

海南南繁杂交水稻种子卧式静态烘干技术的应用与发展

张 帅¹ 张维亮^{1,2} 汤曼卓³ 孔得群¹

(¹ 湖南亚华种业有限公司,长沙 410125;² 湖南省永州市农业科学研究所,永州 425101;³ 华智生物技术有限公司,长沙 410125)

摘 要:海南作为我国杂交水稻种子冬春季生产的理想基地,收获期恰逢高温高湿雨季,传统晾晒方式易导致种子堆沤、霉变乃至活力丧失,严重制约种子质量与供应时效。为应对这一产业关键问题,推广种子烘干技术至关重要。通过阐述机械烘干对保障南繁杂交水稻种子质量的重要性,重点介绍了当前主流机型(以卧式静态烘干机为主)的工作原理与技术参数,对比分析其技术优势及占用场地大、自动化程度低等问题,并提出相应解决方案。最后结合产业现状,展望了向智能化控制、精细化作业及烘干—精选加工一体化方向发展的趋势,可为海南杂交水稻种子安全高效干燥技术的应用与推广提供参考。

关键词:杂交水稻种子;机械烘干;卧式静态烘干机;海南南繁;种子质量

Application and Development of Horizontal Static Drying Technology for Hainan Southern Propagation Hybrid Rice Seeds

ZHANG Shuai¹, ZHANG Weiliang^{1,2}, TANG Manzhuo³, KONG Dequn¹

(¹Hunan Yahua Seed Industry Co., Ltd., Changsha 410125; ²Yongzhou Institute of Agricultural Sciences, Yongzhou 425101, Hunan; ³Huazhi Biotechnology Co., Ltd., Changsha 410125)

海南省属于热带季风气候,全年无冬,年平均气温在 22~27℃ 之间。雨旱季分明,雨季普遍年份是 5–10 月,降水充沛,常有暴雨,这期间的降水占全年的 80% 以上;旱季普遍年份是 11 月至翌年 4 月,降水明显减少,天气晴朗干燥,这期间降水不足全年的 20%。海南具备得天独厚的杂交水稻制种环境优势^[1]。海南水稻全生育期多为 120d 左右,可以种植三季,三亚、乐东、东方等西南区域更是冬春季杂交水稻制种的理想基地,常年制种面积在 7000hm² 左右,占到总制种面积的 80% 以上,昌江、陵水、临高、屯昌等区域也辐射形成一定规模的制种面积。海南生产的杂交水稻种子具有外观色泽好、发芽率

高、当年能使用等突出优势,年总产量占全国市场的 8% 以上^[2]。但用于内地当年晚稻生产的种子从收获至大田播种时间约 15d,需经过干燥、精选、包装、运输、销售运营等环节,具有很强的时效性。在时间紧迫、高温高湿的条件下,快速安全降低种子水分是确保种子质量、紧缩供种时间的重要环节。2015 年以前,海南水稻种子基本上都是人工晾晒干燥,此后逐渐推广机械烘干技术,初期机型为塔式循环烘干机,这一时期机械烘干种子量占比不足 10%。2018 年起种业企业开始示范试点应用卧式静态烘干机,由于此机型价格不高、安装操作简便、烘干质量可靠而得到快速推广,至 2022 年,约 90% 的杂交水稻种子采用卧式静态烘干机干燥,到 2024 年,卧式静态烘干机基本能满足南繁杂交水稻种子干燥任务。

基金项目:湖南省重点研发计划项目(2024AQ2034)

通信作者:汤曼卓

1 南繁杂交水稻种子机械烘干的重要性

1.1 确保种子质量

杂交水稻种子具有易发生裂颖、穗上萌芽、杂质含量高和灰质化等特点^[3],种子灰质化会导致种子发芽率和活力降低,严重的将失去种用价值^[4]。海南冬春季制种,种子成熟期主要在4月下旬至6月上旬,这一时间段降雨增多,温度升高,形成了高温高湿的气候环境。种子收割脱粒后不及时摊开晾晒或烘干,易出现湿种堆沤、种温升高,极易发生灰质化,导致发芽率与活力降低^[5-6]。只有快速安全降低种子水分,才能确保种子播种质量。

1.2 提高生产效率

在海南人工晾晒杂交水稻种子,正常天气下一批种子从田间收割到晾晒至水分合格需要3d,如果遭遇降雨,时间会更长,且常出现种子堆沤,影响种子质量。种子晾晒多占用乡村公路,严重影响交通安全。随着海南自由贸易政策的不断推进,农村劳动力大多向二、三产业转移,从事杂交水稻制种生产的劳动力数量和年龄结构发生变化,制种劳动力短缺^[7],制种用工成本大幅增加,种子晾晒干燥的办法已很难适应新的生产节奏要求,必将制约杂交水稻南繁持续发展。所以推行高效率低成本的机械烘干技术势在必行。

2 海南杂交水稻种子主要烘干设备类型与技术分析

2.1 主要机型概述

海南杂交水稻烘干机械目前主要采用低温谷物烘干机,包括卧式静态烘干机和塔式循环烘干机两种,卧式静态烘干机投资成本较低,烘干时种子处于静置状态,可以保障种子的质量安全;塔式循环烘干机分烘干层和缓苏层,烘干层两侧为进出风道,通过提升机使种子反复进行循环流动,当种子经过烘干层时,热风由热风道横向穿过谷物层并带走水分进行干燥^[8]。海南杂交水稻种子生产模式主要是“种业企业+代制商(生产者)”二级制种产业组织模式,即种业企业委托计划,代制商承揽制种,按照合同约定的数量与质量要求完成种子生产。由于代制商个人经济、技术实力各异,所承担的制种规模也各不相同,少则10余hm²,多则300余hm²。由

于生产计划每季由种业企业确定,对代制商来说存在很大的不确定性,因此代制商在选择烘干设备上,不愿进行过多投入,经过多年探索和发展,海南杂交水稻制种基地逐渐形成了以时间效率更高、种子破损率更低的卧式静态烘干机为主、塔式循环烘干机为辅的烘干模式。

2.2 主流机型卧式静态烘干机介绍

2.2.1 工作原理 进料阶段 种子通过人工或进料装置进入烘干机箱体内,均匀堆积在烘干床上,形成静态料层,料层厚度可通过人工或调节机构控制。箱体上方敞开,便于散发热气并带走水分。热风干燥 热风炉或热泵产生的恒温热风,经风道系统均匀进入卧式箱体底部的布风装置,热风垂直向上穿透静态种子料层,与潮湿种子充分接触。热风吸收种子中的水分,降低种子含水量,提升自身温度变为湿热空气,由箱体顶部快速排出。温度控制 通过温度传感器实时监测箱体内热风及种子温度,联动控制系统调节热风炉输出功率,确保干燥温度稳定在种子安全范围内。出料阶段 种子水分干燥达标后,箱体底部的卸料装置启动(或人工卸料),将干燥种子匀速排出,完成种子干燥流程。

2.2.2 技术参数与成本 据调查,目前海南南繁主流卧式静态烘干机额定功率3.75~6.43kW,烘干热源有柴油、生物质颗粒和空气能热泵,烘干批次满载重量3.5~5.0t;种子烘干成本根据燃料类型有所不同,燃料为柴油约0.25元/kg,生物质颗粒约0.15元/kg,空气能热泵约0.10元/kg。满载设定最高出风温度43~50℃,满载烘干时间26~30h。受种子原始水分高低、数量多少和不同设备品牌影响,时间会略有不同。种子在收割运输期间会产生一定温度,要求湿种不能堆放过长的时间^[6],种子入箱体后需吹自然冷风,约2h后种子散出积累的热量后才开启热风烘干。前期温度控制在40℃以下,待种子水分降至18%时,热风温度可调升至45℃,直至种子水分降至12%以下。

2.2.3 主要优点 一是烘干效率高,一般收割当天中午进仓,满仓种子第2天下午或傍晚即可烘干至水分到12%以下,耗时少,脱水速率0.8%~1.0%,这完美契合了种业公司和生产商快速烘干的需求;二是能保障种子质量,烘干热风风向一致、种子厚度均匀,

大大降低了种子的裂纹率;没有机械提升和绞轮作用,不会造成种子破损,烘干出来的种子与自然晾晒的种子发芽率和活力没有区别^[9];三是操作简单,按要求设定好参数后,只需调控温度,确保燃料供应即可;便于清扫种子箱体,防止机械混杂;四是场地集中不占用公共场所,与人工晾晒比较,卧式静态烘干机在烘干厂区进行,不会占用公路、晒场等公共场地,减轻污染和交通压力。

3 卧式静态烘干机存在的问题及解决办法

3.1 存在的问题

一是卧式静态烘干机箱体位置固定,种子层厚度一般不超过 60cm,烘干占用场地面积较塔式循环烘干机大大增加。二是种子进出箱体多为人工操作,自动化程度不高,人工成本较大,通常进出一炉需 5~7 人同时工作 1~2h,人工成本达 0.2 元/kg,而且进炉出炉时正值高温高湿时期,工人不愿在此环境下工作而出现劳动力短缺现象。三是卧式静态烘干机热风是一次性通过种子,热能无法循环利用,能耗相对较高。四是卧式烘干时种子静止堆放,如果堆得太厚,种子原始水分较高,可能出现种子在箱体内堆沤发热,灰质化种子比例增大,甚至出现发芽的情况,严重影响种子质量。卧式静态烘干机烘干的底层种子水分低,表层水分高,烘干结束后底层水分与表层水分相差约 1 个百分点,由于后期在精选翻混环节中种子得到充分的混匀,种子的水分可进一步交换均衡,不会影响种子质量。

3.2 解决办法

(1)采用可拆式箱体。卧式静态烘干机采用可拆卸的烘干箱,能提高厂房的利用率。每年种子烘干只有收割季节,集中时间约 1 个月,在烘干结束后,把烘干机箱体拆卸,腾出空间用作其他加工储存等用途。(2)改进种子装卸机构。设计安装自动化程度较高的装卸机构,可有效解决劳动力成本高和请工难的问题,但设备的投入成本也略有增加。(3)控制收割时种子水分。种子收割时控制水分不超过 35%,尽量安排在晴天,待露水干后收割,水分可控制在 26% 左右,种子烘干速度更快,质量更安全。(4)压缩种子收割到烘干之间的时间。种子收割后及时送到烘干厂烘干,收割完成至启动冷风处

理的时间不宜超过 2h^[10]。

4 海南南繁杂交水稻种子烘干发展趋势

4.1 海南杂交水稻种子机械烘干的现状

作为我国杂交水稻制种的“硅谷”,海南杂交水稻种子机械烘干已初具规模,更在新质生产力的引领下展现出清晰的升级路径。当前,制种基地已全域普及卧式静态烘干机,仅东方感城镇、乐东利国镇等核心区域乡镇级保有量就超 150 台,海南全域运行设备达 800 台以上,单次烘干能力 3500t,已有约半数烘干厂配备叉车、皮带输送机等配套设施,可基本满足冬春制杂交水稻种子烘干的需求,为种子烘干安全筑起了硬件根基。

4.2 用新质生产力破解难题

现有海南杂交水稻种子加工体系仍存在专业化不足、运行成本偏高、加工流程不全等问题,烘干过程多为人工管控,部分烘干厂因管理疏漏出现品种混烘等质量事故,凸显专业人才不足与标准化管理缺失的问题,需通过数字化监控与技能培训筑牢质量防线。烘干机价格虽有较大幅度的下降,但借助技术优化升级,通过人工智能技术的赋能适当增加技术投入,可更好地提高种子加工效率和质量控制能力,降低种子加工的运行成本。

4.3 种子烘干与精选加工配套融合

目前杂交水稻机械化制种技术发展迅速,水稻印刷粘种机、插秧机、农防和授粉无人机、收割机、谷物烘干机等设备在杂交水稻全程机械化制种中逐步推广应用^[11],种子精选、光选、计量、包装全程自动化生产线等种子生产加工配套机械在种业企业得到推广普及。在生产基地种子烘干与精选加工的一体化融合是未来方向。当前的种子生产模式导致种子烘干后直接外运至种业企业的加工中心精选加工,种子中的秕谷杂质一同运输,增加了物流成本。在未来,生产商和种业企业单方或多方合作可增加种子精选计重包装设备,实现种子收获后烘干、精选、打包计重自动化流水作业,既能提高加工效率,更能按照合同要求把控种子质量,全方位降低生产运行成本。

5 结论

海南具备得天独厚的杂交水稻制种气候与区位优势,但其冬春季制种收晒期高温高湿、劳动力短缺,

人工晾晒易导致种子灰质化,使发芽率下降,工作效率降低,推行机械烘干技术势在必行。卧式静态烘干机凭借投资成本低、操作简便、烘干质量可靠等优势,已取代塔式循环烘干机成为海南主流机型,其低温静态烘干模式契合杂交水稻种子易裂颖、怕堆沤的特性,当前全域设备保有量超 800 台,可满足核心产区烘干需求。针对其场地占用大、自动化不足等问题,可通过采用可拆式箱体、改进装卸机构、严控收割水分及缩短收烘间隔等措施优化。在未来,以新质生产力为引领,通过数字化监控、人工智能赋能提升烘干智能化水平,破解专业人才不足与标准化缺失难题;推动种子烘干与精选、包装等加工环节配套融合,构建收获后一体化自动化流水作业体系,降低物流与运行成本。持续完善机械化烘干布局,强化设备配套与技术升级,助力海南南繁杂交水稻产业高质量、可持续发展,巩固我国杂交水稻制种“硅谷”地位。

参考文献

[1] 王春乙. 海南气候. 北京:气象出版社,2014

(上接第 60 页)

表 2 基因分型试验测试结果

样品批次号	样品总数	通过样品数	失败样品数	失败率 (%)	不可用数据比例 (%)
L-Mat-58	92	92	0	0	1.00
L-Mat-59	92	92	0	0	0.36
L-Mat-60	92	92	0	0	0.27
L-Mat-61	92	92	0	0	0.27
L-Mat-49	92	91	1	1.09	0.82
L-Mat-50	92	92	0	0	0.18
L-Mat-51	92	91	1	1.09	0.64
L-Mat-52	92	92	0	0	0.91
L-Mat-53	92	90	2	2.17	0.56
L-Mat-54	92	91	1	1.09	0.18
L-Mat-55	92	91	1	1.09	0.27
L-Mat-56	92	92	0	0	0.27
L-Mat-57	92	89	3	3.26	0.37
L-Mat-11	92	91	1	1.09	0.37
L-Mat-15	92	89	3	3.26	0.47

失败样品数按照该样品在超过 2 个标记上不可用数据比例 >3% 统计

[2] 巫玉平. 海南省杂交水稻制种产业现状及发展前景. 种子世界, 2013 (12):3-4

[3] 汤曼卓. 杂交水稻种子成套加工工艺. 中国种业, 2023 (12):102-105

[4] 张浩, 汤健良, 匡新华, 陈勇, 鲁春霞, 刘社发, 蒋良辉, 张维亮, 袁辉, 胡一鸿. 杂交水稻隆两优华占“灰质化”种子发芽习性初探. 杂交水稻, 2020, 35 (6):88-93

[5] 袁源, 张浩, 匡新华, 张维亮, 蒋良辉, 金晨钟, 陈勇, 汤健良, 胡一鸿. 湿种堆沤对杂交水稻种子“灰质化”及贮藏温度对不同程度“灰质化”种子的活力影响. 杂交水稻, 2022, 37 (3):95-98

[6] 吕晓琴, 陈小敏, 潘志华, 吕润. 海南岛春季两系杂交水稻安全制种时空分布研究. 热带生物学报(中英文), 2025, 16 (4):519-527

[7] 刘爱民, 肖层林, 廖伏明. 杂交水稻制种产业回顾及持续发展对策. 杂交水稻, 2023, 38 (3):154-158

[8] 刘爱民, 刘俊龙, 张海清, 李步勋, 朱彦, 张青, 蒋珊瑚, 贺记外. 杂交水稻种子机械干燥技术. 杂交水稻, 2020, 35 (4):34-36, 66

[9] 刘俊龙, 刘爱民, 张海清, 张青, 庞嘉, 曹衍, 董帅厅, 夏继印. 杂交水稻种子机械烘干特性初步研究. 杂交水稻, 2018, 33 (2):31-35

[10] 汤健良. 杂交水稻种子企业质控标准及质量保障措施. 中国种业, 2021 (6):20-23

[11] 刘爱民, 唐文帮. 杂交水稻种子生产加工机械化技术的进步与发展. 中国稻米 2025, 31 (4):71-78

(收稿日期:2025-12-08)

6 小结

基于协作机器人的自动化种子浸泡系统显著提高了植物基因分型样品制备的效率和可靠性。该自动化种子浸泡系统的灵活性和智能化程度较高,是自动化工程、机器人工程与生物育种等学科交叉应用的一次实践,有助于实现更高效、更精准的样品制备过程。该系统为大规模植物基因分型实验提供了有力的技术支持,有望推动植物育种的快速发展。

参考文献

[1] 霍淑珍,何志超. 协作机器人在智能制造中的应用. 机床与液压, 2021, 49 (9):62-66

[2] 俞庆华. 2019 年协作机器人行业发展蓝皮书发布. 汽车零部件, 2019 (10):92

[3] 王迈新. 协作型机械臂动态避障运动规划研究. 西安:西安工业大学, 2024

[4] 黄海丰, 刘培森, 李擎, 于欣波. 协作机器人智能控制与人机交互研究综述. 工程科学学报, 2022, 44 (4):780-791

[5] 王小月. 不是黑科技 不是噱头 机器人时代真的来了. 中国消费者报, 2018-08-23 (04) (收稿日期:2025-12-08)