

# 抗寒复合剂对白菜型冬油菜生长发育及产量性状的影响

郭仁迪, 刘海卿, 武军艳, 孙万仓, 刘自刚, 曾秀存,  
方园, 陈奇, 王治江, 袁金海

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

**摘要:** 以超强抗寒性冬油菜品种陇油 6 号、陇油 7 号和弱抗寒性品种天油 2 号、天油 4 号为材料, 研究了低温 ( $-5^{\circ}\text{C}$ ) 胁迫下几种抗寒复合剂对白菜型冬油菜叶片相对电导率、丙二醛含量及越冬率、农艺性状、生育期、经济系数、产量变化的影响。试验设 6 种处理: T1, 蒸馏水 (CK); T2,  $20\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  ABA; T3,  $20\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  ABA +  $300\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  PEG-6000; T4,  $20\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  ABA +  $50\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  PP333; T5,  $20\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  ABA +  $300\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  PEG-6000 +  $50\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  PP333; T6,  $20\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  ABA +  $300\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  PEG-6000 +  $50\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  PP333 +  $10\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  尿素。结果表明, 喷施抗寒复合剂能显著提高白菜型冬油菜的越冬率, 其中 T5 处理越冬率达到 91.97%, 较 CK 增加 18.87%; 抗寒复合剂处理, 参试材料叶片相对电导率和丙二醛含量在各个处理下较 CK 平均降低 25.43% 和 25.36%, 并且使根颈直径、全株有效结角数、单株产量、经济系数、产量显著增加, 生育期延长。通过隶属函数法和主成分打分, 不同抗寒复合剂的抗寒效果为  $\text{T5} > \text{T6} > \text{T4} > \text{T3} > \text{T2} > \text{CK}$ 。

**关键词:** 白菜型冬油菜; 抗寒复合剂; 生长发育; 抗寒性

**中图分类号:** S634.3      **文献标志码:** A

## Effect of cold-resistant compounds on growth and yield of winter rapeseed (*Brassica rapa* L.)

GUO Ren-di, LIU Hai-qing, WU Jun-yan, SUN Wan-cang, LIU Zi-gang,  
ZENG Xiu-cun, FANG Yuan, CHEN Qi, WANG Zhi-jiang, YUAN Jin-hai

(Key Laboratory of Crop Genetic Improvement and Germplasm Enhancement, Rapeseed Engineering Research Center of Gansu Province, Gansu Provincial Key Laboratory of Arid Land Crop Sciences, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

**Abstract:** A field experiment was conducted on Longyou 6, Longyou 7 and Tianyou 2 and Tianyou 4, (Longyou 6 and Longyou 7 have super strong cold resistance; Tianyou 2 and Tianyou 4 have weak cold resistance) to identify the effects of cold-resistant compounds on the leaf relative electrical conductivity, MDA content, overwintering rates, agronomic traits, growth period, economic coefficient and yield change of winter rapeseed (*Brassica rapa* L.) at minus five degree. 6 types of treatments were designed: T1, distilled water (CK); T2,  $20\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  ABA; T3,  $20\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  ABA +  $300\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  PEG-6000; T4,  $20\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  ABA +  $50\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  PP333; T5,  $20\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  ABA +  $300\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  PEG-6000 +  $50\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  PP333; T6,  $20\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  ABA +  $300\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  PEG-6000 +  $50\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  PP333 +  $10\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  urea. We found that the overwintering rates achieved 91.97% under T5, increased by 18.87%, compared with CK. After spraying cold-resistant compounds, compared with ck, the leaf relative conductivity and MDA content averagely decreased by 25.43% and 25.36% respectively, and root collar diameter, pods per plant, yield per plant, economic coefficient, and yield increased significantly, as well as growth period prolonged. In terms of cold-resistance effects, the treatments sequenced in

收稿日期: 2016-04-15

**基金项目:** 国家自然科学基金项目 (31460356); 农业部产业技术体系建设资金项目 (CARS-13); 国家“973”计划 (2015CB150206); 国家高科技研究发展计划 (863 计划) 项目 (2011AA10A104); 国家农业部科技成果转化项目 (2014G10000317); 国家自然科学基金 (31560397) (2015-2017); 甘肃省自然科学基金 (145RJZG050); 甘肃省河西走廊特色资源利用重点实验室面上项目 (XZ1403)

**作者简介:** 郭仁迪 (1989—), 女, 河北深州人, 硕士研究生, 主要从事作物遗传育种研究。E-mail: 1196913510@qq.com。

**通信作者:** 孙万仓 (1957—), 男, 甘肃会宁, 教授, 博士生导师, 主要从事油菜育种及十字花科种质资源研究。E-mail: 1134137111@qq.com。

the way of T5 > T6 > T4 > T3 > T2 > CK, according to subordinate function analysis and the principal component scores.

**Keywords:** *Brassica rapa* L.; cold-resistant compound; the growth and development; cold resistance

超强抗寒冬油菜品种的选育和推广应用,使我国北方冬油菜生产迅速发展,并成为北方地区重要油料作物和生态作物<sup>[1]</sup>。北方地区冬季干旱、严寒,生态条件严酷,如何提高冬油菜的越冬率、保证安全越冬为北方冬油菜研究的主要问题之一,为油菜研究者关注。孙万仓等<sup>[2]</sup>研究表明,适宜的播期、合理的密度等均能提高冬油菜的越冬率;励立庆等<sup>[3]</sup>研究证明,在低温逆境条件下抗寒种衣剂能够保证田间较高的出苗率和越冬率;油菜<sup>[4]</sup>、玉米<sup>[5]</sup>、水稻<sup>[6]</sup>、冬小麦<sup>[7]</sup>、鹰嘴豆<sup>[8]</sup>、苔藓<sup>[9]</sup>等多种作物和植物上研究表明,外源 ABA 处理能提高植物对低温适应性的能力。张智等<sup>[10]</sup>研究证明,在低温胁迫下,用 150 mg·L<sup>-1</sup> 的 PP333 叶面喷施,可提高甘蓝型油菜叶片可溶性糖含量,降低叶片的相对电导率,从而维持叶片质膜的稳定性,增强油菜的抗寒性。戴玉池<sup>[11]</sup>用聚乙二醇、磷酸缓冲液、油菜素内脂、CaCl<sub>2</sub> 等 4 种抗寒剂喷施湘早粳 25 号可提高幼苗抗寒性。刘晓静等<sup>[12]</sup>研究表明秋季施用尿素能促进早熟禾地上部分的生长。本试验在大田条件下,研究抗寒复合剂对白菜型冬油菜的越冬率、产量、经济系数、产量性状、生育期及相关生理生化指标的影响,为提高冬油菜的抗寒性提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

以超强抗寒冬油菜品种陇油 6 号、陇油 7 号(种子由甘肃农业大学农学院提供)和弱抗寒性品种天油 2 号、天油 4 号(种子由甘肃省天水市农科所提供)为材料,均为白菜型冬油菜。

### 1.2 试验设计

试验设 T1、T2、T3、T4、T5、T6 六个处理。配置 5 种不同组分的抗寒剂,药品用蒸馏水溶解,包括:

T1: 蒸馏水(CK);

T2: 20 mg·L<sup>-1</sup> ABA;

T3: 20 mg·L<sup>-1</sup> ABA + 300 mg·L<sup>-1</sup> PEG - 6000;

T4: 20 mg·L<sup>-1</sup> ABA + 50 mg·L<sup>-1</sup> PP333;

T5: 20 mg·L<sup>-1</sup> ABA + 300 mg·L<sup>-1</sup> PEG - 6000 + 50 mg·L<sup>-1</sup> PP333;

T6: 20 mg·L<sup>-1</sup> ABA + 300 mg·L<sup>-1</sup> PEG - 6000 + 50 mg·L<sup>-1</sup> PP333 + 10 g·L<sup>-1</sup> 尿素。

试剂 PEG - 6000、ABA、PP333、尿素分别由天津市光复精细化工研究所、Biosharp、天津福德士科技

有限公司、成都市科龙化工试剂厂提供。

试验采用大田试验。试验材料于 2014 年 8 月 22 日播种于甘肃省油菜工程技术研究中心兰州新区上川试验基地。纬度 36°03'、经度 103°40'、海拔 2 150 m、最大冻土深度 113 cm、最冷月平均气温 - 8.1℃、最冷月平均最低气温 - 14.6℃、极端最低气温 - 28.1℃、年均温度 6.5℃、无霜期天数 152 d、降雨量 275 mm,土壤偏碱性。小区面积 6 m<sup>2</sup>,长 3 m,宽 2 m,设 3 个重复。采用开沟条播的播种方式播种,行距 20 cm,株距 7 ~ 8 cm。待幼苗长至 5 ~ 6 片真叶时(当年 10 月 19 日),用喷壶喷施油菜叶片,喷施时间为上午 9:30—10:30,喷施剂量约为 5 ~ 6 mL·株<sup>-1</sup>,当日气温为 3℃ ~ 15℃,20、15、10、5 cm 深度的地温分别为 7℃、9℃、11℃、12℃。喷施后于 11 月 4 日分别取冬油菜心叶外 2 ~ 3 片真叶,放置冰盒中带回实验室进行生理指标的测定,取样当日气温 - 5℃ ~ 6℃,20、15、10、5 cm 深度的地温分别为 5℃、3℃、2℃、1℃。

### 1.3 测定指标与方法

1.3.1 相对电导率的测定 电导率采用 DDS - 302<sup>+</sup> 纯水电导率仪进行测定。用自来水将叶片冲洗干净,再用超纯水冲洗 3 次,用吸水纸吸干表面水分,用刀片将叶片剪成适宜长度的长条,快速称取鲜样 3 份,每份 0.2 g,分别置于 10 mL 去离子水的试管中,封口,室温下浸泡 10 h,用电导仪测定电导值(R1),然后沸水浴 30 min,冷却至室温后摇匀,再次测定电导值(R2)。相对电导率 = R1/R2。

1.3.2 丙二醛含量的测定 丙二醛采用 2 - 硫代巴比妥酸法进行测定。称取剪碎的叶片 0.5 g,加入 1 mL 10% 的 TCA 和少量石英砂,研磨至匀浆,再加 4 mL TCA 进一步研磨,匀浆在 4 000 r·min<sup>-1</sup> 离心 10 min,上清液为提取液。吸取离心的上清液 2 mL(对照加 2 mL 蒸馏水),加入 2 mL 0.6% 的 TBA 溶液,混合物于沸水浴上反应 15 min,迅速冷却后再离心,取上清液测定 532、600、450 nm 下的消光值。MDA 含量(μmol·g<sup>-1</sup>) = 6.45 × (D532 - D600) - 0.56 × D450 × 提取液体积(mL)/植物组织鲜重(g)。

1.3.3 越冬率的统计 分别于冬前(2014 年 11 月 4 日)和冬后(2015 年 5 月 1 日)统计各小区植株存活苗数,计算越冬率,越冬率 = (冬后苗数/冬前苗数) × 100%。

1.3.4 农艺性状的测定 采用室内考种方法:成熟

期在每个小区中随机取 10 株,测定结果部位、总分枝数、全株有效角果数、角果长度、角粒数、千粒重、单株产量,收获后计算小区产量等。

1.3.5 经济系数的计算 经济系数 = 籽粒产量/单株干重

#### 1.4 隶属函数分析

运用隶属函数法来综合评价抗寒复合剂的效果,各处理的隶属值越大,则抗寒效果越优。采用模糊数学的隶属函数法,具体计算公式如下:

(1) 与抗寒性呈正相关的指标:

$$U_{ijk} = (X_{ijk} - X_{j\min}) / (X_{j\max} - X_{j\min}) \quad (1)$$

(2) 与抗寒性呈负相关的指标:

$$U_{ijk} = 1 - [(X_{ijk} - X_{j\min}) / (X_{j\max} - X_{j\min})] \quad (2)$$

(3) 隶属值:

$$\bar{X}_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_{ijk}$$

式中,  $U_{ijk}$  为第  $i$  个处理  $k$  品种第  $j$  项指标的隶属度;  $X_{ijk}$  为  $i$  处理  $j$  性状  $k$  品种的测定值;  $X_{j\min}$ 、 $X_{j\max}$  为所有指标中第  $j$  项指标的最小值和最大值;  $\bar{X}_i$  为  $i$  处理抗寒性的隶属值,  $\bar{X}_i$  越大则抗寒性越强。

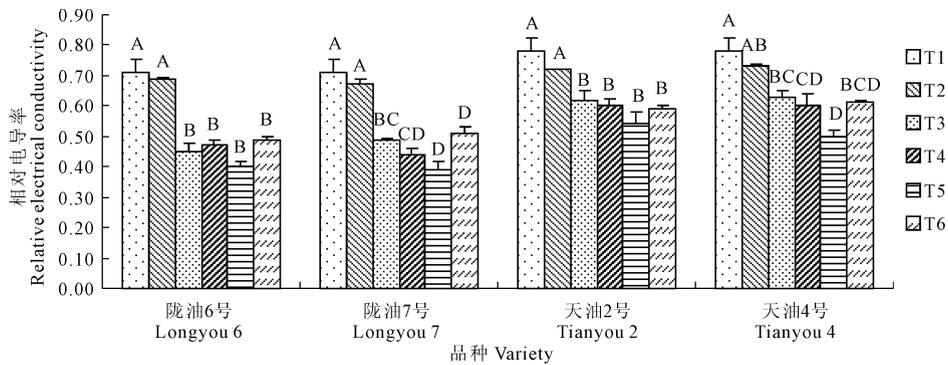


图1 抗寒复合剂处理对冬油菜叶片电导率的影响

Fig.1 The effect of cold-resistant compounds on relative electrical conductivity in leaves of winter rapeseed

注:大小写英文字母表示 1% 和 5% 水平差异显著性,下同。

Note: different capital letters and lower case letters indicate difference at 0.01 and 0.05 level, the same below.

#### 2.2 抗寒复合剂处理对白菜型冬油菜叶片丙二醛含量的影响

当植物叶片受到冻害时,膜结构受到破坏,细胞内积累大量的膜脂过氧化产物,如丙二醛(MDA)等物质积累。研究表明,不同的抗寒复合剂处理,MDA的含量均较CK降低(图2),差异达到显著水平。处理效果 T5 > T4 > T6 > T3 > T2 > CK,其中 T5 处理效果最明显。各品种的处理效果一致,T5 处理后,陇油 6 号、陇油 7 号、天油 2 号、天油 4 号 MDA 含量分别较其 CK 降低 37.1%、32.8%、33.6%、29.9%。而低温胁迫下,MDA 积累增加,但抗寒复合剂减弱了

#### 1.5 数据处理

试验数据采用 Excel 2003 进行统计和作图,用 SPSS19.0 进行方差分析、主成分打分和差异显著性分析。

## 2 结果与分析

#### 2.1 抗寒复合剂处理对白菜型冬油菜叶片电导率的影响

质膜的电导性是其膜两侧主动运输离子的能力,但质膜受到冻害损伤时膜的选择透过性丧失,离子可自由通过,因此,相对电导率越大,说明膜结构的损伤程度越大,其抗寒性越弱<sup>[13]</sup>。相对电导率降低,则质膜透性降低,细胞膜受损伤的程度降低,对保护细胞膜结构的完整性具有较好的作用。试验结果表明,不同的抗寒复合剂处理,均较 CK 相对电导率降低(图 1),T3、T4、T5、T6 处理效果明显,较 CK 差异极显著,其中 T5 处理较 CK 效果最明显,相对电导率最低。各品种的处理效果一致,T5 处理后,陇油 6 号、陇油 7 号、天油 2 号、天油 4 号相对电导率分别较 CK 降低 43.7%、45.1%、30.8%、35.9%。

MDA 的增加趋势。

#### 2.3 抗寒复合剂处理对白菜型冬油菜越冬率的影响

试验结果表明,喷施抗寒复合剂能够显著增加白菜型冬油菜的越冬率,喷施抗寒复合剂后,越冬率较 CK 增加,差异达显著水平。处理效果 T5 > T6 > T3 > T4 > T2 > CK,其中 T5 处理效果最明显,越冬率最高,较 CK 差异显著。各品种的处理效果一致,T5 处理后,陇油 6 号、陇油 7 号、天油 2 号、天油 4 号越冬率分别较其 CK 增加 21.65、19.44、18.52、15.86 个百分点(图 3)。

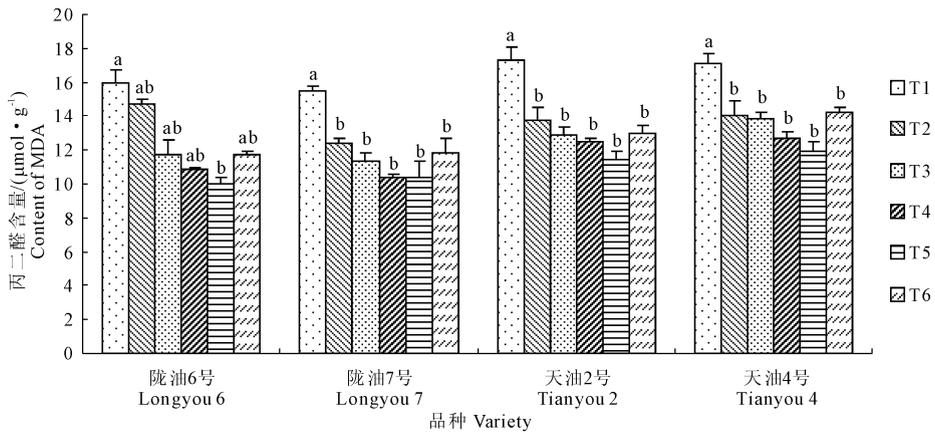


图 2 抗寒复合剂处理对冬油菜叶片丙二醛含量的影响

Fig.2 The effect of cold-resistant compounds on content of MDA in leaves of winter rapeseed

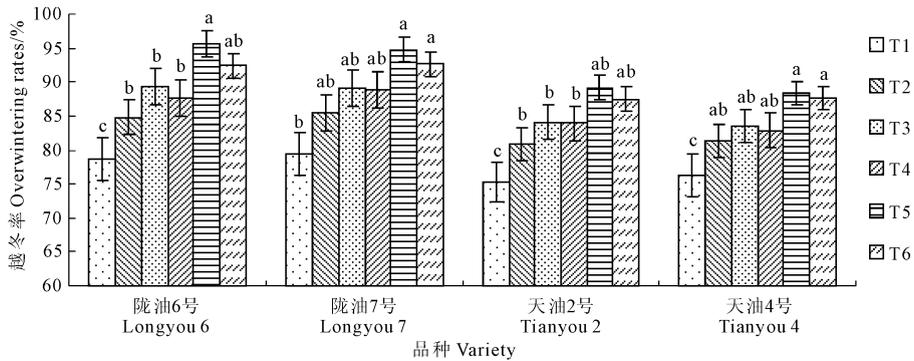


图 3 抗寒复合剂对冬油菜越冬率的影响

Fig.3 The effect of cold-resistant compounds on overwintering rates

2.4 抗寒复合剂处理对白菜型冬油菜根颈直径的影响

试验结果表明,抗寒复合剂处理能够促进根系发育,显著增加白菜型冬油菜根颈直径(图 4),以陇

油 6 号为例,T2、T3、T4、T5、T6 处理,分别较 CK 根颈直径增加 48.05%、30.79%、38.98.0%、114.03%、90.22%,较 CK 差异显著,其中以 T5 效果最明显,其它品种的变化类似于陇油 6 号。

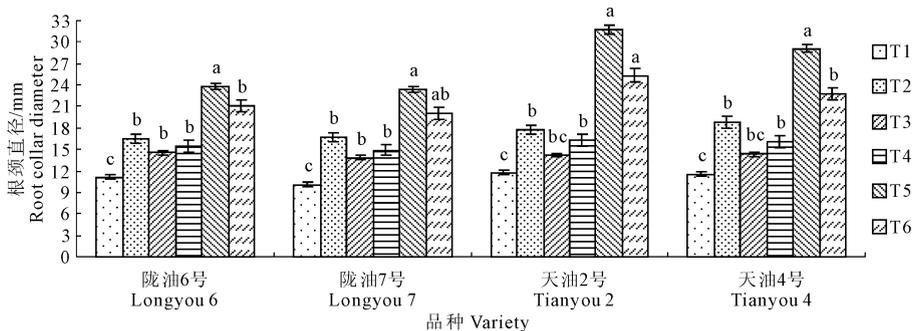


图 4 抗寒复合剂处理对白菜型冬油菜根颈直径的影响

Fig.4 The effect of cold-resistant compounds on root collar diameter

2.5 抗寒复合剂处理对白菜型冬油菜产量构成因素的影响

研究结果显示(表 1),抗寒复合剂处理对冬油菜的株高、角果长度、角粒数、千粒质量影响不明显。

各品种的全株有效结角数与单株产量均表现为 T2、T3、T4、T5、T6 处理较 CK 增加,差异显著。T5、T6 处理后冬油菜的结果部位明显降低,总分数明显增加,T2、T3、T4 处理效果不明显。但考察 5 个处理,以

T5、T6 效果较好, T5 处理后, 陇油 6 号、陇油 7 号、天油 2 号、天油 4 号的结果部位较 CK 平均降低 71.80%, 总分枝数、全株有效结角数、单株产量分别较 CK 平均增加 81.53%、204.25%、160.50%。

## 2.6 抗寒复合剂对白菜型冬油菜经济系数的影响

试验结果表明, 抗寒复合剂处理对白菜型冬油菜经济系数有明显的影响(图 5)。无论是抗寒性强的品种还是抗寒性弱的品种, 喷施抗寒复合剂后, 经济系数较 CK 增加, 差异显著。以天油 2 号为例, T2、T3、T4、T5、T6 处理经济系数分别为 0.352、0.369、0.343、0.392、0.401, 分别较 CK 增加 14.29%、19.81%、11.36%、27.27%、30.19%。其它品种的处理效果与天油 2 号具有相同趋势。

表 1 抗寒复合剂处理对冬油菜经济性状的影响

Table 1 Effects of cold-resistant compounds on economic traits of winter rapeseed

品种 Variety	处理 Treatment	株高/cm Plant height	结果部位/cm Result position	总分枝数 Branches per plant	全株有效结角数 Pods per plant	角果长度/cm Fruit length	角粒数 Seeds per pod	千粒质量/g 1000-seed mass	单株产量/g Yield of per plant
陇油 6 号 Longyou 6	CK	86.88 ± 3.69b	6.18 ± 2.38b	10.25 ± 3.75b	120.00 ± 15.00c	5.14 ± 0.54a	19.83 ± 0.52a	2.79 ± 0.27a	9.42 ± 1.75b
	T2	110.94 ± 5.52a	14.78 ± 4.64a	11.22 ± 2.31b	182.50 ± 16.29bc	5.27 ± 0.41a	21.00 ± 2.17a	2.72 ± 0.11a	11.45 ± 0.02ab
	T3	91.67 ± 6.39ab	7.67 ± 1.20b	13.33 ± 2.96ab	216.00 ± 17.82bc	4.75 ± 0.27a	19.56 ± 1.85a	2.62 ± 0.17a	11.60 ± 0.73ab
	T4	86.67 ± 8.11b	11.00 ± 0.88a	13.00 ± 1.20ab	207.00 ± 8.96bc	5.01 ± 1.04a	20.44 ± 3.25a	2.73 ± 0.06a	14.57 ± 0.16a
	T5	90.00 ± 0.00ab	2.67 ± 1.67bc	19.33 ± 1.33a	345.33 ± 12.83a	3.84 ± 0.48a	17.56 ± 4.22a	2.82 ± 0.28a	16.40 ± 1.36a
	T6	92.00 ± 5.57ab	1.67 ± 8.62bc	17.67 ± 4.73a	232.67 ± 7.33b	5.11 ± 0.06a	18.00 ± 2.03a	3.03 ± 0.25a	15.16 ± 1.84a
陇油 7 号 Longyou 7	CK	99.33 ± 1.92bc	9.13 ± 2.81ab	13.25 ± 2.71ab	157.00 ± 10.21c	8.08 ± 2.94a	20.25 ± 2.02a	2.43 ± 0.23a	6.08 ± 0.38b
	T2	112.93 ± 3.51a	12.14 ± 4.66a	11.00 ± 3.04ab	171.00 ± 20.79c	7.64 ± 1.77a	22.29 ± 0.78a	2.72 ± 0.11a	7.41 ± 1.86b
	T3	101.67 ± 2.73abc	8.00 ± 3.06ab	11.30 ± 1.51ab	181.50 ± 11.69c	4.87 ± 0.19a	20.33 ± 1.45a	2.75 ± 0.18a	8.71 ± 1.84b
	T4	84.00 ± 2.65d	11.33 ± 3.38a	8.67 ± 3.28b	205.33 ± 21.12c	4.57 ± 0.15a	22.00 ± 4.04a	2.58 ± 0.14a	11.71 ± 1.69ab
	T5	109.00 ± 6.66ab	3.33 ± 3.33b	19.33 ± 1.49a	549.00 ± 12.00a	4.97 ± 0.07a	23.00 ± 1.73a	2.23 ± 0.21a	15.61 ± 0.51a
	T6	91.00 ± 2.08cd	0.67 ± 0.33b	16.29 ± 2.08a	388.33 ± 22.34b	4.70 ± 0.75a	18.67 ± 2.19a	2.71 ± 0.04a	16.19 ± 1.48a
天油 2 号 Tianyou 2	CK	100.33 ± 0.88ab	14.00 ± 4.58a	12.00 ± 2.45ab	147.67 ± 21.80c	4.98 ± 0.09a	20.75 ± 1.18ab	2.60 ± 0.06c	7.07 ± 0.46b
	T2	109.17 ± 5.69a	13.25 ± 2.10a	14.50 ± 2.44ab	286.60 ± 18.18b	4.70 ± 0.20a	21.88 ± 1.80ab	2.69 ± 0.07bc	11.16 ± 2.55b
	T3	101.67 ± 2.03ab	13.00 ± 5.03a	8.00 ± 1.00b	179.33 ± 2.91bc	4.63 ± 0.39a	19.67 ± 1.33ab	2.74 ± 0.12bc	12.97 ± 1.40ab
	T4	74.67 ± 5.04c	5.00 ± 0.01b	18.67 ± 4.84ab	271.50 ± 19.50b	4.80 ± 0.15a	21.67 ± 2.33ab	2.61 ± 0.05c	14.98 ± 3.35ab
	T5	86.67 ± 5.46bc	1.40 ± 0.32b	23.00 ± 1.02a	488.33 ± 16.22a	4.93 ± 0.38a	18.67 ± 4.37b	3.09 ± 0.05a	20.61 ± 0.53a
	T6	97.00 ± 3.79ab	1.00 ± 0.58b	20.33 ± 3.89a	474.33 ± 29.71a	4.87 ± 0.81a	28.00 ± 3.06a	2.98 ± 0.16ab	22.38 ± 2.92a
天油 4 号 Tianyou 4	CK	88.33 ± 1.67b	5.75 ± 1.25ab	9.50 ± 0.96b	172.00 ± 14.02d	5.53 ± 0.23a	24.50 ± 2.50a	2.78 ± 0.24a	6.97 ± 1.07c
	T2	103.29 ± 3.50a	8.50 ± 1.05a	11.14 ± 1.55b	187.67 ± 25.85cd	9.23 ± 3.65a	24.00 ± 2.16a	2.79 ± 0.15a	11.63 ± 1.38bc
	T3	85.00 ± 5.00b	4.67 ± 2.03abc	10.33 ± 3.18b	256.50 ± 4.50c	4.60 ± 0.72a	19.67 ± 2.19a	2.89 ± 0.15a	11.25 ± 1.50bc
	T4	81.33 ± 1.86b	3.67 ± 1.76abc	13.33 ± 0.88ab	225.00 ± 22.00cd	4.73 ± 0.27a	22.33 ± 2.91a	2.92 ± 0.06a	12.74 ± 0.69bc
	T5	93.00 ± 6.66ab	1.33 ± 0.33c	19.00 ± 2.51a	428.00 ± 26.00a	5.67 ± 0.35a	24.67 ± 1.45a	2.77 ± 0.14a	22.28 ± 2.69a
	T6	86.00 ± 2.08b	2.00 ± 1.00bc	15.33 ± 3.63ab	349.50 ± 8.50b	4.80 ± 0.36a	20.00 ± 2.31a	3.05 ± 0.08a	17.38 ± 2.53b

注:同一列数据后不同小写字母代表差异显著( $P < 0.05$ ),下同。

Note: different capital letters in the chart shows significant difference( $P < 0.05$ ), the same below.

## 2.9 主成分打分与隶属函数法分析

通过对不同抗寒复合剂处理下的越冬率、产量、经济系数、根颈直径进行主成分打分,结果见表 4。

## 2.7 抗寒复合剂对白菜型冬油菜产量的影响

研究结果表明, 抗寒复合剂对冬油菜产量具有良好作用(表 2), 喷施抗寒复合剂后, 各品种的产量都较 CK 增加, 差异显著。各处理效果为: T5 > T6 > T3 > T4 > T2 > CK, 其中 T5 处理效果最明显, 陇油 6 号、陇油 7 号、天油 2 号、天油 4 号的平均产量为  $3\ 456.27\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 较 CK 增加 99.83%。

## 2.8 抗寒复合剂对白菜型冬油菜生育期的影响

不同抗寒复合剂处理对冬油菜的生育期影响不同(表 3)。与对照相比, T2 处理的陇油 6 号生育期延迟 1 d; T3、T4 处理的陇油 6 号生育期延迟 2 d; T5、T6 处理的陇油 6 号生育期延迟 4 d。其它品种的变化类似于陇油 6 号。

不同抗寒复合剂效果按综合得分高低依次为 T5 > T6 > T3 > T4 > T2 > CK, T5 越冬率为 91.97%, 产量为  $3\ 456.27\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 经济系数为 0.299, 根颈直径为

27.02 mm,综合得分最高,为 1.97,为抗寒效果最佳的抗寒复合剂,其次为 T6、T3、T4,得分分别为 1.62、-0.06、-0.11。

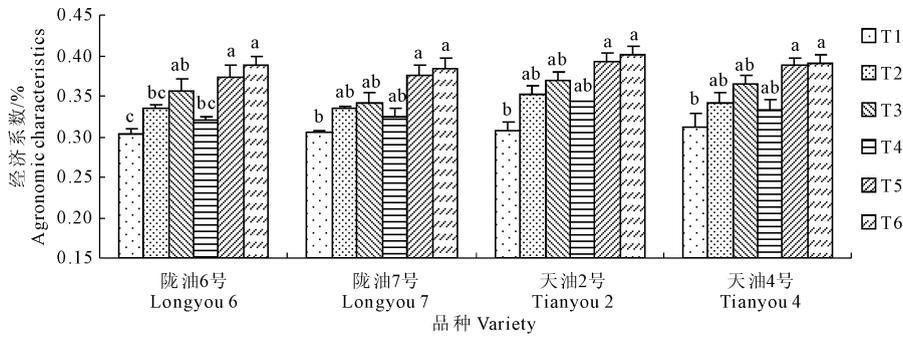


图 5 抗寒复合剂对冬油菜经济系数的影响

Fig.5 The effect of cold resistant compounds on economic coefficient of winter rapeseed

表 2 抗寒复合剂处理对冬油菜产量的影响

Table 2 The effect of cold-resistant compounds on yield of winter rapeseed

处理 Treatment	产量 Yield/(kg·hm <sup>-2</sup> )					较对照增减 Increase over the control/%	位次 Precedence
	陇油 6 号 Longyou 6	陇油 7 号 Longyou 7	天油 2 号 Tianyou 2	天油 4 号 Tianyou 4	平均 Average		
CK	1536.13 ± 2.72c	1607.10 ± 2.82c	1736.33 ± 4.06c	2038.72 ± 1.67c	1729.57	CK	6
T2	2511.88 ± 1.67b	2189.43 ± 1.78bc	2173.17 ± 3.67bc	2536.27 ± 2.50bc	2352.69	+ 36.03%	5
T3	3237.17 ± 3.02ab	2402.14 ± 3.87ab	2308.65 ± 1.38ab	3170.33 ± 2.10ab	2779.57	+ 60.71%	3
T4	2516.76 ± 0.98b	2146.07 ± 3.09bc	2594.80 ± 2.94ab	2867.93 ± 0.83ab	2531.39	+ 46.36%	4
T5	3628.81 ± 3.12a	3145.95 ± 1.34a	3404.45 ± 0.83a	3645.88 ± 1.56a	3456.27	+ 99.83%	1
T6	3353.24 ± 1.89ab	2651.88 ± 2.12ab	2914.27 ± 2.79a	3585.82 ± 2.84a	3251.30	+ 87.98%	2

表 3 抗寒复合剂对冬油菜生育期的影响/d

Table 3 The effect of cold-resistant compounds on growth period of winter rapeseeds

处理 Treatment	陇油 6 号 Longyou 6	陇油 7 号 Longyou 7	天油 2 号 Tianyou 2	天油 4 号 Tianyou 4
CK	305a	305a	304a	304a
T2	306a	306a	304a	304a
T3	307a	307a	305a	305a
T4	307a	307a	305a	305a
T5	309a	309a	307a	307a
T6	309a	309a	307a	307a

利用隶属函数法综合评价不同抗寒复合剂的抗寒效果,结果如表 5,不同抗寒复合剂的隶属值综合排序为 T5 > T6 > T4 > T3 > T2 > CK。各品种的效果基本一致。

### 3 讨论与结论

通过分析抗寒复合剂对白菜型冬油菜生长发育和产量性状指标的影响发现,抗寒剂对提高白菜型冬油菜的抗寒性效果是明显的。喷施抗寒复合剂显著提高越冬率,增加根颈直径,对改善经济性状(全株有效结角数、单株产量)及农艺性状(根颈直径)、

增加经济系数、提高产量都有明显的作用。与其他人研究结果一致。马霓等<sup>[14]</sup>研究发现采用  $76 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  ABA 喷施甘蓝型油菜能改善冻害后双 9 号的光合性能,缓解光合速率的降低,进而增加单株有效结角数、每角粒数和千粒重,提高产量;徐芹等<sup>[15]</sup>试验表明,适量喷施多效唑,可使茎粗增加,提高产量;刘海卿等<sup>[16]</sup>认为喷施适量 ABA 可使油菜显著增产。这些都与本研究结果相一致。

抗寒复合剂在作物抵抗低温冻害中起着重要的调节作用。近年来的研究认为,外源 ABA 能诱导 *COR6.6*、*PHH28* 等抗寒基因的表达增加<sup>[17]</sup>;外源 ABA、PP<sub>333</sub>处理植物后,内源 ABA 含量增加<sup>[18]</sup>;冻害后喷施抗寒剂还可以调节植物的生理功能。在低温胁迫条件下,外源 ABA 诱导处理小麦幼苗可产生特异性抗寒蛋白<sup>[19]</sup>;聚乙二醇处理水稻幼苗具有良好的抗寒能力,在低温胁迫条件下,聚乙二醇能维持原生质膜半透性的稳定而不遭破坏,减轻对原生质膜的寒害胁迫,从而提高早稻幼苗的抗寒能力<sup>[11]</sup>;苗期喷施多效唑能缓解低温胁迫对油菜的抑制影响,促进低温胁迫下油菜幼苗的生长,减缓低温对其伤害<sup>[10]</sup>;而尿素含有植物生长不可缺少的营养元素,

对促进植物地上部分的生长具有明显的作用<sup>[12]</sup>。本试验中,喷施抗寒复合剂使叶片相对电导率降低,

细胞膜通透性降低,保护了细胞膜结构,膜脂过氧化产物丙二醛含量积累减少,减轻低温冻害。

表 4 越冬率、产量、经济系数和根颈直径的主成分分析

Table 4 Principal component analysis of overwintering rates, yield, economic coefficient and root collar diameter

品种 Varieties	越冬率/% Over-winter rates	产量/(kg·hm <sup>-2</sup> ) Yield	经济系数 Economic coefficient	根颈直径/mm Root collar diameter	得分 Score	位次 Precedence
CK	77.35	1729.57	0.23	11.14	-2.52	6
T2	83.13	2352.69	0.25	17.43	-0.90	5
T3	86.55	2779.57	0.28	14.24	-0.06	3
T4	85.81	2531.39	0.29	15.69	-0.11	4
T5	91.97	3456.27	0.30	27.02	1.97	1
T6	90.07	3126.30	0.34	20.08	1.62	2

表 5 隶属函数分析

Table 5 Subordinate function analysis

品种 Varieties	CK	T2	T3	T4	T5	T6
陇油 6 号 Longyou 6	0	0.30	0.64	0.63	0.98	0.79
陇油 7 号 Longyou 7	0	0.30	0.46	0.58	0.92	0.80
天油 2 号 Tianyou 2	0	0.28	0.38	0.53	0.94	0.86
天油 4 号 Tianyou 4	0	0.27	0.49	0.43	0.96	0.75
平均 Average	0	0.29	0.49	0.54	0.95	0.80
排名 Rank	6	5	4	3	1	2

抗寒复合剂处理对白菜型冬油菜的抗寒性具有积极作用。本研究表明,T5 处理效果最明显,可显著提高冬油菜的抗寒性,而添加尿素之后,抗寒性反而有所降低,产生这种现象的原因并非尿素抑制了其它几种试剂的诱导作用,而是尿素促进了地上部分叶片的生长,能使叶片相对含水量大大增加,自由水和束缚水的比值增加,抗逆性相对减弱。

综上所述,北方寒旱区冬油菜冬前喷施抗寒复合剂能降低叶片的相对电导率和丙二醛含量,进而缓解低温冻害,同时促进根系的生长(根颈直径增加),从而提高越冬率,增加全株角果数、单株产量和总产量。

参考文献:

[1] 孙万仓,马卫国,雷建民,等.冬油菜在西北寒旱区的适应性和北移的可行性研究[J].中国农业科学,2007,40(12):2716-2726.  
 [2] 孙万仓,牛俊义,滕文慧,等.覆盖处理对寒旱区冬油菜越冬和产量的影响[J].中国油料作物学报,2006,28(3):315-318.  
 [3] 励立庆,胡晋,胡伟民,等.抗寒剂包膜对超甜玉米幼苗素质和产量的影响[J].作物学报,2004,30(9):955-958.  
 [4] 武军艳,刘海卿,孙万仓,等.苗期喷施外源脱落酸对北方白菜型冬油菜越冬生理的影响[J].中国油料作物学报,2015,37(3):310-315.  
 [5] Anderson M D, Prasad T K, Martin B A, et al. Differential gene expression in chilling acclimated maize seedlings and evidence for the involvement of abscisic acid in chilling tolerance[J]. Plant Physiology, 1994, 105: 331-339.

[6] 刘春玲,陈慧萍,刘娥娥,等.水稻品种对几种逆境的多重耐性及与 ABA 的关系[J].作物学报,2003,29(5):725-729.  
 [7] 刘丽杰,苍晶,李怀伟,等.外源 ABA 对冬小麦越冬呼吸代谢关键酶与糖代谢的影响[J].麦类作物学报,2013,33(1):65-72.  
 [8] Nayyara H, Bainsb T S, Kumara S. Chilling stressed chickpea seedlings: effect of cold acclimation, calcium and abscisic acid on cryoprotective solutes and oxidative damage[J]. Environmental and Experimental Botany, 2004,54(3):275-285.  
 [9] Anzu M, Manabu N, Keita A, et al. Abscisic acid-induced freezing tolerance in the moss Physcomitrella patens is accompanied by increased expression of stress-related genes[J]. Journal of Plant Physiology, 2003, 160(5): 475-483.  
 [10] 张智,张耀文,任军荣,等.多效唑处理后油菜苗在低温胁迫下的光合及生理特性[J].西北农业学报,2013,22(10):103-107.  
 [11] 戴玉池,黄亮,陈良碧.5种抗寒剂对早稻湘早灿25号幼苗的耐寒生理鉴定及其利用[J].湖南师范大学自然科学学报,2000,23(3):88-93.  
 [12] 刘晓静,于铁峰,张德罡,等.秋施不同缓释氮肥对坪用草地早熟禾抗寒性影响的研究[J].草地学报,2011,19(4):612-618.  
 [13] 高福元,张吉立,刘振平,等.持续低温胁迫对园林树木电导率和丙二醛含量的影响[J].山东农业科学,2010,(2):47-49.  
 [14] 马宽,刘丹,张春雷,等.植物生长调节剂对油菜生长及冻害后光合作用和产量的调控效应[J].作物学报,2009,35(7):1336-1343.  
 [15] 徐芹,贾赵东,刘金根.施用多效唑对荞麦生长发育及产量的影响研究[J].耕作与栽培,2006,(4):22-23.  
 [16] 刘海卿,武军艳,孙万仓,等.不同叶龄期叶面喷施 ABA 对北方白菜型冬油菜抗寒性的影响[J].草业学报,2015,24(9):173-180.  
 [17] Hajela R K, Horvath D P, Gilmour S J, et al. Molecular cloning and expression of cor (cold-regulated) genes in Arabidopsis thaliana[J]. Plant Physiology, 1990,93(3):1246-1252.  
 [18] 丁君辉,程鹏,王若仲,等.多效唑和脱落酸对白兰花内源激素及光合速率的影响[J].亚热带植物科学,2012,41(3):29-32.  
 [19] 徐贺,宋杨,范博,等.外源 ABA 对冬小麦叶片抗寒相关蛋白的影响[J].麦类作物学报,2012,32(4):666-670.