

# 授粉条件对芸薹属作物种间杂交亲和性的影响

徐书法<sup>1,2</sup>, 轩正英<sup>2</sup>, 冯 辉<sup>2</sup>

(1. 中国农业科学院 蜜蜂研究所, 农业部授粉昆虫生物学重点开放实验室, 北京 100093; 2. 沈阳农业大学 园艺学院, 辽宁 沈阳 100024)

**摘 要:** 研究了不同授粉处理方法、不同授粉时间、不同分枝授粉、不同来源花粉 4 种授粉条件对芸薹属作物种间杂交亲和性的影响。结果表明: 蕾期授粉, 一级分枝授粉, 上午 9:00~11:00 授粉及采用复合花粉套袋授粉均可以有效地提高芸薹属白菜与根芥、叶芥及甘蓝型油菜的种间杂交亲和性。

**关键词:** 芸薹属; 杂交; 亲和性; 授粉

**中图分类号:** S 634 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2009)12-0001-06

芸薹属作物包括许多重要的农作物, 如大白菜 (*Brassica campestris*)、甘蓝型油菜 (*Brassica napus*)、芥菜 (*Brassica juncea*) 等。芸薹属作物属异花授粉作物, 其杂种优势的利用多采用雄性不育化育种手段。沈阳农业大学冯辉等首先发现了大白菜核基因雄性不育复等位基因遗传现象, 提出了雄性不育“复等位基因遗传假说”, 育成了具有 100% 不育株率的核基因雄性不育系<sup>[1-3]</sup>。通过有性杂交, 将该不育基因转入多种生态型的大白菜和白菜中, 育成了多个新型雄性不育系<sup>[3]</sup>。现根据芸薹属作物具有部分同源染色体且种间杂交具有一定亲和性的特点, 设计了芸薹属作物白菜与芥菜、甘蓝型油菜种间杂交试验, 对不同授粉条件对种间杂交亲和性的影响进行了初步研究, 旨在为今后实现白菜中珍贵的核不育基因在芸薹属作物间转的育奠定基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

该试验所用的材料见表 1。

### 1.2 试验方法

试验于 2001 年 2~12 月在沈阳农业大学蔬菜科研基地进行。杂交亲本材料 2 月 16 日播种, 3 月 23 日分苗, 4 月 26 日定植于露地。5 月下旬至 6 月下旬, 以白菜雄性不育有关材料与根用芥菜、叶用芥菜和甘蓝型油菜

进行杂交, 套袋隔离。7 月上、中旬收获种子。8 月 20 日将收获的杂交种子于 4℃ 冰箱进行春化处理, 9 月 20 日播种育苗, 10 月中旬定植于温室, 开花后鉴定真假杂种, 计算亲和指数。试验中所用数据均为杂交 3 株以上植株、100 个杂交组合以上数据的平均值。

亲和指数 = 杂交结籽数 / 杂交花数。

### 1.3 授粉条件

1.3.1 不同的授粉处理方法 设计了蕾期授粉、开花当天授粉、开花后 3 d 授粉、开花后 5 d 授粉方法, 用以研究不同授粉处理方法对种间杂交亲和性的影响。

1.3.2 不同分枝授粉 设计了主枝、一级分枝、二级分枝、三级分枝、全部枝 (主枝 + 一级枝 + 二级枝 + 三级枝) 5 个处理, 用以研究不同分枝授粉对种间杂交亲和性的影响。

1.3.3 不同授粉时间 设计了从 7:00~17:00, 每隔 2 h 授粉 5 个处理, 研究不同授粉时间对种间杂交亲和性的影响。

1.3.4 不同花粉来源授粉 设计了单一来源花粉、复合花粉、敞开授粉 3 个处理, 来研究不同来源花粉对种间杂交亲和性的影响。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同授粉处理对种间杂交亲和性的影响

不同授粉处理对种间杂交亲和性的影响结果列于表 2。在各种处理中, 根用芥菜、叶用芥菜和甘蓝型油菜与白菜细胞质雄性不育系 (CMS) 杂交, 以蕾期授粉效果最佳, 开花当天授粉次之, 开花后 5 d 授粉的亲和指数为最低。各处理的授粉效果依次为: 蕾期授粉 > 开花当天授粉 > 开花后 3 d 授粉 > 开花后 5 d 授粉。以 M15 为本分别分别与根用芥菜、叶用芥菜及甘蓝型油菜杂交, 不同授粉处理对种间杂交亲和指数影响效果见图 1、2、3。

第一作者简介: 徐书法 (1970-), 男, 博士, 副研究员, 硕士生导师, 现从事生物技术研究工作。E-mail: phagraham@sina.com。

通讯作者: 冯辉 (1961-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 现从事蔬菜遗传育种研究工作。E-mail: fenghui@263.net。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30170641); 国家“863”计划资助项目 (2001AA241126 200220701324); 辽宁省博士启动基金资助项目 (1040187)。

收稿日期: 2009-08-10

表 1

试验材料

试材类型 Types	材料名称或代号 Cultivars or codes	染色体组型 Chromosomes	基因型 Genotype
白菜 Chinese cabbages	M15	AA 2n=20	质不育 CMS
白菜 Chinese cabbages	M18	AA 2n=20	质不育 CMS
白菜 Chinese cabbages	M22	AA 2n=20	质不育 CMS
根用芥菜 Root mustards	小叶芥菜(X01)Xiaoye	AABB 2n=36	未知基因型 Unidentified genotypes
根用芥菜 Root mustards	圆叶芥菜(X05)Yuanye	AABB 2n=36	未知基因型 Unidentified genotypes
根用芥菜 Root mustards	高桩芥菜(X07)Gaozhuang	AABB 2n=36	未知基因型 Unidentified genotypes
根用芥菜 Root mustards	大头(X08)Datou	AABB 2n=36	未知基因型 Unidentified genotypes
叶用芥菜 Leaf mustards	小花叶雪里蕻(X09)Xiaohuaye	AABB 2n=36	未知基因型 Unidentified genotypes
叶用芥菜 Leaf mustards	宏达雪里蕻(X10)Hongda	AABB 2n=36	未知基因型 Unidentified genotypes
叶用芥菜 Leaf mustards	细叶雪里蕻(X11)Xiye	AABB 2n=36	未知基因型 Unidentified genotypes
叶用芥菜 Leaf mustards	宜兴雪里蕻(X12)Yixing	AABB 2n=36	未知基因型 Unidentified genotypes
甘蓝型油菜 Oil seeds	蓉油 4号(X13)Rongyou	AACC 2n=38	未知基因型 Unidentified genotypes
甘蓝型油菜 Oil seeds	蜀杂 6号(X17)Shuzahuao	AACC 2n=38	未知基因型 Unidentified genotypes
甘蓝型油菜 Oil seeds	中油 821(X19)Zhongyou821	AACC 2n=38	未知基因型 Unidentified genotypes
甘蓝型油菜 Oil seeds	沪油 15(X20)Huyou15	AACC 2n=38	未知基因型 Unidentified genotypes

表 2

授粉处理对芸薹属作物种间杂交亲和指数的影响

Effects of different pollination stage on interspecific cross compatible index in <i>Brassica</i>													
组合 Combination	春季 Fertilization in spring				秋季 Fertilization in fall				春秋两季平均 Average				
	蕾期授粉	开花当天	开花后 3 d	开花后 5 d	蕾期授粉	开花当天	开花后 3 d	开花后 5 d	蕾期授粉	开花当天	开花后 3 d	开花后 5 d	
	Bud stage	授粉 After 1 day	授粉 After 3 days	授粉 After 5 days	Bud stage	授粉 After 1 day	授粉 After 3 days	授粉 After 5 days	Bud stage	授粉 After 1 day	授粉 After 3 days	授粉 After 5 days	
M15× X01-1	3. 90	3. 88	2. 20	1. 00	2. 80	2. 40	2. 00	1. 88	3. 35	3. 14	2. 10	1. 44	
M15× X05-1	3. 77	3. 66	2. 60	1. 70	2. 50	2. 00	1. 94	1. 34	3. 14	2. 83	2. 27	1. 52	
M15× X07-1	4. 71	4. 60	2. 05	0. 20	3. 90	3. 11	2. 86	2. 03	4. 31	3. 86	2. 46	1. 12	
M15× X08-1	3. 99	3. 23	1. 80	1. 80	2. 88	2. 22	1. 98	1. 65	3. 44	2. 73	1. 89	1. 73	
M15× X09-1	2. 03	2. 10	1. 30	0. 40	1. 98	0. 98	0. 78	0. 66	2. 01	1. 54	1. 04	0. 53	
M15× X10-1	2. 55	1. 80	1. 80	0. 70	1. 97	1. 65	1. 11	1. 00	2. 26	1. 73	1. 46	0. 85	
M15× X11-1	2. 60	1. 70	1. 30	1. 00	1. 40	0. 89	0. 76	0. 20	2. 00	1. 30	1. 03	0. 60	
M15× X12-1	2. 80	2. 80	1. 90	0. 03	2. 00	1. 80	1. 30	0. 90	2. 40	2. 30	1. 60	0. 47	
M15× X13-1	3. 00	2. 10	2. 10	1. 70	2. 80	1. 96	0. 99	0. 33	2. 90	2. 03	1. 55	1. 02	
M15× X17-1	3. 54	3. 00	1. 07	1. 05	3. 00	2. 55	1. 90	0. 95	3. 27	2. 78	1. 49	1. 00	
M15× X19-1	3. 23	3. 20	1. 70	1. 90	2. 80	1. 99	1. 66	0. 97	3. 02	2. 60	1. 68	1. 44	
M15× X20-1	3. 14	3. 09	1. 50	1. 00	2. 76	1. 69	1. 20	0. 88	2. 95	2. 39	1. 35	0. 94	
M18× X01-1	2. 87	2. 13	1. 89	1. 12	2. 60	2. 10	1. 80	1. 70	2. 74	2. 12	1. 85	1. 41	
M18× X05-1	2. 82	2. 02	1. 43	1. 31	2. 60	2. 50	1. 70	1. 00	2. 71	2. 26	1. 57	1. 16	
M18× X07-1	3. 20	2. 00	2. 32	1. 99	2. 47	2. 01	1. 55	1. 30	2. 84	2. 01	1. 94	1. 65	
M18× X08-1	2. 96	2. 87	1. 79	1. 69	1. 98	1. 80	1. 30	0. 80	2. 47	2. 34	1. 55	1. 25	
M18× X09-1	1. 05	1. 05	0. 88	0. 60	0. 90	0. 80	0. 50	0. 20	0. 98	0. 93	0. 69	0. 40	
M18× X10-1	1. 30	0. 90	0. 40	0. 60	1. 10	0. 60	0. 20	0. 01	1. 20	0. 75	0. 30	0. 31	
M18× X11-1	1. 04	0. 92	0. 72	0. 52	0. 70	0. 60	0. 55	0. 00	0. 87	0. 76	0. 64	0. 26	
M18× X12-1	1. 34	0. 77	0. 56	0. 20	1. 20	0. 80	0. 40	0. 20	1. 27	0. 79	0. 48	0. 20	
M18× X13-1	2. 40	2. 30	1. 60	1. 40	2. 30	2. 10	1. 98	1. 34	2. 35	2. 20	1. 79	1. 37	
M18× X17-1	2. 60	2. 10	1. 70	1. 01	2. 10	2. 01	1. 77	1. 62	2. 35	2. 06	1. 74	1. 32	
M18× X19-1	2. 01	1. 90	1. 50	1. 20	1. 85	1. 74	1. 04	0. 85	1. 93	1. 82	1. 27	1. 03	
M18× X20-1	2. 04	1. 63	1. 14	0. 98	1. 92	0. 82	0. 82	0. 04	1. 98	1. 23	0. 98	0. 51	
M22× X01-1	4. 70	4. 10	3. 70	2. 99	3. 40	3. 20	3. 20	2. 00	4. 05	3. 65	3. 45	2. 50	
M22× X05-1	4. 30	3. 90	3. 60	3. 10	3. 90	2. 90	1. 80	1. 30	4. 10	3. 40	2. 70	2. 20	
M22× X07-1	5. 40	4. 20	3. 80	3. 50	4. 90	3. 98	2. 97	1. 99	5. 15	4. 09	3. 39	2. 75	
M22× X08-1	4. 10	3. 20	2. 90	2. 10	3. 90	3. 30	2. 30	1. 78	4. 00	3. 25	2. 60	1. 94	
M22× X09-1	2. 20	1. 90	1. 10	1. 70	1. 80	1. 60	0. 80	0. 40	2. 00	1. 75	0. 95	1. 05	
M22× X10-1	1. 70	1. 10	0. 70	0. 10	0. 30	0. 30	0. 00	0. 00	1. 00	0. 70	0. 35	0. 05	
M22× X11-1	1. 30	1. 20	0. 80	0. 06	0. 20	0. 00	0. 00	0. 00	0. 75	0. 60	0. 40	0. 03	
M22× X12-1	2. 99	2. 09	1. 79	1. 09	0. 90	0. 70	0. 30	0. 80	1. 95	1. 40	1. 05	0. 95	
M22× X13-1	2. 80	1. 90	1. 60	1. 20	2. 60	2. 30	2. 10	1. 90	2. 70	2. 10	1. 85	1. 55	
M22× X17-1	4. 02	3. 80	3. 20	2. 60	3. 50	3. 00	2. 40	1. 70	3. 76	3. 40	2. 80	2. 15	
M22× X19-1	3. 50	3. 30	2. 80	2. 10	3. 40	3. 20	2. 90	2. 10	3. 45	3. 25	2. 85	2. 10	
M22× X20-1	2. 98	2. 87	1. 98	1. 87	2. 10	1. 90	1. 90	1. 60	2. 54	2. 39	1. 94	1. 74	

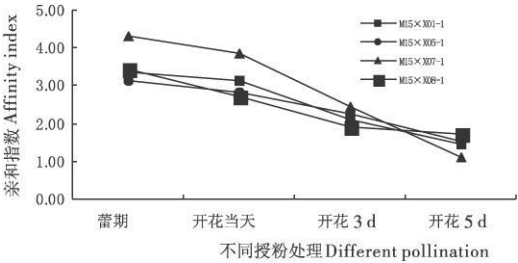


图 1 不同的授粉处理对种间杂交亲和指数的影响(M15× 根芥)  
Fig. 1 Effects of different fertilization stage on interspecific cross compatible index in *Brassica*(M15× Root mustards)

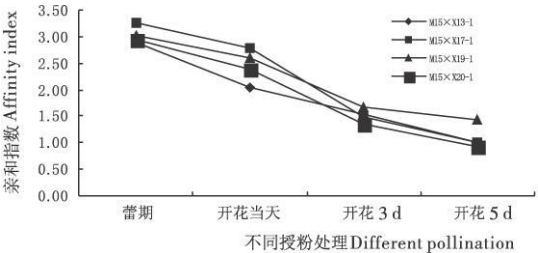


图 3 不同授粉处理对种间杂交亲和性的影响(M15× 甘蓝型油菜)  
Fig. 3 Effects of different fertilization stage on interspecific cross compatible index in *Brassica*(M15× oil seed of napus)

试验可以看出,在不同的授粉条件下,不同的母本基因型 M15、M18、M22 与根芥(共 4 个品种)进行杂交时的杂交亲和指数的平均值间存在一定的差异。M22 与根芥的杂交亲和指数要大于 M15 及 M18 的,在三者之中,以 M18 与根芥的亲和指数为最低。

2.2 不同分枝授粉对种间杂交亲和性的影响

试验结果见表 3,在所进行的各种处理中以一级分枝处理的亲和指数最大;主枝+一级分枝+二级分枝+三级分枝的处理为其次。5 种处理对种间杂交亲和性的影响依次表现为:一级分枝> 主枝+一级分枝+二级分枝+三级分枝> 主枝> 二级分枝> 三级分枝。以 M15

表 3 不同分枝授粉对种间杂交亲和性的影响

Table 3 Effects of different grade branches on interspecific cross compatible index in *Brassica*

组合 Combination	春季 Spring					秋季 Fall					春秋两季平均 Spring and fall average				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
M15×X01-1	2.40	3.90	1.70	1.50	2.20	1.40	2.80	1.10	0.89	2.40	1.90	3.35	1.40	1.20	2.30
M15×X05-1	2.20	3.77	2.20	1.80	2.30	1.30	2.50	1.20	0.67	2.30	1.75	3.14	1.70	1.24	2.30
M15×X07-1	3.00	4.71	1.50	1.10	2.80	2.01	3.90	2.00	0.30	3.00	2.51	4.31	1.75	0.70	2.90
M15×X08-1	1.30	3.99	0.90	0.50	1.40	1.96	2.88	1.60	0.13	2.30	1.63	3.44	1.25	0.32	1.85
M15×X09-1	1.30	2.03	0.90	0.70	1.20	0.89	1.98	0.70	0.30	1.70	1.10	2.01	0.80	0.50	1.45
M15×X10-1	1.50	2.55	0.90	0.90	1.80	1.23	1.97	1.12	1.12	1.50	1.37	2.26	1.01	1.01	1.65
M15×X11-1	1.80	2.60	1.50	1.10	1.90	1.10	1.40	1.03	0.77	1.30	1.45	2.00	1.27	0.94	1.60
M15×X12-1	1.90	2.80	1.54	0.90	2.00	1.32	2.00	1.23	0.98	1.20	1.61	2.40	1.39	0.94	1.60
M15×X13-1	2.10	3.00	1.70	1.40	2.00	1.23	2.80	1.15	1.15	2.90	1.67	2.90	1.43	1.28	2.45
M15×X17-1	2.20	3.54	1.87	1.50	2.00	2.01	3.00	1.21	1.11	2.80	2.11	3.27	1.54	1.31	2.40
M15×X19-1	1.80	3.23	1.24	0.90	1.90	1.33	2.80	1.52	1.02	2.40	1.57	3.02	1.38	0.96	2.15
M15×X20-1	1.64	3.14	1.62	0.98	1.70	1.67	2.76	1.87	1.56	2.30	1.66	2.95	1.75	1.27	2.00
M18×X01-1	1.23	2.87	0.70	0.40	1.30	1.99	2.60	2.01	1.88	2.40	1.61	2.74	1.36	1.14	1.85
M18×X05-1	1.20	2.82	0.78	0.50	1.40	1.34	2.60	1.53	1.34	2.70	1.27	2.71	1.16	0.92	2.05
M18×X07-1	2.10	3.20	1.93	1.10	2.20	2.32	2.47	2.42	2.52	2.40	2.21	2.84	2.18	1.81	2.30
M18×X08-1	1.90	2.96	1.20	0.89	0.60	1.21	1.98	1.20	0.99	1.30	1.56	2.47	1.20	0.94	0.95
M18×X09-1	0.90	1.05	0.70	0.60	0.70	0.37	0.90	0.43	0.33	1.10	0.64	0.98	0.57	0.47	0.90
M18×X10-1	0.70	1.30	0.70	0.40	1.00	0.23	1.10	0.01	0.00	1.10	0.47	1.20	0.36	0.20	1.05
M18×X11-1	0.30	1.04	0.70	0.40	0.80	0.21	0.70	0.08	0.00	0.70	0.26	0.87	0.39	0.20	0.75
M18×X12-1	1.20	1.34	1.10	0.20	1.20	0.31	1.20	0.20	0.00	1.10	0.76	1.27	0.65	0.10	1.15
M18×X13-1	1.90	2.40	1.30	1.10	2.00	1.81	2.30	1.32	1.10	2.10	1.86	2.35	1.31	1.10	2.05
M18×X17-1	1.89	2.60	1.60	0.90	1.98	1.69	2.10	1.62	1.00	2.40	1.79	2.35	1.61	0.95	2.19
M18×X19-1	0.87	2.01	1.20	0.30	1.10	1.50	1.85	1.46	1.33	1.50	1.19	1.93	1.33	0.82	1.30
M18×X20-1	1.23	2.04	1.10	0.40	1.30	1.20	1.92	1.35	1.36	1.87	1.22	1.98	1.23	0.88	1.59
M22×X01-1	3.80	4.70	2.30	1.78	3.98	2.30	3.40	3.01	3.00	3.30	3.05	4.05	2.66	2.39	3.64
M22×X05-1	2.90	4.30	2.60	1.94	2.40	1.32	3.90	1.76	1.20	3.60	2.11	4.10	2.18	1.57	3.00
M22×X07-1	4.10	5.40	3.10	2.11	3.87	2.34	4.90	2.76	2.60	4.80	3.22	5.15	2.93	2.36	4.34

组合 Combination	春季 Spring					秋季 Fall					春秋两季平均 Spring and fall average				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
M22×X08-1	3.50	4.10	3.20	2.18	3.60	2.78	3.90	1.98	1.70	3.70	3.14	4.00	2.59	1.94	3.65
M22×X09-1	1.80	2.20	0.76	0.47	1.70	0.56	1.80	0.76	0.70	1.80	1.18	2.00	0.76	0.59	1.75
M22×X10-1	0.80	1.70	0.91	0.56	1.20	0.01	0.30	0.09	0.00	0.24	0.41	1.00	0.50	0.28	0.72
M22×X11-1	0.30	1.30	0.10	0.09	0.50	0.30	0.20	0.07	0.00	0.18	0.30	0.75	0.09	0.05	0.34
M22×X12-1	1.40	2.99	0.99	0.67	1.60	0.30	0.90	0.40	0.00	0.78	0.85	1.95	0.70	0.34	1.19
M22×X13-1	1.38	2.80	0.78	0.56	1.35	2.04	2.60	2.20	2.01	2.45	1.71	2.70	1.49	1.29	1.90
M22×X17-1	2.50	4.02	2.34	1.69	2.70	2.13	3.50	2.15	1.98	3.42	2.32	3.76	2.25	1.84	3.06
M22×X19-1	4.00	3.50	3.33	3.01	4.20	2.31	3.40	2.42	2.22	3.12	3.16	3.45	2.88	2.62	3.66
M22×X20-1	2.30	2.98	1.67	1.34	2.10	2.01	2.10	1.88	1.30	2.01	2.16	2.54	1.78	1.32	2.06

注 A: 主枝 B: 一级分枝; C: 二级分枝; D: 三级分枝 E: 主枝+一级分枝+二级分枝+三级分枝。图 4.5 同。  
Note: A: Main inflorescence; B: first branches of inflorescence; C: secondary branches of inflorescence; D: third branches of inflorescence; E: A+B+C+D. The same as Fig. 4 and Fig. 5.

与不同根芥材料杂交为例 不同分枝授粉对种间杂交亲和性的影响效果如图 4 所示。在所选用的 3 个细胞质不育材料中, M22 表现出较好的亲和性, 其无论是与根用芥菜还是叶用芥菜、甘蓝型油菜, 都表现出比 M15、M18 大的亲和性, 影响效果见图 5。

2.3 授粉时间对种间杂交亲和性的影响

不同授粉时间对种间杂交亲和性的影响如表 4 所示。其中以上午 9:00~11:00 及下午 13:00~15:00 2 个时间内授粉效果最佳。以 A、B、C、D、E 代表 7:00~17:00 每 2 h 的授粉时间, 5 个授粉时间对亲和指数的影

响效果为 B>D>A>C>E。父本不同基因型对种间杂交亲和性有影响, 例如以 M15 为母本, 根用芥菜 X01-1、

表 4 春季不同授粉时间对种间杂交亲和性的影响

Table 4 Effects of different fertilization time on interspecific cross compatible index in Brassica					
组合 Combinations	A	B	C	D	E
M15×X01-1	2.65	3.90	2.80	3.01	2.20
M15×X05-1	2.85	3.77	2.70	3.23	2.30
M15×X07-1	3.76	4.71	3.80	4.30	3.20
M15×X08-1	3.12	3.99	3.00	3.20	2.60
M15×X09-1	1.87	2.03	1.70	1.98	0.80
M15×X10-1	1.77	2.55	1.60	2.00	1.10
M15×X11-1	2.32	2.60	2.20	2.40	2.01
M15×X12-1	2.10	2.80	2.00	2.34	1.96
M15×X13-1	2.43	3.00	2.30	2.65	2.23
M15×X17-1	2.53	3.54	2.30	2.40	1.99
M15×X19-1	2.45	3.23	2.35	3.10	2.08
M15×X20-1	2.44	3.14	2.33	2.98	1.03
M18×X01-1	1.25	2.87	1.15	1.98	0.88
M18×X05-1	1.85	2.82	1.95	2.40	1.49
M18×X07-1	2.65	3.20	2.56	3.10	2.01
M18×X08-1	2.00	2.96	1.98	2.01	1.99
M18×X09-1	0.60	1.05	0.65	0.88	0.10
M18×X10-1	0.50	1.30	0.46	0.67	0.01
M18×X11-1	0.70	1.04	0.60	0.64	0.00
M18×X12-1	0.50	1.34	0.45	0.89	0.00
M18×X13-1	1.70	2.40	1.65	2.34	1.05
M18×X17-1	2.45	2.60	2.30	2.40	2.30
M18×X19-1	1.54	2.01	1.55	1.85	0.95
M18×X20-1	1.14	2.04	1.04	1.63	0.64
M22×X01-1	3.33	4.70	3.23	3.87	2.10
M22×X05-1	2.88	4.30	2.98	3.87	2.40
M22×X07-1	3.65	5.40	3.89	4.44	2.30
M22×X08-1	3.65	4.10	3.22	3.88	2.86
M22×X09-1	1.65	2.20	1.88	2.15	1.68
M22×X10-1	1.10	1.70	0.90	0.99	0.80
M22×X11-1	0.88	1.30	0.78	0.89	0.66
M22×X12-1	2.45	2.99	2.50	2.66	1.55
M22×X13-1	2.20	2.80	2.10	2.55	1.40
M22×X17-1	3.15	4.02	3.21	3.60	2.15
M22×X19-1	2.58	3.50	2.54	3.20	2.35
M22×X20-1	1.95	2.98	1.87	2.50	1.54

注: A: 早晨 7:00~9:00; B: 早 9:00~11:00; C: 11:00~13:00; D: 13:00~15:00; E: 15:00~17:00。图 6 同。  
Note: A: 7:00~9:00AM; B: 9:00~11:00AM; C: 11:00~13:00; D: 13:00~15:00; E: 15:00~17:00. The same as Fig. 6.

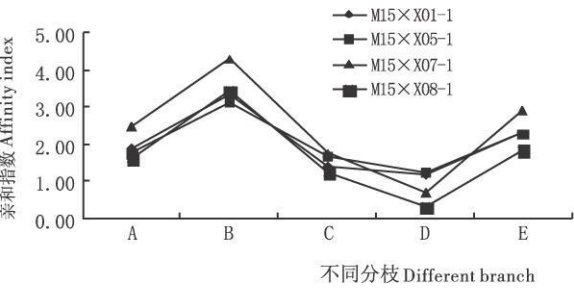


图 4 不同分枝授粉对种间杂交亲和指数的影响  
Fig.4 Effects of different grade branches on interspecific cross compatible index in Brassica

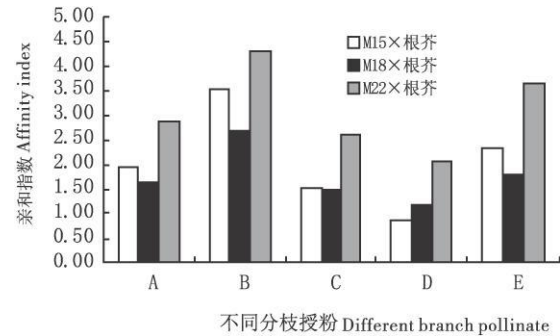


图 5 不同母本材料与根芥杂交时亲和性的差异比较  
Fig.5 Comparison of interspecific cross comparibility between different female parents and root muctards

X05-1、X07-1 及 X08-1 与其杂交的亲指数不同, 其中 X07-1 与 M15 的杂交亲指数最大。如图 6 所示, 试验所采用的 3 个 CMS 母本材料中, 无论是何种授粉时间的授粉处理, 均以 M22 与父本的种间杂交亲指数为高。

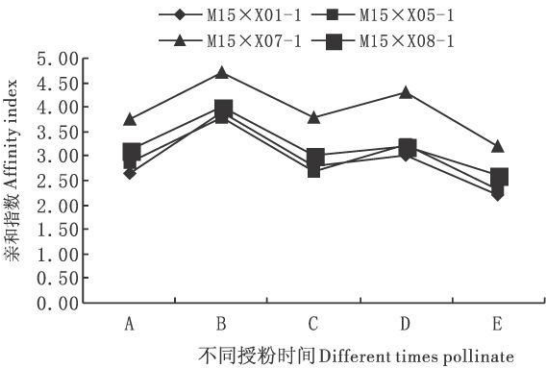


图 6 不同授粉时间对种间杂交亲和指数的影响(M15×根芥)  
Fig. 6 Effects of different fertilization time on interspecific cross compatible index in Brassica(M15×Root mustards)

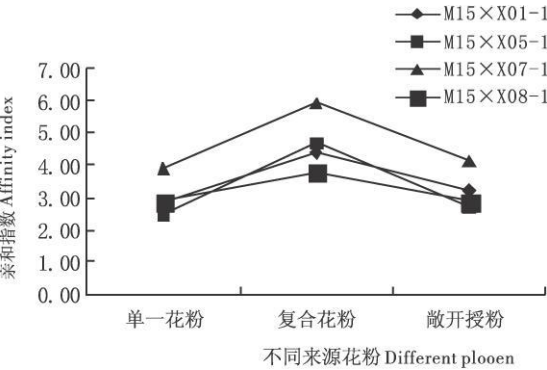


图 7 不同来源花粉对种间杂交亲和性的影响(M15×根芥)  
Fig. 7 Effects of different pollen on interspecific crosscompatible index in Brassica (M15×root mustards)

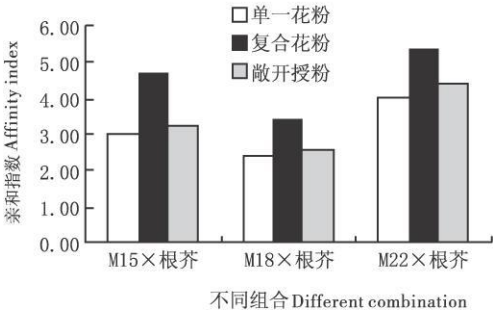


图 8 复合花粉套袋授粉条件下白菜与根芥不同组合对种间杂交亲和性的影响

Fig. 8 Effects of combinations between CMS and root mustards on interspecific cross compatible index by compaund fertilization (uncoated)

2.4 花粉来源对种间杂交亲和性的影响

该试验在秋季进行, 主要是由于在秋季温室中, 无

风、雨、虫等外界环境条件的干扰。试验中采用了 3 个处理, 即单一来源花粉套袋授粉、复合花粉套袋授及复合花粉不套袋授粉, 试验结果见表 5。

表 5 不同花粉来源对种间杂交亲和性的影响

组合 Combinations	index in Brassica		
	单一来源花粉套袋 Single pollen	复合花粉不套袋 Compound pollen	复合花粉套袋 Compound pollen
	(coated)	(uncoated)	(uncoated)
M15× X01-1	2.80	4.40	3.20
M15× X05-1	2.50	4.70	2.70
M15× X07-1	3.90	5.90	4.10
M15× X08-1	2.88	3.80	2.90
M15× X09-1	1.98	2.30	1.80
M15× X10-1	1.97	3.90	2.10
M15× X11-1	1.40	3.20	1.70
M15× X12-1	2.00	4.30	2.80
M15× X13-1	2.80	3.70	2.90
M15× X17-1	3.00	4.60	3.20
M15× X19-1	2.80	3.90	2.90
M15× X20-1	2.76	4.20	3.12
M18× X01-1	2.60	3.80	2.80
M18× X05-1	2.60	3.50	2.78
M18× X07-1	2.47	3.33	2.90
M18× X08-1	1.98	3.13	1.80
M18× X09-1	0.90	2.33	1.87
M18× X10-1	1.10	2.40	1.56
M18× X11-1	0.70	2.50	1.32
M18× X12-1	1.20	2.10	1.88
M18× X13-1	2.30	3.20	2.54
M18× X17-1	2.10	2.95	2.46
M18× X19-1	1.85	2.54	2.05
M18× X20-1	1.92	2.65	1.55
M22× X01-1	3.40	4.60	3.80
M22× X05-1	3.90	5.80	4.50
M22× X07-1	4.90	7.77	5.40
M22× X08-1	3.90	3.20	3.90
M22× X09-1	1.80	3.20	2.20
M22× X10-1	0.30	1.98	0.80
M22× X11-1	0.20	1.67	0.40
M22× X12-1	0.90	2.67	1.40
M22× X13-1	2.60	4.66	3.70
M22× X17-1	3.50	4.33	3.20
M22× X19-1	3.40	4.44	3.80
M22× X20-1	2.10	3.87	2.40

从表 5 可以看出, 全部 24 个组合中, 各种处理条件下的种间杂交亲和性变化在 0.40~7.77 之间, 以 M22× X07-1 复合花粉套袋处理的种间杂交亲和指数为最大。说明以复合花粉套袋处理的授粉方式为最佳处理。研究同时表明, 在以相同母本相同处理授粉时, 根用芥菜、叶用芥菜及甘蓝型油菜的不同基因型间存在着种间杂交亲和性的差异, 以 M15×根用芥菜为例的影响效果见图 7。采用不同来源的花粉与大白菜的 CMS 进行杂交时, 无论是单一花粉套袋授粉, 还是复合花粉套袋授粉、复合花粉不套袋敞开授粉均表现出 M22 是 3 个母本质不育系中最适宜种间杂交的基因型。在不同的处理中,

以复合花粉套袋授粉的处理效果最好,而以单一来源花粉套袋授粉的效果最差,影响效果见图8。

### 3 讨论

前人的研究结果已经证实芸薹属农作物种间杂交亲和性的强弱与染色体组型有关,染色体组型相同或有相同染色体组的种间杂交亲和性强<sup>[6-8]</sup>,该试验也发现了前人的这一研究结论。根用芥菜(AABB)、叶用芥菜(AABB)和甘蓝型油菜(AACC)均含有白菜(AA)的A组染色体,具有部分同源性,所以它们与白菜之间的杂交尽管亲和指数较低,但都有一定的可交配性。

授粉条件对芸薹属作物种间杂交亲和性的影响前人也有研究报道<sup>[8]</sup>。为了更好地克服种间杂交的不亲和性,人们研究出了不同的授粉方法,如采用柱头截短法、盐水喷雾法、蕾期授粉法等<sup>[7-8]</sup>。这些方法在不同配组的种间杂交组合上亲和效果不同。该试验采用了蕾期授粉来克服种间杂交的不亲和性,亲和指数较高。蕾期授粉法同柱头截短法及盐水喷雾法比较具有减少人工授粉程序、降低成本的优点,是一种在育种实践中值得使用的方法。

授粉时间、授粉枝及花粉来源均影响芸薹属作物种间杂交亲和性的重要因素。在该试验条件下,上午9:00~11:00授粉及采用复合花粉套袋授粉所取得的种间杂交亲和指数较大,这与前人的研究结果一致<sup>[8]</sup>。而该试验条件下,一级分枝授粉种间杂交的亲和指数大于主枝、二级分枝、三级分枝及全枝授粉的亲和指数,可能是由于一级分枝授粉时花期较为集中,植株较为健壮,

营养供给较充分,有利于种间杂种结籽和种胚的形成。而主枝开花可授粉时,可能由于植株还不够健壮,营养体不够发达,所以授粉亲和指数不高。前人鲜有对不同分枝授粉对种间杂交亲和性影响的研究报道。

### 4 结论

该试验条件下,采用蕾期授粉,一级分枝授粉,上午9:00~11:00授粉及采用复合花粉套袋授粉均可以有效地提高芸薹属白菜与根芥、叶芥及甘蓝型油菜的种间杂交亲和性。

### 参考文献

- [1] 冯辉. 大白菜核基因雄性不育系遗传假说及其验证[J] // 中国科研第二届青年学术年会园艺学论文集. 北京: 北京农业大学出版社, 1994: 466-485.
- [2] 冯辉. 大白菜雄性不育性研究综述[J]. 沈阳农业大学学报, 1994, 25(专辑): 121-126.
- [3] 冯辉, 魏毓棠. 白菜核不育复等位基因在亚种间转育的研究[J] // 辽宁省第三届青年学术年论文集. 沈阳: 东北大学出版社, 1998: 149-153.
- [4] 孟金陵, 甘莉, 程必芳. 由种间杂交创造的两个甘蓝型油菜细胞质不育系[J]. 华中农业大学学报, 1995(14): 21-25.
- [5] 孟金陵, 吴江兴, 刘兴梁. 甘蓝型油菜种间可交配系的选育[J]. 中国农学通报, 1994, 10(1): 1-4.
- [6] 刘世雄, 姜青, 崔文荣. 大白菜与7种芸薹属植株种间杂交亲和力的研究[J]. 河北农业大学学报, 1989, 12(1): 34-38.
- [7] 刘忠松. 油菜远缘杂交的遗传育种研究II 甘蓝型油菜与芥菜型油菜杂交的亲和性及其杂种一代[J]. 中国油料, 1994, 16(3): 1-5, 10.
- [8] 刘忠松, 官春云. 甘蓝型油菜与芥菜型油菜种间杂交的研究[J]. 中国油料作物学报, 2001, 23(2): 82-86.

## Effects of Pollination Conditions on Cross Compatibility Index between *Brassica* Crops

XU Shu-fa<sup>1,2</sup>, XUAN Zheng-ying<sup>2</sup>, FENG Hui<sup>2</sup>

(1. Agricultural Research Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100093, China; 2. Horticultural College of Shenyang Agricultural University, Shenyang Liaoning 100024, China)

**Abstract:** Dealed with four pollination conditions, including pollination stages, different grade branches, fertilization times, different pollens, which effecting the interspecific crosses between chinese cabbages (*Brassica campestris*) and root mustard (*Brassica juncea*), leaf mustard (*Brassica juncea*), and oil seed rape (*Brassica napus*) on their compatibility index. Results indicated that pollination at bud stages and at 9:00~11:00 AM, pollination at first grade branch, and with pollen mixtures of different varieties were the optimized pollination conditions which could achieve high cross compatibility index between *Brassica* crops.

**Key words:** *Brassica* crops; Cross; Compatibility; Pollination conditions