

# 水杨酸和油菜素内酯对花椰菜幼苗生长及抗旱性的影响

吴晓丽<sup>1,2</sup>, 罗立津<sup>1,3</sup>, 黄丽岚<sup>1</sup>, 杨秀红<sup>4</sup>, 吴慧玲<sup>5</sup>

(1. 中国农业大学农学与生物技术学院, 北京 100193; 2. 中国科学技术协会学会服务中心, 北京 100081;

3. 福建超大现代农业科技研究所, 福建 福州 350003; 4. 大庆市农业技术推广中心, 黑龙江 大庆 163411;

5. 中国农业大学生物学院, 北京 100193)

**摘要:** 为了探讨外源水杨酸(SA)、油菜素内酯(BR)对花椰菜幼苗生长及抗旱性的影响,以花椰菜品种雪峰为材料,采用盆栽法,于幼苗第4片真叶展开时,分别喷施不同浓度SA和BR溶液,并进行干旱胁迫,清水处理为对照。结果表明,一定浓度的SA、BR处理均可提高壮苗指数、地上部干物质含量、根冠比及净光合速率、气孔导度、蒸腾速率和叶绿素含量,促进壮苗的形成,改善生长状况,但对胞间CO<sub>2</sub>浓度无作用。干旱胁迫下,50 mg/L SA和0.01 mg/L BR可以有效减缓干旱胁迫后的花椰菜幼苗叶片可溶性蛋白质含量下降趋势,提高超氧化物歧化酶(SOD)活性,降低过氧化物酶(POD)活性,减缓脯氨酸(Pro)和丙二醛(MDA)的积累,在一定程度上减轻干旱胁迫对花椰菜幼苗造成的伤害。本试验条件下,SA和BR最适宜的喷施浓度分别是50 mg/L和0.01 mg/L。

**关键词:** 水杨酸;油菜素内酯;花椰菜;抗旱性

**中图分类号:** S635.3; S482.8

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-7601(2011)02-0168-05

近年来,随着全球环境的恶化,各种灾害性天气频繁出现,给农业生产造成了巨大的损失,寻求简单有效的防御手段非常必要。而化学控制技术是一种有效的简便易行的方法。通过激素类化合物等信号物质诱导基因表达,特别是诱导抗性基因的表达,使植物适应逆境生存的研究,已有不少报道<sup>[1,2]</sup>。关于水杨酸(SA)和油菜素内酯(BR)能抗病<sup>[3]</sup>、抗热<sup>[4,5]</sup>、抗冷<sup>[6,7]</sup>和抗旱<sup>[8,9]</sup>等的报道已有很多,认为其是提高植物抗逆性的信号分子<sup>[10,11]</sup>。外源水杨酸和油菜素内酯的获得非常容易,且无毒廉价。目前对SA和BR的研究主要集中在生理效应、植物体内的运转与分布以及一些作用机制,且大多在抗病方面<sup>[2]</sup>,而对其提高花椰菜幼苗的干旱适应能力方面还未见报道。为此,本研究采用盆栽干旱模拟试验,探讨外源SA、BR对花椰菜幼苗壮苗的形成和抗旱能力的影响,为SA、BR诱导植物抗旱性机理研究及其在花椰菜上的推广应用提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料

花椰菜品种:雪峰(天津市科润蔬菜研究所)。药剂:水杨酸(Sigma公司),油菜素内酯(云大科技股份有限公司)。

### 1.2 方法

花椰菜种子放入75%的乙醇浸种10 min,然后用蒸馏水冲洗数次,播种于黑色(12 cm × 12 cm)育苗钵中。盆栽土壤为草炭土、菜园土和蛭石(1:1:1体积比)混合而成。

#### 1.2.1 SA和BR对花椰菜幼苗生长的影响试验

当幼苗第4片真叶展开时,分别以5、50、100 mg/L的SA溶液和0.0001、0.01、0.1 mg/L的BR溶液喷洒叶面,连续喷2 d。清水处理为对照。各处理设置10次重复。喷洒后第17天测定幼苗的各项生长指标。

#### 1.2.2 干旱胁迫试验

在1.2.1试验基础上,当幼苗第4片真叶展开时,进行干旱胁迫处理。将叶片相对含水量(RWC)维持在55%~65%。正常生长的叶片相对含水量为85%~90%。以正常供水为对照(CK<sup>0</sup>)。在干旱处理的同时,分别用浓度为5、50 mg/L的SA溶液和0.01、0.0001 mg/L的BR溶液喷洒叶面,连续喷2 d。喷等量清水为干旱胁迫对照(CK<sup>1</sup>)。各处理重复3次。分别在连续干旱的第16天采样,采样时间为上午8:00~10:00。以完全展开的第5片或第6片叶作为生理生化分析样品。取样后立即用液氮快速冷冻30 min,然后再转移到-40℃的低温冰箱中保存、备测。

收稿日期:2010-10-09

作者简介:吴晓丽(1977-),女,山东东明人,博士,主要从事蔬菜抗病机制及其利用研究。E-mail: wuxiaoli@cau.edu.cn

通讯作者:吴慧玲(1980-),女,内蒙古巴彦淖尔人,博士后,主要从事作物化学控制研究。E-mail: whlhappy925@sohu.com

### 1.3 测定方法

1.3.1 幼苗生长指标的测定 取各处理的完整植株分别用自来水、蒸馏水冲洗干净,滤纸吸干,分成地上部和地下部两部分,称重,即地上部鲜重和地下部鲜重。随后将其放置 105℃ 鼓风干燥箱中杀青 15 min 后,80℃ 烘 24 h 至恒重后称重(即干重)。株高和植株茎粗分别用直尺和游标卡尺测定。

1.3.2 光合特性参数和叶绿素含量测定 用便携式光合测定仪(LI-6400,LI-COR Inc.,Lincoln,NE)测定叶片净光合速率、气孔导度、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度和蒸腾速率;用叶绿素测定仪(SPDA-502 型,日本美能达公司)测定上部叶片叶绿素含量(单位为 SPDA)。

1.3.3 生理生化分析 酶液提取方法参照 Beauchamp 等所述方法<sup>[12]</sup>;可溶性蛋白质含量按考马斯亮蓝 G-250 染色法 Bradford<sup>[13]</sup>进行测定,以牛血清蛋白为标准蛋白作标准曲线;超氧化物歧化酶(SOD)活性采用 NBT 光还原法<sup>[12]</sup>;过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚氧化法<sup>[14]</sup>;丙二醛(MDA)含量采用 TBA 比色法<sup>[15]</sup>;脯氨酸(Pro)含量采用磺基水杨酸比色法<sup>[16]</sup>。

1.3.4 统计分析 上述指标均重复 3 次取样测定,取平均数用 SAS V8 软件做统计分析(SAS Institute, Cary,NC)。

## 2 结果与分析

### 2.1 外源 SA 和 BR 对花椰菜幼苗生长的影响

2.1.1 对花椰菜幼苗形态性状的影响 反映幼苗生长状态有多种指标,如壮苗指数、地上部干物质含量、根冠比等。从表 1 可以看出,SA 和 BR 处理的植株的壮苗指数、地上部干物质含量、根冠比均高于未经 SA 和 BR 处理的对照幼苗,尤以 SA 处理的效果最佳。与对照比较,50、100 mg/L SA 处理的幼苗,各指标均达到显著差异,且以浓度为 50 mg/L 时各指标增加最为显著,增幅分别为 80.84%、19.96%、111.68%。与对照比较,BR 处理的幼苗地上部干物质含量、根冠比也均达到显著差异,壮苗指数虽没有达到显著差异,但还是比对照稍高。BR 浓度为 0.01 mg/L 时,各指标达到最大值。这表明,外源 SA 和 BR 溶液处理可以改善花椰菜幼苗的生长状况,对形成壮苗有积极的促进作用。

表 1 SA 和 BR 对花椰菜幼苗形态性状的影响

Table 1 Effect of SA and BR on morphological characters of cauliflower seedlings

处理 Treatment	浓度 Concentration (mg/L)	壮苗指数 Index of high quality seedling		地上部干物重 DW-FW percent of top		根冠比 Root-shoot ratio	
		平均值 Average	增幅(%) Increase	平均值 Average	增幅(%) Increase	平均值 Average	增幅(%) Increase
CK	0	0.079 <sub>e</sub>	0.00	0.076 <sub>e</sub>	0.00	0.045 <sub>f</sub>	0.00
	5	0.097 <sub>cb</sub>	22.97	0.085 <sub>e</sub>	11.03	0.074 <sub>c</sub>	64.09
SA	50	0.142 <sub>a</sub>	80.84	0.091 <sub>a</sub>	19.96	0.096 <sub>b</sub>	111.68
	100	0.102 <sub>b</sub>	30.35	0.087 <sub>b</sub>	14.47	0.097 <sub>a</sub>	115.34
BR	0.0001	0.082 <sub>cb</sub>	4.33	0.081 <sub>d</sub>	6.22	0.054 <sub>e</sub>	19.39
	0.01	0.103 <sub>cb</sub>	31.33	0.090 <sub>a</sub>	17.83	0.056 <sub>d</sub>	24.66
	0.1	0.084 <sub>cb</sub>	6.35	0.077 <sub>e</sub>	0.79	0.053 <sub>e</sub>	17.97

注:(1) 壮苗指数=茎粗/株高×地上部干物重;(2) 地上部干物质含量(%)=地上部干重/地上部鲜重×100;(3) 根冠比=地下部鲜重/地上部鲜重;(4) 同列数据后标有不同小写字母表示 0.05 水平的显著性,下同。

Notes: (1) Index of high quality seedling=stem diameter/plant height×top DW;(2) DW-FW percent of top(%)=top DW/top FW×100;(3) Root-shoot ratio=root FW/shoot FW;(4) Different letters attached to the values in the same column indicate significant difference at 0.05 level, and they are the same in the follows.

2.1.2 对花椰菜幼苗光合性状和叶绿素含量的影响 从表 2 可知,外源 SA 和 BR 溶液处理花椰菜幼苗,除了 0.1 mg/L BR 处理,其他处理均能有效地改善花椰菜幼苗光合作用和提高叶绿素含量。其中浓度为 50 mg/L SA 时,净光合速率、气孔导度、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度、蒸腾速率和叶绿素含量均达到最大值,只有胞间 CO<sub>2</sub> 浓度与对照无显著差异。而 BR 各处理

的净光合速率和蒸腾速率虽然与对照无显著差异,但仍然比对照稍高,而浓度为 0.01 mg/L BR 处理的气孔导度和叶绿素含量则显著高于对照。胞间 CO<sub>2</sub> 浓度与对照也无显著差异。这表明,外源 SA 和 BR 处理能够提高花椰菜净光合速率、气孔导度、蒸腾速率和叶绿素含量。其中以 50 mg/L SA, 0.01 mg/L BR 浓度较合适。

表 2 SA 和 BR 对花椰菜幼苗光合性状和叶绿素含量的影响

Table 2 Effect of SA and BR on photosynthesis character and chlorophyll content of cauliflower seedlings

处理 Treatment	浓度 Concentration (mg/L)	净光合速率 Photosynthetic rate [ $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]	气孔导度 Stomatal conductance [ $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]	胞间 $\text{CO}_2$ 浓度 Intercellular $\text{CO}_2$ concentration ( $\mu\text{mol}/\text{mol}$ )	蒸腾速率 Transpiration rate [ $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]	叶绿素 Chlorophyll (SPAD)
CK	0	19.17 <sub>b</sub>	0.36 <sub>c</sub>	255.00 <sub>a</sub>	7.68 <sub>b</sub>	54.97 <sub>c</sub>
	5	20.60 <sub>ba</sub>	0.42 <sub>ba</sub>	260.75 <sub>a</sub>	8.46 <sub>ba</sub>	58.75 <sub>bc</sub>
SA	50	21.83 <sub>ba</sub>	0.48 <sub>a</sub>	267.75 <sub>a</sub>	9.54 <sub>a</sub>	60.08 <sub>ba</sub>
	100	20.88 <sub>ba</sub>	0.44 <sub>ba</sub>	264.00 <sub>a</sub>	8.42 <sub>ba</sub>	57.87 <sub>bc</sub>
BR	0.0001	20.27 <sub>ba</sub>	0.41 <sub>ba</sub>	259.33 <sub>a</sub>	8.07 <sub>ba</sub>	56.77 <sub>bc</sub>
	0.01	20.87 <sub>ba</sub>	0.41 <sub>ba</sub>	253.33 <sub>a</sub>	8.09 <sub>ba</sub>	65.30 <sub>a</sub>
	0.1	18.30 <sub>b</sub>	0.22 <sub>c</sub>	204.33 <sub>b</sub>	5.42 <sub>c</sub>	60.70 <sub>bac</sub>

## 2.2 外源 SA 和 BR 抗干旱胁迫的生理效应

2.2.1 对叶片可溶性蛋白质含量的影响 水分胁迫抑制植物对氮素的吸收、硝酸盐还原和蛋白质的合成,促进蛋白质分解,植物体蛋白质含量下降<sup>[8]</sup>。由表 3 可以看出,花椰菜幼苗受到干旱胁迫时,没有 SA 和 BR 处理(CK<sup>1</sup>)的叶片可溶性蛋白质含量比对照(CK<sup>0</sup>, 未经干旱胁迫)显著降低,大约下降 21.67%,但经浓度为 5、50 mg/L SA 处理的植株较对照 CK<sup>0</sup> 分别显著下降 9.56% 和 10.01%;而经浓度为 0.0001、0.01 mg/L BR 处理后的花椰菜幼苗叶片可溶性蛋白质含量与对照 CK<sup>0</sup> 无显著差异,但是比 CK<sup>1</sup> 显著增加。这表明,SA 和 BR 处理可以显著减缓经干旱胁迫后的花椰菜幼苗叶片可溶性蛋白质含量的下降趋势。

### 2.2.2 对叶片超氧化物歧化酶(SOD)活性的影响

SOD 是活性氧清除系统中第一个发挥作用的抗氧化酶,存在于细胞内各个部位,可以有效地清除细胞内氧化还原反应中的超氧阴离子。由表 3 可知,花椰菜幼苗在受到干旱胁迫时,没有 SA 和 BR 处理的叶片(CK<sup>1</sup>)SOD 活性比对照 CK<sup>0</sup> 显著下降;经 SA 和 BR 处理的叶片 SOD 活性比 CK<sup>1</sup> 显著增加,其中浓度为 50 mg/L 的 SA 和浓度为 0.01 mg/L BR 处理后的叶片 SOD 活性增加幅度较大,分别为 17.16% 和 28.44%;除了浓度为 0.01 mg/L BR 处理后的叶片 SOD 活性比 CK<sup>0</sup> 显著升高之外,其他 SA 和 BR 处理的叶片 SOD 活性与 CK<sup>0</sup> 无显著差异。这说明 SA 和 BR 处理可显著提高经干旱胁迫后的花椰菜幼苗叶片 SOD 活性。其中以浓度为 50 mg/L SA 处理和浓度为 0.01 mg/L BR 处理效果较好。

表 3 SA 和 BR 对花椰菜幼苗主要抗旱生理指标的影响

Table 3 Effect of SA and BR on main physiological indexes of drought resistance of cauliflower seedlings

处理 Treatment	浓度 Concentration (mg/L)	可溶性蛋白质 Soluble protein (mg/g)	SOD 活性 SOD activity [U/(g·min)]	POD 活性 POD activity [U/(g·min)]	脯氨酸 Free proline (ng/g)	丙二醛 MDA ( $\mu\text{mol}/\text{g}$ )
CK <sup>0</sup>	0	79.42 <sub>a</sub>	7.94 <sub>b</sub>	73.72 <sub>d</sub>	21.13 <sub>b</sub>	1.98 <sub>b</sub>
CK <sup>1</sup>	0	62.21 <sub>c</sub>	6.82 <sub>c</sub>	89.02 <sub>a</sub>	40.33 <sub>a</sub>	4.24 <sub>a</sub>
	5	71.83 <sub>b</sub>	7.55 <sub>b</sub>	80.37 <sub>c</sub>	20.44 <sub>b</sub>	2.87 <sub>ba</sub>
SA	50	71.47 <sub>b</sub>	7.99 <sub>b</sub>	84.61 <sub>b</sub>	28.17 <sub>b</sub>	2.21 <sub>b</sub>
	0.0001	81.59 <sub>a</sub>	7.51 <sub>b</sub>	74.01 <sub>d</sub>	22.23 <sub>b</sub>	3.38 <sub>ba</sub>
BR	0.01	76.79 <sub>a</sub>	8.76 <sub>a</sub>	83.28 <sub>cb</sub>	28.27 <sub>b</sub>	2.35 <sub>b</sub>

2.2.3 对叶片过氧化物酶(POD)活性的影响 POD 也是细胞内清除活性氧酶系统的重要酶,可减轻过氧化氢积累的伤害。由表 3 可以看出,花椰菜幼苗受到干旱胁迫时,没有 SA 和 BR 处理的叶片(CK<sup>1</sup>) POD 活性比对照 CK<sup>0</sup> 显著升高,经 SA 和 BR 处理后的叶片 POD 活性比 CK<sup>0</sup> 显著升高,但是与 CK<sup>1</sup> 相

比,则显著降低。这说明,SA 和 BR 处理可以显著降低经干旱胁迫后的花椰菜幼苗叶片 POD 活性。

2.2.4 对叶片游离脯氨酸(Pro)含量和丙二醛(MDA)含量的影响 生物体内的 Pro 具有极强的水合能力,对植物的渗透调节起重要的作用。MDA 是膜酯过氧化产物,对酶和膜具有毒害作用,是反映膜

脂过氧化程度最为直接的指标。由表3可以看出,花椰菜幼苗在受到干旱胁迫时,没有SA和BR处理的叶片(CK1)Pro含量和MDA含量大量积累,而经SA和BR处理后的叶片Pro含量和MDA含量则显著低于CK1,其中以浓度为50 mg/L SA和浓度为0.01 mg/L BR处理效果较好。这表明,SA和BR处理可以显著减缓经干旱胁迫后的花椰菜幼苗叶片Pro含量和MDA含量的积累。

### 3 讨论

防止幼苗徒长和培育壮苗是实现蔬菜早熟高产的基础。植物生长调节剂类物质的应用为控制秧苗徒长和培育壮苗提供了一种简便、快速、有效的途径。花椰菜幼苗健壮与否,是关系花椰菜植株在整个苗期能否抵御外界不良环境条件的重要因素之一,同时也影响到整个生育期的生长发育状况乃至最后的产量,健壮的幼苗可为二者奠定良好的基础。试验结果表明,SA和BR可以改善花椰菜幼苗的生长状况。浓度为50 mg/L SA处理显著提高幼苗的壮苗指数,地上部干物质含量、根冠比,净光合速率、气孔导度、蒸腾速率和叶绿素含量,促进壮苗的形成,在一定程度上可抵御干旱胁迫产生的伤害。这分别与孙艳等<sup>[17]</sup>,Braun等<sup>[18]</sup>研究结果类似。从本试验结果还可以看出,浓度为50 mg/L SA提高花椰菜幼苗的光合速率与提高叶绿素含量和气孔导度有关。这与Ananiera等<sup>[19]</sup>的观点类似,而王利军等则认为SA提高柑桔叶片较高的光合速率主要是保护光合系统受到更少的伤害<sup>[2]</sup>。

在正常条件下,植物叶片中可溶性蛋白质含量相对稳定,在细胞水分亏缺情况下,高含量的可溶性蛋白质可以帮助维持植物细胞较低的渗透势。从本试验的结果来看,SA和BR处理可显著减缓经干旱胁迫后的花椰菜幼苗叶片可溶性蛋白质含量的下降。这与其他研究者的试验结果类似<sup>[20]</sup>。

在水分胁迫下,植物细胞受到一定伤害,体内自由基的产生和清除的平衡关系受到破坏而出现自由基的积累并由此引发或加剧细胞的膜脂过氧化,并进一步导致细胞功能的损伤和衰老及生物大分子的分解,因此,干旱引起体内细胞自由基的积累及其膜脂过氧化是导致植物受干旱伤害的重要原因。所以,清除植物体内自由基、减轻细胞膜脂过氧化在抗旱实际中具有重要意义<sup>[8]</sup>。本试验结果表明,在干旱胁迫下,SA和BR处理可显著提高椰菜幼苗植株体内SOD活性,减缓花椰菜体内MDA积累,减轻了活性氧引起膜脂过氧化,从而有效地保护了质膜系统。

这与其他研究者的结果<sup>[21,22]</sup>类似。对于POD活性与抗旱性的关系,许多研究<sup>[23]</sup>表明,干旱胁迫处理后植株体内的POD活性升高,这与本试验结果一致。但是,本试验结果还表明,SA和BR处理可以显著降低经干旱胁迫后的花椰菜幼苗叶片POD活性,这说明在干旱胁迫下,随着胁迫时间的延长,SA和BR处理对花椰菜幼苗叶片活性氧防御酶系统中的POD活性表现出抑制作用。

Pro是水合力较强的氨基酸,在干旱胁迫植物过程中,能作为防脱水剂保护植物。Pro含量增加,有助于细胞或组织持水,增强植物对不良环境的抵抗力。大部分研究认为,干旱胁迫后,游离Pro含量迅速提高<sup>[24]</sup>,但是也有许多研究者认为游离Pro和膜质过氧化产物的增加是植株干旱受伤的敏感指标。也就是说,在长期干旱胁迫下,Pro含量和MDA含量的增加是植物伤害的结果<sup>[25]</sup>。本试验结果表明,SA和BR处理可以显著减缓经干旱胁迫后的花椰菜幼苗叶片Pro含量和MDA含量的积累,这说明经过SA和BR处理后的植株,随着干旱时间的延长,植株受到的伤害减轻。这与其他研究者的试验结果既有类似之处<sup>[26,27]</sup>,也有不同之处<sup>[24]</sup>。

### 4 结论

外源SA和BR能够有效地改善花椰菜幼苗生长状况,对壮苗的形成起到积极促进作用。SA和BR处理在一定程度上减轻干旱胁迫对花椰菜幼苗造成的伤害。尽管SA和BR是两种不同的化合物,但是它们在减缓可溶性蛋白质含量的下降,减轻膜质过氧化作用,稳定膜系统的结构和功能,维持较高的保护酶活性,调节细胞内生理环境,增强花椰菜幼苗的抗旱性等方面有类似的生理效应。本试验条件下,SA和BR最适宜的喷施浓度分别是50 mg/L的和0.01 mg/L。

### 参考文献:

- [1] Chandler P M, Robertson M. Annual review of plant physiology [J]. *Plant Molecular Biology*, 1994, 45: 113—141.
- [2] 王利军,李家承,刘允芬,等. 高温干旱胁迫下水杨酸和钙对柑橘光合作用和叶绿素荧光的影响 [J]. *中国农学通报*, 2003, 19(5): 185—189.
- [3] 范文艳,姜述君. 植物抗病性及抗病信号转导的研究进展 [J]. *中国农学通报*, 2005, 21(2): 249—252.
- [4] 孙艳,王鹏. 水杨酸对黄瓜幼苗抗高温胁迫能力的影响 [J]. *西北植物学报*, 2003, 23(11): 2011—2013.
- [5] 朱诚,曾广文,刘非燕. 表油菜素内酯对黄瓜幼苗热激忍耐和抗氧化代谢的关系 [J]. *浙江农业大学学报*, 1996, 22(3): 284—288.

- [6] 康国章, 欧志英, 王正询, 等. 水杨酸诱导提高香蕉幼苗耐寒性的机制研究[J]. 园艺学报, 2003, 30(2): 141—146.
- [7] 周天, 周晓梅, 胡勇军, 等. 油菜素内酯对玉米幼苗抗冷性的影响[J]. 吉林师范大学学报(自然科学版), 2004, 25(1): 6—8.
- [8] 姜中珠, 陈祥伟. 水杨酸对灌木幼苗抗旱性的影响[J]. 水土保持学报, 2004, 18(2): 166—185.
- [9] 吴少华. BR 和 KT 对草莓抗旱性的影响[J]. 福建农业学报, 2001, 16(2): 56—58.
- [10] Luo J P, Jiang S T, Pan L J. Enhanced somatic embryogenesis by salicylic acid of *Astragalus adsurgens* sp.: relationship with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> production and metabolizing enzyme activities [J]. *Plant Science*, 2001, 161: 125—132.
- [11] 冷佳奕, 叶庆生, 李玲. 植物体中油菜素内酯的信号转导[J]. 植物生理学通讯, 2002, 38(1): 67—71.
- [12] Beauchamp C, Fridovich J. Superoxide dismutase: improved assays and assay applicable to polyacrylamide gels[J]. *Analytical Biochemistry*, 1971, 44: 276—287.
- [13] Bradford M M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein—dye-binding[J]. *Analytical Biochemistry*, 1976, 72: 248—254.
- [14] Nakno Y, Asada K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate—specific peroxidase in spinach chloroplasts[J]. *Plant Cell Physiology*, 1981, 22: 867—871.
- [15] Dhindsa R S, Plumb—Dhindsa P, Thorpe T A. Leaf senescence: Correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation and decreased levels of superoxide dismutase and catalase [J]. *Journal of Experimental Botany*, 1981, 32: 93—101.
- [16] 张殿忠, 汪沛洪, 赵会贤. 测定小麦叶片游离脯氨酸含量的方法[J]. 植物生理学通讯, 1991, 27(4): 62—65.
- [17] 孙艳, 崔鸿文, 胡荣. 水杨酸对黄瓜幼苗壮苗的形成及抗低温胁迫能力的生理效应[J]. 西北植物学报, 2000, 20(4): 616—620.
- [18] Braun P, Wild A. The influence of brassinosteroid on growth and parameters of photosynthesis of wheat and mustard plants[J]. *Journal of Plant Physiology*, 1984, 116: 189—196.
- [19] Ananiera E A, Alexieva V S, Popova L P. Treatment with salicylic acid decreases the effects of paraquat on photosynthesis[J]. *Journal of Plant Physiology*, 2002, 159(7): 685—693.
- [20] 黄建昌, 肖艳, 赵春香, 等. 干旱胁迫下 PP<sub>33</sub> 预处理对黄皮生理反应的影响[J]. 果树学报, 2004, 21(5): 488—490.
- [21] 郭丽红, 王定康, 杨晓红, 等. 外源乙烯利对干旱胁迫过程中玉米幼苗某些抗逆生理指标的影响[J]. 云南大学学报, 2004, 26(4): 352—356.
- [22] 董登峰, 江立庚, 聂呈荣, 等. TS303 和 PDJ 对花生幼苗抗旱能力的影响[J]. 花生学报, 2002, 31(3): 29—32.
- [23] 李明, 王根轩. 干旱胁迫对甘草幼苗保护酶活性及脂质过氧化作用的影响[J]. 生态学报, 2002, 22(4): 503—507.
- [24] 张正斌, 山仑. 作物生理抗逆性的若干共同机理研究进展[J]. 作物杂志, 1997, (4): 10—12.
- [25] 沈元月, 黄丛林, 张秀海, 等. 植物抗旱的分子机制研究[J]. 中国生态农业学报, 2002, 10(1): 30—34.
- [26] 刘娥娥, 宗会, 郭振飞, 等. 干旱、盐和低温胁迫对水稻幼苗脯氨酸含量的影响[J]. 热带亚热带植物学报, 2000, 8(3): 235—238.
- [27] Todorov D, Alexieva V, Karanov E. Effect of Putrescine, 4—PU—30, and Abscisic Acid on Maize plants grown under normal, drought, and rewatering conditions [J]. *Journal of Plant Growth Regulation*, 1998, 17: 197—203.

## Effect of salicylic acid (SA) and brassinolide (BR) on growth and drought resistance of cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis*) seedlings

WU Xiao-li<sup>1,2</sup>, LUO Li-jin<sup>1,3</sup>, HUANG Li-lan<sup>1</sup>, YANG Xiu-hong<sup>4</sup>, WU Hui-ling<sup>5</sup>

(1. College of Agriculture and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 2. Service Center for Societies of China Association for Science and Technology, Beijing 100081, China; 3. Fujian Chaoda Modern Agriculture Technology Research Institute, Fuzhou, Fujian 350003, China; 4. Daqing Agricultural Technology Extension Center, Daqing, Heilongjiang 163411, China; 5. College of Biological Science, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

**Abstract:** In order to discuss the effect of salicylic acid (SA) and brassinolide (BR) on growth and drought resistance of cauliflower seedlings, the cauliflower cultivar, Xuefeng was used as the material, different concentrations of SA and BR were applied to the whole seedlings by foliar spray when the fourth true leaves were expanded fully and treated with drought stress in pot experiment, with sterile deionized water alone as control. The results showed that SA and BR increased the index of high quality seedlings, DW—FW percent of top, root—shoot ratio, photosynthetic rate, stomatal conductance, transpiration rate and chlorophyll content and promoted high quality seedling forming of cauliflower seedlings, but had no effect on intercellular CO<sub>2</sub> concentration. The SA concentration with the best effect was 50 mg/L and BR was at 0.01 mg/L. Under drought stress, 50 mg/L SA and 0.01 mg/L BR obviously alleviated the decline of soluble protein content, increased SOD activity, decreased POD activity, and alleviated the accumulation of proline and MDA in cauliflower seedlings' leaves. It was concluded that application of exogenous SA and BR could improve growth status of cauliflower seedlings and alleviate the cauliflower damage by drought stress to some extent, and the 50 mg/L SA and 0.01 mg/L BR were the optimal concentration for cauliflower seedlings under this experimental condition.

**Keywords:** salicylic acid; brassinolide; cauliflower; drought stress