

小麦 K 型雄性不育系易恢性的差异研究

詹克慧, 高 翔, 程西永, 许海霞, 董中东, 崔党群

(河南农业大学 农学院, 河南 郑州 450002)

摘要:在两种环境条件下对 16 个 K 型不育系与 12 个恢复系组配的 192 个杂交组合的恢复度进行了鉴定, 研究了不同不育系易恢性的差异以及恢复系的恢复力表现。结果表明, 在 16 个不育系中, 豫麦 3 号、豫农 93019、豫农 93151 和漯珍 1 号的平均恢复度都在 70% 以上, 为易恢性好的类型; 豫教 1 号、豫农 93221、S33、豫农 92369、豫农 92368 和豫农 92382 的平均恢复度在 60%~70%, 为易恢性中等的类型; MS43、S34、豫麦 21 号、S43、矮 82056 和豫农 212M2 的平均恢复度在 60% 以下, 为易恢性差的类型。在 12 个恢复系中, 携带 2 对恢复基因的豫麦 2 号不仅平均恢复度高, 而且在不同不育系间恢复力最稳定; 豫麦 54 号和豫麦 66 号的恢复力最差, 二者均没有携带 *Rf1* 基因。不育系与恢复系间存在一定的互作效应。

关键词: 小麦; K 型不育系; 育性恢复; 易恢性

中图分类号: S512 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2008)05-0067-06

Easy Restoration of Fertility for Male Sterile Line with *Ae. kotschy* Cytoplasm in Wheat (*Triticum aestivum* (L.) Thell.)

ZHAN Ke-hui, GAO Xiang, CHENG Xi-yong, XU Hai-xia,

DONG Zhong-dong, CUI Dang-qun

(College of Agronomy, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: One hundred and ninety-two hybrids were crossed by sixteen A-lines and twelve R-lines, and their restoring degrees were obtained in two different environments. The results showed that among the sixteen A-lines, the average restoring degree of Yumai 3, Yunong 93221, Yunong 93151 and Luozhen 1 were more than 70% and were divided the sterile lines easy to be restored. Yujiao1, Yunong 93019, S33, Yunong 92369, Yunong 92368 and Yunong 92382 were in the middle for ERF, and their average restoring degrees were between 60% and 70%. MS43, S34, Yumai21, S43, Ai82056 and Yunong 212M2 were difficult to be restored, and their average restoring degrees were under 60%. Among twelve R-lines, Yumai 2 with two fertility restorer genes had the strongest and the most stable restoring ability to different A-line, while Yumai 54 and Yumai 49 without *Rf1* had the lowest restoring ability. There existed some interaction between A-line and R-line.

Key words: Wheat; Male sterile line with *Ae. kotschy* cytoplasm; Fertility restoration; Easy restoration of fertility

不育系的易恢性是指不同的同质异核不育系与同一恢复系组配的杂交组合所表现出恢复力的差异性, 它反映的是不育系间存在着不同的修饰基因或抑制基因^[1,2]。Tupp^[1]最早研究了小麦 T 型不育系的易恢性差异, 发现不同的不育系间具有较大的易恢性差异, 建议在转育不育系之前, 先进行带不育胞质的恢复系与保持系的杂交, 以其 F_1 的结实性来预测其不育系的易恢性高低。范濂等^[2]研究发现, 不同小麦 T 型不育系对于不同恢复源的易恢性是不同的。在

小麦 K 型不育系的应用研究中, 也发现不同不育系的易恢性存在着明显的差异^[3-6]。张改生^[7]认为, K 型 1B/1R 不育系的育性恢复不高的主要原因是 1BS 上的 *Rf1* 基因被 1R 易位形成缺位引起的, 因此, 选育 K 型非 1B/1R 不育系可以大大提高育性恢复度。但是, 也发现一些 K 型 1B/1R 不育系也具有较好的易恢性^[5], 说明 K 型不育系的易恢性不能完全归结于 1B/1R 易位系的影响, 可能还与不育系间存在着不同的修饰基因或抑制基因有关。因此, 对小麦 K 型不育

系的易恢性进行研究,可以从中发现易恢性较好的不育系和在不同不育系间恢复度高而稳定的恢复系,并进一步地探讨其遗传机制,为选育出优良的不育系和恢复系提供依据。

1 材料和方法

选用 16 个 K 型不育系与 12 个恢复系组配 192 个杂交组合,不育系和恢复系的编号和名称见表 1。16 个不育系均回交转育 6 代以上,性状表现稳定,除豫麦 21 号会产生一定比例的单倍体外,其他不产生或极少产生。利用 SSR 标记 Xgwm18 和 Francis^[8] 报道的黑麦 SCAR 标记对这些不育系和恢复系是否携带 1B/1R 片段进行鉴定。

田间试验于 2004—2006 年度在河南农业大学郑

州科教试验园区进行,分别在正常和土壤干旱两种环境条件下种植杂种 F₁, 2 行区,行长 1 m,行距 23 cm,株距 10 cm,单粒点播,顺序排列,不设重复。土壤干旱田的小麦整个生育期间不进行灌溉,在孕穗至开花期遇雨时采用遮雨棚遮挡,并在干旱试验的周围留 2 m 宽的隔离区;正常条件下根据土壤缺水情况分别在越冬期、孕穗期和灌浆初期进行了 3 次地灌。抽穗时每个组合套 10 个主茎穗,籽粒灌浆中后期收套袋穗以测定其恢复度。

以各组合两种环境条件下的国内法平均恢复度进行数据分析,不育系间易恢性和恢复系间恢复力的差异比较采用成对数据的 *t* 测验,统计分析在 Excel 上进行。

表 1 试验中选用的不育系和恢复系

Tab. 1 The sterile lines and restoring lines in the test

编号 No.	不育系 Sterile line	编号 No.	恢复系 Restoring line
S1	豫麦 3 号 Yumai 3	R1	豫麦 2 号 Yumai 2
S2	豫农 93019 Yunong 93019	R2	PH85-1-6
S3	豫农 93151 Yunong 93151	R3	陕 160 Shan 160
S4	漯珍 1 号 Luozhen 1	R4	陕优 225 Shanyou 225
S5	豫教 1 号 Yujiao 1	R5	L783
S6	豫农 93221 Yunong 93221	R6	豫农 97202 Yunong 97202
S7	S33	R7	郑农 7001 Zhengmng 7001
S8	豫农 92369 Yunong 92369	R8	豫麦 49 号 Yumai 49
S9	豫农 92368 Yunong 92368	R9	豫麦 69 号 Yumai 69
S10	豫农 92382 Yunong 92382	R10	郑优 6 号 Zhengyou 6
S11	MS43	R11	豫麦 54 号 Yumai 54
S12	S34	R12	豫麦 66 号 Yumai 66
S13	豫麦 21 号 Yumai 21		
S14	S43		
S15	矮 82056 Ai 82056		
S16	豫农 212M2 Yunong 212M2		

2 结果与分析

经分子标记鉴定,试验中所选用的 16 个不育系以及恢复系豫麦 54 号和豫麦 66 号为 1B/1R 类型,即 Xgwm18 没有扩增产物,黑麦 SCAR 标记有扩增产物,说明豫麦 54 号和豫麦 66 号不携带 1BS 上的 *Rf1* 基因。其他恢复系均为非 1B/1R 类型。

表 2 是 16 个 K 型不育系与 12 个恢复系组配的 192 个杂种 F₁ 的育性表现。可以看出,各杂种 F₁ 间的恢复度差异较大,最高的是不育系豫教 1 号×恢复系 PH85-1-6 为 88.64%,最低的是不育系豫麦 21 号×恢复系豫麦 66 号,仅 12.46%,不同的不育系对同一恢复系以及不同恢复系对同一不育系的育性表现均有一定差异。

2.1 不同 K 型不育系易恢性的差异

从 16 个不育系的平均恢复度来看(表 2),最高的

是豫麦 3 号,为 76.62%,其次是豫农 93019、豫农 93151 和 漯珍 1 号,分别为 72.40%, 72.17% 和 71.14%,说明这些不育系较易恢复;最低的是豫农 212M2,为 54.29%,矮 82056、S43、豫麦 21 号、S34 和 MS43 也具有较低的平均恢复度,均在 60% 以下,这些不育系较难恢复。豫麦 3 号不仅平均恢复度最高,而且恢复度的变异最小,除与豫麦 49 号和豫麦 54 号的恢复度分别为 63.20% 和 64.47%,其他均在 70% 以上,而且与其中 5 个恢复系的恢复度超过 80%,说明其在不同恢复系间的稳定性最好。具有较高平均恢复度的豫农 93019 也有较好的稳定性,与 8 个恢复系的恢复度在 70% 以上。稳定性最差的不育系是豫麦 21 号,标准差高达 19.82%,与不同的恢复系间的恢复度差异较大,最高的是与 PH85-1-6 的恢复度,达 82.35%,最低的是与豫麦 66 号,仅 12.46%,尽管其平均恢复度较低,但仍有恢复度超过 80% 的组合。豫农

92368 的稳定性也较差, 标准差达 17.13%, 尽管其平均恢复度中等偏低, 但仍与豫麦 2 号、PH85-1-6、陕 160 等 3 个恢复系的恢复度超过或接近 80%。同样是平均恢复度较低但稳定性偏好的 MS43, 最高的恢复度仅 71.48%, 与生产上利用的恢复度指标 80% 有明显

差距。因此, 在组合选配时, 既要重视易恢性较好的不育系, 也不能忽视易恢性较差且在不同恢复系间稳定性差的不育系, 这种不育系可能会与恢复力强的恢复系组配找到恢复度能满足生产应用的组合。

表 2 各杂交组合的恢复度表现

Tab. 2 Restoring degrees of hybrids with different sterile lines and restoring lines													%
不育系 Sterile lines	豫麦 2 号 Yumai 2	PH85-1-6	陕 160 Shan 160	陕优 225 Shan 225	L783	豫农 97202 Yu 97202	郑农 7001 Zheng 7001	豫麦 49 号 Yumai 49	豫麦 69 号 Yumai 69	郑优 6 号 Zheng 6	豫麦 54 号 Yumai 54	豫麦 66 号 Yumai 66	$\bar{x} \pm s$ Average $\pm s$
豫麦 3 号 Yumai 3	84.34	86.72	78.35	84.33	80.34	71.80	76.52	63.20	70.80	80.59	64.47	77.99	76.62 \pm 7.63
豫农 93019 Yu93019	85.20	82.04	73.70	72.62	77.73	69.38	84.98	63.04	74.45	51.53	71.95	62.20	72.40 \pm 9.94
豫农 93151 Yu93151	87.60	87.64	87.27	87.44	80.63	63.75	67.29	64.91	56.46	63.93	69.05	50.13	72.17 \pm 3.38
漯珍 1 号 Luozen 1	86.71	83.08	85.19	77.43	73.29	65.74	61.40	59.11	49.25	67.53	73.43	71.56	71.14 \pm 11.26
豫教 1 号 Yujiao 1	79.28	88.64	72.55	70.87	71.30	71.20	79.52	66.06	60.59	58.95	52.93	64.11	69.67 \pm 9.93
豫农 93221 Yu93221	66.58	77.93	74.72	72.15	72.89	78.34	66.56	60.96	54.79	66.18	46.32	67.29	67.06 \pm 9.45
S33	71.87	80.82	70.76	68.24	72.19	68.03	60.05	65.84	65.07	59.13	41.91	65.17	65.34 \pm 9.47
豫农 92369 Yu92369	73.95	80.48	76.22	70.87	70.81	67.79	68.33	56.87	59.98	61.80	55.54	39.31	65.16 \pm 11.21
豫农 92368 Yu92368	79.15	85.21	86.08	76.16	73.74	65.81	51.38	74.83	43.73	44.84	57.24	37.16	64.61 \pm 17.13
豫农 92382 Yu92382	79.56	46.82	79.40	71.47	77.85	61.00	64.49	52.23	60.58	67.22	59.47	38.04	63.18 \pm 3.07
MS43	71.23	71.48	63.73	69.19	63.61	64.01	65.30	54.83	54.49	52.17	56.68	29.39	59.68 \pm 11.60
S34	82.61	78.78	66.50	60.13	61.91	54.22	49.33	52.96	53.95	34.25	43.44	51.83	57.49 \pm 3.72
豫麦 21 号 Yumai 21	72.99	82.35	57.72	73.27	71.48	64.51	32.17	67.55	53.17	44.55	53.63	12.46	57.15 \pm 9.82
S43	75.87	62.39	61.71	68.93	70.57	67.04	44.79	51.20	68.05	42.33	41.83	33.04	56.89 \pm 370
矮 82056 Ai82056	73.57	68.91	55.92	62.04	47.98	65.93	46.95	54.42	60.80	58.08	49.02	25.13	55.73 \pm 12.75
豫农 212M2 Yu212M2	78.11	68.23	55.73	54.37	54.37	48.99	49.27	42.44	39.14	70.74	44.38	45.68	54.29 \pm 12.17
$\bar{x} \pm s$	78.04	76.97	71.60	70.59	70.04	65.47	60.52	59.40	57.83	57.74	55.08	48.16	
Average $\pm s$	± 6.14	± 11.04	± 10.52	± 8.61	± 9.02	± 6.79	± 14.07	± 7.96	± 9.75	± 12.12	± 10.49	± 8.72	

从各不育系间易恢性的差异比较结果(表 3)可以看出, 豫麦 3 号(S1)、豫农 93019(S2)、豫农 93151(S3)和漯珍 1 号(S4)之间没有差异, 平均恢复度较高, 都在 70% 以上, 均有 3~5 个恢复系对其的恢复度超过 80%, 这 4 个不育系归为易恢性好的类型。豫教 1 号(S5)、豫农 93221(S6)、S33(S7)、豫农 92369(S8)、豫农 92368(S9)和豫农 92382(S10)之间的易恢性没有差异, 平均恢复度中等, 在 60%~70%, 也有个别恢复系对其的恢复度超过 80%, 这 6 个不育系归为易恢性一般的类型。MS43(S11)、S34(S12)、豫麦 21 号(S13)、S43(S14)、矮 82056(S15)和豫农 212M2(S16)之间的易恢性没有差异, 平均恢复度较低, 在 60% 以下, 这 6 个不育系归为易恢性差的类型。

2.2 不同 K 型恢复系恢复力的差异

从各恢复系对 16 个不育系的平均恢复度结果(表 2)看出, 最高的是豫麦 2 号(R1)和 PH85-1-6(R2), 分别为 78.04%, 76.97%, 各恢复系恢复力的差异比较结果(表 4)表明二者之间没有差异, 属于恢复力强的恢复系。由于前面分析表明豫麦 2 号携带 2 对恢

复基因, 很可能 PH85-1-6 也携带有 2 对恢复基因。其次是陕 160(R3)、陕优 225(R4)和 L783(R5), 平均恢复度分别为 71.60%, 70.59%和 70.04%, 它们之间差异不显著, 且明显低于豫麦 2 号和 PH85-1-6 的, 也显著或极显著高于其他恢复系的, 属于恢复力较强的恢复系。豫农 97202(R6)的平均恢复度为 65.47%, 位于中等。郑农 7001(R7)、豫麦 49 号(R8)、豫麦 69 号(R9)、郑优 6 号(R10)和豫麦 54 号(R11)的平均恢复度较差, 为 55%~60%, 相互之间差异不显著。平均恢复度最低的是豫麦 66 号(R12), 仅 48.16%, 与其他的恢复系有明显差距。豫麦 54 号和豫麦 66 号均不携带 *R_{fv}* 基因, 二者的恢复度较低, 说明其携带的恢复基因的恢复力较弱, 而 *R_{fv}* 基因的恢复力较强。

不同的恢复系在 16 个不育系间的稳定性也有明显差异。豫麦 2 号和豫农 97202 具有较好的稳定性, 标准差分别为 6.14%, 6.79%(表 2), 由于豫麦 2 号的恢复力较强, 对各不育系的育性恢复度较高, 除对不育系豫农 93221 的恢复度为 66.58%外, 其他均在 70% 以上, 其中有 5 个超过 80%, 4 个接近 80%; 而具

有中等恢复力的豫农 97202 只对其中 3 个不育系的恢复度在 70%以上,最高的仅 78.34%。稳定性较差的恢复系是豫麦 66 号和郑农 7001,标准差分别为 18.72%,14.07%,极差分别为 65.53%,52.81%。尽管豫麦 66 号的恢复力较差,但对不育系豫麦 3 号的恢

复度达 77.99%;郑农 7001 的恢复力低于豫农 97202,但对不育系豫农 93019 和豫教 1 号的恢复度分别达到 84.98%,79.52%。因此,对于恢复力差且稳定性差的恢复系,从易恢性好的不育系中筛选,也会找到恢复度高的杂交组合。

表 3 16 个不育系间易恢性的差异比较

Tab. 3 Comparisons of differences among average restoring degrees of the 16 sterile lines

不育系 Sterile lines	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15
S2	4.22														
S3	4.45	0.23													
S4	5.48	1.26	1.03												
S5	6.95**	2.73	2.50	1.47											
S6	9.56**	5.34	5.11	4.08	2.61										
S7	11.28**	7.06	6.83	5.80	4.33	1.72									
S8	11.46**	7.24*	7.01**	5.98	4.51	1.90	0.18								
S9	12.01**	7.79	7.56**	6.53	5.06	2.45	0.73	0.55							
S10	13.44**	9.22*	8.99*	7.96	6.49	3.88	2.16	1.98	1.43						
S11	16.94**	12.72**	12.49**	11.46	9.99**	7.38	5.66	5.48**	4.93	3.50					
S12	19.13**	14.91**	14.68**	13.65**	12.18**	9.57*	7.85*	7.67*	7.12	5.69	2.19				
S13	19.47**	15.25**	15.02**	13.99*	12.52*	9.91	8.19	8.01*	7.46*	6.03	2.53	0.34			
S14	19.73**	15.51**	15.28**	14.25**	12.78**	10.17*	8.45*	8.27*	7.72	6.29	2.79	0.60	0.26		
S15	20.89**	16.67**	16.44**	15.41**	13.94**	11.33*	9.61*	9.43**	8.88	7.45	3.95	1.76	1.42	1.16	
S16	22.33**	18.11**	17.88**	16.85**	15.38**	12.77**	11.05**	10.87**	10.32	8.89*	5.39	3.20	2.86	2.60	1.44

表 4 12 个恢复系间恢复力的差异比较

Tab. 4 Comparisons of differences among average restoring degrees of the 12 restoring lines

恢复系 Restoring line	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11
R2	1.07										
R3	6.44*	5.37									
R4	7.44**	6.37*	1.00								
R5	8.00**	6.93*	1.55	0.55							
R6	12.57**	11.50**	6.13*	5.12*	4.57*						
R7	17.52**	16.45**	11.08**	10.07**	9.52**	4.95					
R8	18.64**	17.57**	12.20**	11.19**	10.64**	6.07**	1.12				
R9	20.21**	19.14**	13.77**	12.76**	12.21**	7.64**	2.69	1.57			
R10	20.30**	19.23**	13.86**	12.86**	12.31**	7.73**	2.78	1.66	0.09		
R11	22.96**	21.89**	16.52**	15.51**	14.96**	10.39**	5.44	4.32	2.75	2.66	
R12	29.88**	28.81**	23.44**	22.44**	21.89**	17.32**	12.37**	11.25*	9.68*	9.58*	6.93

2.3 不育系与恢复系间的互作分析

从表 2 还可以看出,易恢性好的不育系与恢复力强的恢复系组配的组合一般具有较高的恢复度,易恢性差的不育系与恢复力弱的恢复系组配的组合一般具有较低的恢复度,但是也有一些不一致的结果。这说明 K 型不育系与其恢复系间会产生一定的互作效应,即组合的特殊配合力效应,各组合的互作效应值列于表 5。可以看出,各组合的互作效应值变异幅度较大,最大为 23.00%,最小为-29.04%,说明不同的不育系与恢复系组合间具有明显的差异。正效应较大的组合有豫农 212M2(S16)/郑优 6 号(R10),S43(S14)/豫麦 69 号(R9)和豫麦 3 号(S1)/豫麦 66 号(R12),效应值分别为 23.00%,17.61%和 17.50%,组合对应的恢复度分别为 70.74%,68.08%和 77.99%,

均明显高于其双亲的平均恢复度,特别是前两个组合均是平均恢复度较低的双亲组配的。负效应较大的组合有豫农 92382(S10)/PH85-1-6(R2)、豫麦 21 号(S13)/豫麦 66 号(R12)和豫麦 21 号(S13)/郑农 7001(R7),效应值分别为-29.04%,-28.56%和-21.21%,组合对应的恢复度分别为 46.82%,12.46%和 32.17%,均明显低于其双亲的平均恢复度,而且豫农 92382/PH85-1-6 是易恢性中等的不育系和恢复力较强的恢复系组配的。由于恢复系中的恢复主基因只有 1 对或 2 对,一些恢复系携带的恢复主基因可能相同,因此可以推测个别组合产生这种特殊的效应是由不育系中的易恢基因与恢复系中的修饰基因或抑制基因互作产生的。

表 5 不育系与恢复系间的互作效应

Tab. 5 Effects of interaction between different sterile lines and restoring lines												%
不育系 Sterile lines	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12
S1	— 6. 03	— 2. 58	— 5. 58	1. 40	— 2. 03	— 6. 00	3. 67	— 8. 53	0. 64	10. 52	— 2. 94	17. 50
S2	— 0. 95	— 3. 04	— 6. 01	— 6. 09	— 0. 42	— 4. 20	16. 35	— 4. 47	8. 51	— 14. 32	8. 76	5. 93
S3	1. 68	2. 79	7. 79	8. 96	2. 70	— 9. 61	— 1. 12	— 2. 38	— 9. 26	— 1. 69	6. 08	— 5. 91
S4	1. 82	— 0. 74	6. 74	— 0. 02	— 3. 61	— 6. 58	— 5. 97	— 7. 15	— 15. 43	2. 94	11. 50	16. 55
S5	— 4. 14	6. 29	— 4. 42	— 5. 10	— 4. 12	0. 35	13. 62	1. 28	— 2. 62	— 4. 17	— 7. 53	10. 58
S6	— 14. 23	— 1. 81	0. 35	— 1. 21	0. 08	10. 10	3. 27	— 1. 21	— 5. 81	5. 67	— 11. 53	16. 37
S7	— 7. 22	2. 80	— 1. 89	— 8. 40	1. 10	1. 51	— 1. 52	5. 39	6. 19	0. 34	— 14. 22	15. 96
S8	— 4. 96	2. 64	3. 75	— 0. 60	— 0. 11	1. 45	6. 94	— 3. 41	1. 28	3. 19	— 0. 41	— 9. 72
S9	0. 79	7. 92	14. 16	5. 24	3. 38	0. 02	— 9. 46	15. 11	— 14. 42	— 13. 22	1. 84	— 11. 32
S10	2. 63	— 29. 04	8. 92	1. 99	8. 92	— 3. 36	5. 08	— 6. 06	3. 86	10. 59	5. 50	— 9. 00
S11	— 2. 19	— 0. 88	— 3. 25	3. 21	— 1. 82	3. 15	9. 39	0. 04	1. 27	— 0. 95	6. 21	— 14. 15
S12	11. 37	8. 61	1. 70	— 3. 67	— 1. 34	— 4. 45	— 4. 39	0. 35	2. 92	— 16. 69	— 4. 84	10. 47
S13	2. 09	12. 52	— 6. 74	9. 81	8. 57	6. 17	— 21. 21	15. 28	2. 47	— 6. 05	5. 69	— 28. 56
S14	5. 23	— 7. 19	— 2. 49	0. 73	7. 92	8. 96	— 8. 34	— 0. 81	17. 61	— 8. 01	— 5. 86	— 7. 72
S15	4. 09	0. 50	— 7. 12	0. 01	— 13. 50	9. 02	— 5. 01	3. 58	11. 53	8. 90	2. 50	— 14. 46
S16	10. 07	1. 26	— 5. 86	— 6. 22	— 5. 67	— 6. 48	— 1. 25	— 6. 96	— 8. 69	23. 00	— 0. 70	7. 53

3 讨论

杂交小麦的育性恢复力受恢复系的恢复能力和不育系的易恢性差异两方面的遗传因素所制约^[2]。许多研究结果^[3,9-13]均表明,小麦 K 型不育系的育性恢复不仅受主基因控制,也受到较多修饰或抑制基因的影响,其遗传机制比较复杂。笔者^[6]曾研究发现 K 型不育系豫麦 3 号和 S43 的易恢性差异是受 2 对主基因和微效多基因共同控制的,其中豫麦 3 号中携带的是显性基因, S43 中携带的是隐性基因,不育系易恢性与恢复系恢复力差异的机理是相同的。本研究结果表明,不同的小麦 K 型不育系的易恢性存在明显的差异,同一不育系与不同的恢复系组配的组合恢复度差异达 65.53%,不育系的易恢性对小麦 K 型不育系的育性恢复起着比较重要的作用,不育系中的易恢基因与恢复系中的修饰基因或抑制基因之间还存在明显的互作,进一步表明小麦 K 型不育系育性恢复的机理是比较复杂的。

小麦 K 型不育系的易恢性不仅受易恢性基因控制,可能还与 1B/1R 片段有关。由于 1R 易位染色体中的 1R 片段取代了正常 1B 染色体中的 *Rf1* 基因,而并没有携带对应 *rf1* 基因,因此利用 1B/1R 类型组配的杂种 F₁ 处于半合状态。Mukai 等^[14]认为, K 型 F₁ 杂种如基因型为 *Rf1rf1* 结实正常;若缺失 *rf1*, *Rf1* 为单位点剂量时结实较差,这可能与育性基因位点的剂量有关。张改生^[7]分析了粘、易型 1B/1R 不育系育性恢复度不高的内在原因,认为与 1B·1B/1R 杂合核型中的易位染色体在减数分裂中能否正常联会配对直接相关。王小利等^[15]研究发现,粘果山羊草细胞质对 1B/1R 型不育系减数分裂

染色体配对水平具有特异性降低作用, K 型 1B/1R 不育系减数分裂中期 I 出现单价体细胞频率与后期 I 出现落后染色体细胞的频率呈正相关。也与含核的四分体频率呈正相关,而对应保持系则没有相关性, K 型 1B/1R 不育系杂种 F₂ 单株减数分裂 3 个时期染色体行为变异率与其恢复度成反比,认为这类不育系恢复度不高且变异较大的原因可能是减数分裂中染色体行为不同步造成的,而且还受杂交组合核内整个染色体组与粘果山羊草细胞质的协调程度的影响。

1B/1R 易位片段的长短也可能是影响小麦 K 型不育系易恢性差异的原因之一。尽管 1B/1R 易位片段与 1BS 的配对程度有所降低,但是它们之间的交换仍然存在^[19]。由于不断地杂交改良,再加上 1BL/1RS 易位染色体来源不同,片段大小产生了一系列变异,会使不同不育系间易恢性存在很大差异。因此,一方面可以从大量育种材料中筛选易位片段较小且没有 *Rf1* 基因的保持系,并进行改良利用;一方面可以利用杂交和分子生物学等方法创造更短易位片段的保持系资源材料。此外,西北农林科技大学建议选育非 1B/1R 的 K 型不育系,以解决 1B/1R 对育性恢复和诱导单倍体的不利影响,并成功地从育种材料中和利用染色体转移的方法选育出了非 1B/1R 的 K 型不育系,选育出的非 1B/1R 不育系比相应的 1B/1R 不育系的易恢性有所提高^[17-22],这也是改进小麦 K 型不育系易恢性的一条重要途径。

从本试验中选用的 16 个不育系来看,它们均为 1BL/1RS 类型不育系,其中易恢性最好的是豫麦 3 号,其 1BL/1RS 来源于前苏联的高加索 (Kavkaz) 品

种,它与不同恢复力的恢复系组合的恢复度均较高,与西北农林科技大学选育的非 1B/1R 类型不育系 90-110 等^[17,20,21]相比,易恢性相当,说明从 1BL/1RS 品种中可以找到易恢性较好的不育系。分析该不育系易恢性好的原因,主要是易恢性主基因的存在,也可能是该不育系中的 1BL/1RS 片段较小。所以,要改进 K 型不育系的易恢性,应加强对 K 型不育系易恢性的遗传机理研究,定位其主基因,寻找相应的分子标记,以加快易恢性好的不育系的选育进程。

参考文献:

- [1] Trupp C R. Fertility restoration in soft winter wheat hybrid [J]. Crop Sci, 1976, 16: 453—456.
- [2] 范 谦,王福亭.提莫菲维核质体系杂交小麦杂种优势问题的初步探析[J].遗传学报,1978,5(1):31—40.
- [3] 杨天章.小麦新型不育系的研究与应用[C]//黄铁城.杂种小麦研究——进展,问题与展望.北京:北京农业大学出版社,1990:110—136.
- [4] 鞠正春,孙兰珍,于晶珠,等.普通小麦 K、V 型雄性不育系的恢复度和育性分离差异[J].山东农业科学,1997(5):4—7.
- [5] 詹克慧,程西永,范 平,等.兰考 906 对小麦 K 型不育系的育性恢复性能[J].河南农业科学,2005(2):15—18.
- [6] 詹克慧,崔党群,许海霞,等.小麦 K 型不育系的易恢性及育性恢复的稳定性研究[J].作物学报,2005,31(11):1490—1494.
- [7] 张改生.粘、易型 1B/1R 小麦雄性不育系产生单倍体的遗传机理及育性恢复性能的研究[J].遗传学报,1992,19(3):266—277.
- [8] Francis H A, Leitch A R, Keobner R M D. Conversion of a RAPD-generated PCR product, containing a novel dispersed repetitive element, into a fast and robust assay for the presence of rye chromatin in wheat[J]. Theor Appl Genet, 1995, 90: 636—642.
- [9] 张改生,杨天章.偏型和易型小麦雄性不育系的初步研究[J].作物学报,1989,15(1):1—10.

- [10] 孙兆全,杨天章,刘宏伟,等.K 型 1B/1R 易位小麦雄性不育系的育性恢复遗传[C]//黄铁城,张爱民.杂种小麦研究进展.北京:农业出版社,1993:87—92.
- [11] 刘曙东,何蓓如,王忠明,等.K 型小麦雄性不育系育性恢复的遗传分析[J].西北农业学报,1992,1(4):27—30.
- [12] 刘保申,孙兰珍,高庆荣,等.K 型杂交小麦恢复基因的遗传研究[J].华北农学报,1999,14(2):1—5.
- [13] 詹克慧,程 静,崔党群,等.小麦 K 型不育系育性恢复基因的遗传分析[J].作物学报,2006,32(6):873—877.
- [14] Mukai Y. Interactions of *Aegilops kotschy* and *Ae. variabilis* cytoplasm with homoeologous group 1 chromosomes in common wheat[C]//Proc. 6th Int. Wheat Genetics Sym, 1983: 517—527.
- [15] 王小利,张改生,刘宏伟,等.粘型小麦雄性不育系减数分裂特征及育性恢复研究[J].西北植物学报,2001,21(5):832—838.
- [16] 刘保申,孙其信,高庆荣,等.K 型小麦细胞质雄性不育系育性恢复基因的 SSR 分子标记分析[J].中国农业科学,2002,35(4):354—358.
- [17] 张改生,赵惠燕,吴兆苏,等.偏、粘和易型非 1B/1R 小麦雄性不育系研究初报[J].西北农业学报,1994,3(4):7—12.
- [18] 宋喜悦,方 鹏,马翎健,等.非 1B/1R 类型和 1B/1R 类型小麦 K 型雄性不育系比较研究[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2002,30(1):1—4.
- [19] 牛 娜,张改生,刘宏伟,等.粘类非 1BL/1RS 小麦雄性不育系恢复性遗传规律的研究[J].西北植物学报,2003,23(4):608—614.
- [20] 乔利仙,张改生,孙世孟,等.几类异源细胞质 1B/1R、非 1B/1R 型小麦雄性不育系育性恢复性的比较研究[J].西北植物学报,2004,24(12):2291—2295.
- [21] 杜伟莉,张改生,刘宏伟,等.粘、易、偏型非 1BL/1RS 小麦雄性不育系育性恢复性研究[J].西北植物学报,2003,23(1):69—74.
- [22] 马翎健,胡银岗,宋喜悦,等.1B/1R 与非 1B/1R 小麦 K 型雄性不育系比较研究[J].华北农学报,2006,21(4):5—8.