

外源 ABA、SA 及 JA 对干旱胁迫及复水下大豆生长的影响

金 毅,郑浩宇,金喜军,张玉先,任春元

(黑龙江八一农垦大学 农学院,黑龙江 大庆 163319)

摘 要:以干旱敏感型品种黑农 65 和抗旱品种抗线 9 号为供试材料,采用沙培方式结合 15% PEG-6000 模拟干旱胁迫,研究了叶面喷施 ABA、SA、JA 对干旱及复水下的大豆生长的影响。结果表明:3 种外源激素均可以显著降低干旱胁迫及复水下大豆叶片有害物质 MDA 和过氧化氢含量,同时还能提高干旱胁迫过程中保护性物质可溶性糖和可溶性蛋白含量,大体上表现为 ABA 的作用效果高于 SA 和 JA,从而降低干旱胁迫对大豆机体的损害程度。3 种外源激素均减轻了干旱胁迫对大豆株高、叶、茎、根鲜重和干重的抑制作用,其中 JA 对干旱敏感型品种黑农 65 株高、器官鲜、干重的促进效果较好,而 SA 对抗旱品种抗线 9 号的促进效果好于 ABA 和 JA。3 种外源激素均可降低干旱胁迫导致的大豆落花率,其中 SA 的作用效果好于 ABA 和 SA。总体来看,外源 ABA、SA、JA 对干旱胁迫下干旱敏感型品种的促进效果较抗旱品种更明显。

关键词:大豆;干旱;ABA ;SA;JA;生长

中图分类号:S565. 1 **文献标识码:**A **DOI:**10. 11861/j. issn. 1000-9841. 2016. 06. 0958

Effect of ABA,SA and JA on Soybean Growth Under Drought Stress and Re-watering

JIN Yi, ZHENG Hao-yu, JIN Xi-jun, ZHANG Yu-xian, REN Chun-yuan

(College of Agronomy, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China)

Abstract: This study was conducted with drought sensitive variety HN65 and drought resistant variety KX9, sand culture and PEG-6000 were used to simulate drought stress to research on the effect of exogenous ABA,JA and SA on soybean growth under drought and re-watering. The result showed that, three exogenous plant hormones all could decrease MDA and hydrogen peroxide content in soybean leaf, which was bad for accumulation of soluble sugar and soluble protein content, protecting soybean from drought and re-water. And ABA showed more significant promotive effect than SA and JA. Three exogenous plant hormones all could alleviate the inhibition of drought on morphological index, JA had more promotive effect than ABA and SA for drought-sensitive soybean variety HN65, and SA had more promotive effect than ABA and JA for drought resistant variety KX9. Three exogenous plant hormones all could decrease drop flower rate of both varieties especially HN65.

Keywords: Soybean; Drought; ABA; SA; JA; Growth

众多非生物胁迫中,干旱是全球范围内限制粮食产量的最主要单一因素^[1]。黑龙江作为我国大豆主产区受大陆季风性气候控制,干旱胁迫是限制该地区大豆产量及品质的主要因素^[2]。包括 ABA、JA、SA 等的植物激素是植物启动自我保护机制的重要信号物质^[3],这些激素产生的信号转导网络引起植物一系列生理调控事件以应对逆境胁迫。干旱胁迫导致植物体内 ABA 含量的增加^[4],并且同一物种抗旱能力较强的品种内源 ABA 的含量通常较不抗旱品种高^[5],另外外源 ABA 的施用同样可以增加植物或细胞对干旱的抗性,这直接证明 ABA 参与植物对干旱胁迫的应答,并起到有效保护作用。SA 作为内源调控物质,参与一系列生理和代谢过程^[6]。

近期研究表明,大多数逆境胁迫均可改变植物内源 SA 含量,证明 SA 也参与胁迫引起的信号传导作用^[7]。外源 SA 可提高干旱胁迫下 RUBP 活性以及叶绿素含量,进而改善干旱胁迫下作物的生长,增加干物质积累和产量。在植物遭受逆境胁迫(如干旱和盐害)时产生大量 ROS 的积累,施用外源 SA 同样可提高 CAT 和 SOD,进而增强 ROS 的清除能力^[8]。JA 同样参与作物应对干旱胁迫的过程,在氧化胁迫中起信号传递作用^[9],并且不同抗性品种的 JA 含量也存在差异^[10]。目前,国内外学者关于植物激素调节作物抵抗非生物胁迫和病原菌侵害能力机制的研究已经取得显著成果,并对水稻^[11]和豌豆^[12]等作物鼓粒灌浆期间产量和品质形成的激素

收稿日期:2016-08-04
基金项目:国家级大学生创新项目(201510223006);国家自然科学基金(31401332,204134008);国家“十二五”科技支撑计划(2014BAD11B01-02);国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-04-PS17)。
第一作者简介:金毅(1995-),男,学士,主要从事大豆栽培与生理研究。E-mail:18345966737@163.com。
通讯作者:张玉先(1968-),男,教授,主要从事大豆栽培研究。E-mail:zyx_lxy@126.com。

调控机理进行了较为深入的研究。目前关于外源 ABA、JA、SA 对于旱胁迫下苗期大豆的影响研究报道较少。因此,本试验以抗旱品种抗线 9 号和干旱敏感品种黑农 65 为供试材料,利用 PEG-6000 模拟干旱胁迫,研究不同外源激素对于旱胁迫下不同耐旱性大豆植株形态指标、落花率、可溶性糖含量、可溶性蛋白含量的影响,为提高大豆抗旱能力提供理论依据和参考。

1 材料与方法

1.1 试验设计

本试验以干旱敏感型大豆品种黑农 65 和抗旱型大豆品种抗线 9 号为供试品种,采用沙培方式培养大豆材料。沙培所用塑料桶高 30 cm,直径 33 cm,桶底钻 3 个直径为 1 cm 的小孔,桶底铺 1 层纱网,防止沙子外流和根系长出。所用江沙先用自来水冲洗干净,再用蒸馏水冲洗 3 遍,每桶装沙至桶沿 3 cm 处。每盆播种 10 粒,三叶期定苗 4 株。所有供试材料均放于塑料大棚内,并埋在土中,桶底垫一块方砖,使多余的水和营养液流出,桶沿高出地面 3 cm。从播种后开始每盆每天浇 500 mL 蒸馏水,至第一片复叶展开时,每天每盆淋浇 500 mL Hoagland 营养液。

大豆幼苗长至 V5(初花期)记为第 1 天,选取长势均匀一致的大豆材料平均分成 4 等份,全部开始淋浇含 15% PEG-6000 的 Hoagland 营养液模拟干旱胁迫,并在第 1 和 2 天选取其中 3 份,分别喷施浓度均为 100 μmol·L⁻¹的 ABA、JA 和 SA,以叶片布满水珠而不成股流下为标准,另 1 份大豆材料喷施等量蒸馏水作为对照。在第 9 天淋浇 1 500 mL 不含 PEG 的营养液,停止干旱胁迫并淋洗残余的 PEG,此后淋浇正常营养液至试验结束。

分别在第 3、6、9 天,以及第 12 天(复水后第 3 天)和第 15 天(复水后第 6 天)取样。选择上午 10:00,将植株自子叶痕处剪断,按照叶、茎、根 3 部分分解,根先用自来水洗净后再用蒸馏水冲洗 3 遍,后用滤纸吸干。用于形态指标测定的材料取样后随即进行相关测量,称量鲜重后放入烘箱中烘干至恒重。用于生理指标测定的材料取叶片、茎尖和根尖,用锡纸包好放入液氮中冷冻,并转移到 -80℃ 冰箱中保存待用。

1.2 测定项目及方法

株高采用直尺测量;植物鲜、干重利用天平称量;开花数和落花数采用人工计数;MDA 含量和过氧化氢含量参照 Ibrahim^[13] 的方法,可溶性糖含量

的测定参照周博如^[14] 的方法,可溶性蛋白含量的测定参照路阳^[15] 的方法。

1.3 数据分析

采用 Excel 2010 和 SPSS 22.0 进行作图和数据分析。

2 结果分析

2.1 外源 ABA、JA、SA 对于旱胁迫及复水下大豆 MDA 含量的影响

如表 1 所示,为外源 ABA、JA、SA 对于旱胁迫及复水下大豆叶片中 MDA 含量的影响。干旱胁迫过程中的第 3、6、9 天,对照和不同外源激素处理两个供试品种大豆叶片中丙二醛含量均呈增加趋势;复水后第 3 和 6 天(即处理后第 12 和 15 天),抗线 9 号 MDA 含量有所下降,而黑农 65 下降明显。与对照相比,干旱胁迫过程中和复水后外源 ABA、JA、SA 均可显著降低两个供试品种叶片中 MDA 含量。并且,干旱敏感型品种黑农 65 由于旱胁迫和复水造成的 MDA 含量变化幅度较抗旱品种抗线 9 号大。

表 1 外源 ABA、JA 及 SA 对于旱胁迫及复水下 MDA 含量的影响

Table 1 Effect of exogenous ABA, JA and SA on MDA content under drought and re-watering			
处理后天数 Days after treating/d	处理 Treat- ments	丙二醛含量 MDA content/(μmol·g ⁻¹ FW)	
		黑农 65 HN65	抗线 9 号 KX9
3	ABA	0.044 ± 0.004 aA	0.026 ± 0.001 aA
	SA	0.054 ± 0.002 abA	0.046 ± 0.006 bAB
	JA	0.053 ± 0.003 abA	0.043 ± 0.001 bAB
	CK	0.055 ± 0.001 bA	0.055 ± 0.001 bB
6	ABA	0.050 ± 0.002 aA	0.042 ± 0.004 aA
	SA	0.057 ± 0.001 bA	0.050 ± 0.002 aA
	JA	0.058 ± 0.001 bAB	0.051 ± 0.001 aA
	CK	0.068 ± 0.002 cB	0.052 ± 0.003 aA
9	ABA	0.054 ± 0.002 aA	0.054 ± 0.001 aA
	SA	0.058 ± 0.001 abAB	0.053 ± 0.001 aA
	JA	0.064 ± 0.001 bB	0.052 ± 0.002 aA
	CK	0.077 ± 0.002 cC	0.059 ± 0.003 bB
12	ABA	0.052 ± 0.007 abA	0.051 ± 0.002 aA
	SA	0.038 ± 0.001 aA	0.053 ± 0.001 aA
	JA	0.041 ± 0.003 abA	0.052 ± 0.001 aA
	CK	0.054 ± 0.001 bA	0.059 ± 0.001 bA
15	ABA	0.045 ± 0.003 aA	0.048 ± 0.002 aA
	SA	0.042 ± 0.001 aA	0.052 ± 0.001 aA
	JA	0.041 ± 0.001 aA	0.050 ± 0.003 bbA
	CK	0.047 ± 0.003 aA	0.055 ± 0.002 bA

不同小写和大写字母分别代表处理间 0.05 和 0.01 水平差异显著。下同。

Different lowercase and capital indicate significant difference at the 0.05 level and capital letters indicate significant differences at the 0.01 level in different treatment. The same below.

2.2 外源 ABA、JA 及 SA 对干旱胁迫及复水下大豆过氧化氢含量的影响

干旱胁迫过程中的第 3,6,9 天和复水后第 3 和 6 天(即处理后第 12 和 15 天),对照和不同外源激素处理两个供试品种大豆叶片中过氧化氢含量未表现出明显变化规律。与对照相比,干旱胁迫过程中和复水后外源 ABA、JA、SA 均可显著降低供试品种叶片中丙二醛含量。并且,干旱敏感型品种黑农 65 过氧化氢含量较抗旱品种抗线 9 号高(表 2)。

表 2 外源 ABA、JA 及 SA 对干旱胁迫及复水下过氧化氢含量的影响

Table 2 Effect of exogenous ABA,JA and SA on hydrogen peroxide content under drought and re-watering

处理后天数 Days after treating/d	处理 Treat- ments	过氧化氢含量	
		Hydrogen peroxide content/($\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$)	
		黑农 65 HN65	抗线 9 号 KX9
3	ABA	4.31 \pm 0.61 aA	4.70 \pm 0.16 abA
	SA	4.72 \pm 0.06 aA	4.65 \pm 0.02 aA
	JA	5.32 \pm 0.08 aA	5.44 \pm 0.13 bAB
	CK	6.07 \pm 0.70 aA	6.45 \pm 0.32 cB
6	ABA	3.76 \pm 0.12 aA	4.49 \pm 0.26 abAB
	SA	3.97 \pm 0.12 aA	3.89 \pm 0.13 aA
	JA	4.09 \pm 0.03 aAB	4.72 \pm 0.16 bAB
	CK	4.70 \pm 0.09 bB	5.09 \pm 0.01 bB
9	ABA	4.97 \pm 0.14 aAB	4.37 \pm 0.03 abA
	SA	4.75 \pm 0.22 aA	4.24 \pm 0.00 aA
	JA	4.71 \pm 0.20 aA	3.93 \pm 0.25 aA
	CK	5.93 \pm 0.08 bB	4.99 \pm 0.21 bA
12	ABA	3.81 \pm 0.40 abAB	4.26 \pm 0.23 bA
	SA	3.15 \pm 0.20 aA	2.85 \pm 0.01 aA
	JA	4.35 \pm 0.15 bcAB	2.81 \pm 0.16 aA
	CK	5.10 \pm 0.16 cB	4.72 \pm 0.65 bA
15	ABA	4.79 \pm 0.09 bBC	3.11 \pm 0.00 aA
	SA	4.16 \pm 0.17 aAB	3.40 \pm 0.14 aAB
	JA	3.84 \pm 0.12 aA	3.36 \pm 0.16 aA
	CK	5.10 \pm 0.09 bC	3.90 \pm 0.02 bB

2.3 外源 ABA、JA 及 SA 对干旱胁迫及复水下大豆可溶性糖含量的影响

干旱胁迫过程中的第 3,6,9 天,对照和不同外源激素处理两个供试品种大豆叶片中可溶性糖含量大体呈先增加后下降的趋势;复水后第 3 和 6 天(即处理后第 12 和 15 天),黑农 65 不同外源激素处理可溶性糖含量继续呈下降趋势,而抗线 9 号则表现为先有所下降、后上升趋势。与对照相比,干旱胁迫过程中外源 ABA、SA、JA 均可显著降低两个供试品种叶片中丙二醛含量(表 3)。

表 3 外源 ABA、JA 及 SA 对干旱胁迫及复水下可溶性糖含量的影响

Fig. 3 Effect of exogenous ABA,JA and SA on soluble sugar content under drought and re-watering

处理后天数 Days after treating/d	处理 Treat- ments	可溶性糖含量	
		Soluble sugar content/($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	
		黑农 65 HN65	抗线 9 号 KX9
3	ABA	3.10 \pm 0.01 bB	2.29 \pm 0.14 abA
	SA	2.23 \pm 0.08 aA	2.77 \pm 0.18 bA
	JA	2.35 \pm 0.03 aA	2.33 \pm 0.16 abA
	CK	2.12 \pm 0.10 aA	1.81 \pm 0.09 aA
6	ABA	3.05 \pm 0.03 cC	3.20 \pm 0.06 cB
	SA	2.60 \pm 0.05 bB	2.66 \pm 0.05 abA
	JA	2.31 \pm 0.03 aAB	2.78 \pm 0.05 bA
	CK	2.19 \pm 0.07 aA	2.58 \pm 0.01 aA
9	ABA	2.52 \pm 0.10 bB	2.90 \pm 0.05 bB
	SA	3.56 \pm 0.02 cC	2.75 \pm 0.15 bB
	JA	2.87 \pm 0.03 bB	2.88 \pm 0.09 bB
	CK	1.71 \pm 0.15 aA	2.07 \pm 0.03 aA
12	ABA	2.27 \pm 0.01 bB	2.32 \pm 0.21 aA
	SA	2.76 \pm 0.01 dC	2.20 \pm 0.04 aA
	JA	2.56 \pm 0.08 cC	2.32 \pm 0.02 aA
	CK	1.80 \pm 0.01 aA	2.04 \pm 0.03 aA
15	ABA	2.00 \pm 0.06 aA	2.73 \pm 0.02 aA
	SA	2.13 \pm 0.01 aA	3.09 \pm 0.09 bB
	JA	2.14 \pm 0.21 aA	3.12 \pm 0.02 bB
	CK	2.15 \pm 0.13 aA	2.53 \pm 0.06 aA

2.4 外源 ABA、JA 及 SA 对干旱胁迫及复水下大豆可溶性蛋白含量的影响

干旱胁迫过程和复水过程中,不同外源激素处理两个供试品种大豆叶片中可溶性蛋白含量未表现出明显变化规律。与对照相比,干旱胁迫过程中外源 ABA、JA 及 SA 均可显著降低两个供试品种叶片中丙二醛含量;复水后,不同外源激素处理与对照间无明显规律性(表 4)。

表 4 外源 ABA、JA 及 SA 对干旱胁迫及复水下可溶性蛋白含量的影响

Fig. 4 Effect of exogenous ABA,JA and SA on soluble protein content under drought and re-watering

处理后天数 Days after treating/d	处理 Treat- ments	可溶性蛋白含量	
		Soluble protein content/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	
		黑农 65 HN65	抗线 9 号 KX9
3	ABA	51.87 \pm 0.35 cB	45.17 \pm 0.13 cB
	SA	48.95 \pm 1.02 cB	44.65 \pm 0.24 bcB
	JA	43.19 \pm 2.04 bAB	43.45 \pm 0.49 bAB
	CK	37.76 \pm 1.35 aA	41.45 \pm 0.60 aA

续表 4

处理后天数 Days after treating/d	处理 Treat- ments	可溶性蛋白含量 Soluble protein content/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	
		黑农 65 HN65	抗线 9 号 KX9
6	ABA	50.02 \pm 0.46 bB	50.52 \pm 0.89 bB
	SA	49.84 \pm 0.06 bB	52.36 \pm 0.84 bB
	JA	48.54 \pm 0.06 bB	50.72 \pm 0.09 bB
	CK	43.99 \pm 0.69 aA	42.78 \pm 0.15 aA
9	ABA	47.97 \pm 0.56 cC	50.39 \pm 0.39 cB
	SA	43.21 \pm 0.10 bB	48.47 \pm 0.21 bcAB
	JA	47.41 \pm 0.30 cC	47.17 \pm 1.32 abAB
	CK	39.13 \pm 0.13 aA	45.63 \pm 0.22 aA
12	ABA	45.59 \pm 1.26 aA	44.15 \pm 0.15 aA
	SA	43.35 \pm 0.35 aA	43.45 \pm 1.12 aA
	JA	43.20 \pm 0.87 aA	41.80 \pm 0.13 aA
	CK	46.35 \pm 0.13 aA	43.10 \pm 0.91 aA
15	ABA	46.78 \pm 0.78 bcAB	39.43 \pm 1.43 abAB
	SA	45.07 \pm 0.37 abAB	44.58 \pm 1.47 bB
	JA	47.84 \pm 0.95 cB	34.89 \pm 1.15 aA
	CK	43.41 \pm 0.30 aA	43.34 \pm 1.45 bAB

2.5 外源 ABA、SA 及 JA 对于旱胁迫及复水下大豆株高和鲜、干重的影响

如表 5 所示,不同外源激素对于旱胁迫及复水下黑农 65 株高和植株鲜、干重均起到促进作用。外

源 ABA、SA 及 JA 均促进干旱胁迫及复水后第 6 天大豆株高,并且 JA 的促进效果最大,在干旱胁迫后第 3,9,15 天(复水后第 6 天)分别较对照提高 16%、36%、25%。与对照相比,外源 ABA、SA 及 JA 均对于旱胁迫后第 3 和 6 天黑农 65 叶、茎鲜重和干重起显著促进作用,而在干旱胁迫后第 15 天(复水后第 6 天)不同激素处理与对照间未达到显著差异水平。与对照相比,不同激素处理同样可以促进黑农 65 根系鲜、干重的积累,但 SA 处理作用效果一直较显著。由表 2 所示,与黑农 65 相同,不同外源激素对于旱胁迫及复水下抗线 9 号株高和植株鲜、干重均起到促进作用。大体来看,外源 ABA、SA 及 JA 均可促进干旱胁迫及复水后不同抗旱能力大豆品种株高及各器官鲜重和干重。

2.6 不同外源激素处理在干旱胁迫及复水下对大豆落花率的影响

如图 1 所示,叶面喷施外源激素处理均可降低干旱胁迫下黑农 65 和抗线 9 号落花率。与对照相比,外源 ABA、SA 及 JA 显著降低干旱敏感型大豆品种黑农 65 落花率,并达到极显著水平,并且 SA 和 JA 的作用效果尤为明显。虽同样可以降低抗旱型大豆品种抗线 9 号落花率,但仅 SA 处理显著低于对照。

表 5 外源 ABA、JA 及 SA 对于旱胁迫及复水下黑农 65 株高和鲜、干重的影响
Table 5 Effect of exogenous ABA,JA and SA on plant height, fresh and dry weight of HN65 under drought and re-watering

处理 后天数 Days after treating/d	处理 Treat ments	株高 Plant height /cm	叶鲜重	茎鲜重	根鲜重 Root fresh weight/($\text{g}\cdot\text{plant}^{-1}$)	叶干重	茎干重	根干重
			Leaf fresh weight /($\text{g}\cdot\text{plant}^{-1}$)	Stem fresh weight /($\text{g}\cdot\text{plant}^{-1}$)		Leaf dry weight /($\text{g}\cdot\text{plant}^{-1}$)	Stem dry weight /($\text{g}\cdot\text{plant}^{-1}$)	Root dry weight /($\text{g}\cdot\text{plant}^{-1}$)
3	ABA	19.19 \pm 0.64 aA	2.25 \pm 0.27 abAB	2.24 \pm 0.12 aA	5.71 \pm 0.69 aA	0.86 \pm 0.02 bAB	0.31 \pm 0.02 aAB	0.87 \pm 0.06 aAB
	SA	20.88 \pm 0.82 aA	2.62 \pm 0.11 bcAB	2.62 \pm 0.09 aAB	6.17 \pm 0.91 aA	0.76 \pm 0.08 abAB	0.59 \pm 0.03 cC	1.30 \pm 0.17 bB
	JA	24.15 \pm 0.42 bB	2.87 \pm 0.20 cB	3.05 \pm 0.08 bB	6.04 \pm 0.42 aA	0.91 \pm 0.08 bB	0.43 \pm 0.03 bB	0.83 \pm 0.06 aAB
	CK	20.73 \pm 0.45 aA	1.75 \pm 0.11 aA	2.38 \pm 0.14 aA	4.44 \pm 0.09 aA	0.60 \pm 0.01 aA	0.28 \pm 0.03 aA	0.68 \pm 0.03 aA
9	ABA	25.67 \pm 0.99 aAB	2.56 \pm 0.15 bAB	3.47 \pm 0.20 bB	6.39 \pm 0.21 bAB	0.89 \pm 0.05 aA	0.45 \pm 0.02 aAB	0.90 \pm 0.02 aA
	SA	28.36 \pm 0.43 bAB	3.86 \pm 0.23 cC	2.66 \pm 0.14 aA	7.53 \pm 0.37 bB	0.93 \pm 0.07 abA	0.63 \pm 0.02 cC	1.34 \pm 0.10 bB
	JA	33.93 \pm 0.71 bC	3.04 \pm 0.18 bB	3.67 \pm 0.17 bB	6.32 \pm 0.52 bAB	1.08 \pm 0.06 bA	0.53 \pm 0.02 bB	0.86 \pm 0.08 aA
	CK	25.01 \pm 0.94 aA	1.99 \pm 0.02 aA	2.61 \pm 0.10 aA	4.75 \pm 0.27 aA	0.82 \pm 0.01 aA	0.40 \pm 0.02 aA	0.74 \pm 0.05 aA
15	ABA	41.09 \pm 1.71 bAB	3.99 \pm 0.22 aA	4.00 \pm 0.53 aA	8.32 \pm 1.03 bA	1.15 \pm 0.05 aA	1.01 \pm 0.14 aA	1.13 \pm 0.06 aAB
	SA	42.86 \pm 1.73 bB	4.09 \pm 0.27 aA	3.97 \pm 0.21 aA	8.48 \pm 1.38 bA	1.21 \pm 0.08 aA	1.02 \pm 0.06 aA	1.58 \pm 0.20 bB
	JA	43.15 \pm 1.12 bB	4.21 \pm 0.49 aA	4.49 \pm 1.16 aA	8.26 \pm 0.29 bA	1.13 \pm 0.14 aA	1.07 \pm 0.27 aA	1.08 \pm 0.16 aAB
	CK	34.43 \pm 2.04 aA	3.11 \pm 0.58 aA	3.14 \pm 0.52 aA	4.89 \pm 0.24 aA	0.89 \pm 0.20 aA	0.72 \pm 0.14 aA	0.87 \pm 0.03 aA

表 6 外源 ABA、JA 及 SA 对干旱胁迫及复水下黑农抗线 9 号株高和鲜、干重的影响

Table 6 Effect of exogenous ABA,JA and SA on plant height, fresh and dry weight of KX9 under drought and re-watering

处理 后天数 Days after treating/d	处理 Treat ments	株高 Plant height /cm	叶鲜重 Leaf fresh weight /(g·plant ⁻¹)	茎鲜重 Stem fresh weight /(g·plant ⁻¹)	根鲜重 Root fresh weight /(g·plant ⁻¹)	叶干重 Leaf dry weight /(g·plant ⁻¹)	茎干重 Stem dry weight /(g·plant ⁻¹)	根干重 Root dry weight /(g·plant ⁻¹)
3	ABA	18.41 ±0.53 aA	2.59 ±0.15 abA	2.65 ±0.02 bB	6.33 ±0.33 aA	0.80 ±0.06 abAB	0.38 ±0.04 aA	0.84 ±0.08 aA
	SA	19.11 ±1.36 aA	4.58 ±0.19 cB	3.48 ±0.23 cC	7.66 ±1.35 abA	0.97 ±0.06 bcAB	0.55 ±0.01 bB	1.36 ±0.17 bB
	JA	17.43 ±0.51 aA	3.09 ±0.27 bA	1.42 ±0.11 aA	9.82 ±0.47 bA	1.12 ±0.09 cB	0.52 ±0.01 bB	0.63 ±0.06 aA
	CK	16.94 ±0.44 aA	2.19 ±0.08 aA	1.58 ±0.08 aA	7.16 ±0.46 aA	0.67 ±0.06 aA	0.38 ±0.02 aA	0.71 ±0.06 aA
9	ABA	23.69 ±0.55 aA	2.97 ±0.15 aA	2.71 ±0.12 aA	10.29 ±1.28 bA	1.03 ±0.07 abAB	0.51 ±0.02 aA	1.09 ±0.14 aA
	SA	31.63 ±0.48 bB	6.78 ±0.30 cC	4.26 ±0.75 bA	7.90 ±0.43 abA	1.27 ±0.07 bB	0.87 ±0.14 bA	1.61 ±0.11 bB
	JA	22.14 ±0.46 aA	5.18 ±0.09 bB	2.90 ±0.26 abA	10.48 ±0.64 bA	1.23 ±0.10 bAB	0.62 ±0.04 abA	0.95 ±0.07 aA
	CK	22.16 ±0.77 aA	2.82 ±0.50 aA	2.37 ±0.39 aA	7.28 ±0.30 aA	0.85 ±0.05 aA	0.53 ±0.08 aA	0.81 ±0.09 aA
15	ABA	35.88 ±0.53 abAB	4.97 ±0.08 bB	3.95 ±0.04 bA	8.48 ±0.11 aA	1.43 ±0.03 bA	0.91 ±0.01 bA	1.49 ±0.09 bcAB
	SA	39.56 ±1.31 cB	7.34 ±0.28 dD	5.73 ±0.12 cB	15.39 ±2.16 bB	2.00 ±0.09 cB	1.20 ±0.02 cB	1.81 ±0.27 cB
	JA	38.13 ±0.66 bcB	6.10 ±0.15 cC	5.38 ±0.14 cB	11.04 ±0.50 aAB	1.83 ±0.08 cB	1.11 ±0.03 cB	1.16 ±0.03 abAB
	CK	33.93 ±1.45 aA	3.88 ±0.09 aA	3.37 ±0.29 aA	7.33 ±0.67 aA	1.15 ±0.01 aA	0.76 ±0.06 aA	0.90 ±0.07 aA

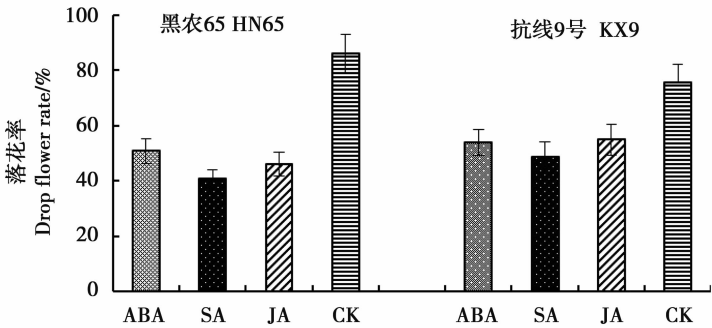


图 1 外源 ABA、JA 及 SA 对干旱胁迫及复水下大豆落花率的影响
Fig.1 Effect of exogenous ABA,JA and SA on drop flower rate of soybean under drought and re-watering

3 结论与讨论

干旱胁迫导致一系列生理生化变化,最终抑制大豆生长^[16]。干旱胁迫促使细胞膜脂质过氧化,细胞膜遭到损害^[17],这一过程中的主要产物 MDA 是衡量作物细胞膜受损害程度的重要指标。干旱导致作物叶片气孔关闭,光合作用停止,而光呼吸作用增强,活性氧物质尤其是过氧化氢含量增高^[18],超出植物体自身清除能力就会对抗氧化系统、膜系统、呼吸链和 DNA 造成损伤。而可溶性糖包括葡萄糖、海藻糖、蔗糖,是渗透调节的重要物质之一^[19],干旱胁迫可诱导可溶性糖的产生,其含量越高渗透

调节能力越强。可溶性蛋白作为重要的渗透调节物质和营养物质,其含量提高能够提高细胞保水能力,保护生物膜免受破坏。本研究结果表明,3 种外源激素均可以显著降低干旱胁迫及复水下大豆叶片有害物质 MDA 和过氧化氢含量,并且 ABA 的作用效果高于 SA 和 JA;同时,外源激素还能提高干旱胁迫过程中保护性物质可溶性糖和可溶性蛋白含量,大体上仍表现为 ABA 的作用效果高于 SA 和 JA,从而降低干旱胁迫对大豆机体的损害程度。就形态指标来看,3 种外源激素均减轻了干旱胁迫对大豆株高、叶、茎、根鲜重和干重的抑制作用,其中 JA 对干旱敏感型品种黑农 65 株高、器官鲜、干重的

促进效果较好,而 SA 对抗旱品种抗线虫 9 号的促进效果好于 ABA 和 JA。3 种外源激素均可降低干旱胁迫导致的大豆落花率,其中 SA 的作用效果好于 ABA 和 SA。总体来看,外源 ABA、SA、JA 对于旱胁迫下大豆生长的对于旱敏感型品种的促进效果较抗旱品种更明显。

参考文献

[1] Araus J L, Slafer G A, Reynolds M P, et al. Plant breeding and drought in C3 cereals; What should we breed for? [J]. Annals of Botany, 2002, 89(7):925-940.

[2] 高中超,周宝库,张喜林. 大豆对于旱胁迫生理生化的响应[J]. 大豆通报, 2007, 5: 27-30. (Gao Z C, Zhou B K, Zhang X L. The physiology and biochemistry reaction of soybean to drought stress[J]. Soybean Bulletin, 2007, 5: 27-30.)

[3] Bari R, Jones J D G. Role of hormones in plant defense responses [J]. Plant Molecular Biology, 2009, 69: 473-488.

[4] Huang D, Wu W, Abrams S R, et al. The relationship of drought-related gene expression in *Arabidopsis thaliana* to hormonal and environmental factors[J]. Journal of Experimental Botany, 2008, 11: 2991-3007.

[5] Lu S Y, Su W, Li H H, et al. Absciscic acid improves drought tolerance of triploid bermudagrass and involves H₂O₂- and NO - induced antioxidant enzyme activities [J]. Plant Physiology Biochemistry, 2009, 47: 132-138.

[6] Hayat Q, Hayat S, Irfan M, et al. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review[J]. Environmental and Experimental Botany, 2010, 8: 14-25.

[7] Horváth E, Szalai G, Janda T. Induction of abiotic stress tolerance by salicylic acid signaling[J] Journal of Plant Growth Regulation, 2007, 26: 290-300.

[8] Kadioglu A, Saruhan N, Saglam A, et al. Exogenous salicylic acid alleviates effects of long term drought stress and delays leaf rolling by inducing antioxidant system[J]. Plant Growth Regulation, 2010, 64: 27-37.

[9] Ai L, Li Z H, Xie Z X, et al. Coronatine alleviates polyethylene glycol-induced water stress in two rice (*Oryza sativa* L.) cultivars [J]. Journal of Agronomy and Crop Science, 2008, 194: 360-368.

[10] Pedranzani H, Racagni G, Alemano S, et al. Salt tolerant tomato plants show increased levels of jasmonic acid[J]. Plant Growth Regulation, 2003, 41: 149-158.

[11] Wu C Y, Anthony T, Parthiban R, et al. Brassinosteroids regulate grain filling in rice[J]. The Plant Cell, 2008, 120: 2130-2145.

[12] Rita S C, Vrinda S T. Relationship between gibberellic acid and growth parameters in developing seed and pod of pigeon pea[J]. The Brazilian Journal of Plant Physiology, 2007, 19(1): 43-51.

[13] Ibrahim M H, Jaafar H Z. Primary, secondary metabolites, H₂O₂, malondialdehyde and photosynthetic responses of orthosiphon stimaneus benth. To different irradiance levels[J]. Molecules, 2012, 17, 1159-1176.

[14] 周博如,李永镐,刘太国,等. 不同抗性的大豆品种接种大豆细菌性疫病菌后可溶性蛋白、总糖含量变化的研究[J]. 大豆科学, 2000, 19(2): 111-114. (Zhou B R, Li Y G, Liu T G. Studies on the changes of soluble protein and total sugar in the first leaves of soybean varieties inoculated with *Pseudomonas syringes* pv. *glycinea*[J]. Soybean Science, 2000, 19(2):111-114.)

[15] 路阳. 用考马斯亮蓝 G-250 迅速地测定蛋白质浓度[J]. 生物学杂志, 1992(1): 24-25. (Lu Y. Quick measure of protein concentration with coomassie brilliant blue G-250[J]. Journal of Biology, 1992(1): 24-25.)

[16] 王敏,张从宇,马同富,等. 大豆品种苗期抗旱性研究[J]. 中国油料作物学报, 2004, 26(3): 29-32. (Wang M, Ma C Y, Ma T F, et al. Studies on the drought resistance of seedling in soybean[J]. Chinese Journal of Oil Crop Scieives, 2004, 26(3): 29-32.)

[17] Farooq M, Wahid A, Lee D J, et al. Comparative time course action of the foliar applied glycinebetaine, salicylic acid, nitrous oxide, brassinosteroids and spermine in improving drought resistance of rice[J]. Journal of Agronomy and Crop Science, 2010, 196: 336-345.

[18] Noctor G, Veljovic-Jovanovic S D, Driscoll S, et al. Drought and oxidative load in wheat leaves. A predominant role for photorespiration? [J]. Annals of Botany, 2002, 89, 841-850.

[19] 赵江涛,李晓峰,李航,等. 可溶性糖在高等植物代谢调节中的生理作用[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(24): 6423-6425. (Zhao J T, Li X F, Li H, et al. The physiological function of soluble sugar metabolic regulation in higher plants[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2006, 34(24): 6423-6425.)