

低温胁迫下紫花苜蓿对外源 SA 和 ABA 的生理响应

王英哲¹, 任伟², 徐安凯², 王志锋², 邓波^{1,3}

(1. 吉林农业大学 动物科技学院, 吉林 长春 130118; 2. 吉林省农业科学院, 吉林 公主岭 136100; 3. 中国农业大学 动物科技学院, 北京 100193)

摘要:通过喷施适宜浓度的外源水杨酸和脱落酸, 研究不同品种苜蓿幼苗在低温胁迫下的生理响应。结果表明, SA、ABA、SA + ABA 处理可以显著提高苜蓿幼苗的地上部干质量和株高, SA、SA + ABA 处理可以显著提高苜蓿幼苗体内可溶性糖的含量, ABA、SA + ABA 处理可以显著提高苜蓿幼苗体内脯氨酸的含量, 均以 SA + ABA 处理效果最显著。同时喷施 SA 和 ABA 这 2 种信号物质可以显著提高苜蓿幼苗体内 SOD 和 POD 的酶活性, 但 CAT 酶活性与对照差异不显著。单独喷施 SA 或 ABA 可以显著提高苜蓿幼苗体内 POD 和 CAT 的酶活性, 而 SOD 酶活性与对照差异不显著。3 个苜蓿品种的抗寒性差异十分显著, 由高到低, 依次为公农 1 号 > 金皇后 > 三得利。

关键词:苜蓿; 水杨酸; 脱落酸; 低温胁迫

中图分类号: S551.01 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2012)05-0144-06

Physiological Responses to Exogenous SA and ABA in Alfalfa Varieties under Chilling Stress

WANG Ying-zhe¹, REN Wei², XU An-kai², WANG Zhi-feng², DENG Bo^{1,3}

(1. College of Animal Sciences and Technology, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China; 2. Academy of Agricultural Sciences of Jilin Province, Gongzhuling 136100, China; 3. College of Animal Science and Technology, China Agriculture University, Beijing 100193, China)

Abstract: Through spraying the appropriate concentration of the exogenous salicylic acid and abscisic acid to research the physiological responses to exogenous SA and ABA in alfalfa varieties under chilling stress, the results show that the SA, ABA, SA + ABA treatment can improve the dry weight and plant height of alfalfa seedlings significantly, the SA, SA + ABA treatment can improve the contents of soluble sugar of the alfalfa seedlings significantly, the ABA, SA + ABA treatment can improve the proline contents of the alfalfa seedlings significantly, with SA + ABA treatment the most significant of all. Spraying SA and ABA signal material together can greatly improve the enzyme activity of SOD and POD in the alfalfa seedlings, but CAT enzyme activity with no significant difference to contrast. Spraying SA or ABA separately can greatly improve the enzyme activity of POD and CAT in the alfalfa seedlings, but SOD enzyme activity with no significant difference to contrast. The differences of hardiness with the three alfalfa varieties under chilling stress was significant from high to low, which in turn for: Gongnong No. 1 > Golden Empress > Sandeli.

Key words: Alfalfa varieties; Salicylic acid; Absciscic acid; Chilling stress

紫花苜蓿 (*Medicago sativa* L.) 隶属于苜蓿属, 是世界范围内栽培历史最悠久、面积最广泛、经济价值最高的豆科牧草, 堪称“牧草之王”, 具有产草量高、富蛋白质、适口性好、生物固氮能力强、适应性广的特性, 对我国畜牧业的发展、地区生态建设、环境

治理及遏制三化(沙化、退化、盐渍化)等均具有重大作用^[1]。然而, 由于低温引起的冻害使我国的首蓿生产蒙受了巨大的经济损失, 尤其在我国北方地区, 冬季漫长寒冷, 苜蓿普遍存在越冬率低、容易发生冻害和死亡等现象。很多地方试验表明, 在冬季

收稿日期: 2012-07-20

基金项目: 国家牧草产业技术体系

作者简介: 王英哲(1985-), 女, 吉林公主岭人, 在读硕士, 主要从事牧草栽培与利用研究。任伟为同等贡献作者。

通讯作者: 邓波(1961-), 男, 吉林长春人, 博士, 主要从事草原生态经济学研究。

最低气温超过 -20°C 的地区,苜蓿越冬很不稳定^[2]。越冬问题逐渐成为制约我国北方苜蓿草地成功建植和草地可持续利用的关键问题,因此,提高苜蓿的抗寒性具有重要的理论和实际意义^[3]。

已有研究表明,苜蓿对低温胁迫的生理生化适应性主要表现为苜蓿体内可溶性物质增加,从而提高细胞液浓度,使冰点降低,又可缓冲原生质脱水,保护原生质胶体不致遇冷凝固,同时伴随总脂肪含量、磷脂饱和和脂肪酸含量的增加,保护酶活性增强^[4-5]。分子生物学研究表明,苜蓿耐寒性由多种基因因子所控制,是一个复杂而精细的调控过程,通过转基因技术也可以提高紫花苜蓿的抗寒性^[6]。

随着研究的逐步深入,人们发现许多信号物质在植物响应逆境的过程中起着举足轻重的作用^[7]。脱落酸(Abscissic acid, ABA)是一类脂溶性的小分子植物激素,不仅参与了多个植物生长发育过程,如抑制种子萌发、促进休眠、抑制生长、促进叶片衰老脱落等,而且还作为胁迫激素参与了植物对逆境条件的适应^[8]。水杨酸(Salicylic acid, SA)是植物体内普遍存在的一种小分子酚类物质,化学成分为邻羟基苯甲酸,参与植物成花诱导、营养器官繁殖、气孔调控、离子转运等多个代谢过程,SA在植物应对非生物胁迫的信号转导过程中也起着非常重要的作用^[9]。因此,本研究旨在通过喷施适宜浓度外源水杨酸和脱落酸的方法,来研究低温胁迫下,不同品种苜蓿幼苗体内可溶性糖、脯氨酸以及抗氧化酶活性的生理响应与变化,并对SA和ABA在提高苜蓿抗寒性中的信号互作机制(Cross-talk)做初步探讨。

1 材料和方法

1.1 植物材料

供试材料为:抗寒性强的公农1号紫花苜蓿(*Medicago sativa* L. cv. Gongnong No. 1)、抗寒性中等的金皇后紫花苜蓿(Golden Empress)和抗寒性弱的三得利紫花苜蓿(Sandeli)。

1.2 试验方法

通过先前的预试验筛选到水杨酸SA的最佳浓度为 50 mg/L ,ABA的最佳浓度为 5 mg/L 。选取饱满的苜蓿种子播种于温室($25^{\circ}\text{C}/20^{\circ}\text{C}$,昼/夜),保持光照、相对湿度以及管理方式一致。每个苜蓿品种下设4个处理:CK(对照),SA(50 mg/L),ABA(5 mg/L),SA(50 mg/L) + ABA(5 mg/L),每个处理4个重复,共计4(处理) \times 4(重复) \times 3(品种) = 48(盆)。待苜蓿幼苗株高长至 12 cm 左右时,进行低温胁迫($5^{\circ}\text{C}/2^{\circ}\text{C}$,昼/夜)处理,将最佳浓度的各

种化合物溶液分别喷于待处理的苜蓿叶片上,完全喷湿但不滴流,对照CK为蒸馏水,处理10 d后,采集苜蓿幼苗的第2叶片进行理化分析。

1.3 生理生化指标的测定

选取待测的苜蓿植株,用直尺量取其株高。并将其地上部置于 $300\text{ }\mu\text{m}$ 尼龙网上自然风干,后转至预先称重的铝箔立即称质量,再于 65°C 条件下烘24 h后用电子天平(PB303-N)称质量,记录其干质量^[10]。

可溶性糖含量的测定采用蒽酮试剂法^[11]。游离脯氨酸的含量使用磺基水杨酸提取,茚三酮比色法进行测定^[12]。用氮蓝四唑(NBT)法测定SOD活性^[13],测定SOD对光化还原的抑制作用,以抑制NBT还原50%为1个酶活性单位。参照郝建军^[14]的方法进行POD活性测定,反应体系包括: 2.9 mL 0.05 mol/L 磷酸缓冲液、 1.0 mL 2% H_2O_2 、 1.0 mL 0.05 mol/L 愈创木酚和 0.1 mL 酶液。CAT活性测定根据李合生^[15]的方法,反应体系包括:粗酶液 0.2 mL 、磷酸缓冲液 1.5 mL 、水 1.0 mL , 25°C 预热后,逐管加入 0.3 mL 0.1 mol/L 的 H_2O_2 ,每加完1管立即计时,并迅速倒入石英比色杯中, 240 nm 下测定吸光值,每隔 1 min 读数1次,共测4 min。

1.4 数据处理

通过SPSS 15.0软件进行统计分析,Excel软件进行图表绘制,各处理之间采用单因素方差分析进行显著性检验。

2 结果与分析

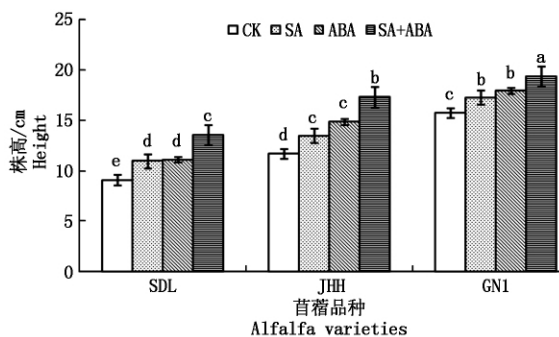
2.1 株高和地上部干质量

由图1可以看出,与对照相比,在低温胁迫下通过喷施外源SA和ABA的方法,可以显著增加3个紫花苜蓿品种的株高,其中以同时喷施SA和ABA这2种信号物质的效果最为显著。单独喷施SA或ABA也可以增加紫花苜蓿的株高,但是效果要明显小于同时喷施2种信号物质,单独喷施ABA的幼苗株高略高于单独喷施SA,但二者之间差异不显著。对于不同的紫花苜蓿品种而言,在同一处理水平下,3个品种之间的株高差异均十分显著,由高到低,依次为:公农1号 > 金皇后 > 三得利。

低温胁迫下,同一紫花苜蓿品种在4种不同处理下的地上部干质量变化规律与株高的变化情况相一致(图2),与对照CK相比,SA + ABA处理可以显著提高苜蓿幼苗的干质量,SA处理和ABA处理也可以显著提高苜蓿幼苗的干质量,但是效果要明显小于SA + ABA处理,并且SA处理和ABA处理二者间差异不显著。低温胁迫下,不同苜蓿在同一处

理水平下的变化规律也不相同,在单独喷施 SA 或 ABA 处理中 3 个苜蓿品种幼苗的地上部干质量差异显著,依次为:公农 1 号 > 金皇后 > 三得利,在 SA + ABA 处理中,公农 1 号紫花苜蓿幼苗地上部干质量显著高于其他品种,而金皇后和三得利之间差异不显著。

综上所述,低温胁迫下,SA、ABA、SA + ABA 处理均可以提高苜蓿幼苗的地上部干质量和株高,同时喷施 SA 和 ABA 的效果最明显。3 个苜蓿品种中,公农 1 号紫花苜蓿的株高最高,干质量最大,抗寒性最强。



SDL: 三得利紫花苜蓿; JHH: 金皇后紫花苜蓿; GN1: 公农 1 号紫花苜蓿; 不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著 ($P < 0.05$)。图 2 ~ 7 同。

Different letters indicate significant differences at $P < 0.05$ level. The same as Fig. 2 ~ 7.

图 1 外源 SA 和 ABA 对低温胁迫下紫花苜蓿株高的影响

Fig. 1 Effects of SA and ABA on the height of alfalfa varieties under chilling stress

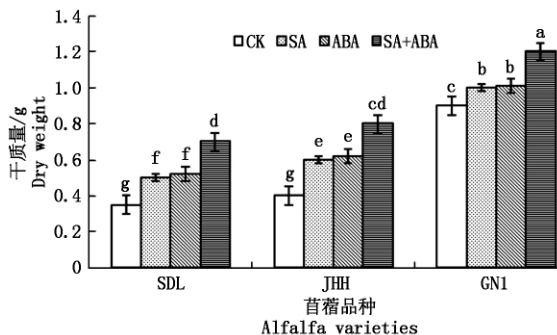


图 2 外源 SA 和 ABA 对低温胁迫下紫花苜蓿地上部干质量的影响

Fig. 2 Effects of SA and ABA on the dry weight of alfalfa varieties under chilling stress

2.2 可溶性糖含量的变化

苜蓿体内可溶性糖的含量在低温胁迫条件下会有所提高,这是因为可溶性糖自身是一类重要的渗透调节物质,并且还有可能作为一种信号物质参与了苜蓿体内的低温胁迫应答途径^[16]。同一苜蓿品种在 4 种不同的处理水平下,与对照 CK 相比,SA 处理显著提高了苜蓿幼苗体内可溶性糖的含量,而 ABA 处理与对照 CK 的可溶性糖含量差异不显著,同时喷施 SA + ABA 之后,苜蓿幼苗体内可溶性糖

含量的增幅最大,且显著高于 SA 处理。在同一处理水平下,不同苜蓿品种体内可溶性糖的含量也不相同,低温胁迫下,公农 1 号体内可溶性糖的含量显著高于金皇后和三得利紫花苜蓿,但是后两者之间差异不显著(图 3)。

综上所述,低温胁迫下,SA、SA + ABA 处理均可以提高苜蓿幼苗体内可溶性糖的含量,SA + ABA 处理效果最显著。3 个苜蓿品种中,公农 1 号紫花苜蓿体内可溶性糖含量最高,抗寒性最强。

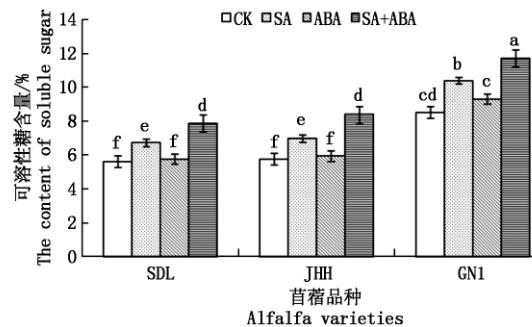


图 3 外源 SA 和 ABA 对低温胁迫下紫花苜蓿可溶性糖含量的影响

Fig. 3 Effects of SA and ABA on the soluble sugar content of alfalfa varieties under chilling stress

2.3 游离脯氨酸含量的变化

细胞内游离脯氨酸含量的变化可以作为衡量植物抗寒性的重要生理生化指标。脯氨酸作为细胞质的渗透调节物质,能调节和维持结冻前融冻后原生质与环境的渗透平衡,防止水分散失,促进蛋白质与水的结合,增加蛋白质的可溶性,以保持细胞内环境的相对稳定。逆境胁迫诱导条件下,体内脯氨酸的含量通常会显著增加^[17]。低温胁迫下,同一苜蓿品种对外源 SA 和 ABA 的生理响应如图 4 所示,与对照 CK 相比,SA + ABA 处理显著提高了苜蓿幼苗体内游离脯氨酸的含量,增幅最大。其次为 ABA 处理,喷施 ABA 之后,也可以增加苜蓿幼苗体内游离脯氨

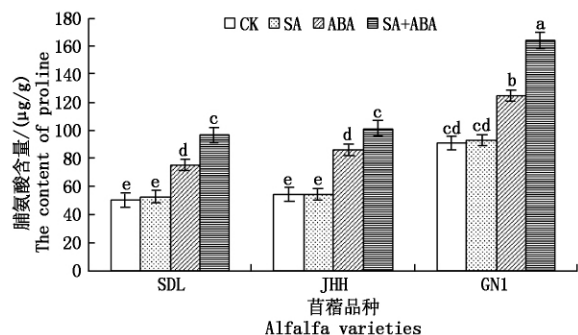


图 4 外源 SA 和 ABA 对低温胁迫下紫花苜蓿脯氨酸含量的影响

Fig. 4 Effects of SA and ABA on the proline content of alfalfa varieties under chilling stress

酸的含量,而 SA 处理与对照 CK 的差异不显著。在同一处理水平下,不同苜蓿品种体内脯氨酸的含量也不相同,低温胁迫下,公农 1 号体内脯氨酸的含量显著高于金皇后和三得利紫花苜蓿,而两者之间差异不显著。

综上所述,低温胁迫下,ABA 和 SA + ABA 处理均可以提高苜蓿幼苗体内脯氨酸的含量,SA + ABA 处理效果最显著。3 个苜蓿品种中,公农 1 号紫花苜蓿体内游离脯氨酸的含量最高,抗寒能力最强。

2.4 抗氧化酶活性的变化

在正常的情况下,植物细胞内自由基、活性氧及它们的清除剂处于相对平衡状态,共同维持植物体正常的发育代谢,其中主要的抗氧化酶有超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)和抗坏血酸过氧化物酶(APX)等。当植物遭遇低温胁迫时,不仅可以引起植株营养代谢的改变,降低光合作用速率,还会增加植物体内活性氧自由基的产生。在一定范围内,保护酶类含量或活性的上升有利于保持自由基产生和清除平衡关系;如果超出一定的温度范围或者低温持续时间延长,就会使它们之间的平衡受到破坏,并在细胞中积累大量的活性氧,造成抗氧化酶的结构被破坏,最终使植物受到伤害。因此,抗氧化酶的活性和含量可以作为衡量植物抗寒能力的生理生化指标之一^[18]。

SOD: 低温胁迫下,同一苜蓿品种对 4 种处理表现出相同的变化趋势,SA 处理和 ABA 处理与对照之间差异不显著,但是同时喷施 SA 和 ABA 之后,可以显著提高苜蓿幼苗体内 SOD 的酶活性。在同一处理水平下,不同苜蓿品种之间差异显著,由高到低,依次为:公农 1 号 > 金皇后 > 三得利(图 5)。

POD: 与对照相比,在低温胁迫下 SA 处理、ABA 处理和 SA + ABA 处理均可以显著增加 3 个紫花苜蓿幼苗体内 POD 的酶活性,其中以同时喷施 SA 和 ABA 这 2 种信号物质的效果最为显著,单独喷施 SA 或 ABA 这 2 个处理之间差异不显著。对于不同的紫花苜蓿品种而言,在同一处理水平下,3 个品种之间的 POD 活性差异均十分显著,由高到低,依次为:公农 1 号 > 金皇后 > 三得利(图 6)。

CAT: 对于同一苜蓿品种而言,在低温胁迫下,经过 SA 处理或 ABA 处理的苜蓿幼苗体内 CAT 酶活性均显著高于对照水平,而同时喷施 SA 和 ABA 之后,CAT 酶活性反而降低,与对照 CK 没有差异。对于不同苜蓿品种而言,只在 ABA 处理水平下,公农 1 号和金皇后苜蓿幼苗体内 CAT 酶活性显著高于三得利紫花苜蓿,在其他处理水平下,3 个苜蓿品

种之间差异不显著(图 7)。

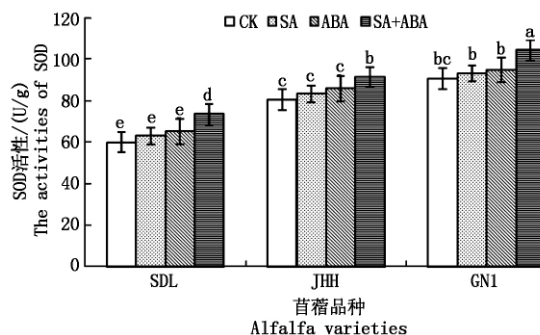


图 5 外源 SA 和 ABA 对低温胁迫下紫花苜蓿 SOD 活性的影响

Fig. 5 Effects of SA and ABA on the SOD of alfalfa varieties under chilling stress

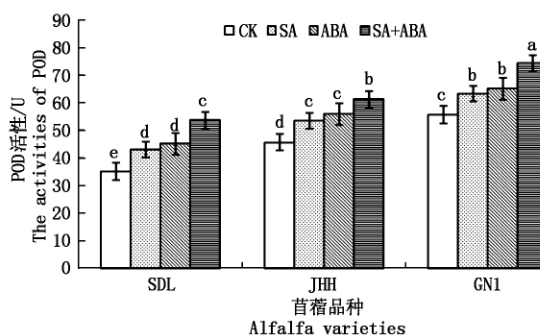


图 6 外源 SA 和 ABA 对低温胁迫下紫花苜蓿 POD 活性的影响

Fig. 6 Effects of SA and ABA on the POD of alfalfa varieties under chilling stress

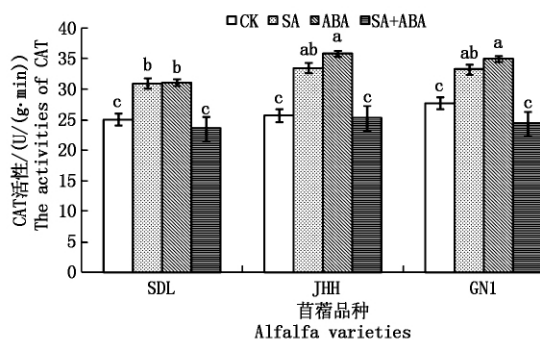


图 7 外源 SA 和 ABA 对低温胁迫下紫花苜蓿 CAT 活性的影响

Fig. 7 Effects of SA and ABA on the CAT of alfalfa varieties under chilling stress

综上所述,在低温胁迫下,同时喷施 SA 和 ABA 这 2 种信号物质可以显著提高苜蓿幼苗体内 SOD 和 POD 的酶活性,CAT 酶活性与对照差异不显著。单独喷施 SA 或 ABA 可以显著提高苜蓿幼苗体内 POD 和 CAT 的酶活性,而 SOD 酶活性与对照差异不显著。同一处理水平下,SOD 和 POD 酶活性在 3 个苜蓿品种之间差异均十分显著,由高到低,依次为:公农 1 号 > 金皇后 > 三得利。

3 讨论

已有研究表明,苜蓿抗寒性与其外部形态结构(茎、叶、根)和内部生理状态密切相关,如细胞膜透性、脂肪酸种类、可溶性糖的含量及碳水化合物的种类、脯氨酸代谢、氮代谢和抗氧化酶系统等^[19]。近年来,随着研究的逐步深入,学者发现一些重要的胞内信号分子在提高苜蓿的抗逆性中起着重要的作用。柳斌等^[20]研究表明,钙离子和水杨酸可以缓解紫花苜蓿幼苗的盐胁迫,参与了盐胁迫条件下苜蓿体内的信号转导过程。水杨酸作为一种重要的胞内信号分子,在植物体内普遍存在,它不仅参与调节植物的许多生理过程,如开花发芽、气孔调控、离子转运等,而且还可以提高植物对真菌、细菌和病毒等生物胁迫及重金属、低温、热激和盐害等非生物胁迫的抗性能力^[9]。脱落酸作为胞内另一种重要的信号分子,参与体内钙离子、磷酸肌醇、氢离子等多个信号转导途径,在植物抗旱、抗寒和抗盐等生理过程中也起着重要作用^[8]。正如本试验的研究结果,通过喷施外源 SA 和 ABA 的方法,显著提高了不同苜蓿品种的抗寒能力。

但是 SA 和 ABA 提高苜蓿抗寒性的生理机制又不尽相同,并且不同的苜蓿品种也不相同,公农 1 号紫花苜蓿表现出极强的抗寒性,金皇后次之,三得利相对最弱。结果表明,低温胁迫下,SA、ABA、SA + ABA 处理均可以提高苜蓿幼苗的地上部干质量和株高,同时喷施 SA 和 ABA 的效果最明显。在渗透调节物质方面,SA + ABA 处理均可以提高苜蓿幼苗体内可溶性糖和游离脯氨酸的含量,但是 SA 和 ABA 的作用机制不相同,SA 处理可以显著提高可溶性糖的含量,而 ABA 处理可以显著提高脯氨酸的含量,说明在低温胁迫下,水杨酸 SA 更多地参与了苜蓿体内糖类物质的合成代谢,可溶性糖类不仅是一种重要的渗透调节物质,还是一种关键的信号分子^[21]。本试验的研究结果也表明,苜蓿体内 SA 和糖类物质的信号转导途径相辅相成,互相促进。对于 ABA 而言,则更多地参与了苜蓿体内脯氨酸的合成、代谢与转运。SA 和 ABA 在提高苜蓿体内渗透调节物质的生理过程中存在本质差别。

低温胁迫能干扰苜蓿体内活性氧产生与清除的平衡,导致细胞遭受氧化胁迫,引起膜脂过氧化产生冷害。而植物体内的抗氧化酶和抗氧化剂具有清除活性氧自由基的功能,以减轻低温伤害。冯昌军等^[22]的研究表明低温胁迫下,苜蓿幼苗体内保护酶的含量显著增加。本研究中,在外源 SA 和 ABA 的

作用下,3 种保护酶的变化趋势也不相同。同时喷施 SA 和 ABA 之后,可以显著提高苜蓿幼苗体内 SOD 的酶活性,但是 SA 处理和 ABA 处理与对照之间差异不显著,说明在 SA 和 ABA 的单独作用下,不会引起苜蓿体内 SOD 含量的变化,在 SA 和 ABA 的协同作用下,它们二者共同提高了 SOD 的活性。而在 SA 和 ABA 的单独作用下,就可以提高苜蓿幼苗体内 POD 的活性。对于 CAT 而言,经过 SA 处理或 ABA 单独处理的苜蓿幼苗体内 CAT 酶活性均显著高于对照水平,而同时喷施 SA 和 ABA 之后,CAT 酶活性反而降低,与对照 CK 没有差异,说明当 SA 和 ABA 同时存在时,二者之间相互拮抗,拟制了 CAT 的活性。同时也应注意到过氧化氢作为一种近年来新发现的信号物质,人们对它的作用机制还没有完全了解,低温胁迫下,苜蓿幼苗在体内 SA、ABA、H₂O₂ 这 3 种信号物质的共同作用,必定会出现复杂而精细的信号调控网络,有待于我们做进一步的研究。

参考文献:

- [1] 洪绂曾. 苜蓿科学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2009.
- [2] 韩瑞宏, 卢欣石, 余建斌, 等. 苜蓿抗寒性研究进展[J]. 中国草地, 2005, 27(2): 60-64.
- [3] 魏臻武, 王德贤, 贺连昌. 超氧化物歧化酶在苜蓿抗寒锻炼过程中的作用[J]. 草业科学, 2006, 23(7): 15-18.
- [4] Wang C Z, Ma B L, Han J F *et al.* Photoperiod effect on phytochrome and abscisic acid in alfalfa varieties differing in fall dormancy[J]. J Plant Nutr, 2008, 31: 1257-1269.
- [5] Guy C L. Cold acclimation and freezing stress tolerance: role of protein metabolism[J]. Annu Rev Plant Physiology Plant Mol Biol, 1990, 41: 187-223.
- [6] Haagensohn D M, Cunningham S M, Joern B C *et al.* Autumn defoliation effects on alfalfa winter survival, root physiology and gene expression[J]. Crop Science, 2003, 43: 1340-1348.
- [7] 王友华, 刘佳杰, 陈兵林, 等. 6-BA 和 ABA 缓解棉纤维发育低温胁迫的生理机制[J]. 应用生态学报, 2011, 22(5): 130-136.
- [8] 周杨杨, 左圆圆, 李小平. 植物激素-脱落酸(ABA)的细胞信号转导机制[J]. 黑龙江农业科学, 2011, 7: 14-17.
- [9] 谢玉英. 水杨酸与植物抗逆性的关系[J]. 生物学杂志, 2007, 24(4): 12-15.
- [10] 邹琦. 植物生理生化实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.
- [11] 李轶冰, 杨顺强, 任广鑫, 等. 低温处理下不同禾本科牧草的生理变化及其抗寒性比较[J]. 生态学报,

- 2009 29(3): 1341–1347.
- [12] 杨章旗. 低温胁迫下内源脱落酸对马尾松优良种源抗寒性的调节作用[J]. 广西植物 2011 31(4): 79–84.
- [13] 罗新义, 冯昌军, 李 红. 低温胁迫下肇东苜蓿 SOD 脯氨酸活性变化初报[J]. 中国草地 2004 26(4): 79–81.
- [14] 郝建军. 植物生理学实验技术[M]. 北京: 化学工业出版社 2006.
- [15] 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.
- [16] 王 艳, 李建龙, 姜 涛, 等. SA、H₂O₂ 和 6-BA 预处理对沟叶结缕草耐寒性的影响[J]. 草业学报 2010 19(2): 76–81.
- [17] 张林青. 水杨酸对盐胁迫下番茄幼苗生理指标的影响[J]. 北方园艺 2011 21: 44–46.
- [18] 张永峰, 殷 波. 混合盐碱胁迫对苗期紫花苜蓿抗氧化酶活性及丙二醛含量的影响[J]. 草业学报 2009, 18(1): 46–50.
- [19] 邓雪柯, 乔代蓉, 李 良, 等. 低温胁迫对紫花苜蓿生理特性影响[J]. 四川大学学报: 自然科学版 2005, 42(1): 190–194.
- [20] 柳 斌, 周万海, 师尚礼, 等. 外源 Ca²⁺ 和水杨酸对苜蓿幼苗盐害的缓解效应[J]. 中国草地学报 2011 1: 42–47.
- [21] 何丽斯, 夏 冰, 孟祥静, 等. 水杨酸和脱落酸对低温胁迫下茉莉幼苗生理特性的影响[J]. 江苏农业学报 2011 27(5): 1083–1088.
- [22] 冯昌军, 罗新义, 沙 伟, 等. 低温胁迫对苜蓿品种幼苗 SOD、POD 活性和脯氨酸含量的影响[J]. 草业科学 2005 22(6): 29–32.

欢迎订阅 2013 年《中国农业科学》中、英文版

《中国农业科学》中、英文版由农业部主管、中国农业科学院主办。主要刊登农牧业基础科学和应用基础科学研究论文、综述、简报等。设有作物遗传育种·种质资源·分子遗传学; 耕作栽培·生理生化·农业信息技术; 植物保护; 土壤肥料·节水灌溉·农业生态环境; 园艺; 贮藏·保鲜·加工; 畜牧·资源昆虫; 兽医; 农业经济与管理等栏目。读者对象是国内外农业科研(所)、农业大专院校的科研、教学及管理人员。

《中国农业科学》中文版为半月刊, 影响因子、总被引频次连续多年居全国农业科技期刊最前列或前列位次。为北京大学图书馆 1992—2011 年连续 6 次遴选的核心期刊, 位居《中文核心期刊要目总览》“农业综合类核心期刊表”的首位。1999 年起连续 10 年获“国家自然科学基金重点学术期刊专项基金”资助; 1999 年获“首届国家期刊奖”2003、2005 年获“第二、三届国家期刊奖提名奖”; 2002—2011 年先后 9 次被中信所授予“百种中国杰出学术期刊”称号; 2009 年获中国期刊协会/中国出版科学研究院“新中国 60 年有影响力的期刊”称号; 2010 年荣获“第二届中国出版政府奖期刊提名奖”。

《中国农业科学》中文版大 16 开, 每月 1、16 日出版, 国内外公开发行。每期 224 页, 定价 49.50 元, 全年定价 1188.00 元。国内统一刊号: CN11–1328/S, 国际标准刊号: ISSN 0578–1752, 邮发代号: 2–138, 国外代号: BM43。

《中国农业科学》英文版(Agricultural Sciences in China) 2002 年创刊, 月刊 2012 年更名为《农业科学学报》(Journal of Integrative Agriculture, JIA)。2006 年 1 月起与国际著名出版集团 Elsevier 合作, 全文数据在 ScienceDirect 平台面向世界发行。2009 年被 SCI 收录 2012 年 JCR 影响因子为 0.449。

JIA 大 16 开, 每月 20 日出版, 国内外公开发行。每期 160 页, 国内订价 80.00 元, 全年 960.00 元。国内统一刊号: CN 10–1039/S, 国际标准刊号: ISSN 2095–3119, 邮发代号: 2–851, 国外代号: 1591M。

《中国农业科学》中、英文版均可通过全国各地邮局订阅, 也可向编辑部直接订购。

邮 编: 100081

地址: 北京 中关村南大街 12 号《中国农业科学》编辑部

电 话: 010–82109808 82106280 82106281 82106282 传真: 010–82106247

网 址: <http://www.ChinaAgriSci.com> E-mail: zgnykx@mail.caas.net.cn

联系人: 林鉴非