

# 小麦与无融合生殖披碱草(*Elymus rectisetus*) 属间杂种 F<sub>1</sub> 的形态学和细胞遗传学研究<sup>x</sup>

高建伟<sup>3 1</sup> 孙其信<sup>1</sup> 孙振山<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>中国农业大学植物遗传育种系, 北京 100094; <sup>2</sup>山东省农业科学院作物所, 山东济南 250100)

**提 要** *Elymus rectisetus* (Nees in Lehm) A. Löve et Connor 是目前小麦族(Triticeae)中发现的唯一的无融合生殖种。本研究以普通小麦(*Triticum aestivum* L.; 2n= 6x= 42, AABBDD)为母本, 以*E. rectisetus* (2n= 6x= 42, SSYYWW)为父本进行杂交, 经过幼胚拯救获得了属间杂种 F<sub>1</sub>。杂种 F<sub>1</sub> 分蘖力强, 具有多年生习性, 其形态特征偏向于父本。杂种 F<sub>1</sub> 高度雄性不育, 自交不结实。对杂种根尖体细胞的细胞学观察发现, 杂种 F<sub>1</sub> 体细胞染色体数 2n= 9x= 63(SSYYWABD), 其中 21 条来自普通小麦, 42 条来自*E. rectisetus*。花粉母细胞染色体配对频率为: 22 69É + 16 15rod° + 3 01ring° + 0 83, + 0 011。小麦白粉病抗性鉴定结果表明, 杂种 F<sub>1</sub> 及父本*E. rectisetus* 表现免疫, 而母本 Fukuhokomugi 高度感染白粉病。上述杂种的获得为将*E. rectisetus* 无融合生殖基因及抗白粉病基因向小麦中转育奠定了基础。

**关键词** 无融合生殖; *Elymus rectisetus*; 普通小麦; 属间杂交

## Morphology and Cytogenetics of the Intergeneric Hybrid between *Triticum aestivum* and Apomictic *Elymus rectisetus*

GAO Jianwei<sup>1</sup> SUN Qixin<sup>1</sup> SUN Zhenshan<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>Department of Plant Genetics and Breeding, China Agricultural University, Beijing, 100094; <sup>2</sup>Institute of Crops, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan, 250100)

**Abstract** *Elymus rectisetus* (Nees in Lehm) A. Löve et Connor) is the only apomictic species found in the Triticeae. The intergeneric hybrid between *T. aestivum* cv. Fukuhokomugi (AABB2DD, 2n= 42) and apomictic *E. rectisetus* accession 1050 was obtained through sexual hybridization followed by embryo rescue technique. The F<sub>1</sub> hybrid is vigorous and perennial in growth habit, but completely male sterile. The characters of the F<sub>1</sub> hybrid was morphologically intermediate between their parents, but generally resembled the male parent *E. rectisetus* accession 1050. The F<sub>1</sub> hybrid have 63 chromosomes among which 21 come from *T. aestivum* cv. Fukuhokomugi and 42 from unreduced pollen of *E. rectisetus* accession 1050. Examination of pollen mother cells at metaphase I revealed an average chromosome pairing pattern of 22 69É + 16 15rod° + 3 01ring° + 0 83, + 0 011. It was also found that the F<sub>1</sub> hybrid and its male parent *E. rectisetus* accession 1050 were highly resistant to powdery mildew. Production of the intergeneric hybrid between *Triticum aestivum* and apomictic *Elymus rectisetus* will be useful for transferring gene(s) of apomixis and resistance to powdery mildew from *E. rectisetus* into wheat.

**Key words** Apomixis; *Elymus rectisetus*; Wheat; Intergeneric hybrid

x 现在通讯地址: 中国科学院遗传所植物细胞与染色体工程国家重点实验室, 北京 100101

收稿日期: 1997212212, 接收日期: 1998211222

© 1995-2005 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

*Elymus rectisetus* (Nees in Lehm) A. Love et Connor 为一种弱多年生的牧草, 是目前小麦族(Triticeae)中发现的唯一的无融合生殖种, 属二倍性孢子形成类型, 原产于澳大利亚和新西兰<sup>[1, 2]</sup>。细胞学研究表明, *E. rectisetus* 为异源六倍体, 染色体组成为 SSYYWW<sup>[3]</sup>。由于无融合生殖能固定杂种优势, 简化和缩短育种年限, 因此 *E. rectisetus* 无融合生殖及其向小麦中导入的研究一直受到小麦遗传育种学家的重视。Crane 等(1987)、Cam an(1991)采用子房整体透明及荧光染色技术对其大孢子发生进行研究<sup>[4, 5]</sup>, 结果表明, 无融合生殖类型大孢子母细胞(MMC)的形成有三个显著特点, 一是MMC在早前期合点端形成液泡, 二是MMC核显著伸长, 呈椭圆形或哑铃形, 三是MMC周围缺乏含胼胝质的细胞壁。Wang 等人(1993)首次获得了普通小麦与 *E. rectisetus* 的属间杂种 F<sub>1</sub> (SSYYWWABD, 2n=63) 及回交后代<sup>[6]</sup>。据我们初步鉴定, *E. rectisetus* 品系 1050 对小麦白粉病表现免疫。为了开展我国小麦无融合生殖研究, 同时把抗白粉病基因导入普通小麦, 我们开展了普通小麦与无融合生殖 *E. rectisetus* 属间杂交。本文报道了小麦与 *E. rectisetus* 属间杂交及 F<sub>1</sub> 的形态学、细胞遗传学研究的结果。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

本试验所用材料包括普通小麦品种 Fukuhokomugi 中国春 Ph 突变系 ph1b、ph2b 和披碱草 *E. rectisetus* 品系 1050(以下简称 ER 1050)。ER 1050 由美国农业部 R. R. Wang 提供。

### 1.2 杂交方法

1996 年夏以普通小麦为母本, 以 ER 1050 为父本进行杂交。杂交采用重复授粉与药剂处理相结合的方法, 具体杂交方法如下:

方法 1: 去雄两天后授粉, 24 h 后用浸泡有母本花粉的药剂滴柱头 1 次, 然后每隔 24 h 重复授粉, 重复 2 次。

方法 2: 去雄两天后用药剂滴柱头 1 次, 而后授以 ER 1050 柱头的花粉, 每隔 24 h 重复授粉, 重复 2 次。

方法 3: 去雄 24 h 后用药剂滴柱头 1 次, 24 h 后授粉, 翌日重复授粉。

杂交中使用的药剂配方有 3 种: 50 mg/L GA; 1%DM SO + 20 mg/L 2, 4D + 50 mg/L GA; 1%DM SO + 100 mg/L 2, 4D + 50 mg/L GA。

### 1.3 幼胚拯救

授粉 11 天后取穗, 剥出种子, 用 1.0% 的次氯酸钠消毒 10 min, 而后用无菌水冲洗 3 次, 在无菌条件下, 剥出杂种幼胚接种于愈伤组织诱导培养基 [MS(基本培养基) + 2, 4D (2 mg/L) + 0.7% 琼脂 + 3% 蔗糖, pH 5.6] 上; 培养 75 天后, 置于分化培养基 [MS(基本培养基) + 0.7% 琼脂 + 3% 蔗糖, pH 5.6] 上进行培养。试管苗生长至第二片叶时继代壮苗培养基配方为 [MS(基本培养基) + IAA (10 mg/L) + 0.7% 琼脂 + 8% 蔗糖, pH 5.6]。分蘖达 3~4 个时, 破蘖繁苗, 分别培养。试管苗于 12 月中旬移栽于花盆中进行春化处理。

### 1.4 形态学观察

从苗期至成熟期, 对亲本及属间杂种 F<sub>1</sub> 的长势和长相进行观察。成熟后对株高(cm)、旗叶长(cm)、分蘖数/株、穗长(cm)、穗宽(正面, cm)、穗宽(侧面, cm)、芒长(cm)、小穗数/穗、穗密度、小花数/小穗及生长习性进行考察。

1.5 细胞学观察

试管苗继代或移栽时取根尖, 冰水预处理, 卡诺液(3 乙醇 1 冰醋酸)固定, 卡宝品红染色, 鉴定染色体数目。选择杂种 F<sub>1</sub> 适宜时期的幼穗, 用卡诺液固定, 卡宝品红或醋酸洋红染色, 进行花粉母细胞减数分裂观察<sup>[7]</sup>。

1.6 花粉粒育性检查

用稀醋酸洋红(0.5%), 对属间杂种 F<sub>1</sub> 及其双亲的成熟花粉粒进行可染性镜检, 统计其可染性花粉粒的百分数, 杂种 F<sub>1</sub> 和双亲各检查 10 个幼穗<sup>[8]</sup>。

1.7 白粉病抗性鉴定

苗期用北京地区流行的白粉菌 15 号生理小种, 每天涂抹一次, 持续 7 天, 接种 15~20 天后, 当对照品种燕大 1817 充分发病时记载发病情况。成株期在白粉病鉴定圃中鉴定, 当对照充分发病后记载发病情况。

2 结果与分析

2.1 普通小麦与 *E. rectisetus* 品系 1050 属间杂种 F<sub>1</sub> 的产生

以普通小麦 C. S. ph1b、C. S. ph2b 和 Fukuhokomugi 为母本, 以无融合生殖披碱草 *ER* 1050 为父本进行属间杂交。3 个组合共授粉 4189 个小花, 授粉 11 天后取穗检查, 共获幼胚 4 个, 平均结实率仅为 0.1% (表 1)。以中国春 ph1b、中国春 ph2b 为母本与 *ER* 1050 杂交, 在所使用的各种方法中, 均未获得杂种胚。以 Fukuhokomugi 为母本, 采用方法 1 (药剂 处理) 获得 1 个杂种幼胚, 经胚拯救得到再生植株; 采用方法 2 (药剂 处理) 获得 3 个杂种幼胚, 其中有 2 个幼胚经胚拯救, 获得愈伤组织, 但中途夭折, 未得到再生植株, 有 1 个幼胚未

表 1 普通小麦与披碱草属间杂交的结果

Table 1 Result in intergeneric hybridization between wheat and apomictic *E. rectisetus*

组合 Crosses	杂交结果 Result of hybridization	授粉方法 1 Pollination method 1			授粉方法 2 Pollination method 2			授粉方法 3 Pollination method 3		
		3								
C. S. ph1b × <i>ER</i> 1050	No. of florets pollinated	341	162	203	117	131	100	134	123	98
	No. of embryos obtained (%)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
	Plantlets obtained (%)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
C. S. ph2b × <i>ER</i> 1050	No. of florets pollinated	342	170	204	110	130	101	135	127	108
	No. of embryos obtained (%)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
	Plantlets obtained (%)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
Fukuho2 komugi × <i>ER</i> 1050	No. of florets pollinated	506	120	100	157	75	97	113	184	102
	No. of embryos obtained (%)	1 (0.20)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	3 (4.00)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
	Plantlets obtained (%)	1 (0.20)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)

3 , , 代表三种药剂配方。 , , represent three chemicals

产生愈伤组织。

## 2.2 杂种 F<sub>1</sub> 的形态特征

从幼苗开始直至成熟,对双亲(普通小麦 Fukuhokomugi 和披碱草 *E. rectisetus*)及杂种 F<sub>1</sub> 的形态特征和生长习性作了观察和记载(表 2)。从表 2 可见,在相同的栽培条件下,与双亲相比,杂种 F<sub>1</sub> 植株生长茁壮、长势旺盛,分蘖力强。杂种 F<sub>1</sub> 植株的外部形态,既表现母本普通小麦 Fukuhokomugi 的性状,又表现父本 ER 1050 的性状,但偏向于父本(图版 21, 2, 5)。

表 2 普通小麦品种 Fukuhokomugi × *E. rectisetus* 1050 杂种 F<sub>1</sub> 及双亲的形态特征  
Table 2 Morphological characters of hybrid F<sub>1</sub> between *T. aestivum* cv. Fukuhokomugi and *E. rectisetus* acc 1050 and its parents

形态特征 Morphological	普通小麦 <i>T. aestivum</i> ( $\bar{X}$ )	披碱草 <i>E. rectisetus</i> 1050 ( $\bar{X}_n$ )	杂种 F <sub>1</sub> Hybrid F <sub>1</sub> ( $\bar{X}_{F_1}$ )	双亲平均值 Means of parents ( $\bar{X}_p$ )	( $\bar{X}_{F_1}$ ) - ( $\bar{X}_p$ )
Plant height (cm)	50.90	135.52	107.13	93.21	13.92 <sup>3 3</sup>
Length of flag leaf (cm)	22.70	21.30	32.52	22.00	10.52 <sup>3 3</sup>
No. of tillers/plant	14.75	61.26	51.51	38.01	23.25 <sup>3 3</sup>
Length of spike (cm)	7.80	31.91	23.89	19.86	4.03
Spike width (positive) (cm)	1.12	0.32	0.61	0.72	-0.11
Spike width (side) (cm)	0.90	0.31	0.40	0.61	-0.21
Aw n length (cm)	4.35	2.17	2.23	3.26	-1.03
No. of spikelets/spike	17.33	10.50	13.57	13.92	-0.35
Spike density	2.05	0.50	0.71	1.28	-0.57 <sup>3 3</sup>
No. of florets/spikelet	5.00	7.00	6.00	6.00	0.00
Perennial habit	-	+	+		

+ : 植株具有该性状; - : 植株不具有该性状 + : plants are with the character; - : plants are without the character

3 3 : t 测验达到极显著水平。t test reached X= 0.01 most significance

ER 1050 苗期芽鞘为紫红色,杂种 F<sub>1</sub> 试管苗在继代培养时期,底部芽鞘也呈现紫红色。移栽到花盆中生长,植株底部叶鞘仍为紫红色,而母本普通小麦品种 Fukuhokomugi 幼苗期底部叶鞘则为白色。因此,幼苗期植株底部紫红色叶鞘是识别普通小麦 Fukuhokomugi 与 ER 1050 属间杂种 F<sub>1</sub> 的一个很明显的形态标记。

成株期,杂种 F<sub>1</sub> 茎秆直径为 2.98 mm,母本普通小麦品种 Fukuhokomugi 茎秆直径为 4.45 mm,父本 ER 1050 茎秆直径为 2.31 mm。杂种 F<sub>1</sub> 的茎秆直径比双亲平均值 3.38 mm 小,但比父本茎秆直径大。从表 10 看出,杂种 F<sub>1</sub> 穗长、每穗小穗数等性状接近于双亲平均值,稍倾向于父本 ER 1050,而杂种 F<sub>1</sub> 的每小穗的小花数为 6,接近双亲的平均值。

普通小麦 Fukuhokomugi 品种的穗形为长方形,穗正面(1.12 cm),宽于侧面(0.90 cm),穗长平均为 9.25 cm,每穗小穗数为 17.3,小穗密度(小穗数/穗长)为 2.05; ER 1050 穗形为棍棒形,穗正面(0.32 cm)与侧面(0.31 cm)相差很小;杂种 F<sub>1</sub> 穗形为棍棒形,穗正面(0.61)宽于侧面(0.40 cm)。杂种 F<sub>1</sub> 小穗密度为 0.71,高于父本无融合生殖 ER 1050,但远低于母本普通小麦 Fukuhokomugi,它与双亲平均数的差数(-0.57)达极显著水平。杂种芒长接近父本。杂种 F<sub>1</sub> 生长健壮,单株分蘖成穗数平均达到 51.5 个,远远高于双亲平均值 38.01,接近父本(61.26)。

杂种 F<sub>1</sub> 具有多年生习性。1996 年 11 月共移栽杂种 F<sub>1</sub> 再生植株 20 盆,1997 年夏天用母本回交后,剪掉成熟穗的分蘖,又长出新的分蘖,并顺利越过夏天,11 月份中旬搬进温室,生长繁茂,1998 年 3 月份,剪掉成熟穗的分蘖,又长出新的分蘖,生长旺盛。

### 2.3 杂种 F<sub>1</sub> 的细胞遗传学

无融合生殖披碱草 ER 1050 产生不减数的 2n 花粉<sup>[1, 8]</sup>。该 2n 花粉粒比相应的有性生殖种 *E. scabrus* 品系 53165 的 n 花粉粒体积要大(图版É 23)。产生 2n 花粉是无融合生殖披碱草 ER 1050 区别于有性生殖种 *E. scabrus* 的重要特征。

由于 ER 1050 (2n = 42, SSYYWW) 产生不减数的 2n 花粉, 与普通小麦 (2n = 42, AABBDD) 的属间杂种 F<sub>1</sub> 为 9 倍体。取根尖进行镜检, 其染色体数目 2n = 63 (SSYYWWABD, 图版É 24)。其中 21 条来自母本 Fukuhokomugi, 42 条来自父本 ER 1050。

属间杂种 F<sub>1</sub> 及其双亲花粉母细胞 (PMC) 减数分裂时的染色体配对情况见表 3、图版É 26。杂种 F<sub>1</sub> 减数分裂的染色体配对频率为: 22 69É + 16 5° + 3 01° + 0 83, + 0 01İ。中期É 杂种 F<sub>1</sub> 出现单价体的频率较预期的高, 每个细胞中有 22~ 26 单价体的频率为 65%。多价体如三价体、四价体出现的频率极低。虽然杂种 F<sub>1</sub> 包含有 ER 1050 的全部 42 条染色体, 但是同源染色体配对的情况与理论上的推测相差很大, 平均每个细胞出现 16 15 个棒状二价体 (范围 13~ 22)、3 10 个环状二价体 (范围 1~ 7), 与双亲相比, 出现棒状二价体的比例远高于环状二价体。这一结果与 Wang 等人 (1993) 报道的结果<sup>[6]</sup> 很类似。多数花粉母细胞后期É 63 条染色体移向两极的过程中, 常有 5~ 9 条染色体滞后 (图版É 28)。有的花粉母细胞后期É 63 条染色体进行不均等分离 (图版É 29)。有的花粉母细胞在二分体期有微核出现 (图版É 27)。个别花粉母细胞, 63 条染色体移向三极, 形成三分体 (图版É 210)。

表 3 普通小麦品种 Fukuhokomugi 与 *E. rectisetus* 1050 属间杂种 F<sub>1</sub> 及其双亲花粉母细胞减数分裂时的染色体配对  
Table 3 Chromosome pairing at metaphase É in hybrid F<sub>1</sub> between *T. aestivum* cv. Fukuhokomugi and *E. rectisetus* acc. 1050 and its parents

材料 Materials	染色体数 No. of chromosome	观察细胞数 No. of cells observed	每个细胞平均染色体配对 Mean chromosome pairing per cell					
			É	Rod°	Ring°	Total°	İ	
Fukuhokomugi	42	50	0 56 (0~ 2)	1 78 (0~ 4)	19 03 (16~ 21)	20 81 (20~ 21)		
ER 1050	42	51	0 16 (0~ 4)	1 11 (0~ 7)	19 76 (12~ 21)	20 87 (20~ 21)	0 02 (0~ 1)	
Hybrid F <sub>1</sub>	63	53	22 69 (17~ 26)	16 15 (13~ 22)	3 01 (1~ 7)	19 16 (18~ 22)	0 83 (0~ 2)	0 01 (0~ 1)

### 2.4 杂种 F<sub>1</sub> 的育性

用稀醋酸洋红对杂种 F<sub>1</sub> 及双亲花粉性的花粉粒进行可染性镜检, 结果发现, 双亲花粉粒的可染性达 95% 以上, 且花粉粒多, 圆形, 内含物丰富。杂种 F<sub>1</sub> 的花药呈长方形, 空秕, 花粉粒无可染性, 高度不育, 自交结实率为零。这说明普通小麦与 *E. rectisetus* 1050 生殖隔离严重, 亲缘关系很远。

ER 1050 为假受精无融合生殖。将 ER 1050 的幼穗在开花前 3 天去雄, 然后套以硫酸纸袋, 利用这种方法共处理了 200 个小花, 均未结实。在去雄后 3 天用 100 mg/L GA 浸泡柱头 2 分钟, 发现处理过的 100 个小花中共结 30 粒种子, 种子发芽长出的植株形态同原母体 ER 1050。且用上述同样方法用 (即 100 mg/L GA) 处理小麦品种 Fukuhokomugi 及杂种 F<sub>1</sub>, 各 200 个小花, 均未获得种子。这说明无融合生殖基因在 F<sub>1</sub> 中未表达。

## 2.5 小麦白粉病抗性鉴定

对属间杂种  $F_1$  及其双亲进行小麦白粉病抗性鉴定, 结果表明, 无论苗期, 还是成株期, 杂种  $F_1$  及其父本 ER 1050 均对白粉病表现免疫, 而母本普通小麦 Fukuhokomugi 则表现高度感染白粉病。

## 3 讨论

普通小麦 *T. aestivum* ( $2n=6x=42$ , AABBDD) 与无融合生殖报碱草 *E. rectisetus* ( $2n=6x=42$ , SSYYWW), 虽然同属小麦族 (Triticeae), 但二者染色体组成相差殊, 前者为 A、B、D 三个染色体组, 后者为 S、Y、W 三个染色体组, 二者杂交难度很大。Torabinejad (1987) 采用授粉后用 75 mg/L GA 处理的方法进行普通小麦与无融合生殖 *E. rectisetus* 杂交, 获得 8 个杂种幼胚, 但幼胚拯救失败, 未获得杂种  $F_1$  植株<sup>[9]</sup>。Ahmad 等 (1991) 用类似于 Torabinejad 的方法即授粉前后用 75 mg/L GA 处理, 结合幼胚拯救技术获得了普通小麦与有性生殖披碱草 *E. scabrus* ( $2n=6x=42$ , SSYYWW) 属间杂种  $F_1$ <sup>[10]</sup>。Wang 等人 (1993) 首次报道了普通小麦与无融合生殖 *E. rectisetus* 杂交成功, 采用方法有两种: 授粉前 1 天用 75 mg/L GA + 25 mg/L 2, 4-D 处理母本柱头; 授粉后 1 天用 75 mg/L GA 处理母本柱头。本试验使用 50 mg/L GA 处理, 结合重复授粉、幼胚拯救技术也获得了普通小麦与 *E. rectisetus* 的杂种  $F_1$ 。因此, 在授粉小花数足够多的基础上, 授粉前后利用 GA 处理, 同时重复授粉、幼胚拯救, 是进行普通小麦与 *E. rectisetus* (或 *E. scabrus* ( $2n=6x=42$ , SSYYWW)) 属间杂交的有效方法之一。

无融合生殖 *E. rectisetus* 与有性生殖 *E. scabrus* 均起源于澳大利亚和新西兰, 具有相同的染色体组成 SSYYWW, 其形态特征非常相似<sup>[1, 2, 3]</sup>。但是, 二者与普通小麦杂交所获得的杂种的形态特征相差很大。Ahmad 等 (1991) 获得的普通小麦 Fukuhokomugi 与 *E. scabrus* 属间杂种  $F_1$  外形介于双亲之间, 但接近于母本普通小麦<sup>[10]</sup>。我们利用普通小麦品种 Fukuhoko 2 mugi 与 ER 1050 杂交得到的属间杂种  $F_1$  的形态接近于父本 ER 1050。造成上述现象的原因主要是由于 ER 1050 产生  $2n$  花粉, 与普通小麦的属间杂种  $F_1$  含 ER 1050 全套的染色体, 其数目占杂种  $F_1$  染色体组成的三分之二, 来源于小麦的染色体数仅占属间杂种  $F_1$  三分之一。遗传基础的不同导致了两种属间杂种  $F_1$  外部形态特征的差异。

Chen 等 (1990)<sup>[11]</sup>、李立会等 (1990, 1995)<sup>[9, 12]</sup> 利用普通小麦 (AABBDD,  $2n=42$ ) 与冰草 (PPPP,  $2n=28$ ) 进行属间杂交, 杂种  $F_1$  (PPABD,  $2n=35$ ) 含有两个相同的 P 染色体组, 其花粉母细胞减数分裂期只出现了 6 62 个单价体 (远小于理论值 21 个单价体)、8 28 个环状二价体和 4 16 个棒状二价体 (远高于理论值 7 个二价体) 和较多的多价体,  $F_1$  易于回交且自交结实。李立会等推测这一结果的出现是由于 P 染色体组中含有一种特殊因子控制着染色体的减数分裂行为。本试验中, 我们利用普通小麦 Fukuhokomugi (AABBDD,  $2n=42$ ) 与 ER 1050 杂交, 所获属间杂种  $F_1$  (SSYYWWABD,  $2n=63$ ) 含有父本全部的 42 条染色体, 其染色体组成同上述普通小麦与冰草的属间杂种  $F_1$  (PPABD,  $2n=35$ ) 相似。从理论上讲, 普通小麦与 *E. rectisetus* 品系 1050 属间杂种  $F_1$  应该有 21 个二价体, 其中环状二价体占有绝大部分, 来自于母本普通小麦 Fukuhokomugi 的 21 条染色体以单价体存在。然而实际观察到的染色体配对情况是:  $22 \ 69\text{E} + 16 \ 15\text{rod}^\circ + 3 \ 01\text{ring}^\circ + 0 \ 83 + 0 \ 01\text{l}$ , 其中棒状二价体出现的频率极高, 平均每个细胞出现的单价体也超过 21。其原因有待于进一步研究。

ER 1050 为假受精无融合生殖, 虽然胚的发育不需要雌雄配子的融合, 但仍需要受粉, 胚和胚乳才能正常发育<sup>[13]</sup>。这种受粉作用与一般有性生殖不同, 称为假受精。其功能可能有两

种: 一是刺激胚和胚乳发育; 二是极核受精无融合生殖体才能发育<sup>[13]</sup>。本研究利用 100 mg/L GA 浸泡已去雄的 ER 1050 雌蕊柱头, 起到了与受粉类似的作用, 获得了生长正常的种子, 种子长出的植株形态与原母体 ER 1050 相同。据此推断, ER 1050 在假受精无融合生殖过程中, 不仅卵子未受精, 而且极核也未受精, 受粉仅起到启动未减数卵子、极核分裂进而发育成胚和胚乳的作用。开展普通小麦与 ER 1050 杂交的一个重要目的是将 ER 1050 无融合生殖特性转育到普通小麦中。本研究中, 无论是否利用 GA 处理, 属间杂种 F<sub>1</sub> 均未结实, 杂种 F<sub>1</sub> 不表现无融合生殖。原因可能是小麦的细胞质影响了无融合生殖基因的表达。

小麦白粉病是我国和世界小麦生产中的重要病害之一, 发掘和利用新的抗病基因, 不断培育新的抗病品种是保持抗小麦白粉病持久性最为经济、安全和有效的方法<sup>[14]</sup>。以往研究和利用的小麦白粉病抗性基因多来自于小麦属内的种间杂交<sup>[7, 14]</sup>及小麦与簇毛麦<sup>[8]</sup>、山羊草等属间杂交<sup>[7, 8]</sup>, 目前尚未发现有抗源来自于披碱草属的报道。本研究利用普通小麦品种 Fukuhokomugi 与 ER 1050 进行属间杂交, 所获得的杂种 F<sub>1</sub> 植株对小麦白粉病表现免疫。由于母本普通小麦品种 Fukuhokomugi 高度感染白粉病, 而父本 ER 1050 表现免疫, 表明该抗性基因为显性。因此将来自 ER 1050 的抗白粉病基因导入小麦对于小麦育种具有很好的利用价值。

## 参 考 文 献

- 1 Caman J G, R R X Wang In: Elgin, James H, Jr and Jerome P. M iksche ed *Proceedings of the A pom ix Workshop*, 1992 26~ 29
- 2 Hair J B. *H eredity*, 1956, 10: 129~ 160
- 3 Torabinejad J, J G Caman, C F Crane *Genom e*, 1987, 36: 147~ 496
- 4 Caman J G, C F Crane, O Riera L izarazu *Crop Sci*, 1991, 31: 1527~ 1532
- 5 Crane C F, J G Caman *Am J Bot*, 1987, 74: 477~ 496
- 6 Wang R R X, ZW Liu, J G Caman In: Z SL i, Z Y Xin ed *Proceedings of the 8th International Wheat Genetics Symposium*, 1993 317~ 319
- 7 刘大钧 南京农业大学学报, 1994, 17(3): 1~ 7
- 8 陈佩度 南京农业大学学报, 1982, 4: 1~ 6
- 9 李立会, 董玉琛, 周荣华等 遗传学报, 1995, 22(2): 109~ 114
- 10 Ahmad F, A Comeau *Theor Appl Genet*, 1991, 81: 833~ 839
- 11 Chen Q, J Jahier, Y Cauderon *Genom e*, 1990, 33: 663~ 667
- 12 李立会, 董玉琛 中国科学(B 辑), 1990, (5): 492~ 496
- 13 李竞雄, 宋天明 植物细胞遗传学, 北京: 科学出版社, 1993, 288~ 363
- 14 杨作民, 唐伯让, 沈克全等 作物学报, 1994, 20(4): 385~ 394

## Explanation of Plate

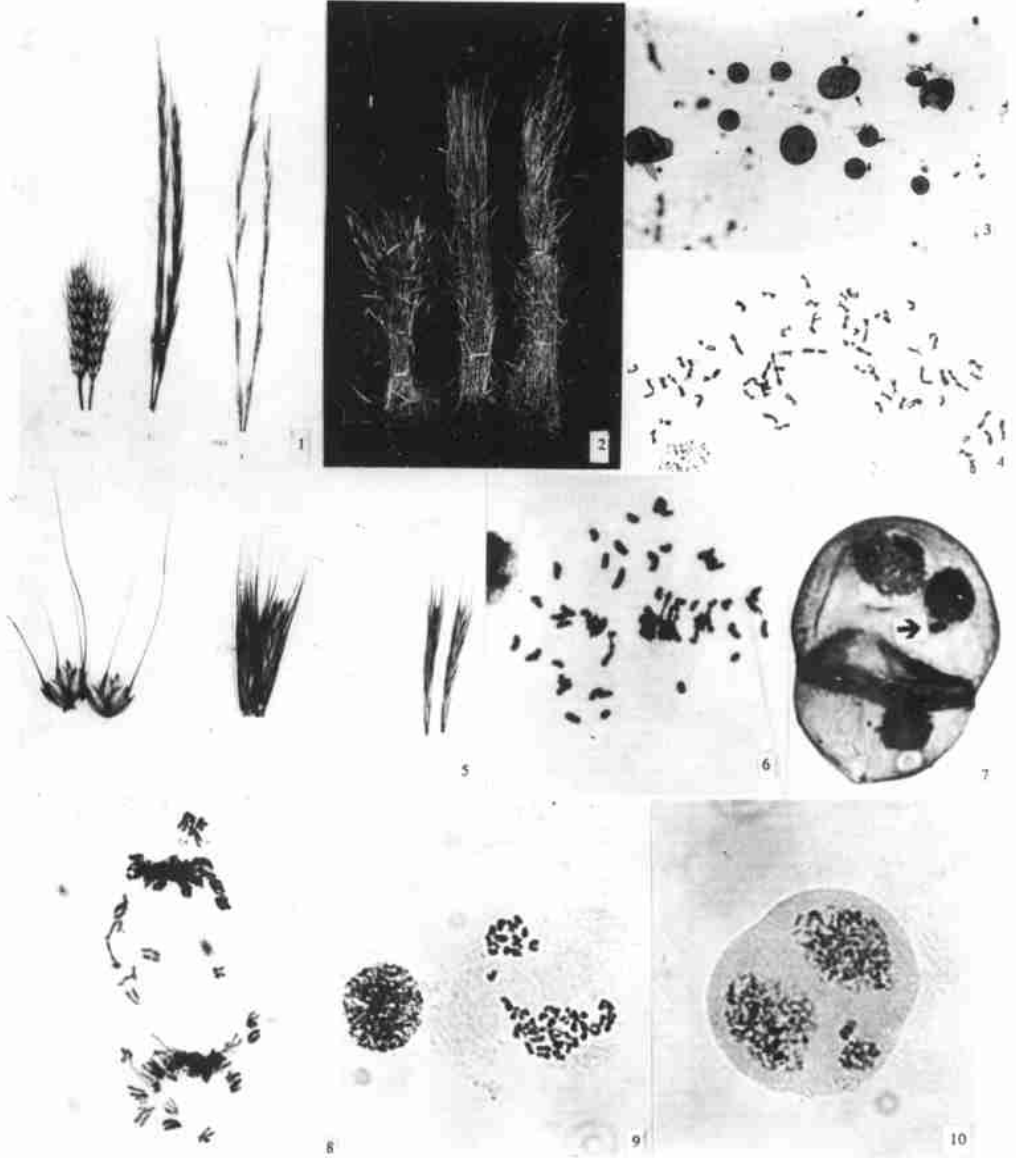
1. Spike morphology of F<sub>1</sub> and its parents Fukuhokomugi(left), F<sub>1</sub>(middle)、ER 1050(right) 2 Plants of F<sub>1</sub> and its parents Fukuhokomugi(left), F<sub>1</sub>(middle)、ER 1050(right) 3 2n pollen of apomictic ER 1050(large). and n pollen of sexual *E. scabrus* acc 53165(small) (40 × 3.2) 4 The chromosome number of the root tip cells of F<sub>1</sub>, 2n= 63, (40 × 10) 5 Spikelet morphology of F<sub>1</sub> and its parents Fukuhokomugi(left)、F<sub>1</sub>(middle)、ER 1050(right) 6 Chromosome pairing at metaphase I of F<sub>1</sub>: 26É + 15° + 1, + 1, (40 × 10) 7. One cell containing three nuclei (arrow indicates one micronucleus), (40 × 10) 8 Anaphase I showing 28/27/28 division, (40 × 10) 9. Anaphase I showing irregular division, (40 × 10) 10 Chromosomes move to three poles, (40 × 10)

高建伟等：小麦与无融合生殖披碱草(*Elymus rectisetus*)属间杂种 F<sub>1</sub> 的形态学和细胞遗传学研究

图版 I

GAO Jian-Wei *et al.* : Morphology and Cytogenetics of the Intergeneric Hybrid between *Triticum aestivum* and Apomictic *Elymus rectisetus*

Plate I



图版说明：1. 杂种 F<sub>1</sub> 及其双亲的穗形，Fukuhokomugi(左)、F<sub>1</sub>(中)、ER1050(中) 2. 杂种 F<sub>1</sub> 及其双亲成株期的形态比较，Fukuhokomugi(左)、F<sub>1</sub>(中)、ER1050(中) 3. ER1050 产生 2n 花粉粒(大)，有性生殖 *E. scabrus* 品系 53165(小)产生 n 花粉粒(右)，(40×3.2) 4. 杂种 F<sub>1</sub> 根尖体细胞染色体数 2n=9x=63，(40×10) 5. 杂种 F<sub>1</sub> 及其双亲的小穗穗形，Fukuhokomugi(左)、F<sub>1</sub>(中)、ER1050(中) 6. 杂种 F<sub>1</sub> 花粉母细胞在中期 I 染色体配对情况，26 I + 15 II + 1 III + 1 IV，(40×10) 7. 杂种 F<sub>1</sub> 二分体期出现三核细胞，箭头指向微核 8. 杂种 F<sub>1</sub> 花粉母细胞后期 I，28-7-28 分离 9. 杂种 F<sub>1</sub> 花粉母细胞染色体不均等分离 10. 杂种 F<sub>1</sub> 后期 I 染色体移向三极