

“十一五”国家重点图书出版规划项目



应用生物技术大系

Comprehensive Series of Applied Biotechnology



# 油菜杂种优势利用新技术

## —— 化学杂交剂的利用

官春云 等 编著



科学出版社

“十一五”国家重点图书出版规划项目  
应用生物技术大系

# 油菜杂种优势利用新技术

## ——化学杂交剂的利用

官春云等 编著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

化学杂交剂是一项全新的技术体系,化学杂交剂利用杂种优势涉及农学和化学两大学科领域,本书围绕着油菜化学杂交剂和油菜杂种优势利用两个主题展开论述,共十章,分别详细介绍了油菜杂种优势、化学杂交剂杂种的主要优点、油菜杂种优势的利用途径、油菜的主要化学杂交剂、油菜化学杀雄的细胞学基础、化学杂交剂的生物化学与分子生物学作用机理、油菜优良自交系的培育、油菜杂种组合选配原则、油菜化学杀雄种子生产技术以及油菜化学杀雄技术育成的主要油菜品种。

本书适于从事植物应用化学研究和植物遗传育种,特别是从事油菜研究、杂种种子生产等方面的科学技术人员、以及大专院校师生阅读参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

油菜杂种优势利用新技术:化学杂交剂的利用 / 官春云等编著. —北京:科学出版社,2012

(“十一五”国家重点图书出版规划项目·应用生物技术大系)

ISBN 978-7-03-033967-6

I. ①油… II. ①官… III. ①油菜-杂交育种-研究 IV. ①S634.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 060084 号

责任编辑:李 悦 刘 晶 / 责任校对:宋玲玲

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:耕耒设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2012年4月第 一 版 开本:B5 (720×1000)

2012年4月第一次印刷 印张:12 1/4

字数:229 000

定价:60.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

## 编写人员

|     |      |     |
|-----|------|-----|
| 第一章 | 王国槐  |     |
| 第二章 | 王国槐  |     |
| 第三章 | 官春云  |     |
| 第四章 | 官春云  |     |
| 第五章 | 李  杓 | 陈平平 |
| 第六章 | 刘忠松  |     |
| 第七章 | 官  梅 |     |
| 第八章 | 刘忠松  |     |
| 第九章 | 陈社员  |     |
| 第十章 | 陈社员  |     |

## 前 言

我国是世界上最先在生产上推广油菜杂种的国家。利用化学杂交剂选育和生产油菜杂种,以及利用“三系”或“两系”选育和生产油菜杂种,是当前油菜杂种选育和制种的三大主要途径之一。但由于“三系”杂种对恢复系有严格的局限性,以及当前“三系”中的不育系多有微量花粉,会影响杂种纯度;而核不育“两系”在杂种生产过程中需拔除 50%可育株,工作量很大,又不可能彻底拔除可育株,也会影响杂种纯度。利用化学杂交剂选育和生产杂种则可克服以上问题,而且因为组合选配自由、易育成强优势杂种、育种周期短、杂种在生产过程中不存在风险等优点突出,特别是油菜育种研究发现母本含油量对杂种含油量起重要作用,利用化学杂交剂可大量配制和获得高含油量杂种,因此利用化学杂交剂选育和生产杂种的方法越来越受到青睐,并且迅速得到推广应用,成为当前油菜杂种生产上广泛应用的一项新技术。

利用化学杂交剂选育及生产油菜杂种是对油菜遗传育种学的丰富和发展,也是化学科学在油菜作物上的有效应用。本书综合油菜化学杂交剂及杂种选育和生产的研究与应用的最新成果,系统介绍以下内容:油菜高效、无毒的化学杂交剂的结构、性质及其在油菜上的应用效果;化学杂交剂导致油菜雄性不育的细胞遗传、生化机理;油菜杂种亲本自交系的培育方法、组合选配原则;利用化学杂交剂制种时的隔离条件,父母本行比,施药浓度、时期和辅助授粉方法等,以及在此基础上形成的利用油菜化学杂交剂配制和生产杂种的技术体系与方法。

本书适于从事植物应用化学研究、植物遗传育种,特别是从事油菜研究、杂种种籽生产等方面的科学技术人员,以及大专院校师生阅读参考。

限于作者水平和完稿时间仓促,书中不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

作 者

2011 年 10 月 1 日

# 目 录

## 前言

|                      |    |
|----------------------|----|
| 第一章 油菜杂种优势           | 1  |
| 第一节 油菜杂种优势表现         | 1  |
| 一、产量等性状的杂种优势表现       | 1  |
| 二、生理性状的杂种优势表现        | 5  |
| 第二节 油菜杂种优势的遗传基础      | 10 |
| 一、显性假说               | 10 |
| 二、超显性假说              | 14 |
| 三、上位性假说              | 16 |
| 四、遗传平衡理论             | 17 |
| 五、异质结合假说             | 17 |
| 六、有机体生活力理论           | 18 |
| 第二章 化学杂交剂杂种的主要优点     | 19 |
| 第一节 油菜化学杂交剂杂种的主要优点   | 19 |
| 第二节 作物化学杂交剂杂种应用的普遍性  | 19 |
| 一、化学杂交剂在油料作物生产上的应用研究 | 20 |
| 二、化学杂交剂在粮食作物生产上的应用研究 | 23 |
| 三、化学杂交剂在棉花生产上的应用研究   | 24 |
| 四、化学杂交剂在蔬菜作物生产上的应用研究 | 24 |
| 五、化学杂交剂在饲草作物生产上的应用研究 | 25 |
| 第三章 油菜杂种优势的利用途径      | 26 |
| 第一节 利用油菜雄性不育性杂交制种途径  | 26 |
| 一、细胞核雄性不育            | 26 |
| 二、细胞核细胞质互作雄性不育       | 29 |
| 第二节 油菜自交不亲和杂种优势利用途径  | 32 |
| 一、油菜的自交不亲和性          | 32 |
| 二、SI系选育方法            | 33 |
| 三、SI系繁殖              | 34 |
| 四、利用SI系配制杂交种的方式      | 35 |
| 第三节 油菜工程不育杂种优势利用途径   | 35 |

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| 一、油菜工程不育杂种优势利用途径的意义 .....                                      | 35 |
| 二、雄性不育基因(TA29-Barnase-bar)和恢复基因(TA29-Barstar-bar)的<br>获得 ..... | 36 |
| 三、湖南农业大学官春云等育成的油菜工程杂种 .....                                    | 36 |
| 第四节 油菜化学杂交剂利用途径 .....                                          | 39 |
| 第五节 油菜生态核不育杂种优势利用途径 .....                                      | 39 |
| 一、油菜生态核不育的特点和类别 .....                                          | 39 |
| 二、油菜生态核不育系的繁殖和制种方法 .....                                       | 39 |
| 三、几个主要生态核不育系及其杂种 .....                                         | 41 |
| 第六节 油菜杂种优势利用的其他途径 .....                                        | 41 |
| 一、甘蓝型油菜亚基因组杂种优势利用 .....                                        | 41 |
| 二、人工去雄杂交制种 .....                                               | 42 |
| 第四章 油菜的主要化学杂交剂 .....                                           | 43 |
| 第一节 作物上常用的化学杂交剂 .....                                          | 43 |
| 第二节 油菜化学杂交剂使用效果的研究 .....                                       | 45 |
| 第三节 几种主要化学杂交剂及其在油菜上的应用效果 .....                                 | 46 |
| 一、SX-1 .....                                                   | 46 |
| 二、EXP .....                                                    | 47 |
| 三、杀雄剂 1 号 .....                                                | 48 |
| 四、杀雄剂 2 号 .....                                                | 49 |
| 五、KMS-1 .....                                                  | 50 |
| 六、赤霉素 .....                                                    | 50 |
| 七、ESP(磺酰脲类) .....                                              | 51 |
| 八、EN .....                                                     | 53 |
| 九、巨星 .....                                                     | 55 |
| 十、WP .....                                                     | 56 |
| 十一、二氯丙酸 .....                                                  | 57 |
| 十二、二苯胺磺酸钠 .....                                                | 58 |
| 十三、氨基磺酸 .....                                                  | 58 |
| 十四、酰肼磺隆 .....                                                  | 59 |
| 十五、二氯丙酸钠 .....                                                 | 59 |
| 十六、水杨酰肼酸 .....                                                 | 60 |
| 十七、乙烯利 .....                                                   | 61 |
| 十八、2,4-D .....                                                 | 61 |
| 十九、对苯胺磺酸 .....                                                 | 62 |

|                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------|-----|
| 第五章 油菜化学杀雄的细胞学基础 .....                                    | 63  |
| 第一节 油菜花粉母细胞减数分裂 .....                                     | 63  |
| 一、蕾长与减数分裂时期的关系 .....                                      | 63  |
| 二、染色体行为 .....                                             | 63  |
| 三、油菜花粉母细胞减数分裂的时间 .....                                    | 65  |
| 四、同一花序不同大小花蕾和近似大小花蕾发育时期的差异 .....                          | 65  |
| 第二节 油菜减数分裂和小孢子发育时期的制片技术 .....                             | 67  |
| 一、油菜减数分裂发育时期的制片技术 .....                                   | 67  |
| 二、油菜小孢子发育时期的制片技术 .....                                    | 68  |
| 第三节 油菜化学杂交剂诱导油菜雄性不育的细胞学机理 .....                           | 71  |
| 一、甘蓝型油菜正常花药绒毡层和花粉粒形成及变化规律 .....                           | 71  |
| 二、杀雄剂 1 号在不同时期诱导甘蓝型油菜雄性不育过程中花药绒毡层<br>和花粉粒发育的细胞形态学特点 ..... | 75  |
| 三、杀雄剂 1 号对甘蓝型油菜育性的影响 .....                                | 76  |
| 第四节 KMS-1 化学杀雄剂对甘蓝型油菜育性的影响 .....                          | 78  |
| 一、KMS-1 化学杀雄剂对甘蓝型油菜的处理浓度、时期和方法 .....                      | 78  |
| 二、KMS-1 处理诱导甘蓝型油菜雄性不育的效果 .....                            | 79  |
| 三、KMS-1 不同时期处理对油菜花器形态的影响 .....                            | 79  |
| 四、KMS-1 不同时期处理对油菜雄性不育细胞形态学的影响 .....                       | 79  |
| 五、KMS-1 不同时期处理对甘蓝型油菜花粉活力的影响 .....                         | 81  |
| 第五节 非化学杀雄的不育系细胞学机理 .....                                  | 82  |
| 一、681A 细胞质雄性不育系败育机理的细胞学观察方法 .....                         | 84  |
| 二、681A 不育系败育的细胞学特征 .....                                  | 85  |
| 三、转基因雄性不育系 trans I 花药败育的细胞学特征 .....                       | 90  |
| 第六节 油菜细胞质雄性不育系微量花粉的产生机理 .....                             | 95  |
| 一、微量花粉产生的机理及危害 .....                                      | 95  |
| 二、681A 不育系微量花粉的研究方法 .....                                 | 97  |
| 三、681A 不育系的花器形态特征及育性分级 .....                              | 98  |
| 四、自然条件下微量花粉的出现与温度的关系 .....                                | 99  |
| 第七节 油菜细胞质雄性不育系的微量花粉的解决途径 .....                            | 104 |
| 第六章 化学杂交剂的生物化学与分子生物学作用机理 .....                            | 105 |
| 第一节 化学杂交剂的类型 .....                                        | 105 |
| 第二节 化学杂交剂诱导雄性不育的生理生化机理 .....                              | 106 |
| 一、化学杂交剂的吸收和转运 .....                                       | 106 |
| 二、化学杂交剂的作用时期 .....                                        | 108 |

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 三、化学杂交剂诱导雄性不育的生理生化过程和表现 .....  | 109 |
| 第三节 化学杂交剂诱导雄性不育的分子生物学机理 .....  | 116 |
| 一、磺酰脲类 .....                   | 117 |
| 二、SQ-1 .....                   | 117 |
| 三、BAU-9403 .....               | 118 |
| 第七章 油菜优良自交系的培育 .....           | 119 |
| 第一节 油菜自交系的培育 .....             | 119 |
| 一、油菜自交系培育的重要性 .....            | 119 |
| 二、对油菜优良自交系的基本要求 .....          | 119 |
| 第二节 自交系选育的原始材料和方法 .....        | 120 |
| 一、选育自交系的原始材料 .....             | 120 |
| 二、自交系的选育方法 .....               | 121 |
| 第三节 油菜自交系的改良 .....             | 121 |
| 一、自交系改良的目的 .....               | 121 |
| 二、自交系改良的基本方法 .....             | 122 |
| 第四节 花药(粉)培养和孤雌生殖选育自交系 .....    | 123 |
| 一、花药(粉)培养选育自交系 .....           | 123 |
| 第五节 油菜小孢子培养和双单倍体育种法培育自交系 ..... | 124 |
| 一、油菜小孢子培养和双单倍体育种的意义 .....      | 124 |
| 二、油菜小孢子培养和双单倍体育种的方法培育自交系 ..... | 125 |
| 第八章 油菜杂种组合选配原则 .....           | 128 |
| 第一节 油菜杂种组合选配原则 .....           | 128 |
| 一、杂交组合亲本亲缘关系远 .....            | 129 |
| 二、杂交组合亲本的配合力高 .....            | 129 |
| 三、杂交组合亲本综合性状良好,优缺点互补 .....     | 131 |
| 四、杂交组合亲本之间性状有累加作用 .....        | 132 |
| 第二节 配合力的测定 .....               | 133 |
| 一、概念 .....                     | 133 |
| 二、测定 .....                     | 133 |
| 第三节 油菜杂种优势预测 .....             | 137 |
| 一、根据遗传距离预测杂种优势 .....           | 138 |
| 二、根据亲本系数预测杂种优势 .....           | 141 |
| 三、根据基因型值预测杂种优势 .....           | 142 |
| 第九章 油菜化学杀雄种子生产技术 .....         | 143 |
| 第一节 油菜化学杀雄种子生产概述 .....         | 143 |

|      |                             |     |
|------|-----------------------------|-----|
| 第二节  | 油菜化学杀雄杂交种子生产技术              | 144 |
| 一、   | 亲本种子生产                      | 144 |
| 二、   | 化学杀雄杂交种子生产                  | 147 |
| 第三节  | 化学杀雄在解决油菜细胞质雄性不育系微量花粉问题上的应用 | 158 |
| 一、   | 化学杀雄剂对油菜细胞质雄性不育系微量花粉的作用     | 158 |
| 二、   | 化学杀雄剂解决油菜细胞质雄性不育系微量花粉的方法    | 160 |
| 第十章  | 油菜化学杀雄技术育成的主要油菜品种           | 161 |
| 一、   | 湘杂油 6 号                     | 161 |
| 二、   | 湘杂油 1 号                     | 162 |
| 三、   | 秦优 19 号                     | 162 |
| 四、   | 秦优 33                       | 163 |
| 五、   | 渝黄 1 号                      | 164 |
| 六、   | 渝黄 2 号                      | 165 |
| 七、   | 渝黄 3 号                      | 165 |
| 八、   | 渝黄 4 号                      | 166 |
| 九、   | 渝杂 18                       | 167 |
| 十、   | 渝油 12                       | 169 |
| 十一、  | 渝杂 09                       | 169 |
| 十二、  | 兴地油 1 号                     | 169 |
| 参考文献 |                             | 171 |

# 第一章 油菜杂种优势

## 第一节 油菜杂种优势表现

油菜同其他作物一样,杂种优势表现明显,利用杂种优势是大幅度提高产量的有效途径之一。有关油菜杂种优势表现在过去研究较多,前苏联全苏油料研究所(1967,1968)、英国植物育种研究所(1974)、瑞典斯瓦洛夫试验场(1975)、日本福岛农业试验场(1976),以及上海市农业科学院(1964)、中国农业科学院油料作物研究所(1972)、湖南农学院(1973)、华中农学院(1973)、四川省农业科学院(1970~1978)等单位均对油菜杂种优势的表现进行了研究。甘蓝型油菜品种间杂种一代的优势普遍存在,不同组合的杂交种与亲本相比较一般增产 20%~30%,最高增产 130%。

### 一、产量等性状的杂种优势表现

湖南农学院官春云等(1980)研究了甘蓝型油菜的杂种优势表现,对 11 个雄性不育杂交种和 8 个品种间杂种的产量及有关性状的杂种优势进行了研究。研究表明,甘蓝型油菜杂种优势明显,对 8 个品种间杂种所观察的 6 个性状均表现出超亲杂种优势,尤其是杂交种的一次有效分枝数和单株角果数优势率分别为 21.20% 和 19.18%; $F_1$  与双亲平均差异都达到极显著水平,与较高亲本的差异也达到显著或极显著水平;而且  $F_1$  的单株角果数超过较高亲本的组合数达到 100%。杂交种的株高和主茎节数与亲本平均值比较,优势率也很明显,与双亲平均值的差异也达到显著水平。只有杂交种的每果粒数和千粒重优势不明显,特别是千粒重与较高亲本比较其优势率出现负值,这主要是由于千粒重属数量遗传性状,杂种一代表现为中间型,表现出负优势。根据甘蓝型油菜产量形成过程及其性状相关分析,在构成油菜产量的三个因素中,单位面积上角果数对产量起决定作用。杂种油菜的单株角果数优势显著,这就必然使杂交种增产。此外,油菜的一次分枝数和主茎节数的多少,又与单株角果数密切相关,杂交种在这些性状上的优势,为其高产打下了基础。从表 1-1 的产量优势表现来看,杂交种产量与两亲本平均数相比,其优势率为 17.16%;与较高亲本相比,其优势率为 4.88%;而杂交种籽粒含油量的优势率分别为 4.18% 和 1.94%。

表 1-1 甘蓝型油菜杂种一代的优势表现(官春云等,1980)

| 项目                                 | 株高            | 主茎<br>节数 | 一次有效<br>分枝数 | 单株<br>角果数 | 每果<br>粒数 | 千粒重          | 亩产 <sup>①</sup> | 含油量         |
|------------------------------------|---------------|----------|-------------|-----------|----------|--------------|-----------------|-------------|
| 品种间杂交种(8个杂交种平均)                    |               |          |             |           |          |              |                 |             |
| 与亲本平均相比<br>优势率/%                   | 7.10          | 8.95     | 21.20       | 19.18     | 2.50     | 1.32         | 17.16           | 4.18        |
| 与较高亲本相比<br>优势率/%                   | 4.95          | 3.42     | 16.90       | 4.72      | 3.44     | -6.45        | 4.88            | 1.94        |
| F <sub>1</sub> 与两亲本平均<br>的差异(N=10) | 9.38*<br>(cm) | 2.32*    | 2.10**      | 206.70**  | 1.00     | 0.06<br>(g)  | 12.43<br>(kg)   | 1.78<br>(%) |
| F <sub>1</sub> 与较高亲本的<br>差异(N=10)  | 3.49*<br>(cm) | 0.98     | 1.68*       | 100.30**  | 0.52     | -0.26<br>(g) | 3.21<br>(kg)    | 0.80<br>(%) |
| 超过较高亲本的<br>F <sub>1</sub> 组合数/%    | 62.50         | 62.50    | 62.50       | 100.00    | 50.00    | 37.50        | 6.50            | 62.50       |
| 雄性不育杂交种(11个杂交种平均)                  |               |          |             |           |          |              |                 |             |
| 与恢复系相比<br>优势率/%                    | 6.34          | 1.84     | 9.20        | 42.30     | -6.06    | 7.41         | 15.50           | 2.57        |
| F <sub>1</sub> 与恢复系平均<br>的差异(N=10) | 7.37<br>(cm)  | 0.70     | 0.87        | 237.96**  | -0.11    | 0.14<br>(g)  | 9.54<br>(kg)    | 0.81<br>(%) |
| 超过恢复系的 F <sub>1</sub><br>组合百分数/%   | 81.80         | 72.70    | 72.7        | 100.00    | 45.40    | 54.50        | 63.6            | 81.8        |

\*  $P < 0.05 (t = 2.228)$ ; \*\*  $P < 0.01 (t = 3.169)$ 。

再从雄性不育杂交种的优势表现看,其与品种间杂种优势的表现基本一致。除每果粒数外,杂交种与恢复系相比,其优势率都超过恢复系父本;而且杂种一代与恢复系平均差异在单株角果数上达到极显著水平,株高和一次分枝数达到显著差异水平。雄性不育杂交种的产量和含油量也表现出明显的杂种优势。

郑跃进等(1991)利用1个低芥酸甘蓝型油菜细胞质雄性不育系与8个恢复系配制了8个杂交组合,研究杂种一代17种性状的优势表现(表1-2)。结果表明,杂交种的绝大多数性状均有较强的优势。在8个杂交组合、17个性状的136项次平均优势率中,有125项次表现为正平均优势,占91.9%;11项次表现为负平均优势,占8.1%。平均优势率较高的性状有:单株产量为80.21%;单株有效角果数为51.47%;幼苗鲜重为42.7%;幼苗干重为38.3%;分枝花序角果数为33.6%;一次有效分枝数为21.3%;茎粗为17.6%;主花序角果数为15.63%。平均优势率较低的性状有分枝部位、出苗至初花日数、着果密度、角果长度、含油量、千粒重、株高和每果粒数等。

① 1亩≈666.67m<sup>2</sup>

表 1-2 油菜杂种一代的优势表现(郑跃进等, 1991)

| 项目         | 株高<br>/cm                        | 茎粗<br>/cm               | 一次有效分枝数                 | 分枝部位                      | 主花序长度<br>/cm            | 主花序角度                   | 主花序果数                   | 角果长度<br>/cm             | 每角粒数                     | 每株有效果数                  | 单株产量<br>/g               | 千粒重<br>/g              | 含油量<br>/%              | 着果密度<br>/个                | 分枝花序果数                   | 幼苗鲜重<br>/g              | 幼苗干重<br>/g               | 出苗至初花<br>日数             |
|------------|----------------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 1238A×恢42  | I 14.60<br>II 6.08<br>III 3.53   | 21.54<br>16.08<br>28.46 | 34.44<br>29.92<br>30.15 | -13.89<br>-42.51<br>-3.76 | 16.57<br>13.56<br>8.27  | 16.23<br>13.48<br>-3.07 | 16.23<br>13.48<br>-3.07 | -9.67<br>-17.69<br>3.07 | -1.18<br>-16.24<br>-4.57 | 84.14<br>78.47<br>33.47 | 108.62<br>79.37<br>43.95 | 2.33<br>-0.85<br>10.03 | 4.22<br>-0.72<br>-2.79 | -0.96<br>-5.51<br>-11.21  | 53.94<br>44.12<br>10.06  | 46.98<br>40.28<br>19.74 | 37.21<br>26.42<br>9.70   | 0.97<br>-4.06<br>-1.99  |
| 1238A×恢154 | I 3.46<br>II 2.81<br>III 0.50    | 13.08<br>10.53<br>19.51 | 17.56<br>9.27<br>33.90  | 3.51<br>-1.30<br>2.13     | 13.95<br>10.32<br>2.16  | 25.14<br>17.79<br>-5.29 | 25.14<br>17.79<br>-5.29 | 13.42<br>7.91<br>2.22   | 31.93<br>30.93<br>-5.48  | 29.71<br>24.21<br>9.25  | 79.47<br>74.82<br>5.17   | 1.94<br>-4.53<br>-0.94 | 4.99<br>3.68<br>-5.25  | 9.18<br>0.00<br>-7.75     | 11.07<br>7.15<br>-15.15  | 21.70<br>4.84<br>-19.79 | 25.86<br>14.34<br>-16.62 | 2.77<br>1.86<br>-4.7    |
| 1238A×恢60  | I 3.66<br>II 3.02<br>III 3.08    | 12.59<br>1.33<br>23.58  | 16.41<br>11.74<br>27.12 | 0.48<br>0.39<br>3.51      | 11.82<br>11.32<br>10.97 | 21.62<br>17.16<br>-1.71 | 21.62<br>17.16<br>-1.71 | 6.08<br>5.14<br>1.02    | 11.99<br>7.01<br>-12.33  | 57.15<br>54.55<br>26.35 | 83.66<br>77.99<br>17.91  | 1.51<br>-2.05<br>5.33  | 4.95<br>0.46<br>-1.67  | 9.57<br>5.10<br>-11.21    | 43.46<br>41.93<br>5.66   | 56.40<br>27.41<br>-6.85 | 52.92<br>28.10<br>-7.56  | 2.45<br>1.15<br>-2.78   |
| 1238A×恢10  | I 8.17<br>II 6.90<br>III 6.72    | 22.14<br>19.40<br>30.08 | 20.45<br>18.64<br>12.94 | -8.92<br>-6.14<br>2.46    | 2.48<br>0.36<br>8.13    | 7.08<br>-0.37<br>13.23  | 7.08<br>-0.37<br>13.23  | 2.61<br>0.34<br>4.21    | -2.23<br>-13.32<br>8.38  | 46.75<br>24.90<br>37.45 | 71.28<br>32.13<br>55.47  | 5.56<br>19.12<br>2.56  | 2.84<br>-3.85<br>4.25  | 5.10<br>-10.34<br>4.17    | 29.33<br>13.96<br>27.95  | 73.63<br>32.60<br>24.31 | 59.44<br>22.29<br>15.94  | 1.15<br>-2.78<br>0.57   |
| 1238A×恢85  | I -1.26<br>II -2.48<br>III -3.30 | -0.75<br>-3.62<br>8.13  | 6.54<br>23.73<br>22.83  | -0.33<br>-2.76<br>-4.70   | 4.12<br>2.34<br>12.45   | 9.42<br>-11.51<br>14.34 | 9.42<br>-11.51<br>14.34 | -0.77<br>9.54<br>5.22   | -3.46<br>-1.83<br>8.86   | 33.41<br>4.54<br>39.60  | 27.86<br>14.65<br>88.33  | 0.56<br>13.17<br>2.74  | -1.41<br>-2.52<br>3.95 | -2.91<br>-13.79<br>0.96   | 24.06<br>-11.85<br>19.26 | 15.94<br>14.64<br>29.01 | 14.57<br>8.94<br>23.16   | 0.57<br>-3.38<br>0.00   |
| 1238A×恢96  | I 8.50<br>II 6.33<br>III 4.51    | 22.76<br>22.76<br>8.76  | 20.22<br>20.22<br>15.85 | -10.29<br>-8.40<br>3.01   | 11.55<br>11.55<br>5.44  | 9.16<br>9.16<br>11.39   | 9.16<br>9.16<br>11.39   | 3.42<br>3.42<br>-2.90   | 7.10<br>7.10<br>6.14     | 22.42<br>22.42<br>42.34 | 68.28<br>68.28<br>46.75  | 0.60<br>0.60<br>3.73   | 0.85<br>-3.64<br>0.46  | -3.67<br>-3.67<br>6.25    | 4.16<br>4.16<br>38.30    | 21.11<br>21.11<br>20.22 | 22.60<br>22.60<br>17.49  | -3.94<br>-4.77<br>0.94  |
| 1238A×恢90  | I 2.44<br>II 5.71<br>III 7.80    | 6.43<br>21.14<br>38.66  | 13.58<br>27.12<br>29.88 | 1.94<br>-1.13<br>7.92     | 4.24<br>3.78<br>26.29   | 3.71<br>8.71<br>16.07   | 3.71<br>8.71<br>16.07   | -6.49<br>-2.90<br>0.78  | -2.70<br>-24.20<br>-0.54 | 20.29<br>32.34<br>74.54 | 28.00<br>-4.25<br>108.12 | 2.14<br>4.70<br>16.18  | -0.49<br>-8.87<br>4.92 | 0.00<br>-12.93<br>-9.18   | 8.73<br>15.54<br>45.80   | 6.02<br>12.22<br>69.31  | 4.00<br>4.91<br>72.04    | -1.34<br>-5.37<br>2.14  |
| 1238A×恢46  | I 5.01<br>II 1.01<br>III 6.42    | 36.36<br>34.15<br>17.60 | 28.65<br>27.12<br>21.30 | -19.70<br>18.42<br>-1.27  | 20.53<br>20.99<br>12.14 | 15.84<br>-9.02<br>15.63 | 15.84<br>-9.02<br>15.63 | -5.52<br>10.73<br>3.19  | -11.82<br>-8.07<br>7.95  | 57.46<br>38.57<br>51.47 | 72.79<br>39.63<br>80.21  | 13.51<br>23.84<br>4.94 | 1.77<br>-0.65<br>3.81  | -12.75<br>-23.28<br>3.14  | 26.54<br>19.84<br>33.64  | 44.14<br>24.70<br>42.70 | 50.24<br>20.91<br>38.33  | -2.65<br>0.00<br>1.61   |
| 平均         | I 4.04<br>II 2.95<br>III 2.95    | 13.43<br>23.48<br>23.48 | 16.28<br>26.05<br>26.05 | -11.61<br>0.23<br>0.23    | 9.01<br>7.18<br>7.18    | 10.77<br>-5.13<br>-5.13 | 10.77<br>-5.13<br>-5.13 | -1.51<br>3.43<br>3.43   | -0.31<br>-8.17<br>-8.17  | 41.25<br>23.98<br>23.98 | 58.76<br>27.18<br>27.18  | 1.24<br>9.48<br>9.48   | 0.28<br>-3.66<br>-3.66 | -1.96<br>-11.77<br>-11.77 | 21.19<br>4.90<br>4.90    | 28.20<br>12.30<br>12.30 | 26.15<br>8.15<br>8.15    | -1.86<br>-3.23<br>-3.23 |

I 为平均优势率; II 为超亲优势率; III 为对照优势率。

在超亲优势分析中,有 101 项次为正超亲优势率,占 74.3%;有 35 项次为负超亲优势,占 25.7%。超亲优势率较高的性状有:单株产量为 58.76%;单株有效角果数为 41.25%;幼苗鲜重为 28.20%;幼苗干重为 26.15%;分枝花序角果数为 21.19%;一次有效分枝数为 16.28%。

茎粗和主花序角果数的超亲优势(分别为 13.43%和 10.77%)与平均优势的表现是一致的。超亲优势率为负值的有分枝部位、角果长度、每果粒数、着果密度和出苗至初花日数。其中,分枝部位的平均优势率和超亲优势率均为负值,说明杂种一代的这一性状低于或接近双亲平均值。分枝高度的下降,对增加分枝数、提高单株产量是有意义的。因此,应把分枝高度优势率出现负值作为油菜杂种优势的一种特殊表现。

进一步分析杂种优势程度的表现(表 1-3)可以看出:在 136 个项次中,正向超亲优势有 101 项次,占 74.3%;正向优势有 24 项次,占 17.6%;负向优势有 10 项次,占 7.4%;负向超亲优势有 1 项次,占 0.7%。

表 1-3 油菜不同性状优势程度分布次数(郑跃进等,1991)

| 项目   | 株高 | 茎粗 | 一次有效分枝数 | 一次有效分枝部位 | 主花序长度 | 主花序角果数 | 角果长度 | 角果粒数 | 全株有效角果数 | 单株产量 | 千粒重 | 含油量 | 着果密度 | 分枝花序角果数 | 幼苗鲜重 | 幼苗干重 | 出苗至初花日数 | 合计  | 占总次数百分数/% |
|------|----|----|---------|----------|-------|--------|------|------|---------|------|-----|-----|------|---------|------|------|---------|-----|-----------|
| 正向超亲 | 7  | 7  | 8       | 2        | 7     | 7      | 7    | 3    | 8       | 8    | 5   | 4   | 4    | 8       | 8    | 8    | 3       | 104 | 74.3      |
| 正向优势 | 0  | 0  | 0       | 3        | 1     | 1      | 3    | 2    | 0       | 0    | 3   | 4   | 2    | 0       | 0    | 0    | 5       | 24  | 17.6      |
| 负向优势 | 1  | 1  | 0       | 3        | 0     | 0      | 1    | 3    | 0       | 0    | 0   | 0   | 1    | 0       | 0    | 0    | 0       | 10  | 7.4       |
| 负向超亲 | 0  | 0  | 0       | 0        | 0     | 0      | 0    | 0    | 0       | 0    | 0   | 0   | 1    | 0       | 0    | 0    | 0       | 1   | 0.7       |

正向超亲:杂交种超过较高亲本;正向优势:杂交种介于中亲值和较高亲本之间;负向优势:杂交种介于中亲值和较低亲本之间;负向超亲:杂交种低于较低亲本。

在 8 个杂交组合中,全部表现正向超亲优势的性状是单株产量、单株有效角果数、分枝花序角果数、一次有效分枝数、幼苗鲜重和幼苗干重等 6 个性状。7 个组合表现正向超亲优势的性状有茎粗、主花序角果数、主花序长度和株高共 4 个性状。由此可见,油菜产量及其与产量有关的主要性状的超亲杂种优势是普遍存在的。单株产量、单株有效角果数、一次有效分枝数、分枝花序角果数和茎粗等性状可以作为衡量油菜杂种优势的主要性状。

胡宝成等(1996)研究了甘蓝型油菜细胞质雄性不育三交种和其单交种的杂种优势表现并进行了比较。结果表明,三交种之间或单交种之间,以及三交种与单交

种之间的单株产量存在着显著差异;有效分枝部位、一次有效分枝数、单株有效角果数、每果粒数、千粒重、株高等性状则差异极显著。比较各性状的平均差异可以得出:三交种单株产量略优于单交种。12个三交种中有2个的单株产量高于最高的单交种。

## 二、生理性状的杂种优势表现

张书芬等(1994)研究了油菜雄性不育杂交种的一些生理性状的杂种优势表现。

### (一) 杂交种种子吸水速度和脂肪酶活性的杂种优势表现

杂交种种子的吸水速度较快,平均吸水速度为  $0.873\text{g}/(5\text{g} \cdot \text{h})$ ,亲本的为  $0.661\text{g}/(5\text{g} \cdot \text{h})$ ,杂交种显著高于亲本( $P < 0.05$ ),平均优势率为  $31.9\%$ 。按杂交组合分析,6个杂交种中有5个的吸水速度显著高于亲本(表1-4)。

表 1-4 油菜杂交种的种子吸水速度和脂肪酶活性的杂种优势表现(张书芬等,1994)

| 杂交种<br>和亲本                      | 吸水速度           |            | 脂肪酶活性               |            | 杂交种<br>和亲本                      | 吸水速度           |            | 脂肪酶活性               |            |
|---------------------------------|----------------|------------|---------------------|------------|---------------------------------|----------------|------------|---------------------|------------|
|                                 | g/<br>(5g · h) | 平均<br>优势/% | 0.1mol/L<br>NaOH/mL | 平均<br>优势/% |                                 | g/<br>(5g · h) | 平均优势<br>/% | 0.1mol/L<br>NaOH/mL | 平均<br>优势/% |
| A <sub>1</sub>                  | 0.589          |            | 2.15                |            | A <sub>6</sub>                  | 0.767          |            | 3.15                |            |
| B <sub>1</sub>                  | 0.679          |            | 2.10                |            | B <sub>6</sub>                  | 0.772          |            | 2.05                |            |
| A <sub>1</sub> × B <sub>1</sub> | 0.695*         | 26.5       | 2.20                | -27.3      | A <sub>6</sub> × B <sub>6</sub> | 0.622          | -9.8       | 3.40                | 17.2       |
| R <sub>1</sub>                  | 0.510          |            | 3.90                |            | R <sub>6</sub>                  | 0.612          |            | 2.65                |            |
| A <sub>1</sub> × R <sub>2</sub> | 0.783*         | 20.4       | 2.45*               | 10.1       | A <sub>9</sub>                  | 0.700          |            | 4.00                |            |
| R <sub>2</sub>                  | 0.721          |            | 2.30                |            | B <sub>9</sub>                  | 0.827          |            | 3.60                |            |
| A <sub>1</sub> × R <sub>3</sub> | 1.040**        | 42.5       | 1.75                | -21.4      | A <sub>9</sub> × B <sub>9</sub> | 0.955**        | 56.2       | 6.00**              | 48.2       |
| R <sub>3</sub>                  | 0.871          |            | 2.30                |            | R <sub>9</sub>                  | 0.523          |            | 4.10                |            |
| A <sub>1</sub> × R <sub>4</sub> | 1.140**        | 55.7       | 3.40**              | 29.5       | $\bar{P}$                       | 0.661          |            | 2.89                |            |
| R <sub>4</sub>                  | 0.875          |            | 3.10                |            | $\bar{F}_1$                     | 0.873          | 31.9       | 3.20                | 9.4        |

A 为不育系;B 为保持系;R 为恢复系;A × R 为杂交种;下同。

\*  $P < 0.05$ ; \*\*  $P < 0.01$ 。

杂交种种子中平均脂肪(水解)酶活性(用中和水解出有机酸的  $0.1\text{mol/L}$  NaOH 的毫升数间接表示)为  $3.2\text{mL}$ ,亲本的为  $2.89\text{mL}$ ,平均优势率为  $9.4\%$ ,差异不显著。按杂交组合分析,6个组合中有4个达到差异显著或极显著。

吸水速度和种子脂肪酶活性与幼苗干重有显著的正相关关系,前者的相关系数为  $r = 0.588$  ( $P < 0.05$ );后者的相关系数为  $r = 0.528$  ( $P < 0.05$ )。

## (二) 根系活力杂种优势表现

杂交种苗期根系活力有明显优势,其根系活跃吸收面积的平均比率为 52.7%,亲本为 49.73%,平均优势率为 6.0%。

杂交种蕾薹期的平均根伤流量为 3.779g/(株·h),亲本为 3.139g/(株·h),平均优势率为 21.7%。若按杂交组合分析,6 个杂交种的根伤流量均高于相应的亲本,幅度为 3.04~4.19g/(株·h),优势率幅度为 3.0%~56.3%。其中有 4 个杂交种与亲本比较差异达显著或极显著。对根伤流液中氨基酸种类和含量分析的结果表明,杂交种和其亲本都含有 16 种氨基酸,但杂交种氨基酸的总量显著高于亲本,平均优势率为 31.8%,幅度为 14.3%~64.0%(表 1-5)。

表 1-5 油菜杂交种根系活力杂种优势表现(张书芬等,1994)

| 杂交种<br>和亲本                     | 根系活跃吸收<br>面积的比率/% | 优势率<br>/% | 根伤流量<br>/[g/(株·h)] | 优势率<br>/% | 氨基酸总量<br>/( $\mu$ mol/L) | 优势率<br>/% |
|--------------------------------|-------------------|-----------|--------------------|-----------|--------------------------|-----------|
| B <sub>1</sub>                 | 49.92             |           | 3.39               |           | 2.000                    |           |
| A <sub>1</sub> ×R <sub>1</sub> | 57.77*            | 12.9      | 3.58               | 3.0       | 2.242*                   | 17.2      |
| R <sub>1</sub>                 | 52.42             |           | 3.56               |           | 1.826                    |           |
| A <sub>1</sub> ×R <sub>2</sub> | 55.23*            | 10.5      | 3.98*              | 19.0      | 2.245*                   | 14.3      |
| R <sub>2</sub>                 | 50.08             |           | 3.30               |           | 1.930                    |           |
| A <sub>1</sub> ×R <sub>3</sub> | 52.13             | 4.7       | 3.82*              | 11.9      |                          |           |
| R <sub>3</sub>                 | 49.62             |           | 3.44               |           |                          |           |
| A <sub>1</sub> ×R <sub>4</sub> | 49.67             | -0.6      | 3.04               | 5.2       |                          |           |
| R <sub>4</sub>                 | 50.05             |           | 2.39               |           |                          |           |
| B <sub>6</sub>                 | 45.00             |           | 2.70               |           |                          |           |
| A <sub>6</sub> ×R <sub>6</sub> | 54.41             | 7.4       | 4.00**             | 34.5      |                          |           |
| R <sub>6</sub>                 | 50.72             |           | 3.25               |           |                          |           |
| B <sub>9</sub>                 | 49.66             |           | 2.01               |           | 1.158                    |           |
| A <sub>9</sub> ×R <sub>9</sub> | 49.97             | 0.8       | 4.199**            | 56.3      | 2.917**                  | 64.0      |
| R <sub>9</sub>                 | 49.50             |           | 3.35               |           | 2.400                    |           |
| $\bar{P}$                      | 49.73             |           | 3.139              |           | 1.887                    |           |
| $\bar{F}_1$                    | 52.70*            | 6.0       | 3.779*             | 21.7      | 2.468*                   | 31.8      |

\*  $P < 0.05$ ; \*\*  $P < 0.01$ 。

## (三) 光合性能杂种优势表现

## 1. 光合作用面积

油菜的光合作用面积包括叶面积和角果皮面积,6个杂交种与亲本比较,都表现出显著的杂种优势(表1-6)。两期测定的平均叶面积分别为  $1292.05\text{cm}^2/\text{株}$  和  $2471.21\text{cm}^2/\text{株}$ ,其相应的叶面积指数分别为 1.94 和 3.71,平均优势率分别为 25.1% 和 30.5%。单株平均角果皮面积为  $3596.02\text{cm}^2/\text{株}$ ,平均优势率为 27.0%。6个杂交组合中有4个达到差异显著或极显著。

表 1-6 油菜杂交种光合作用面积杂种优势率(张书芬等,1994)

| 杂交种<br>和亲本                     | 1991-03-15                         |           |           | 1991-03-30                         |           |           | 1991-05-10                           |            |
|--------------------------------|------------------------------------|-----------|-----------|------------------------------------|-----------|-----------|--------------------------------------|------------|
|                                | 叶面积<br>/( $\text{cm}^2/\text{株}$ ) | 叶面积<br>指数 | 优势率<br>/% | 叶面积<br>/( $\text{cm}^2/\text{株}$ ) | 叶面积<br>指数 | 优势率<br>/% | 角果皮面积<br>/( $\text{cm}^2/\text{株}$ ) | 平均优势<br>/% |
| B <sub>1</sub>                 | 784.03                             | 1.18      |           | 1484.07                            | 2.22      |           | 199.27                               |            |
| A <sub>1</sub> ×R <sub>1</sub> | 892.04                             | 1.33      | 12.7      | 1847.22                            | 2.77      | 17.4      | 3021.45**                            | 55.3       |
| R <sub>1</sub>                 | 793.50                             | 1.22      |           | 1661.89                            | 2.49      |           | 1897.72                              |            |
| A <sub>1</sub> ×R <sub>2</sub> | 1479.98**                          | 2.22*     | 36.7      | 2682.46*                           | 4.47*     | 42.9      | 3489.85*                             | 42.8       |
| R <sub>2</sub>                 | 1381.70                            | 2.07      |           | 2689.47                            | 4.03      |           | 2838.28                              |            |
| A <sub>1</sub> ×R <sub>3</sub> | 1057.50                            | 1.59      | -1.4      | 1754.92                            | 2.63      | -12.9     | 2450.90                              | -9.7       |
| R <sub>3</sub>                 | 1360.30                            | 2.04      |           | 2545.40                            | 3.82      |           | 3432.06                              |            |
| A <sub>1</sub> ×R <sub>4</sub> | 1547.30**                          | 2.32**    | 43.6      | 2745.00*                           | 4.12**    | 45.4      | 3940.80*                             | 39.0       |
| R <sub>4</sub>                 | 1378.20                            | 2.07      |           | 2293.07                            | 3.44      |           | 3677.06                              |            |
| B <sub>5</sub>                 | 893.50                             | 1.34      |           | 1167.31                            | 1.75      |           | 3801.63                              |            |
| A <sub>5</sub> ×R <sub>5</sub> | 1430.80*                           | 2.15      | 25.2      | 2827.58A*                          | 4.24      | 43.7      | 4313.86                              | 7.8        |
| R <sub>5</sub>                 | 1391.76                            | 2.09      |           | 2768.05                            | 4.15      |           | 4201.63                              |            |
| B <sub>9</sub>                 | 1037.56                            | 1.56      |           | 1969.58                            | 2.95      |           | 3070.12                              |            |
| A <sub>9</sub> ×R <sub>9</sub> | 1345.79*                           | 2.02*     | 33.4      | 2670.06**                          | 4.00**    | 46.6      | 4359.24**                            | 26.5       |
| R <sub>9</sub>                 | 979.80                             | 1.47      |           | 1672.68                            | 2.51      |           | 3819.75                              |            |
| $\bar{P}$                      | 1029.79                            | 1.55      |           | 1891.98                            | 3.09      |           | 2930.89                              |            |
| $\bar{F}_1$                    | 1292.05*                           | 1.94*     | 25.1      | 2471.21*                           | 3.71*     | 30.5      | 3596.02*                             | 27.0       |

\*  $P<0.05$ ; \*\*  $P<0.01$ 。

叶面积与干物重呈显著的正相关,  $r=0.472(P<0.05)$ ; 角果皮面积与产量呈极显著正相关,  $r=0.662(P<0.01)$ 。

## 2. 叶绿素含量

杂交种的叶绿素含量也表现出明显的杂种优势。两期测定的杂交种平均叶绿