

二系杂交小麦不育系繁殖难点与解决方案

王 拯¹ 张胜全¹ 任立平¹ 叶志杰¹ 高新欢¹ 陈兆波¹ 穆 磊²

(¹北京杂交小麦工程技术研究中心,北京 100097;²中种杂交小麦种业(北京)有限公司,北京 100097)

摘要:近几年二系杂交小麦研究及应用发展迅速。产业化过程中不育系繁殖是种子生产工作的关键点,也是产业快速发展的难点之一。针对杂交小麦不育系繁殖存在开颖授粉保纯困难、亲本需求量大、繁育系数较低以及异地鉴定等难点,提出不育系繁殖工作中重抓原始纯度、建立高效繁育体系、开展有效隔离和去杂工作等对应解决方案,并进行杂交小麦产业发展中关于亲本繁育和产业分工的讨论。

关键词:二系杂交小麦;不育系繁殖;杂交小麦产业发展

二系杂交小麦是我国完全自主知识产权的科技成果,近几年研究和应用发展迅速,在国际上处于领先地位^[1-2]。目前已经有 10 余个品种通过审定,主要推广区域为我国北部冬麦区、黄淮麦区、西南麦区和环渤海滨海盐碱地等地区^[3],同时为积极响应国家“一带一路”倡议,在巴基斯坦、乌兹别克斯坦

等国进行了测试示范并取得成功^[4],在推广过程中二系杂交小麦品种表现出很好的适应性、抗逆性和丰产性。杂交小麦品种受到广大种植户和经销商的热烈欢迎,但目前产业发展速度和规模并没有得到快速地扩增,分析其中原因,种子生产和亲本繁育是影响其快速发展的因素之一。只有高效的、体系化的种子生产繁育体系,才能支撑起产业的快速发展。鉴于二系杂交小麦种子生产和种业发展的特点,生产过程中亲本的繁育工作在种子生产体系中显得尤

基金项目:国家重点研发计划项目(2018YFD0100803)

通信作者:陈兆波

- [9] 杨明欣,张艺,韩立朴. 高丹草种子丸粒化配方的筛选. 河南农业科学, 2020, 49 (7): 58-67
- [10] 范文艳, 马建, 陈瑾, 李忠魁, 朱丹, 姜述君. 复合型丸粒剂对防风种子萌发的影响. 黑龙江八一农垦大学学报, 2010, 22 (4): 1-3, 7
- [11] 常瑛, 李彦荣, 魏玉杰, 臧广鹏. 野罂粟种子的耐高温试验初报. 种子世界, 2010 (7): 26-27
- [12] 冉瑞兰, 赛闹汪青, 孙坤, 冯汉青, 史小明, 胡芳弟. 阿魏酸和巴土对党参种子萌发、生长及幼苗叶绿素荧光参数的影响. 西北植物学报, 2019, 39 (12): 2244-2252
- [13] 乔艳荣, 范霞, 胡林立. 大粒种子丸粒化技术在远沙大沙飞播造林中的应用. 内蒙古林业, 2012 (7): 14-15
- [14] 武亚敬, 张金香, 高广瑞, 温秀军. 我国种衣技术的研究进展. 作物杂志, 2007 (4): 62-66
- [15] 刘明分, 王丽英, 张彦才, 李熹, 翟彩霞, 李巧云, 陈丽莉. 丸粒化处理对棉花种子萌发期抗寒性与生理特性的影响. 棉花学报, 2008, 20 (1): 73-75
- [16] 王海鸥, 胡志超, 田立佳, 吴峰, 谢焕雄. 种子丸化技术及其研究与应用概况. 现代农业装备, 2006 (10): 48-50
- [17] 田丰, 魏卫东, 李希来, 张静, 芦光新, 乔有明, 刘育红, 李积兰. 三

- 江源地区禾本科牧草丸粒化种子种植比较研究. 安徽农业科学, 2009, 37 (24): 11489-11491
- [18] 李积兰, 李希来, 田丰, 魏卫东, 杨元武, 唐燕. 冷地早熟禾和中华羊茅种子丸粒化技术研究. 草原与草坪, 2008 (4): 29-33, 38
- [19] 张琨, 刘瑞凤, 王爱勤. 有机-无机复合粘结剂对沙拐枣种子丸粒化研究. 水土保持通报, 2006, 26 (2): 72-74
- [20] 刘瑞凤, 张琨, 宗莉, 王爱勤. 沙漠地区飞播沙拐枣种子丸粒化研究. 内蒙古林业科技, 2004 (3): 3-6
- [21] 李积兰, 李希来, 魏卫东, 田丰. 干旱胁迫对青海冷地早熟禾和青海中华羊茅丸粒种子幼苗生长的影响. 西北农业学报, 2015, 24 (10): 143-149
- [22] 陶启威, 张文英, 俞元春, 杨靖宇, 高捍东. 柠条丸粒化种子吸水及崩解特性研究. 福建林学院学报, 2014, 34 (4): 339-343
- [23] 熊腾飞, 林庆胜, 冯夏. 种子丸粒化包衣处理后氟啶虫胺腈的消解动态及对黄曲条跳甲的防控效果. 应用昆虫学报, 2019, 56 (4): 826-831
- [24] 常瑛. 中药材栽培技术与安全利用. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2019: 108-115

(收稿日期: 2020-08-17)

为重要,特别是不育系繁殖,是亲本繁殖的难点和关键点,也是制约种子生产规模和种子质量的直接因素^[5-7]。本文针对二系杂交小麦不育系繁殖工作中的难点进行分析,总结生产中用到的一些解决方案,并讨论生产体系应如何建设才能适应产业的快速发展。

1 不育系材料特性与繁殖难点

1.1 开颖授粉的特性使保纯困难 二系杂交小麦制种原理,就是利用不育系的开颖授粉特性,不育系能够接受外来花粉并异交结实,形成杂交 F_1 。在不育系选育过程中,花期颖壳的开颖角度是重要的生理指标之一,它影响不育系接受外来花粉的能力和最终的制种产量^[8]。选择花期开颖角度更大的不育系,有利于在制种环节接受恢复系的外来花粉,获得更高的制种产量^[9-10]。但在不育系繁育工作中,由于具有开颖授粉特性的不育系更容易接受外来花粉,给繁殖工作带来了很大麻烦。繁殖田杂株除自身繁殖影响种子纯度外,杂株开花散粉还会影响到周边不育系,导致异交结实和后续繁殖中的分离,对整个群体的纯度影响更大;另外不育系繁殖田要求与其他品种空间隔离的距离也更大。

1.2 亲本需种量大,保种工作量大 小麦单株生物产量有限,属于依靠田间较高群体获得产量的作物。在粮食生产和种子田制种中,都需要保证足够的基础群体数量才能获得高产,这就导致小麦播种量相对其他谷物类作物要高出很多。在生产中,小麦每 667m^2 的播种量一般为 $10\sim 15\text{kg}$,分别是玉米用种量($1.0\sim 1.5\text{kg}$)的 $10\sim 15$ 倍和水稻育秧用种量($0.2\sim 0.5\text{kg}$)的 $20\sim 50$ 倍^[11-12]。在杂交种生产过程中,所使用的亲本量虽比粮食生产少一些,但也达到了 $10\text{kg}/667\text{m}^2$ 。开展同样面积的制种生产,使用的亲本数量要比玉米和水稻高很多,亲本繁殖量也要相应增加,这样就给不育系繁殖增加了很大的工作量,也给种子繁育工作带来了更大的风险。

1.3 异地繁殖特性,鉴定难度大 二系杂交小麦不育系繁殖和种子生产分别在不同的区域。以京麦系列二系杂交小麦为例,不育系繁育在 39°N 的京津和河北北部地区,种子生产在 32°N 的河南南阳地区,直线距离超过 800km 。繁殖的不育系种子,在制种田使用之前,需要在制种区域进行田间鉴定,主要鉴定不育系的纯度、育性,以及制种性状等特性是否

达到要求。亲本种子的鉴定工作本身就增加了亲本繁殖的工作量,异地鉴定对繁殖材料的分类编组 and 防杂也提出更高要求。另外,小麦 $230\sim 250\text{d}$ 的全生育期,使亲本繁殖和鉴定工作相差1年,目前也没有非常适合和便利的加代繁殖区域和方法,繁殖和鉴定工作的异地与隔年特性,对繁殖工作和种子保存也提出更高要求。

1.4 繁殖系数相对低,扩繁困难 不育系在繁殖区域的育性恢复是自身繁殖的关键,自交结实率是产量的构成要素之一,为提高不育系繁殖产量,需要在繁殖中提升不育系结实率。二系杂交小麦不育系繁殖工作中,采取晚播、稀播的栽培方式提高不育系自交结实。生产中,一般在10月中下旬播种,每 667m^2 基本苗8万~10万,播种量 $4\sim 5\text{kg}$ 。低播量和晚播的栽培方式,会使繁种田群体较小,亩穗数一般为30万穗。目前不育系繁种产量在 $250\sim 300\text{kg}/667\text{m}^2$ 之间,相对玉米和水稻的繁殖系数较低^[13-15],加之制种亲本需求量大,累计下来,亲本繁育工作量和难度增加许多。相对杂交玉米和杂交水稻的产业化推广,如要推广同样规模的杂交小麦,亲本繁殖需求量要大很多,繁殖工作量和困难程度都成倍增加。

1.5 田间群体大,植株特异性不易区分 小麦繁殖田去杂提纯工作一般在抽穗期和灌浆成熟前进行 $2\sim 3$ 遍。抽穗前去杂能防止杂株抽穗开花,避免周边植株授粉;灌浆成熟期则是全面地检查和去除繁种田杂株。对杂株的辨识主要是通过株高、叶型、穗型、叶色、花期等特征进行区分。在抽穗前主要是通过叶型、叶色,如叶片的宽窄、叶型披散或直立、有无蜡质层等区分;抽穗开花期主要通过株高、穗型、花期等性状区分,灌浆成熟期主要通过植株高矮、穗型差异进行分辨^[16]。小麦亲本繁殖田亩穗数超过30万,除株高差异性状易于辨识外,其他方面的差异存在特征不明显、不易辨认等特点,去杂工作因田间群体大,难度增加,这也是亲本繁殖难度大、技术要求高的原因之一。

2 不育系繁殖困难的解决方案

2.1 重点控制原始纯度,降低除杂难度 在种子繁殖工作中,繁殖材料的原始纯度是决定后续繁种工作能否顺利开展的基础。保证繁殖材料有很好的原始纯度,能够在种子繁殖工作中起到事半功倍的效果。

果^[17-18]。在杂交小麦不育系繁殖中,一般要对原原种或育种家交付的种子开展2~3代的亲本扩繁后再投入到制种环节,对原始繁殖材料纯度要求更高。一旦原始繁殖材料混入个别杂株,在扩繁工作中会出现几何倍数的扩增,并因杂株花粉污染和后面世代分离造成更大危害,不仅会加大去杂提纯工作难度,而且在混杂严重的情况下会直接导致繁殖田报废。目前杂交小麦种子质量没有相应的行业标准,通常按照企业标准来衡量和控制质量。从原原种到杂交 F_1 种子,至少要经过2~3代的扩繁和1代制种生产,有时因制种生产亲本需求量大,往往还需要根据亲本纯度进行加繁,每一次扩繁都会使种子纯度下降,所以在杂交小麦不育系繁殖工作中,只有狠抓繁殖材料原始纯度,才能保障繁殖工作高效进行。

2.2 防止花粉污染,着重自然隔离 亲本繁殖的最大难点之一就是不育系自花授粉,所以在繁殖工作中,如何防止外来花粉的污染是最重要的防杂工作,在实际生产工作中,主要采取搭建人工隔离帐和空间自然隔离的方式解决。在育种家种子繁育过程中,因育种基地材料多、种植集中、繁殖面积小等特点,搭建人工隔离帐是繁育和育种基地隔离的重要方式。在小麦抽穗期搭建1.8~2.0m高的隔离帐,采用200目以上的纱布进行隔离,切断花期不同材料间花粉的交叉污染。不育系扩繁工作主要依靠自然隔离,选择独立的地块,集中种植单一的不育系繁殖材料,通过不同作物或地块自然间隔距离进行隔离。常规小麦繁种田隔离距离一般为30m,在不育系繁殖中,因小麦花粉随风飘散距离可超过200m^[19],受花粉飘散和开颖授粉的影响,生产中自然隔离距离一般选择200m以上。在实际繁殖工作中,因隔离帐易受风雨影响,会导致隔离效果不佳;2m高的隔离高度也不能完全杜绝花粉飘散;小麦花粉粒细小,纱布的孔径不能完全隔绝花粉传播;相较而言,采用较大距离的空间隔离是繁殖田不受外来花粉污染的更加有效的方法。另外在不育系繁种田选择中,持续稳定的在一块繁种田进行同一不育系的繁殖非常重要,因为繁种田、繁殖品种的更换和新的繁种地块会有上季残留麦种和一些麦田有害杂草,增加混杂概率,严重影响不育系繁殖和保纯。

2.3 建立循环可持续的亲本繁育体系 产业化工作中,育种家选育审定品种之后,经过成果转化把亲

本材料交付产业主体,一般不再承担不育系繁殖工作,后续亲本繁殖工作就由产业化主体承担。在种子生产中要保证高质量亲本供应,产业化主体必须建立起高效可持续的亲本繁育体系,循环开展亲本保纯、选优和扩繁工作。具体工作流程见图1:在繁殖田选收单株,播种株行圃进行选择;对选中株行进行单收,种植株系圃,繁殖同步进行异地育性鉴定;同时在株系圃中选择单株进行收获,合格的株系圃进行混收,开展不育系原原种繁殖,收获的原原种再进行扩繁用于生产。

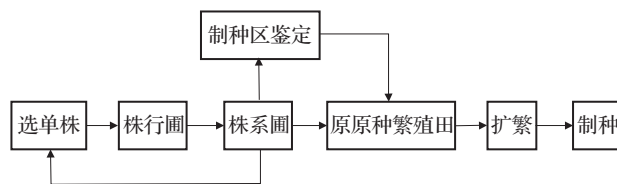


图1 不育系繁育体系工作流程

在繁育体系中,种植株系圃的同时,需要重点开展异地育性鉴定工作,与株系圃繁殖同步开展异地鉴定,对育性、开花习性等进行调查,在确保繁殖纯度的同时鉴定不育系的制种特性,避免扩繁的材料在后续制种工作中制种性状改变,影响种子生产。对优选的株系单独扩繁,进行不育系材料提升,并在株系圃拔选单株,持续开展繁殖。

2.4 减少繁育世代,加大株行基数 杂交小麦制种亲本需求量大,不育系繁殖保纯工作难。亲本需求量大就需要增加繁殖代数来扩繁,而增加繁殖代数与保纯工作相互矛盾,增加1代繁殖,混杂和纯度下降风险相应增高很多^[20]。同理,减少繁殖代数能够有效降低种子混杂,保证制种田不育系的种子纯度,从而提高杂交 F_1 种子的纯度。调节既要充足种子量又要保证纯度的矛盾,只有从繁殖前端入手,加大选择单株的数量。扩大株行基数,在繁种源头增加基础繁殖量,扩繁过程中能够在较少的繁殖世代达到制种亲本需求量;扩大株行基数,在株行选择后对部分株行材料可进行混收,直接扩繁,加快繁殖速率,低代繁殖既能保证亲本纯度,又能有效提供制种不育系种子量;扩大株行基数,也为后续株系种植提供更大的选择基础。增加原原种基础数量可以在保证制种亲本需求的前提下减少繁殖代数,从而减少扩繁工作中种子混杂和纯度降低的

风险。

3 关于不育系繁育工作的讨论

3.1 聚焦优势品种,锁定优势亲本,使市场与亲本繁育工作匹配 鉴于杂交小麦不育系繁殖工作中存在诸多难点,产业主体在不育系繁殖过程中,能够做好1~2个不育系的繁育过程管理。如从技术层面进行控制,通过建立循序渐进的繁种体系,持续选收单株进行株行繁殖;严格控制纯度,保持一定不育系繁殖基数等;能够持续稳定地为种子生产供应纯度合格、数量充足的不育系,并有效控制亲本繁育成本。但同时繁育多个不育系将给产业主体的生产管理带来巨大的压力和很多的市场风险。因为不育系从单株繁殖到制种推向市场需要4~5年的时间,如果同时将多个品种推向市场,会给不育系繁殖工作带来非常大的困难,且多个品种生命周期不稳定,在产业化过程中,市场的不稳定因素会影响到种子生产,进而传导到不育系繁殖工作。应在推广过程中聚焦优势品种,并且锁定优势亲本进行系列品种的推出,使种子生产中使用相同不育系或来源相近的不育系。这样在亲本繁育体系建设过程中,才能够集中力量进行同一不育系的扩繁,并且维持一定的繁殖基数,提高繁殖的效率,降低繁殖成本。

3.2 加快产业链培育,生产专业化 杂交小麦产业与目前两杂作物以及油菜和蔬菜种业存在很多不同,复杂程度和难度都要高很多。目前来看,产业的发展壮大,不是仅靠一家全产业链的企业就能够承担的。类似汽车制造和电子产品制造产业,需要对产业链进行细致的分工,不同环节由专业的主体来承担,产业主体间相互配合才能使产业链更加贯通和高效运行。专业化的分工能够更加有效地提高生产效率和降低生产成本,同时在质量控制和技术提升上也更加专业。各环节的相互配合不断优化整个产业链,才能使产品质量得到提升,成本降低,获得更高的产业利润,从而支持产业的快速发展和不断升级。后续制种、加工、营销等环节也进一步向专业化发展,各环节配合推进杂交小麦产业化发展。

综上所述,杂交小麦不育系繁殖中保纯、保种、鉴定、扩繁等技术难点,可通过建立完善的繁育体系、不断改进技术方法、严格控制管理流程等得到良好地解决,进而持续稳定地为种子生产环节供应纯度合格、数量充足的不育系。随着产业发展,制种规

模不断扩大,产业效率亟待提高,同时需要加强制种成本控制、提升种子质量以适应产业的发展需求,只有通过产业链培育,不断进行专业化分工,在完整的产业链条上充分发挥各个优势主体的作用,才能够更快更好地推进杂交小麦产业的发展。

参考文献

- [1] 马爱平. 杂交小麦不再是传说. 科技日报, 2018-06-12 (003)
- [2] 王飞航. 我国杂交小麦育种研究获突破. 北京农业, 2012 (10): 54
- [3] 张俊华. 杂交小麦新品种京麦 179 特征特性及栽培技术. 现代农村科技, 2018 (10): 23
- [4] 刘育英. 中国杂交小麦走向“一带一路”. (2018-08-24) [2020-08-14]. http://www.xinhuanet.com/food/2018-08/24/c_1123319869.htm
- [5] 董普辉, 袁建国, 余奎军, 王彬, 陈春艳. 两系法杂交小麦育种限制因素的探讨与分析. 现代农业科学, 2009 (8): 9-10
- [6] 杨木军. 温光敏两系法杂交小麦技术体系的研究与应用. 南京: 南京农业大学, 2006
- [7] 聂迎彬. 冬小麦杂交种制种和亲本繁殖技术研究. 石河子: 石河子大学, 2007
- [8] 高庆荣, 于金凤, 刘保申. 不同小麦不育类型开颖特性的初步探讨. 作物学报, 2004, 30 (6): 622-625
- [9] 刘宏伟, 张改生, 王军卫, 王小利. 杂种小麦繁制种研究和实践. 西北植物学报, 2001, 21 (2): 345-350
- [10] 张爱民, 黄铁城, 阿以提古丽. 杂种小麦繁制种技术初步研究. 北京农业大学学报, 1993, 19 (S2): 36-37
- [11] 郑希明, 朱明德, 张瑜. 玉米自交系繁殖技术. 中国种业, 2003 (8): 18
- [12] 钟光跃, 陈辉志, 于小军, 吕建群. 三系水稻亲本异交性能及制繁方法研究进展. 中国种业, 2018 (12): 29-34
- [13] 李伟堂, 李洋, 牛海龙, 刘红欣, 牟书靓, 何中国, 李玉发. 单粒播种模式下不同种衣剂对玉米种子出苗率的影响. 作物杂志, 2019 (1): 191-196
- [14] 陆作楣, 孙荣才. 论我国杂交稻亲本繁育技术的演变. 杂交水稻, 1993 (2): 1-3
- [15] 蒋华仁, 任正隆. 我国杂交水稻成功经验对杂交小麦育种的启示. 四川农业大学学报, 2000, 18 (1): 94-96
- [16] 罗家传, 张跃进, 姜书贤. 我国小麦良种繁育体系的特点与应用. 种子, 2003 (1): 58-59
- [17] 陈宁, 高静, 王少杰. 小麦良种繁育技术. 种业导刊, 2016 (1): 22-24
- [18] 徐仲阳. 杂种小麦高效制种技术体系研究. 杨凌: 西北农林科技大学, 2006
- [19] 孙兰珍, 高庆荣, 张延传. 杂交小麦育种中的花粉传播与隔离问题的初步研究. 山东农业大学学报: 自然科学版, 1988, 19 (3): 9-16
- [20] 王有伟, 张晓霞, 丛颖, 林衡, 杜光悦. 玉米亲本种子混杂退化及提纯复壮措施. 种子世界, 2015 (11): 50-52

(收稿日期: 2020-08-14)