),防止籽粒继续萌动与发霉。

5 结论与展望

小麦穗萌动是遗传因素与环境因素共同作用引发的灾害,其发生程度与产量损失呈显著正相关、非线性递增,轻度萌动损失可控,中度以上萌动会导致产量与品质急剧下降,严重威胁小麦生产安全。防控小麦穗萌动需构建全链条综合体系,以抗萌动品种为基础,强化栽培管理关键措施,结合化学调控应急防控,完善收获与产后减灾措施,实现减损保产。

未来,应加强小麦抗穗萌动相关研究,建立标准化的萌动诱导与分级体系,提升抗萌品种筛选效率;利用基因编辑等现代生物技术,精准改良小麦抗萌性,培育兼具抗萌性、高产性与优质性的新品种;开发生物源穗萌抑制剂,减少化学药剂使用,实现绿色防控;推广田间小型烘干设备,完善产后减损体系,进一步提升小麦抗穗萌动能力,保障粮食安全与产业效益。

[基金项目]

陕西农业发展集团内部项目(NFJC2025-32)。

[参考文献]

- [1]王琴,刘泽厚,万洪深.川麦42和川农16抗穗发芽QTL定位及聚合效应分析[J].中国农业科学,2020,53(17):3421-3431.
- [2]张雪,杨洪坤,郑亭,等.外源ABA对两粒色小麦品种穗发芽及品质的影响[J].中国农业科学,2020,53(23):4750-4763.

[3]梁王壮,唐雅楠,刘佳荟,等.小麦发芽对面粉质量与加工产品品质的影响[J].中国农业科学,2024,57(7):1267-1280.

[4]杜世超,薛盈文,郭伟,等.穗发芽类型和混合比例对春小麦加工品质的影响[J].黑龙江农业科学,2021(5):64-69.

[5]徐风,肖文言,姚大年.两淮麦区小麦品种穗发芽敏感性研究[J].种子,1994,13(4):1-6.

[6]董慧雪,陈倩,郭晓江,等.小麦穗发芽抗性机制及抗性育种研究[J].中国农业科学,2024,57(7):1237-1254.

[7]张海萍,常成,司红起,等.小麦抗穗发芽分子标记开发及育种应用[J].科技导报,2016,34(22):81-86.

[8]董静,秦丹丹,许甫超,等.小麦穗发芽抗性的分子机制和育种研究进展[J].湖北农业科学,2015,54(22):5509-5514.

[9]周勇,李净琼,李嘉,等.白皮小麦抗穗发芽资源评价及抗性候选位点关联分析[J].麦类作物学报,2018,38(6):674-685.

[10]高前进,朱展望.小麦抗穗发芽优异资源鉴定及抗性与农艺性状关联分析[J].植物遗传资源学报,2026,27(3):478-490.

作者简介:

艾雅娜(1997--),女,汉族,陕西西安人,研究生,经济师,主要研究方向为食品科学与工程。