

脱落酸对低温胁迫下白菜型冬油菜种子萌发特性的影响

马学才^{1,2,3}, 杨贺红^{1,2,3}, 王志敏^{1,2,3}, 庆少龙^{1,2,3}, 邓渊^{1,2,3}, 武军艳^{1,2,3}
(1. 甘肃农业大学农学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省油菜工程技术研究中心, 甘肃 兰州 730070; 3. 甘肃省干旱生境作物重点实验室, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 用不同浓度的脱落酸(ABA)对4个白菜型冬油菜品种的种子进行浸种处理, 研究不同浓度 ABA 浸种对低温条件下白菜型冬油菜种子萌发及相关生理指标的影响。结果表明, 较低温度下(5、10℃), 各供试材料的发芽率、根长、芽长均随着 ABA 浓度的提高而降低, 20℃时, 1 mg/L、5 mg/L 的 ABA 处理对种子萌发均有促进作用。ABA 处理可增强过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)、抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性, 提高可溶性糖含量。强抗寒性品种(陇油6号、陇油7号)在较低温度下, POD、SOD、CAT 仍具有较高活性。

关键词: 冬油菜; 脱落酸; 种子萌发; 低温

中图分类号: S565.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1463(2019)09-0027-06
[doi: 10.3969/j.issn.1001-1463.2019.09.008](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-1463.2019.09.008)

Effect of ABA on Seed Germination Characteristics of Winter rapeseed (*Brassica rapa* L.) at Low Temperature

MA Xuecai^{1,2,3}, YANG Hehong^{1,2,3}, WANG Zhimin^{1,2,3}, QIN Shaolong^{1,2,3}, DENG Yuan^{1,2,3}, WU Junyan^{1,2,3}

(1. College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou Gansu 730070, China; 2. Gansu Research Center of Rapeseed Engineering and Technology, Lanzhou Gansu 730070, China; 3. Gansu Provincial Key Laboratory of Arid Land Crop Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China)

Abstract: The seeds of four winter rapeseed cultivars (*Brassica rapa* L.) are treated with different concentrations of abscisic acid (ABA), to study the effect on the seed germination and related physiological indices by ABA at low temperature. The results showed that at low temperature (5℃, 10℃), germination rate, root length, shoot length of each material were reduced with the increase of concentration of ABA treatment, but when at 20℃, 1 mg/L and 5 mg/L the ABA treatment are promoting effect on the seed germination. ABA treatment could increase the activities of CAT, POD, SOD and APX activity, and increase soluble sugar content. Strong cold-resistant cultivars (Longyou 6 and Longyou 7) at low temperature, POD, SOD and CAT still have the high activity.

Key words: Winter rapeseed; Abscisic acid (ABA); Seed germination; Low temperature

超强抗寒白菜型冬油菜系列品种的育成 越冬问题, 使北方早寒区成为中国重要的冬
与应用推广, 解决了中国北方地区冬油菜的 油菜产区^[1-2]。中国北方为典型的“一年一

收稿日期: 2019-03-19

基金项目: 甘肃省自然科学基金项目(17JR5RA149); 甘肃农业大学 SRTP 项目(20180136)。

作者简介: 马学才(1995—), 男(回族), 甘肃临夏人, 本科生, 研究方向为油菜的遗传育种。Email: 1950604933@qq.com。

作者简介: 武军艳(1981—), 女, 甘肃白银人, 副教授, 博士, 主要从事油菜的遗传育种工作。联系电话: (0)13919112712。Email: wujuny@gsau.edu.cn。

熟制”区，冬油菜由于成熟早，收获后剩余热量可复种棉花、玉米、马铃薯以及水稻、杂粮等作物，改革传统的一年一熟为一年二熟/两年三熟，从而提高复种指数、增加经济收益。同时，冬油菜可增加冬春季地面覆盖度，减少地表形成的浮土层，从而减少北方春季沙尘来源，具有显著的生态环境效益。

白菜型冬油菜生育期可分为冬前生长期、越冬期、冬后生长期 3 个生育时期，冬季严寒，越冬期漫长，越冬期天数几乎为全生育期的 1/2，因此冬前必须足够壮苗才能安全越冬，而形成壮苗就要求种子出苗速度快，以保证冬前生长时间足够长来增强油菜抗寒性。北方冬油菜播种期在 8 月中下旬到 9 月上中旬，此期气温开始下降，低温对种子的萌发、生长发育有一定影响。研究表明，脱落酸(abscisic acid, ABA)能诱导植物相关酶的重新合成^[3]，从而增加植物的抗冷性，因此 ABA 诱导处理是增强植物抗冷性和抗寒性的常用方法。本研究采用不同浓度的 ABA 处理不同抗寒性的白菜型冬油菜种子，测定低温条件下保护性酶及可溶性糖含量变化情况，以探讨 ABA 浸种对白菜型冬油菜种子抗寒性的影响，为提高白菜型冬油菜冬前出苗率提供参考。

1 材料及方法

1.1 试验材料

供试白菜型冬油菜品种有陇油 6 号(超强抗寒白菜型冬油菜品种)、陇油 7 号(超强抗寒白菜型冬油菜品种)、天油 2 号(中度抗寒白菜型冬油菜品种)、天油 4 号(中度抗寒白菜型冬油菜品种)，均由甘肃农业大学农学院提供。

1.2 试验设计

精选大小一致的冬油菜籽粒，用不同浓度(0、1、5、10、20 mg/L)的 ABA 溶液浸种 4 h，然后按 50 粒/皿排播于直径 9 cm 的培养皿中，培养皿内垫有用相应浓度 ABA 充

分浸润的 2 层滤纸，3 次重复，分别在 5、10、20 ℃(CK)培养箱中培养。每天调查种子萌发情况，以胚芽或胚根突破种皮者为萌发，计算发芽率[发芽率 = (发芽数/种子总数) × 100%]；培养第 7 d 测定根长、下胚轴长。将已发芽与未发芽的种子混合，测定相关生理指标。用蒽酮法测定可溶性糖含量，用愈创木酚法测定 POD 值，用考马斯亮蓝法测定 SOD 值，用 EDTA-Na₂ 法测定 APX 值^[4]，均 3 次重复。

1.3 数据处理

采用 Excel 软件及 SPSS 软件进行数据分析，采用 LSD 法进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 ABA 处理对白菜型冬油菜种子萌发能力的影响

外源 ABA 处理对种子的萌发有重要影响，尤其在低温条件下，ABA 明显能够抑制种子的萌发和生长。从表 1 可以看出，不同温度下，ABA 处理对种子发芽率的影响程度不同。5 ℃时对照组(CK)少数种子萌发，经 ABA 处理的有个别种子萌发，但根和下胚轴都不伸长，发芽率低。10 ℃处理条件下，低浓度(1 mg/L)的 ABA 对种子萌发有一定的促进作用，1 mg/L、5 mg/L ABA 处理与 CK 基本相同($P < 0.05$)。20 ℃处理条件下，各参试材料 1 mg/L ABA 处理的发芽率与 CK 相当，5 mg/L ABA 处理的发芽率高于 CK，但差异不显著($P < 0.05$)，10 mg/L、20 mg/L ABA 处理的表现出对种子萌发有明显抑制作用。上述结果表明，温度对 ABA 的作用有明显影响，高浓度 ABA 处理对种子的发芽率有明显的抑制作用，温度升高则这种抑制作用减弱。同时也表明，抗寒性强的陇油 6 号、陇油 7 号对 ABA 较敏感。

2.2 ABA 处理对白菜型冬油菜根及下胚轴生长的影响

低温对 ABA 处理具有抑制作用不仅表

现在种子的萌发上,而且对萌发后根、下胚轴的生长也具有抑制作用。由表 1 可以看出,5℃处理条件下,5、10、20 mg/L ABA 处理的根与下胚轴均停止生长。温度升高,各参试材料的根、下胚轴开始生长。10℃处理条件下,10、20 mg/L 处理下的根、下胚轴均为 0,1 mg/L、5 mg/L 处理的根、下胚轴有一定生长量。20℃处理条件下,各参试材料 1 mg/L 处理的根、下胚轴生长均大于 CK,其中抗寒性强的陇油 6 号、陇油 7 号的增长较多,而天油 2 号、天油 4 号在

ABA 浓度大于 10 mg/L 时根及下胚轴停止生长。可见,在较高温度下,用低浓度的 ABA 处理种子可促进根与下胚轴的生长,而低温则加剧了 ABA 的抑制作用。

2.3 ABA 处理对白菜型冬油菜种子可溶性糖含量的影响

测定结果(图 1)表明,各参试品种的可溶性糖含量主要取决于温度,温度低于 10℃时可溶性糖含量处于较稳定水平,总量较低,远低于 20℃时的含量。当温度为 20℃时,ABA 浓度为 5 mg/L 的处理可溶性糖含

表 1 ABA 处理后白菜型冬油菜种子萌发能力的变化

温度 /℃	ABA 浓度 / (mg/L)	陇油 6 号			陇油 7 号			天油 2 号			天油 4 号		
		根长 /cm	下胚轴长 /cm	发芽率 /%	根长 /cm	下胚轴长 /cm	发芽率 /%	根长 /cm	下胚轴长 /m	发芽率 /%	根长 /cm	下胚轴长 /cm	发芽率 /%
5	0(CK)	2.82±0.02	0.59±0.01	4±0.46	3.2±0.04	0.77±0.03	12±0.35	1.07±0.01	0.67±0.02	4±0.22	1.22±0.02	0.74±0.04	3±0.22
	1	0.99±0.03	0.61±0.01	2±0.22	1.18±0.02	1.00±0.02	5±0.24	0.67±0.03	0.28±0.01	4±0.36	0.23±0.01	0.27±0.02	3±0.30
	5	0	0	2±0.13	0	0	2±0.33	0	0	2±0.41	0	0	2±0.12
	10	0	0	2±0.12	0	0	2±0.51	0	0	2±0.21	0	0	0
	20	0	0	2±0.09	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0(CK)	2.82±0.03	0.59±0.02	44±0.99	3.20±0.02	0.77±0.04	52±0.58	3.47±0.05	0.67±0.01	44±0.53	3.74±0.01	0.74±0.02	29±0.90
	1	0.99±0.02	0.61±0.01	38±0.86	1.18±0.05	1.00±0.01	38±0.42	1.37±0.02	0.58±0.04	46±0.29	1.10±0.02	0.37±0.02	31±0.11
	5	1.50±0.04	0.70±0.04	50±0.94	1.52±0.03	0.58±0.04	50±0.54	0.62±0.03	0.48±0.03	44±0.98	1.18±0.08	0.63±0.06	41±0.12
	10	0	0	30±0.92	0	0	32±0.66	0	0	24±0.66	0	0	13±0.99
	20	0	0	14±0.66	0	0	20±0.34	0	0	16±0.54	0	0	6±0.98
20	0(CK)	3.25±0.03	2.87±0.02	100±0.96	3.56±0.01	2.89±0.01	96±0.55	6.70±0.04	3.29±0.02	96±0.71	5.49±0.03	3.37±0.04	98±0.10
	1	5.09±0.03	3.95±0.03	98±0.98	4.88±0.05	5.09±0.02	100±0.47	6.76±0.03	3.09±0.01	100±0.65	7.05±0.02	3.38±0.06	96±0.88
	5	1.46±0.03	3.23±0.01	100±1.00	1.19±0.03	1.37±0.01	100±0.40	3.34±0.01	2.69±0.01	100±0.44	0.87±0.02	1.27±0.04	98±0.85
	10	0.44±0.01	1.47±0.01	100±0.89	2.5±0.01	2.35±0.02	98±0.38	0	0	98±0.56	0	0	96±0.77
	20	0.10±0.01	1.15±0.01	94±1.01	0.98±0.01	2.58±0.01	96±0.29	0	0	84±0.84	0	0	78±0.94

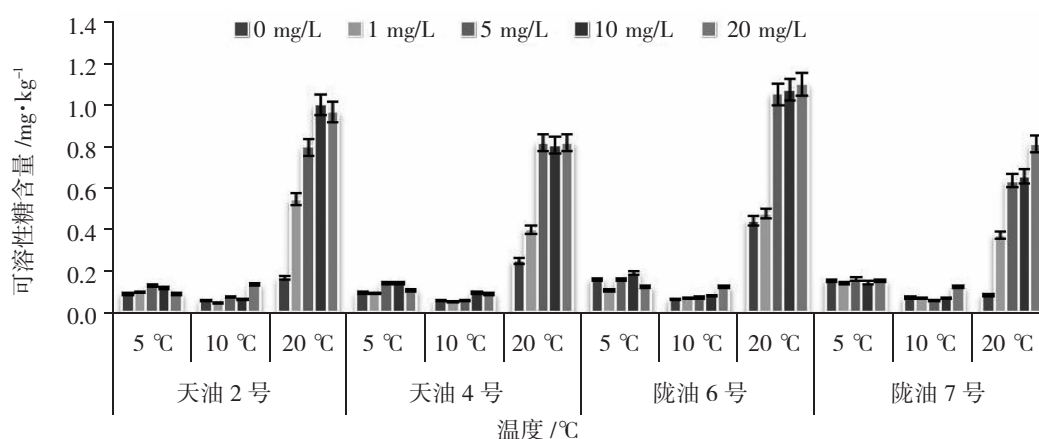


图 1 不同浓度的 ABA 处理白菜型冬油菜种子可溶性糖含量

量基本达到最大值 ($P < 0.05$), 各参试品种可溶性糖含量变化趋势基本相同。可见, 温度低于 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时外源 ABA 处理对可溶性糖含量的增加没有意义, 这可能与低温下光合作用的减弱有关。

2.4 ABA 处理对白菜型冬油菜种子 APX 活性的影响

测定结果(图2)表明, 温度降低后参试品种的 APX 活性增强。在同一温度下, 经 ABA 处理的 APX 活性比对照(CK)强, 且各参试品种有相同的趋势。可见, ABA 处理对于增强低温下 APX 的活性具有重要作用。

2.5 ABA 处理对白菜型冬油菜种子 POD 活性的影响

测定结果(图3)表明, 各供试品种的

POD 活性均表现出逐渐增加的趋势, 即 ABA 处理后 POD 活性均增强。各品种均表现为 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时活性最高, 强抗寒品种(陇油 6 号、陇油 7 号)为 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时活性次之, $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 活性最低; 而耐寒性品种(天油 2 号、天油 4 号)则为 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时次之, $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时活性最低。可见, 强抗寒品种具有适应低温的生化基础。

2.6 ABA 处理对白菜型冬油菜种子 SOD 活性的影响

ABA 处理对增强 SOD 活性的效果是十分明显的(图4)。随着 ABA 浓度的增加, 各供试品种 SOD 活性均增加并高于 CK。温度对 SOD 活性有一定影响, 各品种均表现为 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的 SOD 活性最高; 陇油 6 号和陇油 7 号表现为 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的活性次之, $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时活性

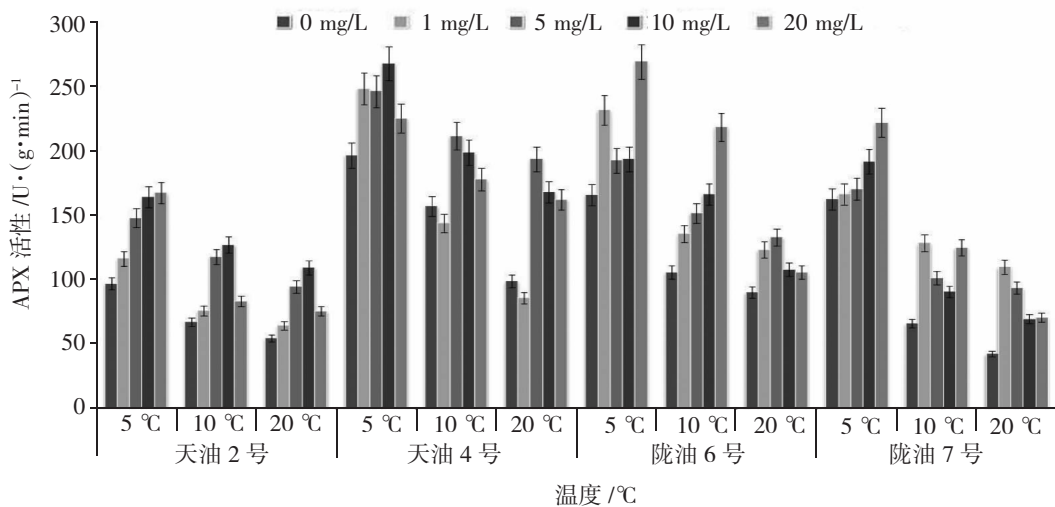


图 2 不同浓度的 ABA 处理白菜型冬油菜种子 APX 活性

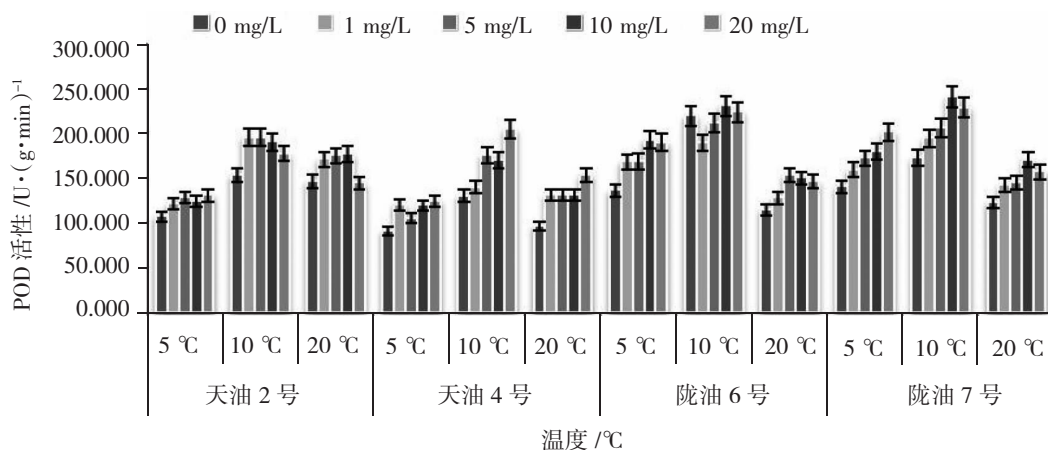


图 3 不同浓度的 ABA 处理白菜型冬油菜种子 POD 活性

最低；天油 2 号和天油 4 号则是 20 ℃时的活性次之，5 ℃时的活性最低。可见抗寒性不同，在低温下的 SOD 活性变化不同。强抗寒性品种在低温下(5 ℃)的活性高于 CK(20 ℃)，而耐寒性品种不存在这种现象，说明强抗寒品种具有适应低温的生化基础。

2.7 ABA 处理对白菜型冬油菜种子 CAT 活性的影响

测定结果(图5)表明，ABA 处理能够使参试品种的 CAT 活性增强，同时温度对 CAT 活性有重要影响。随着 ABA 浓度的增加，CAT 活性均增加并高于 CK。各品种均表现为 10 ℃时的 CAT 活性最高；陇油 6 号和陇油 7 号表现为 5 ℃时的活性次之，20 ℃的活性最低；天油 2 号和天油 4 号则是

20 ℃时的活性次之，5 ℃时的活性最低。这种变化与 SOD 活性变化趋势相似，再次表明强抗寒品种具有适应低温的生化基础。

3 结论与讨论

林桂玉等^[5]通过研究盐胁迫下外源 ABA 对番茄种子萌发的影响发现，低浓度的 ABA(1.5 mg/L)可以促进番茄种子在盐胁迫条件下的发芽率、发芽势和发芽指数，这种促进作用发生在 ABA 浓度<1.5 mg/L 的情况下，当浓度升高时这种正效应即不会产生。前人对外源 ABA 对种子水分胁迫及耐渍性的研究均发现同样的现象^[6-7]。研究表明，较低温度条件下(5、10 ℃)各参试材料的发芽率、根长、芽长都随着 ABA 处理浓度的提高而降低，但 20 ℃温度条件时 1

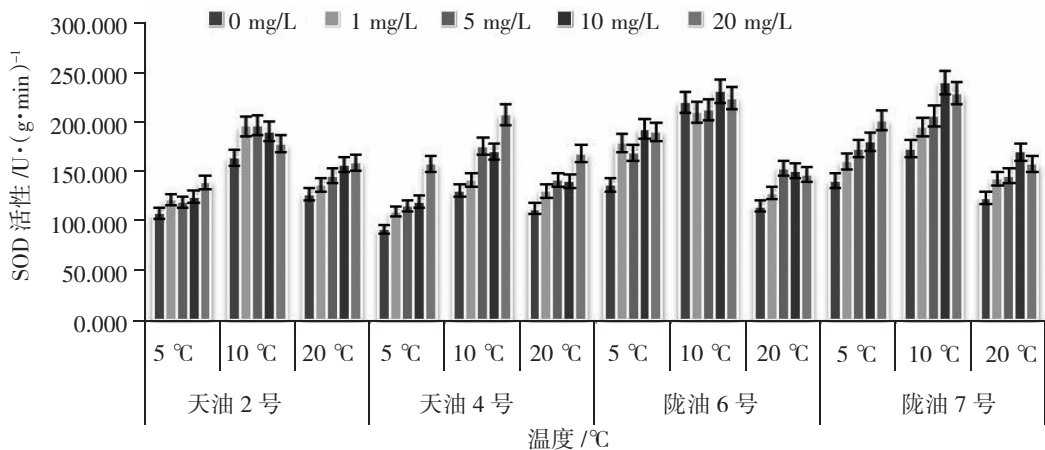


图 4 不同浓度的 ABA 处理白菜型冬油菜种子 SOD 活性

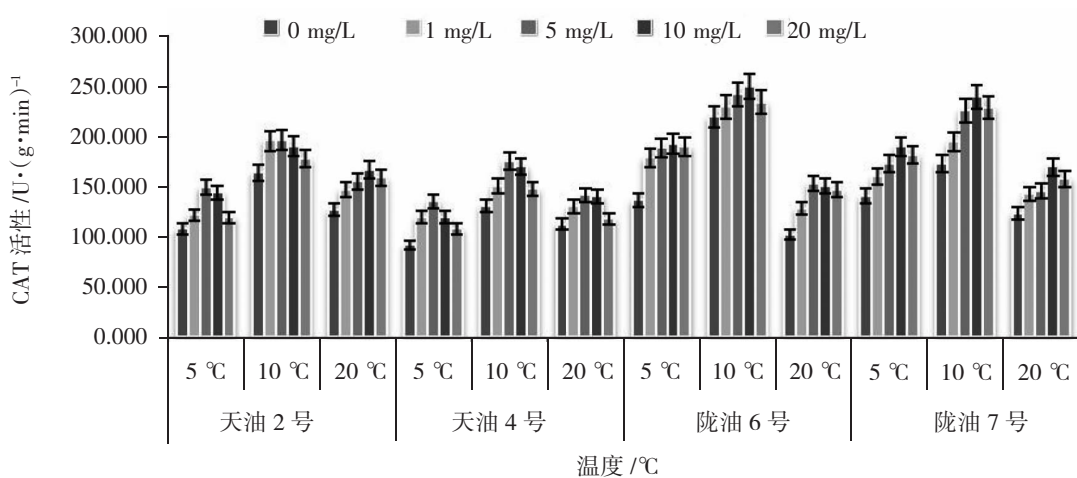


图 5 不同浓度的 ABA 处理白菜型冬油菜种子 CAT 活性

mg/L、5 mg/L 的 ABA 处理对种子萌发均有促进作用, 1 mg/L 的处理对根长芽长的伸长有促进作用, 5 mg/L 的处理则仍有抑制作用。ABA 浓度为 1 mg/L ~ 5 mg/L 时冬油菜种子萌发如何变化, 有待进一步验证。本试验设置了 5、10、20 °C 3 个温度处理, 其中 5、10 °C 时, 任何浓度的 ABA 处理对种子萌发均有抑制作用, 20 °C 温度条件时, 1 mg/L、5 mg/L 的 ABA 处理对种子萌发均有促进作用。

本研究发现, ABA 处理可显著增强冬油菜种子的 CAT、POD、SOD、APX 活性及可溶性糖含量, 且在一定范围内, 较高浓度 ABA 处理对活性的提高具有重要意义。方彦等^[8]的研究表明, 外源 ABA 处理可诱导白菜型冬油菜幼苗的 SOD、POD 和 CAT 酶活性提高使其抗寒性增强; 李玲等^[9]研究表明, 外源 ABA 可增强油菜的抗渍能力。一般认为, 低温胁迫下抗寒性强的较抗寒性弱的植物种类或品种将积累较多的糖类, 酶活性也较高, 这种变化可以降低细胞的渗透势, 从而降低冰点, 此外还可以对脱水后的蛋白质产生保护作用^[10-12]。在冬小麦也有类似的研究报道^[13-14]。

研究发现, 参试品种的 POD、SOD、CAT 等酶活性在 10 °C 条件下最高, 而 APX 活性则是在 5 °C 条件下最高。不同抗寒品种的酶活性在不同温度下有较大差异, 强抗寒品种陇油 6 号、陇油 7 号的酶活性为 10 °C > 5 °C > 20 °C, 而耐寒性品种天油 2 号、天油 4 号则为 10 °C > 20 °C > 5 °C。可见陇油 6 号、陇油 7 号在较低温度下, POD、SOD、CAT 仍具有较高活性, 说明陇油 6 号、陇油 7 号的强抗寒性具有生化基础。

参考文献:

- [1] 周冬梅, 张仁陟, 孙万仓, 等. 北方旱寒区冬油菜种植气候适应性研究[J]. 中国农业科学, 2014, 47(13): 2541-2551.
- [2] 孙万仓, 刘海卿, 刘自刚, 等. 北方寒旱区白菜型冬油菜安全越冬的临界指标分析[J]. 作物学报, 2016, 42(4): 609-618.
- [3] 周碧燕, 郭振飞. ABA 及其合成抑制剂对柱花草抗冷性及抗氧化酶活性的影响[J]. 草业学报, 2005, 14(6): 94-99.
- [4] 张志良. 植物生理学实验指导 (第二版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 1990.
- [5] 林桂玉, 杨天慧, 刘永光. 外源 ABA 对盐胁迫下番茄种子萌发及生物发光的影响[J]. 北方园艺, 2015(9): 32-35.
- [6] 胡秀丽, 杨海荣, 李潮海. ABA 对玉米响应干旱胁迫的调控机制[J]. 西北植物学报, 2009, 20(11): 2345-2351.
- [7] 李长宁, SRIVASTAVA M K, 农倩, 等. 水分胁迫下外源 ABA 提高甘蔗抗旱性的作用机制[J]. 作物学报, 2010, 36(5): 863-870.
- [8] 方彦, 武军艳, 孙万仓, 等. 外源 ABA 浸种对冬油菜种子萌发及幼苗抗寒性的诱导效应[J]. 干旱地区农业研究, 2014, 32(6): 70-74.
- [9] 李玲, 李俊, 张春雷, 等. 外源 ABA 和 BR 在提高油菜幼苗耐渍性中的作用[J]. 中国油料作物学报, 2012, 34(5): 489-495.
- [10] 徐田军, 董志强, 兰宏亮, 等. 低温胁迫下聚糖萜合剂对玉米幼苗光合作用和抗氧化酶活性的影响[J]. 作物学报, 2012, 38(2): 352-359.
- [11] 杨晓娟, 姚博, 杨尚坤. 外源 ABA 对冬油菜种子萌发及生理指标的影响[J]. 甘肃农业科技, 2017(3): 40-44.
- [12] 王博. 外源添加物对白芍根中 Cd 积累量的影响[J]. 甘肃农业科技, 2017(6): 15-19.
- [13] 王熹, 陶龙兴, 黄效林, 等. 外源 ABA 抑制水稻种子发芽的生理机制[J]. 作物学报, 2004, 30(12): 1250-1253.
- [14] 于晶, 张林, 苍晶, 等. 外源 ABA 对寒地冬小麦东农冬麦 1 号幼苗生长及抗冷性的影响[J]. 麦类作物学报, 2008, 28(5): 883-887.

(本文责编: 杨杰)