

## 自交对白菜型冬油菜生理生化 特性及抗寒性的影响

董红业, 孙万仓\*, 刘自刚, 张正丽, 杨刚, 王丽萍, 王月, 赵燕宁, 钱武

(1 甘肃省油菜工程技术研究中心, 兰州 730070; 2 甘肃省作物遗传改良与种质创新重点实验室/甘肃省干旱生境作物学重点实验室, 兰州 730070; 3 甘肃农业大学 农学院, 兰州 730070)

**摘要:** 为了解自交对白菜型冬油菜后代生理生化特性及抗寒性的影响, 以 6 份白菜型冬油菜为材料, 研究了在越冬降温前与降温后, 自交和开放授粉后代植株叶片生理生化指标及越冬率的变化。结果表明: (1) 除 MDA 含量外, 无论是降温前还是降温后, 白菜型冬油菜自交后代植株叶片中的 SOD、CAT、POD 的活性以及可溶性蛋白和游离脯氨酸含量都较开放授粉表现出不同程度的降低, 其幼苗越冬率也较开放授粉植株显著降低。 (2) 与降温前相比, 降温后所有测定指标在两种授粉方式后代中都表现为上升的趋势, 其中以 CAT 活性变化最为显著。研究认为, 自交会使得白菜型冬油菜后代植株叶片中保护酶活性及可溶性蛋白和游离脯氨酸含量明显降低, MDA 含量升高, 导致幼苗的越冬率显著下降, 进而引起其植株抗寒性减弱。

**关键词:** 白菜型冬油菜; 自交; 开放授粉; 生理生化特征; 抗寒性

**中图分类号:** Q945.78      **文献标志码:** A

## Effect of Selfing on Physiological and Biochemical Characteristics and Cold Resistance of Winter Turnip Rape (*Brassica campestris* L.)

DONG Hongye, SUN Wancang\*, LIU Zigang, ZHANG Zhengli, YANG Gang,  
WANG Liping, WANG Yue, ZHAO Yanning, QIAN Wu

(1 Rapeseed Engineering Research Center of Gansu Province, Lanzhou 730070, China; 2 Crop Genetic Improvement and Germplasm Laboratory of Gansu Province/Gansu Provincial Key Laboratory of Arid Land Crop Sciences, Lanzhou 730070, China; 3 Agronomy of Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** In order to know the effects of selfing on cold resistance and its physiological and biochemical characteristics in winter turnip rape, we comprehensively studied six winter rapeseed varieties in different ways of pollination. Results indicated that: (1) Only the content of MDA raised, SOD, CAT, POD activities and soluble protein, free proline contents were declined compared with open-pollinated. (2) Similarly, lower survival rates of the selfing progenies are investigated in the extremely cold condition of the northwest. Meanwhile, all the indicators measured showed the same trend of increasing, and the most significant variation in CAT activity as well as the pre-cooling and after cooling. These conclusions indicated that self-pollination could cause for depression of biochemical and physiological characterization and wintering rates in winter turnip rape, there by possibly impacting the cold hardiness. So we should avoid geitonogamy which arouses the negative effects in winter turnip rape breeding.

**Key words:** winter turnip rape (*Brassica campestris* L.); selfing cross; open-pollination; biochemical and physiological indexes; cold resistance

收稿日期: 2014-04-11; 修改稿收到日期: 2014-09-10

基金项目: 国家“863”高技术研究发展计划(2011AA10A104); 国家公益性行业(农业)科研专项(200903002-04); 现代农业产业技术体系建设专项(CARS-13); 甘肃省科技重大专项(1203NKDF0018)

作者简介: 董红业(1989-), 女, 在读硕士生, 主要从事作物方面的研究。E-mail: 644212760@qq.com

\* 通信作者: 孙万仓, 教授, 博士, 主要从事油菜育种及十字花科种质资源研究。E-mail: 18293121851@163.com

植物的有性繁殖方式包括自花授粉、异花授粉和常异花授粉 3 种类型<sup>[1]</sup>。自花授粉是植物最主要的繁殖方式之一,自交的遗传效应有 3 个方面:一是使纯合基因型保持不变,二是使杂合基因型的后代发生性状分离,三是引起后代生活力衰退。异花授粉植物有明显的自交衰退现象<sup>[2]</sup>。自交不亲和性是植物为了防止近亲繁殖、实现异花受精和遗传重组而形成的一种遗传控制机制,这种控制机制是植物在长期的进化过程中形成的各种有利于异花受精的机制之一,而且被认为是被子植物进化迅速的重要原因之一<sup>[3]</sup>。自交不亲和植物具有自交衰退的共性<sup>[4-10]</sup>,植物的自交不亲和特性使植物处于高度杂合状态,最大限度地保持其物种活性,有利于其在自然界生存和繁衍。通过选育自交不亲和系利用杂种优势已经成为十字花科作物提高产量、改良品质的重要途径之一<sup>[3-8]</sup>。但自交不亲和特性使植物不耐自交。

白菜型油菜(*Brassica rapa* L.,  $2n=2x=AA=20$ )为芸薹属作物二倍体基本种之一,早熟、耐寒而且类型丰富,是世界上重要的油料作物之一。白菜型油菜中,除印度的黄籽沙逊和中国青海的大黄油菜为具有较强自交亲和特性的种群外,其它白菜型油菜均属自交不亲和作物,自然异交率 85%~90.5%<sup>[3-5]</sup>。自交衰退主要表现在结实率下降、长势差和抵抗力下降等方面<sup>[9]</sup>,这种特性也是白菜型油菜育种研究进展比甘蓝型油菜迟缓的主要原因之一<sup>[11]</sup>。中国北方的强冬性白菜型冬油菜属于典型的异花授粉作物,具有自交不亲和性,由于其具有强抗寒性并能在北方大面积安全越冬,成为北方冬季重要的油料作物;自交会使其后代在很多性状方面出现退化,但自交会不会同样引起抗寒性的降低,目前对于这方面的研究还比较少。因此,本研究选用 6 个强抗寒的白菜型冬油菜品种(系),以它们的自交和开放授粉后代群体为研究对象,对与抗寒性相关的生理生化指标和越冬率进行分析,探讨自交对其后代生理生化特性和抗寒性的影响,为白菜型冬油菜育种提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

供试材料为 6 个白菜型冬油菜品种(系),包括甘肃农业大学培育的高代品系‘2011 临甘 1 白’和强冬性油菜品种‘陇油 6 号’、‘陇油 7 号’、‘陇油 8 号’、‘陇油 9 号’,以及陕西省延安市农业科学研究

所育成的冬油菜品种‘延油 2 号’。

### 1.2 田间设计

试验于 2011 年 8 月~2013 年 6 月在兰州沙井驿大田连续进行 2 年,所有材料在 2011 年 8 月中旬播种于田间,第二年返青后开始试验。花期对材料进行剥蕾自交和开放授粉两种处理,成熟后分别收获它们的种子。2012 年 8 月中旬将上述按品种收获的自由种和自交种按小区播种,每个小区 3 行,行长 1.5 m,行距 0.4 m,株距 0.1 m,拔出杂苗、小苗,使长势一致。田间管理同一般大田。

### 1.3 测定指标及方法

**1.3.1 生理生化指标测定** 分别于降温前(10 月 25 日)和降温后(11 月 21 日)两个时期采样,取每株同一位点生长健壮的功能叶片测定各项生理生化指标,每个样品设 3 次重复。超氧化物歧化酶(SOD)活性测定采用氮蓝四唑(NBT)光还原法<sup>[12-13]</sup>,1 个酶活单位定义为将 NBT 的还原抑制到对照的一半时所需的酶量;过氧化氢酶(CAT)活性采用紫外吸收法<sup>[14]</sup>测定,以每分钟内  $A_{240}$  减少 0.1 的酶量为 1 个酶活性单位;过氧化物酶(POD)活性测定采用愈创木酚比色法<sup>[15]</sup>,以每分钟内  $A_{470}$  变化 0.01 为 1 个过氧化物酶活单位;可溶性蛋白含量测定采用考马斯亮蓝 G-250 染色法<sup>[15]</sup>;游离脯氨酸含量测定采用茚三酮显色法<sup>[16]</sup>;丙二醛(MDA)含量测定采用硫代巴比妥酸法<sup>[17]</sup>。

**1.3.2 越冬情况统计** 冬前所有单株挂牌标记,第二年返青后统计各单株的越冬情况,安全越冬记为“是”,不能越冬记为“否”,然后统计出越冬的株数,计算越冬率。以越冬情况评价抗寒性的优劣,能安全越冬的材料记为抗寒性优良,反之,抗寒性差。

### 1.4 数据分析

数据利用 Microsoft Excel 及 SPSS 19 处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 自交对白菜型冬油菜叶片保护性酶活性影响

**2.1.1 CAT 活性** CAT 是生物体内重要的  $H_2O_2$  清除酶之一,主要存在于植物组织的过氧化体中,它的主要作用是催化  $H_2O_2$  分解为  $H_2O$  与  $O_2$ ,使得  $H_2O_2$  不致于与  $O_2$  在铁螯合物作用下反应生成有害的羟基自由基<sup>[18]</sup>。植物组织中的  $H_2O_2$  含量和 CAT 活性与植物的抗逆性密切相关。图 1, A 表明:无论降温前(10 月 25 日)还是降温后(11 月 21 日),所有油菜品种(系)开放授粉后代植株叶片 CAT 活性均高于相应自交后代植株,但增幅在品种

(系)间差异明显。其中,6个品种(系)开放授粉后代植株叶片CAT活性在降温前显著高出自交后代植株1.09%~78.44%,并以‘陇油8号’的差异最大( $P<0.05$ ),‘陇油9号’差异最小;降温后则显著高出5.70%~38.96%,差异最大的仍是‘陇油8号’,差异最小的是‘陇油6号’。同时,在开放授粉植株中,叶片的CAT活性在降温前以‘陇油7号’最高( $3.91 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ),其次为‘2011临甘1白’( $3.67 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ),最小的是‘延油2号’( $0.61 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ );而在降温后以‘陇油9号’最高( $10.00 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ),其次为‘陇油6号’( $9.47 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ),最小的仍是‘延油2号’。自交后代植株中,叶片的CAT活性在降温前仍以‘陇油7号’最高( $2.98 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ),其次为‘2011临甘1白’( $2.04 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ),最低的是‘陇油8号’( $0.47 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ );而在降温后以‘陇油6号’最高( $8.93 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ),其次为‘陇油9号’( $7.87 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ),最小的还是‘延油2号’。从上述结果可以看出,6个品种开放授粉植株和自交后代植株叶片中的CAT活性在降温后都比降温前明显提高,而开放授粉植株叶片的CAT活性又比自交植株增强,低温胁迫使冬油菜叶片中的CAT活性明显升高,自交使得白菜型冬油菜后代植株的CAT活性明显降低。

**2.1.2 POD活性** POD是植物中活性氧清除系统的一种重要酶类<sup>[19]</sup>。图1,B显示:与CAT活性表现相似,降温前后所有品种(系)油菜开放授粉植株叶片POD活性均不同程度地高于自交植株,但增加幅度在材料间有明显差异。其中,各品种(系)降温前增加2.47%~37.55%,并以‘陇油6号’增幅最大,‘延油2号’增幅最小;降温后增加2.19%~15.02%,但只有‘陇油6号’和‘陇油9号’达到显著水平( $P<0.05$ )。同时,各品种(系)开放授粉植株和自交后代植株叶片中的POD活性在降温前均以‘陇油7号’最高(分别达到48.73和41.89  $\text{U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ),其次为‘陇油6号’(分别为27.40和17.11  $\text{U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ),最小的都是‘陇油8号’;POD活性在降温后仍以‘陇油7号’最高(分别达到62.09和60.73  $\text{U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ),其次为‘延油2号’(分别为43.43和43.02  $\text{U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ),最小的都是‘2011临甘1白’。另外,所有的品种(系)叶片的POD活性在降温后都显著高于降温前。上述结果说明,自交使得白菜型冬油菜后代植株的POD活性明显降低。

**2.1.3 SOD活性** SOD能够催化超氧阴离子自由基发生歧化反应形成氧分子和过氧化氢,平衡机体内的氧自由基,可以避免超氧自由基对细胞膜的过氧化作用,是活性氧清除系统中第一个发挥作用<sup>[20]</sup>。它与过氧化物酶、过氧化氢等酶协同作用防御活性氧或过氧化物自由基对细胞膜系统的伤害。图1,C显示,所有品种(系)降温前后开放授粉植株叶片SOD活性都显著高于自交后代植株,增加幅度最大和最小的品种在降温前分别是‘陇油8号’和

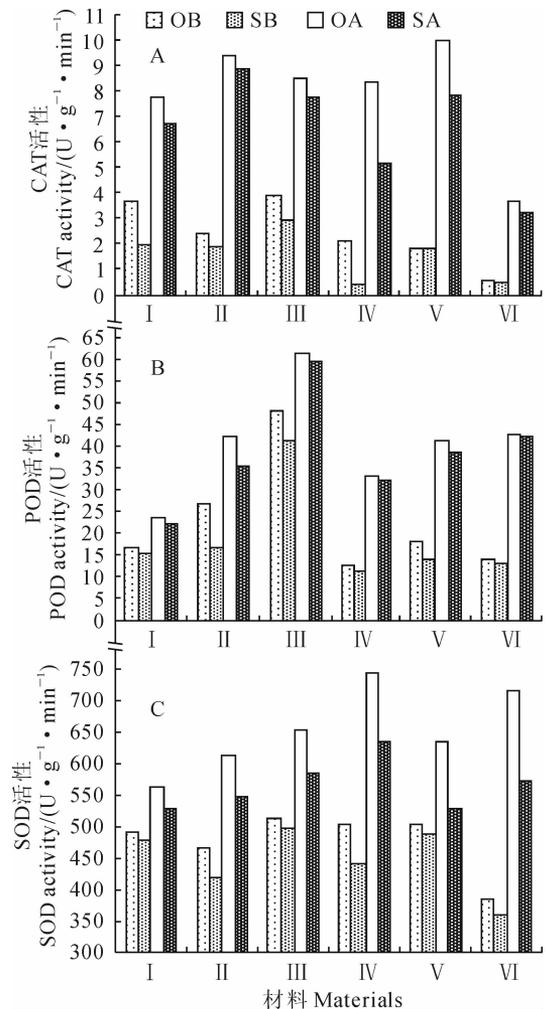


图1 各品种(系)油菜开放授粉和自交植株叶片中CAT、POD和SOD活性降温前后的变化

I. 2011临甘1白; II. 陇油6号; III. 陇油7号; IV. 陇油8号;  
V. 陇油9号; VI. 延油2号; OB. 降温前开放株; SB. 降温前自交株;  
OA. 降温后开放株; SA. 降温后自交株;下同

Fig. 1 Changes of CAT, POD and SOD activities in leaves of winter turnip rape plants with self-pollination and open-pollination under low temperature  
I. 2011lin'gan 1 bai; II. Longyou 6; III. Longyou 7; IV. Longyou 8;  
V. Longyou 9; VI. Yanyou 2; OB. Opening pollination before low temperature; SB. Selfing cross before low temperature; OA. Opening pollination after low temperature; SA. Selfing cross after low temperature; The same as below

‘陇油 9 号’,降温后分别是‘延油 2 号’和‘2011 临甘 1 白’。同时,对各品种(系)开放授粉植株而言,叶片中的 SOD 活性在降温前以‘陇油 7 号’最高( $128.64 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ),并显著高于其他品种,其次为‘陇油 8 号’( $126.52 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ),最小的是‘延油 2 号’( $179.01 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ );而在降温后以‘陇油 8 号’最高( $186.45 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ),其次为‘延油 2 号’( $179.01 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ),最小的是‘2011 临甘 1 白’( $141.40 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ )。就各品种(系)自交后代植株而言,它们叶片中的 SOD 活性在降温前是‘陇油 7 号’显著高于其他品种( $125.38 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ),其次是‘2011 临甘 1 白’( $119.99 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ),最小的是‘延油 2 号’( $90.61 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ );而在降温后以‘陇油 8 号’的 SOD 活性最高( $159.03 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ),其次是‘陇油 7 号’( $147.08 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ),最小的是‘陇油 9 号’( $132.39 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ )。另外,6 个品种开放授粉植株叶片中 SOD 活性在降温后比降温前高出  $12.72\% \sim 45.49\%$ ,增加幅度最大的是‘延油 2 号’,最小的是‘2011 临甘 1 白’;而相应的自交后代植株叶片中的 SOD 活性也比降温前高出  $7.02\% \sim 36.88\%$ ,增幅最大的还是‘延油 2 号’,最小的是‘陇油 9 号’。以上结果说明自交使得白菜型冬油菜后代植株的 SOD 活性明显降低,它们对低温胁迫的反应敏感性差异明显。

## 2.2 自交对白菜型冬油菜叶片丙二醛含量的影响

植物器官衰老或在逆境下遭受伤害,往往发生膜脂过氧化作用,丙二醛(MDA)是膜脂氧化的最终分解产物,其含量可以反映植物遭受逆境伤害的程度,MDA 的积累可能对膜和细胞造成一定的伤害。植物叶片中 MDA 含量越高,叶片的伤害程度越大,抗寒性就越弱。由图 2 可以看出,MDA 含量的变化规律与上述各项指标相反,6 个品种降温前自交后代植株叶片 MDA 含量明显比开放授粉植株高  $4.00\% \sim 72.86\%$ ;降温后自交后代植株叶片 MDA 含量显著高出开放授粉植株  $10.93\% \sim 61.49\%$ ;同时比较不同时间开放授粉植株和自交后代植株叶片中的 MDA 含量,6 个品种不论是降温前还是降温后开放授粉植株叶片中的 MDA 含量都比自交后代的低且呈显著差异( $P < 0.05$ );降温后 6 个品种开放授粉叶片中 MDA 含量比降温前的高,分别高出  $9.42\% \sim 76.17\%$ ;降温后 6 个品种自交叶片中 MDA 含量也比降温前的高,高出  $19.06\% \sim 51.84\%$ 。上述结果表明,低温胁迫后,相比开放

授粉植株,自交后代植株受到的伤害程度大。

## 2.3 自交对白菜型冬油菜叶片中可溶性蛋白和游离脯氨酸含量的影响

**2.3.1 可溶性蛋白含量** 植物在低温锻炼期间,细胞内可溶性蛋白含量和抗冻性之间呈明显的正相关,即可溶性蛋白含量随低温锻炼抗冻性的提高而增加,高含量的可溶性蛋白增加了细胞液浓度,对提高植株的抗寒性有重要作用<sup>[21]</sup>。由图 3,A 可以看出,所有品种降温前开放授粉植株叶片中的可溶性蛋白含量明显比自交后代植株叶片中的高  $2.72\% \sim 16.22\%$ ,降温后开放授粉植株叶片中的可溶性蛋白含量显著高于自交后代植株叶片  $3.54\% \sim 19.23\%$ ,但都无显著差异( $P > 0.05$ );同时比较不同时间开放授粉植株和自交后代植株叶片中的可溶性蛋白含量,降温后,所有品种无论是开放授粉植株还是自交后代植株叶片中的可溶性蛋白含量都明显比降温前的高,其中差异最显著的都是‘2011 临甘 1 白’,差异最小的都是‘陇油 9 号’;降温后的可溶性蛋白含量都比降温前的高,说明经低温胁迫后所有的品种的叶片中的可溶性蛋白含量都有所增加,提高了冬油菜的抗寒性。

**2.3.2 游离脯氨酸含量** 植物在正常条件下,游离脯氨酸含量很低,但遇到干旱、低温、盐碱等逆境时,游离脯氨酸便会大量积累,并且积累指数与植物的抗逆性有关。因此,脯氨酸可作为植物抗逆性的一项生化指标。图 3,B 表明,6 个品种降温前开放授粉植株叶片中的游离脯氨酸含量显著高出自交后代叶片  $0.55\% \sim 28.71\%$ ,降温后开放授粉植株叶片中的游离脯氨酸含量仍显著高出自交后代植株叶片  $3.00\% \sim 74.63\%$ ( $P < 0.05$ );同时比较不同时间开

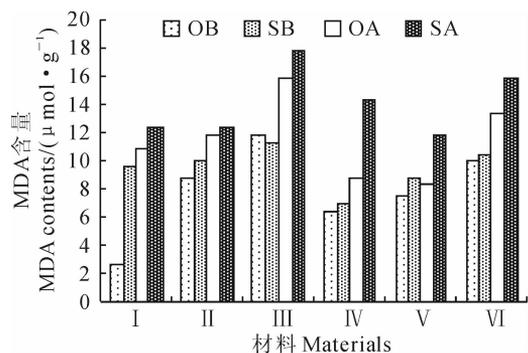


图 2 各品种(系)油菜开放授粉和自交植株叶片 MDA 含量降温前后的变化

Fig. 2 Changes of MDA content in leaves of winter turnip rape plants with self-pollination and open-pollination under low temperature

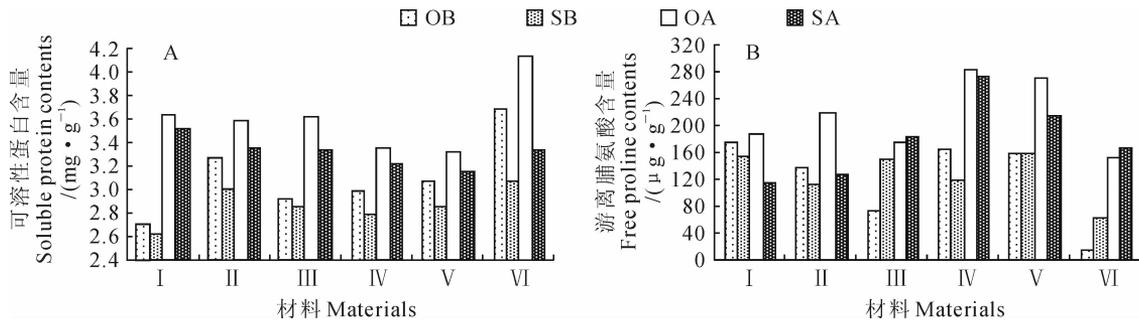


图3 各品种(系)油菜开放授粉和自交植株叶片可溶性蛋白和游离脯氨酸含量降温前后的变化  
Fig. 3 Changes of soluble protein and free proline contents in leaves of winter turnip rape plants with self-pollination and open-pollination under low temperature

表1 各品种(系)油菜开放授粉和自交油菜植株越冬率的变化

Table 1 Changes of overwintering rate of winter turnip rape plants with self-pollination and open-pollination

材料 Material	授粉方式 Pollination method	越冬率 Over wintering rate/%
2011 临甘 1 白 2011 Ligan 1 bai	开放授粉 Opening pollination	85.71b
	自交 Selfing cross	50.00e
陇油 6 号 Longyou 6	开放授粉 Open pollination	50.00e
	自交 Selfing cross	40.00f
陇油 7 号 Longyou 7	开放授粉 Open pollination	33.33g
	自交 Selfing cross	25.00h
陇油 8 号 Longyou 8	开放授粉 Open pollination	50.00e
	自交 Selfing cross	40.00f
陇油 9 号 Longyou 9	开放授粉 Open pollination	92.00a
	自交 Selfing cross	80.00c
延油 2 号 Yanyou 2	开放授粉 Open pollination	90.00a
	自交 Selfing cross	66.67d

注:数据后不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

Note: Different normal letter after the data means significant difference at 0.05 level.

放授粉植株和自交后代植株叶片中的游离脯氨酸含量,降温后游离脯氨酸含量比降温前的高,说明游离脯氨酸含量与油菜的抗寒性呈正相关关系。

#### 2.4 自交对白菜型冬油菜幼苗越冬率的影响

越冬率是油菜抗寒性强弱的直接表现,表1为6个白菜型冬油菜品种的越冬情况,由表1可以看出:所有品种的越冬率都表现为开放授粉明显高于自交后代,且都呈显著差异( $P < 0.05$ )。说明自交后代的抗寒性弱于开放授粉的后代。

### 3 讨论与结论

#### 3.1 自交对植物生理生化特性的影响

玉米有3个脂酶的同工酶,由等位基因控制其合成。当把具有这些基因的纯合体植株杂交时,其杂种脂酶活性明显升高。后来,不少研究者在过氧化氢酶、过氧化物酶、苹果酸脱氢酶等同工酶研究

中,都发现杂交时可能产生有高酶活性的同工酶类型。以几个具有不同的乙醇脱氢酶的等基因系杂交,结果杂种的酶活性显著高于自交系。以上同工酶的研究,从分子水平上解释了等位基因间的互补和非等位基因间互补产生杂种优势的理论<sup>[22]</sup>。研究表明开放授粉叶片的SOD、CAT、APX活性均显著高于自交后代。本实验研究结果表明,白菜型冬油菜自交后植株叶片中的SOD、CAT、POD的活性和可溶性蛋白、游离脯氨酸含量都较开放授粉叶片中的低,而MDA含量较开放授粉叶片中的高,这与前人研究的结果相符。

#### 3.2 抗寒性与植物生理生化特性的关系

低温逆境中SOD、CAT活性水平与植物的抗寒性强弱具有十分密切的关系,并可以作为植物抗寒性检测的生理指标<sup>[23]</sup>。SOD和CAT共同组成保护酶系统,对清除自由基,避免细胞膜的伤害有重要作用。植物在低温锻炼期间,可溶性蛋白含量随低温锻炼抗冻性的提高而增加,高含量的可溶性蛋白增加了细胞液浓度,对提高植株的抗寒性有重要作用。可溶性蛋白的含量与植物的抗冷性之间存在密切关系,多数研究者认为:低温胁迫下,植物可溶性蛋白含量增加。可溶性蛋白的亲水胶体性质强,它能明显增强细胞的持水力,而可溶性蛋白质的增加可以束缚更多的水分,同时可以减少原生质因结冰而伤害致死的机会<sup>[24]</sup>。低温伤害不仅破坏植物细胞代谢,而且导致体内生理功能发生变化,自由基的增加伤害细胞膜系统,引发了膜脂过氧化作用,膜脂过氧化作用最终产物MDA可扩散到其它部位,对质膜有毒害作用,破坏体内正常代谢的进行<sup>[25]</sup>。本实验结果表明,白菜型冬油菜自交后植株叶片中的SOD、CAT活性比开放授粉叶片中的低,从而使活性氧引起膜脂过氧化及其他伤害程度加重,导致植株的抗寒性减弱;同时,低温胁迫后油菜叶片中的

可溶性蛋白含量增加,但自交后代叶片中的可溶性蛋白含量较开放授粉植株的低,说明自交后代植株原生质因结冰而伤害致死的机会越大,其抗寒性就越弱;另外,MDA 含量与植物的抗寒性密切相关,低温胁迫后油菜叶片中的 MDA 含量增加,但自交后代叶片中的 MDA 含量较开放授粉植株的高,说明自交后代植株细胞伤害程度较大,其抗寒性较弱,这与前人研究的结果一致。

综上所述,自交对白菜型冬油菜后代植株的生理生化特性和抗寒性具有不利影响,自交使得白菜

型冬油菜植株叶片 SOD、CAT、POD 的活性和可溶性蛋白、游离脯氨酸含量都较开放授粉出现不同程度的降低;相反,MDA 含量较开放授粉出现不同程度的升高;同时,越冬率也较开放授粉的低。而降温前与降温后相比,所有测定指标在两种授粉方式后代中都有所提高,其中以 CAT 变化最为显著。可见,自交会使白菜型冬油菜后代植株叶片中保护酶活性以及其他生理指标和越冬率的下降 进而引起其植株抗寒性减弱。

### 参考文献:

- [1] ZHANG Y H(张亚宏),SUN W C(孙万仓),WEI W H(魏文慧),*et al.* Changes of SOD,CAT and APX activity of *Brassica napus* infected by selfing in total growth period[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*(华北农学报),2008,**23**(1):105-108(in Chinese).
- [2] 张天真.作物育种学总论[M].北京:中国农业出版社,2003:13-14.
- [3] GUAN CH Y(官春云). The self-incompatibility characteristics and heterosis breeding on rape[J]. *Journal of Enviroment-Biological Polytechnic of Hunan*(湖南环境生物职业技术学院学报),2001,**7**(1):1-6(in Chinese).
- [4] 傅廷栋.杂交油菜的育种和利用[M].武汉:湖北科学技术出版社,2000:112-148.
- [5] TIAN ZH K(田正科). Application of dull line in *Brassica rapa*[J]. *Letters in Agriculture Science*(农业科技通讯),1980,**3**:20(in Chinese).
- [6] HU B CH(胡宝成),CHEN F X(陈凤祥). Study on male sterile line guangfeng A in *Brassica rapa*[J]. *Scientia Agricultura Anhui*(安徽农业科学),1993,**21**(4):337-339(in Chinese).
- [7] HUANG J Y(黄继英),ZHUANG SH Q(庄顺琪). Study on heterosis utilization in *Brassica rapa*[J]. *Oil Crop of China*(中国油料),1980,**2**(1):38-41(in Chinese).
- [8] LIU H L(刘后利),FU T D(傅廷栋). Study on selection of self-compatibility and B-lines and C-lines[J]. *Journal of Huazhong Agricultural College*(华中农学院学报),1981,(3):9-28(in Chinese).
- [9] HU B CH(胡宝成),CHEN F X(陈凤祥),CHEN W SH(陈维生),*et al.* Depresson of inbreeding and the ways of Heterosis utilization in *Brassica chinensis*[J]. *Oil Crop of China*(中国油料),1996,**18**(4):6-9(in Chinese).
- [10] TAO G H(陶国华),XU J B(徐家炳),LI Y A(李银安). A study on the genetic stability of self-incompatibility in *Brassica campestris* L. var. *peknensis* Rupr[J]. *Scientia Agriculture Sinica*(中国农业科学),1982,**15**(2):30-37(in Chinese).
- [11] NASRALLAH J B,KAO T H,*et al.* A cDNA clone encoding an S-locus specific glycorotein from *Brassica oleracea*[J]. *Nature*,1985,318:263-267.
- [12] LUO G H(罗广华),WANG A G(王爱国). SOD gel electrophoresis and activity display of plants[J]. *Plant Physiology Communications*(植物生理学通讯),1983,(6):44-45(in Chinese).
- [13] ZHANG X ZH(张宪政),WANG X F(汪晓峰),SU ZH SH(苏正淑). Water stress and active oxygen damage of wheat[J]. *Foreign Agricultural-Triticeae Crops*(国外农业-麦类作物),1996,(1):18-21(in Chinese).
- [14] 赵亚华.生物化学试验技术教程[M].长沙:中南大学技术出版社,2000:151-154.
- [15] 邹琦.植物生理生化实验指导[M].北京:中国农业出版社,1995.
- [16] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000.
- [17] 王学奎.植物生理生化实验原理和技术(第2版)[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [18] LIU CH L(刘昌玲),WANG G Q(王国庆). Separation,crystallization and properties of bacteria catalase[J]. *Biochemistry and Biophysics*(生物化学与生物物理进展),1990,**17**(5):380-383(in Chinese).
- [19] MCCORD J M,FRIDOVICH I. Superoxide dismutase: An enzymatic function for erythrocyte(hemocuprein)[J]. *J. Biol. Chem.*,1969,244:6 049-6 055.
- [20] 王忠,顾蕴洁.植物生理生化实验[M].北京:中国农业出版社,1994.
- [21] WANG A G(王爱国),LUO G H(罗广华). Study on the superoxide dismutase of soybean seeds(SOD)[J]. *Acta Phytophysiological Sinica*(植物生理学报),1983,**9**(1):77-83(in Chinese).
- [22] MENG J L(孟金陵). Advances in inbreeding depression of crop [J]. *Journal of Huazhong Agricultural College*(华中农学院学报),1984,**3**(3):97-105(in Chinese).
- [23] WU Y J(武雁军),LIU J H(刘建辉). Effects of chilling stress on chill-resistance physiological and biochemical indexes of muskmelon seedlings[J]. *Journal of Northwest A&F University*(西北农林科技大学学报),2007,**3**(3):139-143(in Chinese).
- [24] JIANG F Y(江福英),LI Y(李延),WENG B Q(翁伯琦). Low temperature stress and resistant physiology of plant[J]. *Journal of Fujian Agricultural*(福建农业学报),2002,**17**(3):190-195(in Chinese).
- [25] 何若韫.植物低温逆境生理[M].北京:中国农业出版社,1995.