

低温胁迫下外源 ABA 对甘蔗幼苗抗寒性及内源激素的影响

黄杏^{1,2} 陈明辉¹ 杨丽涛^{1,2} 张保青^{1,2} 李杨瑞^{1,2}

1. 广西大学农学院/亚热带农业生物资源保护与利用国家重点实验室, 南宁 530004;

2. 中国农业科学院甘蔗研究中心/广西农业科学院甘蔗研究所/农业部广西甘蔗生物技术与遗传改良重点实验室/
广西甘蔗遗传改良重点实验室, 南宁 530007

摘要 为探讨外施 ABA(脱落酸)对甘蔗抗寒性的影响,以抗寒性强的甘蔗品种桂糖 28 号和抗寒性弱的甘蔗品种园林 6 号为材料,喷施 100 $\mu\text{mol/L}$ ABA 于甘蔗幼苗叶片,12 h 后进行低温胁迫,然后于不同时间采样,研究甘蔗幼苗在低温胁迫和 ABA 处理下叶片细胞膜透性、丙二醛(MDA)、脯氨酸及内源激素含量的变化。结果表明:低温胁迫下,甘蔗幼苗细胞膜受破坏,GA₃(赤霉素)含量下降;丙二醛、脯氨酸、ABA 含量及相对电导率、ABA/GA₃、ABA/IAA 和 ABA/ZR 升高。外施 ABA 能有效缓解低温胁迫对细胞膜的影响,降低 MDA、GA₃ 含量,提高脯氨酸、ABA 含量及 ABA/GA₃,从而提高甘蔗幼苗的抗寒性。低温胁迫下,植株体内低 MDA、GA₃ 含量,高脯氨酸、ABA 含量及高 ABA/GA₃ 值是甘蔗高抗寒性的重要生理基础。

关键词 ABA; 低温胁迫; 甘蔗; 细胞膜; 内源激素; 丙二醛; 脯氨酸

中图分类号 S 566.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2013)04-0006-06

甘蔗(*Saccharum officinarum* L.)是中国乃至世界第一大糖料作物,起源于热带及亚热带地区,属喜温作物。近年来,世界范围内极端天气频发,寒害、冻害增多,这给甘蔗生产造成了巨大的损失,严重危及我国食糖安全^[1]。因此,开展甘蔗抗寒研究意义重大。ABA 作为一种胁迫信号,在调节植物体内物质平衡及诱导胁迫抗性方面发挥着重要作用。研究表明,外源 ABA 可以代替低温锻炼,提高植物的抗寒性^[2-3]。外施 ABA 可以提高植物体内渗透调节物质脯氨酸和可溶性糖含量、降低细胞渗透势、增强持水力^[4];可以降低膜脂过氧化程度、保护膜的完整性^[5];可以降低作物蒸腾作用、增强光合特性^[6]。但对于低温胁迫下外源 ABA 对甘蔗抗寒性的影响未见报道。本研究采用 2 个抗寒性不同的甘蔗品种桂糖 28 号和园林 6 号为材料,对低温胁迫和 ABA 处理下甘蔗幼苗叶片细胞膜透性、膜脂过氧化程度、渗透调节作用及内源激素的变化进行比较分析,以期探讨 ABA 提高甘蔗抗寒性的生理生化机

制,为进一步应用 ABA 化学调控提高甘蔗抗寒性提供参考依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料与处理

本试验以桂糖 28 号(GT28,抗寒性强品种)和园林 6 号(YL6,抗寒性弱品种)作为研究材料。先将 2 个甘蔗品种单芽种茎脱毒处理后放进沙盘中进行沙培。待甘蔗长出 2~3 叶时,将蔗苗从沙中移出,选取长势一致的甘蔗苗移栽至 20 cm×25 cm 的营养盆中土培,每盆装混合土 4 kg($m_{\text{土}}: m_{\text{沙}}=6:3:1$),每盆种植 2 株,按日常管理生长 40 d,然后转入人工气候室(温度为 28 $^{\circ}\text{C}$,光强为 250~300 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,12 h 光照,相对湿度 60%~70%)培养 10 d,甘蔗约为 5~6 叶期时,分组进行处理。选取 2 个品种长势一致的甘蔗苗各 60 盆,每个品种分为 2 个处理,每个处理 30 盆,共 120 盆。设置化控处理,将每个品种中一组叶面喷施

收稿日期: 2012-06-23

基金项目: 科技部国际合作项目(2009DFA30820)、广西自然科学基金创新团队项目(2011GXNSFF018002)、广西科学研究与技术开发计划项目(桂科产 1123008-1)和广西农科院团队项目(桂农科 2011YT01)

黄杏,博士研究生。研究方向:甘蔗栽培及相关生理基础。E-mail: shmilyx023@163.com

通讯作者: 杨丽涛,教授。研究方向:甘蔗生理生化和分子生物学。E-mail: litao61@hotmail.com;

李杨瑞,教授。研究方向:甘蔗。E-mail: liyr@gxaas.net

100 $\mu\text{mol/L}$ ABA,另一组喷清水对照。化控处理 12 h 后,将 2 个品种 120 盆幼苗置于低温培养室内(温度为 0 $^{\circ}\text{C}$,光强为 250~300 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,12 h 光照,相对湿度 60%~70%)连续胁迫 14 d,处理期间土壤含水量为(20 \pm 2)%。分别于低温处理后 0、1、3、7、10、14 d 取各处理幼苗+1 叶(甘蔗最高可见肥厚带叶片),进行细胞膜透性、丙二醛含量、脯氨酸含量及激素含量的测定,重复 3 次。

1.2 测定方法

细胞膜透性测定采用张以顺等^[7]的电导率法。剪取 1 g 新鲜甘蔗叶片,加入 25 mL 去离子水,分别测定其煮前电导率和煮后电导率,相对电导率以煮前电导率值与煮后电导率值的百分比表示。

丙二醛(MDA)含量测定采用赵世杰等^[8]硫代巴比妥酸法。取 2 mL 上清液加入 3 mL 0.6%硫代巴比妥酸,沸水浴 15 min,冷却后取上清液分别在 600、532、450 nm 下进行比色。带入公式计算样品中 MDA 的含量。

脯氨酸含量测定采用赵世杰等^[8]的茚三酮比色法。取 3 mL 提取液加入 3 mL 酸性茚三酮和 3 mL 冰醋酸,沸水浴中显色 60 min,冷却后加入 4 mL 甲苯,混匀后取甲苯层在 520 nm 下进行比色。

内源激素含量测定采用酶联免疫吸附法^[9-10]测定。剪取甘蔗叶片 0.5 g,用 80% 预冷甲醇(内含

1 mmol/L 二叔丁基对甲苯酚),冰浴研磨至匀浆,4 $^{\circ}\text{C}$ 放置 5 h,12 000 r/min 冷冻离心 15 min,上清液过 C-18 柱,真空干燥后加入样品稀释液即为样品激素提取液。然后根据酶联免疫法测定 ABA、GA₃、IAA 和 ZR 含量。酶联免疫试剂盒由中国农业大学化学控制实验室提供,使用 ANTHOS-2010 酶标仪测定,每个样品重复测定 3 次。

1.3 数据分析

采用 SPSS 15.0 软件进行数据方差分析,其中采用 LSD 检验($P \leq 0.05$)进行显著性分析,用 Excel 2007 进行数据计算和作图。

2 结果与分析

2.1 低温胁迫下外源 ABA 对甘蔗幼苗抗寒指标的影响

低温条件下,植物细胞膜结构受到破坏,电解质外渗,细胞质的相对电导率增加。从表 1 可看出,随着低温胁迫时间的延长,2 个品种甘蔗幼苗叶片相对电导率都呈明显上升趋势。抗寒性弱的品种园林 6 号相对电导率的增幅要大于抗寒性强的品种桂糖 28 号。外施 ABA 后,2 个品种甘蔗幼苗叶片的相对电导率显著降低。说明低温胁迫下甘蔗幼苗叶片的细胞膜受损,而抗寒性强的甘蔗基因型细胞膜受损较轻,外施 ABA 减轻和延缓了低温对甘蔗细胞膜结构的破坏。

表 1 低温胁迫下外源 ABA 对甘蔗幼苗叶片抗寒指标的影响¹⁾

Table 1 Effects of exogenous ABA on cold resistance index in seedling leaves of sugarcane under cold stress

抗寒指标 Cold resistance index	处理 Treatment	0 d	1 d	3 d	7 d	10 d	14 d
相对电导率/% Conductivity	GT28CA	14.7 a	15.9 c	22.8 c	30.8 c	35.2 c	38.5 c
	GT28C	16.1 a	20.7 b	30.8 b	41.5 b	43.5 b	47.1 b
	YL6CA	17.0 a	18.0 bc	26.3 bc	37.3 b	40.9 b	50.9 b
	YL6C	16.9 a	25.6 a	38.1 a	51.7 a	58.8 a	65.0 a
丙二醛含量/($\mu\text{mol/g}$) MDA content	GT28CA	6.83 a	7.45 c	8.11 c	8.42 c	8.46 c	7.89 c
	GT28C	7.01 a	8.09 bc	8.81 b	10.09 b	9.50 b	9.49 b
	YL6CA	7.12 a	8.05 bc	8.61 bc	9.42 bc	9.56 b	8.99 b
	YL6C	7.29 a	8.89 a	9.81 a	11.50 a	12.09 a	11.49 a
脯氨酸含量/(mg/g) Proline content	GT28CA	29.7 a	31.7 a	37.7 a	43.5 a	47.2 a	42.4 a
	GT28C	28.7 a	32.1 a	35.5 ab	38.5 b	38.0 b	42.1 a
	YL6CA	28.6 a	30.1 a	35.4 ab	39.1 b	41.0 b	41.6 a
	YL6C	27.9 a	28.0 a	32.3 b	31.5 c	33.6 c	35.8 b

1)CA 为低温胁迫+ABA 处理,C 为低温胁迫处理。2 个品种同一时间处理内标有不同字母的处理间在 0.05 水平上差异显著;下同 CA means cold+ABA treatment,C means cold treatment. Bars superscripted by a different small letter are significantly different at the 0.05 probability level for treatment at the same date in two varieties. The same as follows.

MDA 为膜脂过氧化产物,它的含量标志着膜损伤的程度。随着低温胁迫时间的延长,2 个品种

甘蔗幼苗叶片 MDA 含量呈先上升后下降趋势。在低温胁迫后期(3~14 d),抗寒性弱的品种 MDA 含

量明显大于抗寒性强的品种。外施 ABA 后, 2 个品种甘蔗幼苗叶片 MDA 含量明显下降, 园林 6 号在低温胁迫 1~14 d 中降幅为 10.4%~27.9%, 差异显著; 桂糖 28 号在胁迫 1~14 d 降幅为 8.3%~20.3%, 胁迫 7、10、14 d 时差异显著。说明低温胁迫后, 甘蔗幼苗叶片细胞膜受损, 膜脂过氧化产物 MDA 含量升高, 外施 ABA 处理能减少低温胁迫下甘蔗幼苗叶片的 MDA 含量。

脯氨酸参与植物渗透调节, 逆境环境下游离脯氨酸的积累能降低植物渗透势、增强吸水及保持细胞膨压来维持自身的正常生理功能。随着低温胁迫时间的延长, 2 个品种甘蔗幼苗叶片脯氨酸含量均呈上升趋势。低温胁迫后期(3~14 d), 抗寒性强的品种叶片脯氨酸含量明显大于抗寒性弱的品种。外施 ABA 后, 显著提高了桂糖 28 号胁迫 7、10 d 及园林 6 号胁迫 7、10、14 d 时幼苗叶片脯氨酸的含量, 增幅分别为 13.0%、24.2% 和 24.26%、22.08%、16.07%。说明低温胁迫提高了甘蔗幼苗叶片的脯氨酸含量, 但抗寒性强的甘蔗品种增幅较大, 外施 ABA 有助于低温胁迫下甘蔗幼苗叶片脯氨酸含量的提高, 从而更有利于抵御低温。

表 2 低温胁迫下外源 ABA 对甘蔗幼苗叶片内源激素含量的影响

Table 2 Effects of exogenous ABA on endogenous hormones contents in settling leaves of sugarcane under cold stress ng/g

内源激素 Endogenous hormones	处理 Treatment	0 d	1 d	3 d	7 d	10 d	14 d
ABA	GT28CA	697 a	735 a	859 a	1068 a	1166 a	1091 a
	GT28C	581 b	618 b	727 b	961 b	925 b	875 b
	YL6CA	585 b	553 bc	816 a	975 b	860 b	910 b
	YL6C	483 c	488 c	644 c	669 c	694 c	688 c
GA ₃	GT28CA	259 b	218 c	198 c	174 c	220 b	242 ab
	GT28C	302 a	267 b	243 b	220 b	285 a	268 a
	YLCA	282 ab	289 ab	231 b	244 ab	256 ab	250 ab
	YL6C	315 a	327 a	302 a	266 a	279 a	238 b
IAA	GT28CA	556 ab	489 b	564 a	698 a	362 b	406 c
	GT28C	597 a	433 c	463 b	654 a	385 b	491 b
	YL6CA	536 b	508 ab	517 ab	409 b	656 a	560 a
	YL6C	573 ab	576 a	524 ab	474 b	626 a	472 bc
ZR	GT28CA	209 a	169 b	147 c	240 ab	267 a	140 c
	GT28C	220 a	190 ab	209 b	265 a	282 a	207 b
	YL6CA	165 b	164 b	293 a	188 c	223 b	198 b
	YL6C	183 ab	219 a	308 a	224 b	241 ab	263 a

随着低温胁迫时间的延长, 2 个品种甘蔗幼苗叶片 IAA 含量呈降—升—降趋势, 桂糖 28 号最高值出现在胁迫 7 d, 园林 6 号最高值出现在胁迫 10 d。外施 ABA 对 2 个品种甘蔗幼苗叶片中 IAA 含量的影响各异, 桂糖 28 号在胁迫前期(1~7 d)喷施

2.2 低温胁迫下外源 ABA 对甘蔗幼苗内源激素含量的影响

由表 2 可知, 随着低温胁迫时间的延长, 2 个品种甘蔗幼苗叶片 ABA 含量呈明显上升趋势。抗寒性强的品种幼苗叶片中 ABA 含量明显大于抗寒性弱的品种。外施 ABA 后, 2 个品种甘蔗幼苗叶片中 ABA 含量进一步提高, 桂糖 28 号在胁迫 10、14 d 时增幅为 26.0%、24.7%, 园林 6 号在胁迫 3、7、10、14 d 时增幅为 26.6%、45.8%、23.9% 和 32.3%, 差异显著。说明外施 ABA 提高了低温胁迫下甘蔗内源 ABA 含量, 抗寒性强品种 ABA 含量要高于抗寒性弱的品种。

随着低温胁迫时间的延长, 2 个品种甘蔗幼苗叶片 GA₃ 含量变化略有不同, 桂糖 28 号中 GA₃ 含量先下降后有所回升, 园林 6 号中 GA₃ 含量则逐渐下降。相比之下, 抗寒性弱的品种中 GA₃ 含量高于抗寒性强的品种。外施 ABA 后, 2 个品种甘蔗幼苗叶片中 GA₃ 含量都明显降低, 其中桂糖 28 号降幅更大。说明外施 ABA 降低了低温胁迫下甘蔗内源 GA₃ 含量, 抗寒性强的品种下降幅度大于抗寒性弱的品种。

ABA 处理的幼苗叶片中 IAA 含量较高, 而在胁迫后期(10~14 d)则是未喷 ABA 处理的幼苗叶片中 IAA 含量较高; 在园林 6 号中的表现则相反。

随着低温胁迫时间的延长, 2 个品种甘蔗幼苗叶片 ZR 含量呈降—升—降趋势。外施 ABA 处理

明显降低了 2 个品种甘蔗幼苗叶片中的 ZR 含量。低温胁迫 1~14 d 桂糖 28 号叶片中的 ZR 含量降幅为 5.9%~48.1%, 园林 6 号降幅为 5.2%~33.9%; 其中桂糖 28 号在胁迫 3、10、14 d 时达到显著水平, 园林 6 号在胁迫 1、7、14 d 时达到显著水平。

2.3 低温胁迫下外源 ABA 对甘蔗幼苗 ABA/GA₃、ABA/IAA、ABA/ZR 的影响

从表 3 可知, 随着低温胁迫时间的延长, 2 个品种甘蔗幼苗叶片 ABA/GA₃、ABA/IAA、ABA/ZR 都呈上升趋势。外施 ABA 后, 2 个品种甘蔗幼苗叶

片中 ABA/GA₃、ABA/IAA、ABA/ZR 都高于未喷 ABA 处理的。低温胁迫 1~14 d, 桂糖 28 号低温加 ABA 处理的 ABA/GA₃ 增幅为 38.3%~63.6%, 园林 6 号低温加 ABA 处理增幅为 25.9%~65.5%; 抗寒性强的品种 ABA/GA₃ 大于抗寒性弱的品种。外施 ABA 处理显著提高了桂糖 28 号胁迫后期 (10~14 d) 幼苗叶片 ABA/IAA 值; 而对于园林 6 号, 则是在其胁迫前期 (1~7 d) 增幅更大。低温胁迫 1~14 d, 桂糖 28 号低温加 ABA 处理的 ABA/ZR 值增幅为 22.7%~67.9%, 园林 6 号低温加 ABA 处理增幅为 33.2%~73.5%。

表 3 低温胁迫下外源 ABA 对甘蔗幼苗叶片 ABA/GA₃、ABA/IAA、ABA/ZR 的影响

Table 3 Effects of exogenous ABA on the ratios of ABA/GA₃, ABA/IAA and ABA/ZR

比值 Ratio	处理 Treatment	0 d	1 d	3 d	7 d	10 d	14 d
ABA/GA ₃	GT28CA	2.70 a	3.37 a	4.33 a	6.13 a	5.31 a	4.51 a
	GT28C	1.98 b	2.31 b	2.99 b	4.38 b	3.25 b	3.26 b
	YL6CA	2.07 b	1.91 b	3.53 a	3.99 b	3.37 b	3.64 b
	YL6A	1.53 c	1.49 c	2.13 c	2.51 c	2.49 b	2.89 bc
ABA/IAA	GT28CA	1.26 a	1.50 a	1.52 a	1.53 b	3.22 a	2.69 a
	GT28C	0.97 bc	1.43 a	1.57 a	1.47 b	2.40 b	1.78 b
	YL6CA	1.09 b	1.09 b	1.58 a	2.39 a	1.31 c	1.63 b
	YL6C	0.84 c	0.85 c	1.23 b	1.41 b	1.11 c	1.85 b
ABA/ZR	GT28CA	3.35 a	4.34 a	5.86 a	4.45 b	4.37 a	7.79 a
	GT28C	2.63 b	3.25 b	3.49 b	3.63 bc	3.28 c	4.22 b
	YL6CA	3.35 a	3.38 b	2.78 c	5.17 a	3.85 b	4.59 b
	YL6C	2.64 b	2.23 c	2.09 d	2.98 c	2.88 cd	2.62 c

3 讨论

低温造成植物细胞膜系统的破坏, Fridovich^[11] 提出的生物自由基伤害学说已被人们广泛接受。在低温胁迫下植物体内的·O₂⁻、·OH⁻等自由基增多, 膜脂过氧化作用加强, 导致膜受到损伤和破坏^[12]。本试验结果表明, 随低温胁迫时间的延长, 甘蔗体内膜脂过氧化作用加剧, 膜脂过氧化产物 MDA 大量积累, 导致膜透性增大, 膜内大量电解质外渗, 相对电导率增大。这与孙富等^[13] 和陈少裕^[14] 的研究结果一致。脯氨酸作为植物体内重要的渗透调节物质, 在低温胁迫下, 可以增强细胞的持水力和生物大分子的稳定性。在本研究结果中, 低温胁迫后甘蔗体内脯氨酸的含量增幅明显, 且抗寒性强的品种 GT28 增幅大于抗寒性弱的品种 YL6。可见, 甘蔗植株体内脯氨酸含量的积累有利于提高其抗寒性, 这与张保青等^[15] 报道相符。低温胁迫下, 2 个甘蔗品种幼苗叶片在细胞膜透性、MDA 含量和脯氨酸含量的变化上都存在基因型差异, 抗寒

性强的品种细胞膜透性、MDA 含量较低, 脯氨酸含量较高。ABA 处理后进一步提高了低温胁迫下甘蔗体内渗透调节物质脯氨酸的含量, 降低了膜脂过氧化产物 MDA 含量和细胞膜所受的伤害, 这是外喷 ABA 提高甘蔗抗寒性的重要生理基础^[16]。推测这可能是由于外源 ABA 促进了水分从根系向叶片输送, 使细胞膜透性提高、增强了膜的稳定性以减少电解质的渗漏^[17]。而随着低温胁迫时间的延长, 植物体内 ABA 不断升高, 此时, 外施 ABA 对渗透物质的调节作用也与之相当。

植物激素是植物体生长发育的重要调节物质, 也是植物对不同逆境产生响应的激素信号分子, 广泛参与了逆境等各种生理过程的调节^[18-19]。ABA 作为一种胁迫激素, 在植物抗逆过程中起着重要作用, 其在植物体内的积累与植物抗性的增强存在显著的正相关关系^[20]。Lang 等^[21] 和王兴等^[22] 的研究表明, 在低温锻炼过程中, 随着植物抗寒性的提高, ABA 大量积累, 抗寒性强的植物体内 ABA 含量高于抗寒性弱的。本研究结果与前人在其他作物

上的研究结果一致,外施 ABA 后内源 ABA 含量进一步上升且抗寒性强的品种增幅更大,这也与 Iqbal 等^[23]的研究结果相符。 GA_3 是最早被认为与植物抗寒性相关的激素^[24],许多研究认为抗寒性强的植物 GA_3 含量一般低于抗寒性弱的植物。本研究结果亦如此,低温胁迫后 2 个品种甘蔗体内 GA_3 含量迅速下降且抗寒性强的品种降幅更大。通常认为 ABA 与 GA_3 相互之间存在一定拮抗作用;与 ABA 和 GA_3 相比,IAA、ZR 在植物抗寒性研究中应用较少。本研究中,外施 ABA 后 GA_3 含量下降幅度高于未施 ABA 的。低温胁迫后,2 个甘蔗品种体内 IAA、ZR 含量均呈降—升—降趋势,说明低温胁迫后,甘蔗体内激素迅速协同发挥作用,从而抵御逆境的破坏,这与激素被认为是植物抗逆基因表达的启动因子相吻合^[25]。各种激素间存在同一性、协调性、对抗性等特性,激素间的平衡与植物抵御逆境密切相关,植物在逆境过程中会受几种激素顺序性或连锁性的调节^[26-27]。前人研究结果表明,ABA/ GA_3 比值影响着种子萌发、性别分化,ABA/IAA 比值影响着植物生长势,ABA/ZR 影响着气孔运动^[28]。本研究中,低温胁迫下甘蔗叶片 ABA/ GA_3 、ABA/IAA、ABA/ZR 的比值都高于对照,表明当甘蔗受到低温胁迫时,各种激素相互促进、相互制约,在气孔关闭、减弱蒸腾、减慢生长速度方面达到一个新的平衡,从而适应低温胁迫的影响。

在植物的逆境调节中,人们认为内源激素最可能充当逆境信号因子,发挥正负信号的作用^[29]。在此过程中,可能 ABA 作为正信号,而 GA_3 、ZR、IAA 等作为负信号^[30]。本研究结果表明,外源 ABA 的施用降低了低温胁迫下甘蔗幼苗叶片中 GA_3 、ZR 含量,提高了幼苗叶片中 ABA 的含量及 ABA/ GA_3 、ABA/IAA、ABA/ZR。这可能也是 ABA 能提高甘蔗抗寒性的又一重要原因。

综上所述,低温胁迫下,甘蔗幼苗细胞膜受破坏, GA_3 、ZR 含量下降。同时相对电导率、MDA、脯氨酸、ABA 含量、ABA/ GA_3 、ABA/IAA 和 ABA/ZR 升高。外施 ABA 能有效缓解低温胁迫对细胞膜的破坏,降低 GA_3 以及膜脂过氧化产物 MDA 的含量,提高脯氨酸、ABA 含量和 ABA/ GA_3 比值,从而提高甘蔗幼苗的抗寒性。低温胁迫下,植株体内低 MDA 和 GA_3 含量,高脯氨酸、ABA 含量及 ABA/ GA_3 是甘蔗高抗寒性的重要生理基础。

参 考 文 献

- [1] 李杨瑞,杨丽涛. 20 世纪 90 年代以来我国甘蔗产业和科技的新发展[J]. 西南农业学报,2009,22(5):1469-1476.
- [2] PERRAS M, SARHAN F. Synthesis of freezing tolerance proteins in leaves, crown and roots during cold acclimation of wheat [J]. *Plant Physiol*, 1989, 89: 577-585.
- [3] GUY C L. Cold acclimation and freezing stress tolerance: role of protein metabolism [J]. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol*, 1990, 41: 187-223.
- [4] 邓雪柯,乔代蓉,于昕,等. 低温胁迫对紫花苜蓿生理特性影响的研究[J]. 四川大学学报:自然科学版,2005,42(1):190-194.
- [5] 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):94-96.
- [6] 和红云,薛琳,田丽萍,等. 低温胁迫对甜瓜幼苗叶绿素含量及荧光参数的影响[J]. 北方园艺,2008(4):121-127.
- [7] 张以顺,黄霞,陈云凤. 植物生理学实验教程[M]. 北京:高等教育出版社,2009:128-129.
- [8] 赵世杰,刘华山,董新纯. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业科技出版社,1998:120-164.
- [9] 李宗霖,周燮. 植物激素及其免疫检测技术[M]. 南京:江苏科学技术出版社,1996.
- [10] LI Q, LI P, SUN L, et al. Expression analysis of β -glucosidase genes that regulate abscisic acid homeostasis during watermelon (*Citrullus lanatus*) development and under stress conditions [J]. *Plant Physiol*, 2012, 169: 78-85.
- [11] FRIDOVICH I. The biology of oxygen radicals [J]. *Science*, 1978, 201: 875-880.
- [12] 王爱国,邵从本,罗广华,等. 大豆下胚轴线粒体的衰老与膜脂的过氧化作用[J]. 植物生理学报,1988,14(3):269-273.
- [13] 孙富,杨丽涛,谢晓娜,等. 低温胁迫对不同抗寒性甘蔗品种幼苗叶绿体生理代谢的影响[J]. 作物学报,2012,38(4):1-8.
- [14] 陈少裕. 甘蔗低温胁迫与膜脂过氧化[J]. 福建农学院学报,1992,21(2):22-26.
- [15] 张保青,杨丽涛,李杨瑞. 自然条件下甘蔗品种抗寒生理生化特性的比较[J]. 作物学报,2011,37(3):496-505.
- [16] 黄有总,徐建云,陈超君,等. 几个甘蔗新品种的抗旱性和抗寒性比较研究[J]. 广西农业生物科学,2002,21(2):101-104.
- [17] 师晨娟,刘勇,荆涛. 植物激素抗逆性研究进展[J]. 世界林业研究,2006,5(19):21-26.
- [18] 张雪峰. 低温胁迫对玉米种子萌发过程中内源激素含量变化的影响[J]. 沈阳农业大学学报,2011,42(2):147-151.
- [19] 王琦,王伟,申腾飞,等. 玉米中 3 个 CIPK 同源基因在干旱和低温胁迫下的表达分析[J]. 华中农业大学学报,2011,30(5):544-551.
- [20] 罗立津,徐福乐,翁华钦,等. 脱落酸对甜椒幼苗抗寒性的诱导效应及其机理研究[J]. 西北植物学报,2011,34(1):94-100.
- [21] LANG V, MANTYLA E, WELIN B, et al. Alterations in water

- status, endogenous abscisic acid content, and expression of *rab18* gene during the development of freezing tolerance in *Arabidopsis thaliana* [J]. *Plant Physiol*, 1994, 104:1341-1349.
- [22] 王兴,于晶,杨阳,等.低温条件下不同抗寒性冬小麦内源激素的变化[J].*麦类作物学报*,2009,29(5):827-831.
- [23] IQBAL M, ASHRAF M, REHMAN S, et al. Does polyamine seed pretreatment modulate growth and levels of some plant growth regulators in hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.) plants under salt stress? [J]. *Botanical Studies*, 2006, 47:239-250.
- [24] DONALD E R, KATHRYN E K. How gibberellin regulates plant growth and development; a molecular genetic analysis of gibberellin signaling [J]. *Annu Rev Plant Mol Biol*, 2001, 52: 67-88.
- [25] BISHOPP A, MAHONEN A P, HELARIUTTA Y. Signs of change: hormone receptors that regulate plant development [J]. *Development*, 2006, 133:1857-1869.
- [26] 宋亚玲,熊立仲.水稻 GSK 基因家族的鉴定及其对多种激素和逆境应答的表达量分析[J].*华中农业大学学报*,2012,31(1): 1-9.
- [27] 王成章,潘晓建,张春梅,等.外源 ABA 对不同休眠型苜蓿品种植物激素含量的影响[J].*草业学报*,2006,15(2):30-36.
- [28] 韩瑞宏,张亚光,田华,等.干旱胁迫下紫花苜蓿叶片几种内源激素的变化[J].*华北农学报*,2008,23(3):81-84.
- [29] 李玉梅,李建英,王根林,等.水分胁迫对大豆幼苗叶片内源激素的影响[J].*大豆科学*,2007,26(4):627-636.
- [30] 张明生,谢波,谈峰.水分胁迫下甘薯内源激素的变化与品种抗旱性的关系[J].*中国农业科学*,2002,35(5):498-501.

Effects of exogenous abscisic acid on cell membrane and endogenous hormones contents in leaves of sugarcane seedling under cold stress

HUANG Xing^{1,2} CHEN Ming-hui¹ YANG Li-tao^{1,2} ZHANG Bao-qing^{1,2} LI Yang-rui^{1,2}

1. College of Agronomy/State Key Laboratory for Conservation and Utilization of Subtropical Agro-Bioresources, Guangxi University, Nanning 530004, China;

2. Sugarcane Research Center, Chinese Academy of Agricultural Sciences/Sugarcane Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Sugarcane Biotechnology and Genetic Improvement (Guangxi), Ministry of Agriculture, China/Guangxi Key Laboratory of Sugarcane Genetic Improvement, Nanning 530007, China

Abstract To explore the effect of spraying ABA treatment on the cold resistance of sugarcane, the changes of cell membrane permeability and the levels of endogenous hormones in leaves of sugarcane seedling were studied under cold stress and ABA treatment using two sugarcane cultivars GT28 with strong cold resistance and YL6 with weak cold resistance. The plants were sprayed with ABA before 12 h of cold treatment and leaf samples were taken at different time of cold treatment. The result showed that the cell membrane was injured. GA₃ decreased while the relative electrical conductance, the contents of MDA, ABA and the ratios of ABA/GA₃, ABA/IAA and ABA/ZR were increased under the cold stress. After spraying ABA, the injury of cell membrane was effectively alleviated, the contents of MDA and GA₃ were decreased but the contents of proline and ABA and the ratio of ABA/GA₃ were increased, reflecting the improvement of cold resistance of sugarcane seedlings. It is concluded that the important physiological bases could be characterized with lower contents of MDA and GA₃, higher contents of proline and ABA, and higher ratio of ABA/GA₃ in leaves of sugarcane seedling.

Key words abscisic acid; cold stress; sugarcane; cell membrane; endogenous hormone; malondialdehyde(MDA); proline