

# 燕麦雄性不育新种质在遗传改良中的应用

刘龙龙<sup>1</sup>, 张丽君<sup>1</sup>, 范银燕<sup>2</sup>, 周建萍<sup>1</sup>, 崔林<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>山西省农业科学院农作物品种资源研究所/农业部黄土高原作物基因资源与种质创制重点实验室, 太原 030031;

<sup>2</sup>山西省农业科学院畜牧兽医研究所, 太原 030032)

**摘要:**对燕麦 CA 雄性不育材料的特征与遗传表现的研究表明, 该不育性状是由 1 对隐性核基因控制的。对原 CA 雄性不育材料进行改造, 设计出培育不同类型不育材料的选育程序, 并转育出性状独特、不育株分离比例较高的新种质。提出了利用不育新种质改进燕麦杂交技术的方法, 采用改进的杂交技术建成具有高千粒重、高蛋白质、低脂肪、丰产、抗病等性状的, 遗传基础丰富的后代选择群体供育种应用。

**关键词:**燕麦; 雄性不育; 新种质; 遗传改良

## The Application of Male Sterile Oat in Genetic Improvement

LIU Long-long<sup>1</sup>, ZHANG Li-jun<sup>1</sup>, FAN Yin-yan<sup>2</sup>, ZHOU Jian-ping<sup>1</sup>, CUI Lin<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Institute of Crop Germplasm Resources, Shanxi Academy of Agricultural Sciences / Key Laboratory of Crop Gene Resources and Germplasm Enhancement on Loess Plateau, Ministry of Agriculture, P. R. China, Taiyuan 030031;

<sup>2</sup>Institute of Animal Sciences, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan 030036)

**Abstract:** The genetic performance and characteristics of CA male sterile oat materials have indicated that the male sterility is controlled by a pair of recessive nuclear gene. The original CA male sterile oat had been genetically improved and selection procedures for different types of male sterile materials were designed. Meanwhile, a new genetic population with unique traits and higher proportion sterility had been obtained by using male sterile oat lines. A novel technique for oat hybridization by using the new sterile lines had been established, and breeding populations with high-thousand-grain-weight, high-protein, low-fat, high-yield, and disease-resistant traits had been constructed with abundant genetic basis through this technique.

**Key words:** Oat; Male sterility; New germplasm; Genetic improvement

植物核基因控制的雄性不育难以直接用于杂种优势利用的研究, 但可以利用其作为有效的杂交工具进行轮回选择, 对改进育种方法, 提高育种效率具有非常重要的作用<sup>[1]</sup>。20 世纪 70 年代初, 我国在小麦中发现了一个受单基因控制的显性核不育材料——太谷核不育小麦<sup>[2]</sup>, 从而为小麦轮回选择打开了更有利的局面, 育种者以此展开单性状和多性状的群体改良, 取得很好的效果<sup>[3-4]</sup>, 而利用太谷核不育基因与蓝色胚乳基因紧密连锁, 有效地区分了不育与可育种子, 对显性核不育系的应用显得非常重要<sup>[5]</sup>。太谷核不育小麦经过多年的研究, 在小麦育种上得到了广泛应用, 已选育出优良

新品种 10 多个, 有 50 多个品系正在参加国家、省(市)区域试验<sup>[6]</sup>。在大麦上, 1986 年发现隐性核不育, 属无花粉型, 利用该不育株和其他不同类型、地理远缘的品种配制杂交组合, 筛选出优异株系<sup>[7]</sup>, 同时利用大麦不育系开展轮回选择, 获得抗病、优质、抗倒伏等优良性状的不育株系, 以供育种者利用<sup>[8]</sup>。

1994 年, 范银燕等<sup>[9]</sup>发现了国内首例燕麦雄性不育材料, 并命名该不育材料为 Cs 型, 通过对特征特性的观察和细胞学鉴定以及不育性遗传的研究, 结果表明该材料不育度为 100%, 属“无花粉型”的雄性不育, 不育性状是由 1 对隐性核基因控制的, 该

收稿日期: 2012-03-06 修回日期: 2012-07-13

基金项目: 国家燕麦荞麦产业技术体系(CARS-08-A-1)

作者简介: 刘龙龙, 硕士, 助理研究员。研究方向: 燕麦育种。E-mail: lllong781211@sina.com

通信作者: 崔林, 学士, 研究员。研究方向: 燕麦育种。E-mail: sxcuilin@163.com

材料命名为 CA 燕麦雄性不育<sup>[10]</sup>。通过多年研究,将不育性状转育到裸燕麦上,这对利用皮裸杂交选育裸燕麦新品种具有重大意义<sup>[11]</sup>。1996 年杨才等<sup>[12-13]</sup>从转入耐盐碱基因 *P5G* 处理的后代中发现了燕麦不育株,经鉴定为显性雄性核不育,命名为 *ZY* 基因,已将燕麦雄性核不育 *ZY* 基因作为杂交育种的桥梁应用于莜麦和皮燕麦的育种上,并选育出冀张燕 2 号燕麦新品种。

由于 CA 燕麦雄性不育材料在某些性状方面存在缺点,限制了其广泛应用。为了对其进行改造,并转育出更多的新不育种质,近年来,本课题组利用 CA 不育材料与具有特异性的裸燕麦进行了皮、裸燕麦远缘杂交,并对燕麦杂交方法进行了改进,建立了遗传基础丰富的后代选择群体。

## 1 CA 雄性不育材料的特征与遗传表现

### 1.1 CA 雄性不育株的形态特征

CA 不育株是在皮燕麦普通栽培种中发现的。株高 90 cm,生育期 85 d 左右。幼苗直立、深绿色,叶片短宽、上举,株型紧凑,一般 3~5 个分蘖。穗呈圆锥花序,成熟后颖壳为黄色,在第 2 朵小花外稃上着生 2 cm 左右的短芒。穗长 18 cm 左右,每穗平均小穗数 28 个,每个小穗 3 朵小花。这些性状都与原群体可育株相同。不育株在开花初期 3~5 d,颖壳张开,花药比可育株细小,为浅绿色;开花 7~10 d,花丝伸长,花药不开裂,并收缩为箭头状,呈灰白色,但雌蕊发育正常(图 1,左为不育花药)。



图 1 不育和可育花药比较

Fig. 1 Sterile anthers compared to fertile anthers

### 1.2 CA 雄性不育株的小孢子退化特征

不育株的花药在显微镜下观察呈透明状,经挤压使其破裂,没有花粉粒散出,不育度为 100%。相反,可育株花药不透明,内部充满正常的花粉粒,说明该不育株属于“无花粉型”的雄性不育材料(图 2,3)。经涂抹压片看出,不育株与可育株一样能

够形成正常的花粉母细胞,并经减数分裂形成二分体和四分体。在四分孢子初期,不育株的四分体与可育株相比仍未见任何异常。然而不育株在四分体后期能明显地看到细胞质收缩的退化现象。不育株四分体释放出的小孢子与可育株相比,因外壁不能发育、增厚多为畸形,少数为圆形。最终细胞壁解体,形成后期药室内空洞无物的无花粉型不育。



图 2 不育花药

Fig. 2 Sterile anthers



图 3 可育花药

Fig. 3 Fertile anthers

### 1.3 CA 雄性不育株的不育性状遗传表现

CA 不育株与纯系可育株杂交, $F_1$  植株的育性表现为全部可育, $F_2$  育性发生分离,可育株与不育株符合 1 对隐性核基因控制的 3:1 分离比率。用恢复育性组合的  $F_1$  植株(杂育株)为父本,与 CA 不育株回交, $BC_1$  群体育性发生分离,经适合性测定也符合 1 对核基因控制性状遗传的 1:1 分离比率。综上所述,CA 燕麦雄性不育性状是由 1 对隐性核基因控制的<sup>[10]</sup>。

## 2 CA 雄性不育性状的转育和新材料的特点

### 2.1 CA 雄性不育株的缺点

皮、裸燕麦种间杂交是目前燕麦育种的主要方法,二者杂交,可以将皮燕麦具有的高抗红叶病、耐瘠性强、小穗数多、千粒重高的优点与裸燕麦具有多花、多粒、品质好、抗倒性强的特点结合起来,达到优良性状互补。原燕麦 CA 雄性不育株存在的主要问题有以下几个方面。

异交率低:由于燕麦本身穗部结构的特点,枝梗细长,小穗自身的重量使抽穗后的小穗呈朝下吊垂状态,给不育株接受外来花粉造成困难,因而异交结实率低。

生育期短:只适宜配制早熟类型的杂交组合。

植株较矮:只适宜配制抗倒类型的杂交组合。

为了培育多类型的燕麦新品种,创造遗传基础丰富的后代选择群体,对原燕麦 CA 雄性不育株进行改造,转育出各种类型的新型不育材料为育种利用是非常重要的。

## 2.2 CA 雄性不育性状的转育

皮燕麦和裸燕麦的外稃性状有着本质的差异,

裸燕麦的外稃不包子实与内稃,膜质,形状大小与护颖相似;皮燕麦的外稃紧包子实与内稃,革质,形状和大小比护颖小。由于皮、裸燕麦种间杂交中外稃性状独特的分离规律,用皮燕麦做母本或用裸燕麦做母本对后代植株带皮率的多少影响较大,也直接影响着品种选育周期的长短。一般说,用裸燕麦作母本与皮燕麦杂交,其后代带皮率较低,选育品种所用的周期短。因此将燕麦 CA 雄性不育性状转育到裸燕麦品种上显得特别重要,用转育的裸燕麦雄性不育作母本与皮燕麦杂交,既能保持上述优点,又可利用雄性不育性状提高杂交效率,进而实现轮回选择方法在裸燕麦育种上的应用。

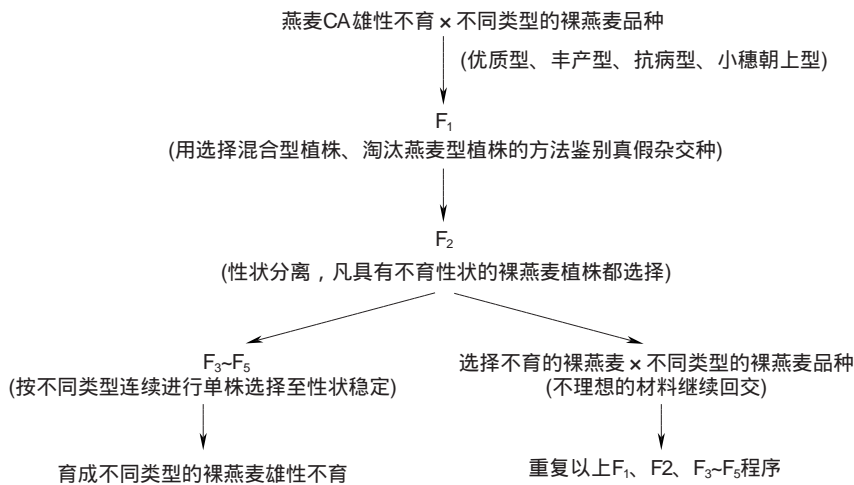


图 4 CA 雄性不育在裸燕麦上的转育

Fig. 4 Introgression of CA male sterility on naked oats

## 2.3 新型不育材料的特点

1:1 分离的不育新种质:通过以下的杂交、选择过程,培育出不育株分离比率在 50% 左右的裸燕麦不育新种质 Ms-3-4-2。

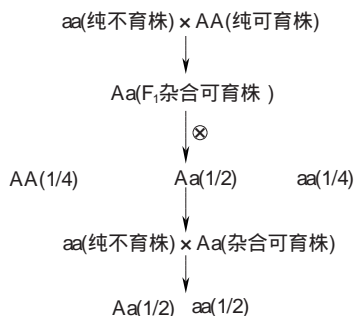


图 5 雄性不育 1:1 分离群体创制

Fig. 5 Generation of 1:1 segregation population in male sterility

小穗朝上的不育新种质:用原 CA 与小穗上冲型的材料杂交、并连续回交,将不育性状转育到小穗

上冲型的材料上,创新出小穗朝上的不育新种质 Ms202017。该材料开花阶段颖壳开张角度大,更利于接受外源花粉,实现异交。

## 3 雄性不育新种质对燕麦育种杂交技术的改进与突破

### 3.1 传统的燕麦杂交技术

燕麦杂交育种开始于 60 年代中期,通过品种间或种间的有性杂交,先后培育了一大批燕麦新品种<sup>[14-15]</sup>,在生产上推广,起到了很好的增产作用。但传统杂交技术难度大、杂交结实率低,工作效率不高。如何改进燕麦有性杂交技术,使其简便易行,容易掌握,而且杂交结实率高,这是燕麦育种工作中迫切需要解决的问题。

传统的杂交技术优点是不需要套袋,但其弊病是:(1)工作繁琐。在整个杂交过程中,去雄、取粉、授粉,需数次打开,两次闭合小穗的护颖和内外颖。

(2)难度大,不易掌握。由于裸燕麦小花的外颖紧包内颖,护颖紧包外颖,而且护颖和内外颖都为膜质状、较脆,在打开内外颖进行去雄和授粉的过程中,容易损伤小花。(3)工作效率不高,结实率低。在杂交过程中会对其小穗有一定程度的损伤,故结实率也低。一般裸燕麦品种间杂交结实率不超过10%,裸燕麦与皮燕麦远缘杂交、结实率在5%以下。

### 3.2 利用不育材料的杂交新技术

经过多年探索,发现剪颖去雄授粉法,降低了杂交难度<sup>[16]</sup>,但田间杂交成功率不高,为了进一步提高杂交结实率,研究出以核不育材料为主的燕麦杂交技术。具体方法为:选择要配制组合的父本材料和可分离出不育株的母本材料,在长1.5 m、宽2 m的8行区小区内种植6行父本和2行母本,2行母本分别种在第3行和第6行。为调节父母本花期相遇,第6行的不育株母本材料于其他材料出苗以后播种。每个小区母本不育株为5~10株,根据需要每个组合可种2~3个小区。在抽穗阶段鉴别不育株和可育株,可育株为下年继续分离不育株使用。对不育株进行挂牌并进行小穗剪颖,促进其接受父本花粉,提高杂交结实率。成熟期收取的不育株上的种子即为这个组合的杂交种。但需在 $F_1$ 根据皮、裸燕麦远缘杂交特有的分离规律鉴别真假杂交种。利用不育材料的杂交新技术比以往的杂交方法在配制组合数、杂交结实率方面取得了大幅度提高,裸燕麦品种间杂交结实率可达50%~70%,高者达80%以上。而用工数却大幅度下降,进一步提高了杂交工作效率。此法能获得较多的杂交种子,从后代选择优良植株的几率大大提高,同时为今后开展对杂种 $F_1$ 植株进行花粉培养提供大量的来源。

## 4 利用雄性不育新种质建立遗传基础丰富的后代选择群体

利用新型不育材料,采用上述杂交技术与子粒性状优良、抗病性强的亲本继续进行渐进式杂交,逐渐将有利基因引入同一群体,形成具有高千粒重、高蛋白、低脂肪、丰产、抗病等性状的、遗传基础丰富的异源基因库,供轮回群体选择应用。目前异源基因库建立的工作主要侧重于子粒性状改良上,过程如下:(1)用不同的裸燕麦不育材料,与8个千粒重在27~32 g的品系杂交,获得8个组合的单交种。在 $F_1$ 选择具有皮、裸混合型小穗的单株,结合室内

千粒重考种,筛选保留高千粒重的单穗。(2)这些单交种在不考虑其适应性条件下,作为携带不育性状的高千粒重亲本,与10个具有优良农艺性状、高秆、抗旱性强的品种杂交,形成80个组合的三源杂交种。(3)对三源杂交种 $F_1$ ,在生长季节经株高、成熟度及裸粒穗型选择,收获后进行高千粒重选择。入选的 $F_2$ 株间互交,以促进基因重组,形成互交种,互交中原始亲本互不重复。(4)从每个互交种中取4粒 $S_0$ 种子播种, $S_0$ 植株收获后分别脱粒,并再次进行农艺性状和高千粒重选择。各植株的子粒定义为 $S_{0:1}$ ,在 $S_{0:1}$ 中每个互交种选3个 $S_{0:1}$ 株系,构成轮回选择的基础 $C_0$ 群体。

建成的 $C_0$ 群体包含有2500多个株系,其中子粒均匀、光亮的株系380份,子粒较大、千粒重在28 g以上的株系120份,植株较矮、抗倒性强的材料536份,植株较高,较抗红叶病的材料263份,植株较高、耐瘠性强的材料780份,其他为一些特异性状的材料。

### 参考文献

- [1] 刘秉华. 小麦核不育性与轮回选择育种[M]. 北京:中国农业科技出版社,1994:105-109
- [2] 邓景扬,高忠丽. 小麦显性雄性不育基因的发现与利用[J]. 作物学报,1980,6(2):85-98
- [3] 庄宗英. 小麦育种中的轮回选择法研究初报[J]. 湖北农业科学,1987(1):6-7
- [4] 王新望,张汝斌,范谦. 利用太谷核不育小麦进行轮回选择的改良效应[J]. 华北农学报,1991,6(3):7-12
- [5] 蒲宗君,颜泽洪. 矮败蓝标型小麦不育系的选育与研究[J]. 植物遗传资源学报,2004,5(1):31-34
- [6] 刘秉华,杨丽. 小麦育种革命-矮败小麦育种技术发展前景[J]. 北京农业,2007(5):11-12
- [7] 韩海,刘凤珍. 大麦核不育的研究[J]. 大麦科学,1995,45(4):7-8
- [8] Ramage R T. 利用雄性不育促进大麦的轮回选择[J]. 大麦科学,1993,25(2):48-49
- [9] 范银燕,崔林. 燕麦 $C_s$ 雄性不育的发现及初步鉴定[J]. 麦类作物学报,1996(1):7-8
- [10] 崔林,范银燕,徐惠云,等. 中国首例燕麦雄性不育的发现及遗传鉴定[J]. 作物学报,1999,35(3):296-300
- [11] 崔林,徐惠云,李刚. CA雄性不育性状在裸燕麦上的转育[J]. 山西农业科学,2003,31(4):10-14
- [12] 杨才. 莜麦(*Avena nuda*)显性雄性核不育ZY基因的发现与研究应用[C]//2008中国作物学会学术年会论文摘要集,2008:61-62
- [13] 杨才,周海涛,李天亮,等. 利用核不育莜麦ZY基因育成麦片加工专用新品种“冀张燕2号”[C]//2010中国作物学会学术年会论文摘要集,2010:93
- [14] 杨海鹏,孙泽民. 中国燕麦[M]. 北京:农业出版社,1989:109-119
- [15] 郑殿升. 中国燕麦的多样性[J]. 植物遗传资源学报,2010,11(3):249-252
- [16] 李成雄,崔林. 莜麦高效杂交新技术[J]. 农业科技通讯,1998(4):7