

### 3 种外源植物生长调节剂对干旱胁迫下烟草生理的影响

仲晓君<sup>1,2</sup>, 李 强<sup>2,3</sup>, 周喜新<sup>1,2\*</sup>, 刘俊龙<sup>4</sup>, 李明昌<sup>5</sup>, 程昌新<sup>6</sup>

- (1. 湖南农业大学生物科技学院, 长沙 410128; 2. 湖南农业大学烟草研究院, 长沙 410128;  
3. 湖南农业大学食品科学技术学院, 长沙 410128; 4. 湖南农业大学农学院, 长沙 410128;  
5. 云南省烟草公司曲靖市公司, 曲靖 655000; 6. 红云红河烟草(集团)有限责任公司, 昆明 650231)

**摘要:** 以 K326 品种烤烟为试验材料, 采用盆栽试验研究干旱胁迫下烤烟生长与生理状况, 以及喷施水杨酸、甜菜碱和氯化胆碱对烤烟抗氧化代谢影响。结果表明, 干旱胁迫抑制烤烟正常生长, 烟株矮小, 有效叶片数目少, 茎干瘦弱, 叶长变短及叶宽变窄。喷施植物生长调节剂可以缓解干旱胁迫症状, 喷施氯化胆碱能有效增加株高、最大叶长、有效叶片数, 提高烟株干重、丙二醛(MDA)含量、脯氨酸含量及超氧化物歧化酶(SOD)活性; 喷施甜菜碱对过氧化氢酶(CAT)活性有较好调节效应; 喷施水杨酸能显著提高过氧化物酶(POD)活性, 提高烤烟茎围和最大叶宽。综上所述, 植物生长调节剂能提高烟株耐旱性, 增强烟株对干旱环境适应性, 其中以喷施氯化胆碱效果最佳。

**关键词:** 烤烟; 干旱胁迫; 水杨酸; 甜菜碱; 氯化胆碱

中图分类号: S572

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X(2017)06-1139-05

### Effects of three exogenous plant growth regulators on tobacco physiology under drought stress

ZHONG Xiaojun<sup>1,2</sup>, LI Qiang<sup>2,3</sup>, ZHOU Xixin<sup>1,2</sup>, LIU Junlong<sup>4</sup>, LI Mingchang<sup>5</sup>, CHENG Changxin<sup>6</sup>

- (1. College of Bioscience and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128;  
2. Institute of Tobacco, Hunan Agricultural University, Changsha 410128;  
3. College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128;  
4. College of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha 410128;  
5. Yunnan Province Tobacco Company Qujing branch, Qujing 655000;  
6. Hongyun Honghe Tobacco(Group)Co.,Ltd, Kunming 650231)

**Abstract:** The effects of salicylic acid, glycine betaine and choline chloride on the antioxidant metabolism of flue-cured tobacco were studied using a pot experiment. The growth and physiological indexes of flue-cured tobacco cultivar K326 under drought stress were studied. The results showed that drought stress inhibited the normal growth as the tobacco plants were shorter, the number of effective leaves were lessen, the stem was thinner, and the leaf length became shorter and the leaf width became narrower compared with the control. Spraying plant growth regulators could relieve the drought stress symptoms. For example, spraying choline chloride effectively increased the dry weight, MDA content, free proline content, SOD activity and it also effectively increased the plant height, the maximum leaf length and effective leaf number. Glycine betaine had a good regulatory effect on CAT activity. Spraying salicylic acid significantly increased POD activity, raised stem thickness and maximum leaf width. In summary, plant growth regulators can improve the drought tolerance of tobacco plants, and enhance the adaptability of tobacco plants to drought environment and choline chloride showed the best effect.

**Key words:** flue-cured; drought stress; salicylic acid; glycine betaine; choline chloride

烟草是中国重要的经济作物之一, 只有在适宜的温光水气候条件下, 才能满足其正常生长。在烟

草旺长期是需水关键时期, 耗水量最大。干旱是中国最为严重的自然灾害之一, 严重影响中国经济的

收稿日期: 2017-03-13

基金项目: 云南省烟草公司项目“曲靖市精益烟叶生产研究与应用”(2014YN24)和红云红河烟草集团项目(HYHH2016YL03)共同资助。

作者简介: 仲晓君, 硕士研究生。E-mail: 13677399447@163.com

\* 通信作者: 周喜新, 博士, 讲师。E-mail: 152924447@qq.com

健康发展, 干旱具有发生频率高、分布面积广、持续时间长以及危害性大等特点<sup>[1]</sup>。在全国种烟大省云南烟区经常发生干旱情况, 韩元元等<sup>[2]</sup>统计分析得出在 1954—2012 年间, 昆明和澜沧发生干旱的次数较多, 均为 19 次; 腾冲、临沧和蒙自分别在春季、夏季和秋季发生干旱频率较大。因此增强烟草的抗旱能力已成为烤烟生产中重点关注的环节。植物在一定程度上可调节自身来抵御不良环境, 国内外广泛研究表明渗透调节<sup>[3-4]</sup>和抗氧化系统<sup>[5-6]</sup>是植物重要的抗旱生理机制, 喷施外源物质是调节植物抗逆性的有效措施。外施甜菜碱 (glycine betaine, GB) 能被烟株吸收并积累<sup>[7]</sup>, 在逆境情况下, 喷施甜菜碱能降低细胞渗透势, 保护和维持生物大分子结构的完整性, 甜菜碱及其诱导产生的脯氨酸, 能提高干旱胁迫下叶片的抗氧化能力, 减轻过氧化损伤, 保护细胞结构<sup>[8-10]</sup>。外施氯化胆碱 (choline chloride, CC) 可在小麦幼苗体内转变成磷脂酰胆碱和甜菜碱, 前者是构成生物膜的重要成分, 能提高逆境下细胞膜流动性<sup>[11]</sup>。众多研究表明 CC 有改善作物多种生理活动, 促进幼苗生长, 增强光合能力, 提高品质等作用<sup>[12-13]</sup>。水杨酸 (salicylic acid, SA) 是植物体内普遍存在的酚类化合物<sup>[14]</sup>, 调控干旱胁迫下植物抗氧化代谢<sup>[15]</sup>。研究发现 SA 可诱导多种植物体内 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 积累而诱导发生防卫反应, 抵抗病毒、真菌及细菌性病害, 同时在种子萌发、矿质元素吸收和运输、气孔和光合速率以及渗透调节、减轻连作障碍以及改善营养与品质<sup>[16-19]</sup>等方面起着重要的生理功能。

目前 3 种植物生长调节剂广泛用于农林生产上, 外施 GB<sup>[20-22]</sup>、CC<sup>[23]</sup>和 SA<sup>[24-25]</sup>一定程度上可以缓解植物胁迫逆境, 但有关这 3 种植物生长调节剂在烤烟抗旱性方面的研究还鲜见报道。因此本试验拟采用一定浓度的甜菜碱、氯化胆碱和水杨酸喷施旺长期烟株叶面, 从烟株生长、酶活性各方面对烟草抗旱抗逆性进行研究探讨, 以期为提高烟草抗旱抗逆能力、改善烟叶品质提供基础数据和技术支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试品种为 K326, 由湖南农业大学烟草研究院提供。

### 1.2 方法

试验 2016 年在湖南农业大学烟草研究院试验基地进行。6 月上旬进行漂浮育苗, 1 个月后选取生长状态良好, 长势一致的 4 叶 1 心幼苗移栽至直径 27 cm, 高 24 cm 的塑料盆中。每盆用土 6.5 kg 红壤土,

肥料配比按氮:磷:钾=1:1:3, 氮肥和钾肥 70% 为基肥, 30% 为追肥, 磷肥在装盆时一次性施入, 经计算分别称取复合肥 (纯氮 15%; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 56%; K<sub>2</sub>O 20%) 35 g、钙镁磷肥 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ≥ 16%) 28 g、硫酸钾 (K<sub>2</sub>O ≥ 50%) 17.5 g 基肥, 与土壤充分搅拌均匀装盆, 每盆定植 1 株, 移至防雨大棚内预培养。7 月 29 日后分 3 次补施追肥, 并铺盖一层土, 此期间正常浇水。8 月 27 日烟株进入旺长期, 开始干旱处理, 经自然干旱和称重法来控制干旱, 干旱程度通过使用土壤水分测定仪测量土壤相对含水量 (土壤相对含水量 = 土壤含水量/土壤饱和含水量 × 100%) 来确定, 对照组土壤含水量保持在 (75 ± 5)%, 干旱处理组土壤含水量保持在 (55 ± 5)%。每个处理设置 10 盆, 共 80 盆, 试验处理与编号如表 1 所示, T1~T4 处理为干旱胁迫处理组; T5~T8 处理为水分正常处理组。在前期研究中, 进行了干旱胁迫下水杨酸、甜菜碱和氯化胆碱 3 种植物生长调节剂多个浓度的筛选试验, 水杨酸、甜菜碱和氯化胆碱分别在 2 mmol·L<sup>-1</sup>、20 mmol·L<sup>-1</sup>和 2.5 mmol·L<sup>-1</sup>浓度下试验效果最好。因此, 在烟株开始控水后第 1 天、达到干旱水平后的第 1 天、第 2 天和第 3 天分别选择这 3 个植物生长调节剂进行喷施处理, 喷施时间为傍晚 18:00。试剂用量为每盆 25 mL, 对照用等量清水, 均匀喷施于烟叶正反面。在喷施处理后第 10 天每个处理挖取 5 株烤烟, 取自顶端以下第 3~5 位完全展开叶, 分别测定丙二醛含量、游离脯氨酸含量、SOD、CAT 和 POD 活性。

表 1 试验处理和编号

Table 1 The test treatment and numbering

| 编号<br>No. | 土壤水分/%<br>Soil moisture | 植物生长调节剂/<br>mmol·L <sup>-1</sup><br>Plant growth regulators |
|-----------|-------------------------|---|
| T1        | 55±5                    | 清水  |
| T2        | 55±5                    | 水杨酸 2   |
| T3        | 55±5                    | 甜菜碱 20  |
| T4        | 55±5                    | 氯化胆碱 2.5  |
| T5        | 75±5                    | 清水  |
| T6        | 75±5                    | 水杨酸 2   |
| T7        | 75±5                    | 甜菜碱 20  |
| T8        | 75±5                    | 氯化胆碱 2.5  |

### 1.3 测定项目和方法

丙二醛 (MDA) 选用硫代巴比妥酸法测定<sup>[26]</sup>; 超氧化物歧化酶 (SOD) 依据 SOD 抑制氯化硝基四氮唑蓝 (NBT) 在光下的还原作用来确定酶活力大小<sup>[26]</sup>; 游离脯氨酸 (Proline) 采用酸性茚三酮显色法测定<sup>[27]</sup>; 过氧化氢酶 (CAT) 采用碘量法测定<sup>[28]</sup>; 过氧化物酶 (POD) 采用愈创木酚还原法测定<sup>[29]</sup>。

## 1.4 数据统计与分析

用 Excel2003 绘制图表和 SPSS22.0 对数据进行处理和统计分析, 以 Duncan' s 新复级法比较不同处理间的差异性。

## 2 结果与分析

### 2.1 3 种外源生长调节剂对烟草生长的影响

由表 2 可知, 干旱胁迫下的烟株矮小, 有效叶片数目少, 茎干瘦弱, 叶长变短及叶宽变窄。喷施植物生长调节剂可缓解胁迫症状, T2、T3 和 T4 处理烤烟生长均优于 T1 处理, 从所测量烤烟农艺性状指标整体来看, 干旱胁迫下喷施氯化胆碱处理较 H<sub>2</sub>O 处理在干旱胁迫下提高株高、有效叶片数、茎围、最大叶长和最大叶宽分别为: 33.32%、21.65%、12.12%、7.38% 和 6.37%, 喷施水杨酸提高茎围 14.24%, 最大叶宽 6.52%, 但从结果来看二者差异

不显著, 因此喷施氯化胆碱能有效改善烤烟农艺性状。图 1 和图 2 表明, 与正常水分处理组相比, 干旱胁迫处理下烤烟干重明显下降, 地上部降低 41.61% ( $P<0.01$ ), 地下部降低 62.40% ( $P<0.01$ ), 这表明烟株根部对水分很敏感。喷施水杨酸、甜菜碱和氯化胆碱处理后烤烟地上部干重较 H<sub>2</sub>O 处理在干旱胁迫下分别提高了 16.55% ( $P<0.01$ )、2.08% 和 31.73% ( $P<0.01$ ), 3 种外源植物生长调节剂处理间差异达到极显著水平; 地下部分别提高 30.37% ( $P<0.01$ )、14.95% ( $P<0.01$ ) 和 36.92% ( $P<0.01$ ), SA 与 GB 处理在 0.05 水平下差异显著, 与 CC 处理无差异。T5~T8 处理无差异。以上分析结果可以得出在烟株受到干旱逆境下, 喷施植物生长调节剂一定程度上缓解干旱胁迫, 其中以喷施氯化胆碱的处理提高的干重最多, 与其他 2 种植物生长调节剂处理相比差异达到显著水平, 效果最佳。

表 2 3 种外源生长调节剂对烤烟农艺性状的影响

Table 2 Effects of three exogenous plant growth regulators on flue-cured tobacco agronomic traits

| 编号<br>No. | 株高/cm<br>Plant height | 有效叶片数/片<br>Effective leaf number | 茎围/cm<br>Stem thickness | 最大叶长/cm<br>Maximum leaf length | 最大叶宽/cm<br>Maximum leaf width |
|-----------|-----------------------|----------------------------------|-------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| T1        | 28.33 <sup>c</sup>    | 12.33 <sup>d</sup>               | 3.30 <sup>e</sup>       | 35.23 <sup>c</sup>             | 19.93 <sup>b</sup>            |
| T2        | 37.17 <sup>c</sup>    | 14.00 <sup>bc</sup>              | 3.77 <sup>cd</sup>      | 36.00 <sup>de</sup>            | 21.23 <sup>a</sup>            |
| T3        | 35.60 <sup>d</sup>    | 13.33 <sup>cd</sup>              | 3.47 <sup>de</sup>      | 36.63 <sup>d</sup>             | 20.03 <sup>b</sup>            |
| T4        | 37.77 <sup>c</sup>    | 15.00 <sup>ab</sup>              | 3.70 <sup>cd</sup>      | 37.83 <sup>c</sup>             | 21.20 <sup>a</sup>            |
| T5        | 45.57 <sup>b</sup>    | 15.33 <sup>ab</sup>              | 4.00 <sup>bc</sup>      | 38.43 <sup>c</sup>             | 21.83 <sup>a</sup>            |
| T6        | 46.50 <sup>ab</sup>   | 15.33 <sup>ab</sup>              | 4.13 <sup>ab</sup>      | 39.43 <sup>b</sup>             | 22.37 <sup>a</sup>            |
| T7        | 45.63 <sup>b</sup>    | 16.33 <sup>a</sup>               | 4.23 <sup>ab</sup>      | 40.93 <sup>a</sup>             | 22.07 <sup>a</sup>            |
| T8        | 47.43 <sup>a</sup>    | 15.67 <sup>a</sup>               | 4.33 <sup>a</sup>       | 39.70 <sup>b</sup>             | 22.23 <sup>a</sup>            |

注: 数值后不同小写字母表示处理间在 0.05 水平下差异显著。

Note: Values followed by different letters show significant difference among treatments at the 0.05 level.

### 2.2 干旱胁迫下 3 种外源生长调节剂对烟叶叶片生理指标的影响

**2.2.1 对丙二醛含量的影响** 图 3 显示在正常水分处理下烟叶叶片丙二醛含量较低, 干旱胁迫下烟叶丙二醛含量极显著上升, 喷施清水不能缓解干旱胁迫对烟株的伤害, 喷施生长调节剂可以极显著降低丙二醛含量, 外施 SA、GB 和 CC 分别降低 13.51% ( $P<0.01$ )、17.31% ( $P<0.01$ ) 和 20.94% ( $P<0.01$ )。喷施氯化胆碱所测得的丙二醛含量最低, 但 3 种生长调节剂施用效果之间差异不显著。

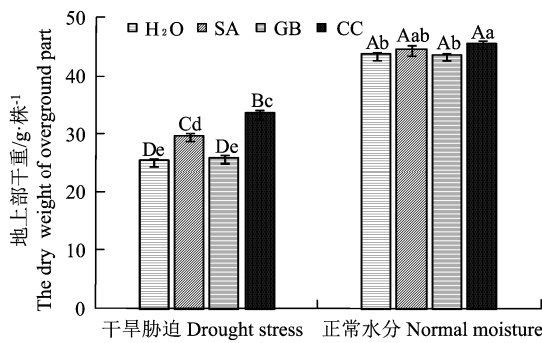
**2.2.2 对游离脯氨酸含量的影响** 图 4 表明干旱胁迫处理组脯氨酸含量极显著高于水分正常处理组。干旱胁迫条件下, 喷施外源生长调节剂能极显著升高烟叶脯氨酸含量, SA、GB 和 CC 较喷施清水处理分别提高了 22.41% ( $P<0.01$ )、22.58% ( $P<0.01$ )、41.39% ( $P<0.01$ )。喷施 CC 所检测得到的脯氨酸含量最高, 极显著高于喷施 GB、SA 和 H<sub>2</sub>O 处理;

在 0.01 水平下, 喷施甜菜碱和水杨酸差异不显著, 但在 0.05 水平下差异达到显著水平。说明在干旱条件下喷施外源植物生长调节剂可以提高烟株脯氨酸含量, 以喷施 CC 效果最好。

**2.2.3 对超氧化物歧化酶活性的影响** 如图 5 所示, 在干旱胁迫下, 烟叶超氧化物歧化酶活性呈现上升趋势。SOD 活性在干旱胁迫下喷施 CC 处理下达到最高水平, 喷施 SA、GB 和 CC 得到 SOD 活性均高于喷施 H<sub>2</sub>O 处理, 分别提高 34.70%、20.03% 和 38.91%, 与 T5 处理相比差异达到极显著水平, 但三者差异不显著。SOD 使生物自由基维持在一个低水平上, 防止干旱产生自由基的伤害。在干旱胁迫下, 虽然喷施这 3 种外源生长调节剂与 T1 处理差异不明显, 但依据图 5 可以看出, 均提高了 SOD 活性, 保护烟株免受干旱胁迫危害。

**2.2.4 对过氧化氢酶活性的影响** 由图 6 可见, 在干旱条件下, 喷施 SA、GB 和 CC 能提高烟株 CAT

活性, 较 T1 处理分别提高 21.06%、29.61% ( $P < 0.05$ ) 和 18.04%, 但 3 个处理间差异不显著。这表明喷施外源植物生长调节剂能解除干旱胁迫对 CAT 活性的抑制, 以喷施 GB 效果最佳。



柱上不同大小写字母表分别表示处理在 0.01 和 0.05 水平有显著性差异。下同

Different capital and small letters above the bars show significant difference among the treatments at 0.01 and 0.05 levels. The same below

图 1 外源生长调节剂对烟株地上部干重的影响

Figure 1 Effects of exogenous plant growth regulators on the dry weight of overground part of tobacco plants

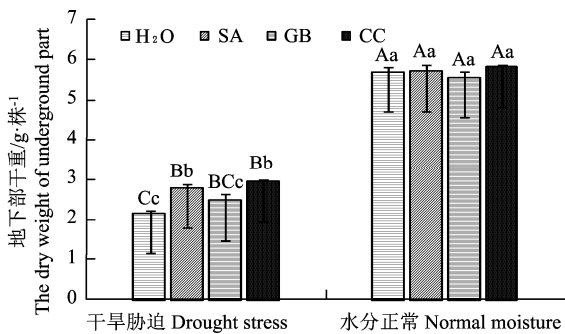


图 2 外源生长调节剂对烟株地下部干重的影响

Figure 2 Effects of exogenous plant growth regulators on the dry weight of underground part of tobacco plants

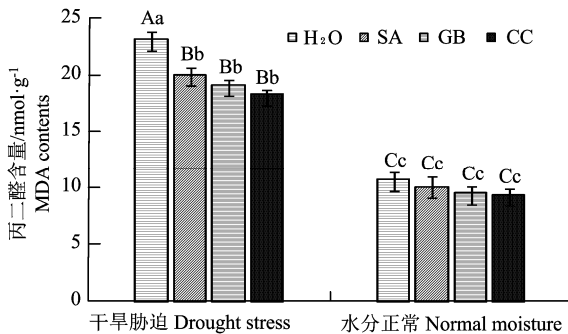


图 3 外源生长调节剂对烟草叶片丙二醛含量的影响

Figure 3 Effects of exogenous plant growth regulators on the content of MDA in tobacco leaves

**2.2.5 对过氧化物酶活性的影响** 从图 7 可以看出干旱胁迫极显著降低烟株 POD 酶活性。在干旱胁迫下, 喷施 3 种植物生长调节剂能提高 POD 酶活性,

SA、GB 和 CC 相比喷施 H<sub>2</sub>O 处理分别提高 22.05%、0.88% 和 4.10%, 3 个处理间没有差异, 以喷施 SA 烟叶 POD 活性最高。这表明在干旱胁迫下喷施 SA 可以维持清除活性氧的能力, 增强烟株抗逆性, 起到保护烟株的作用。

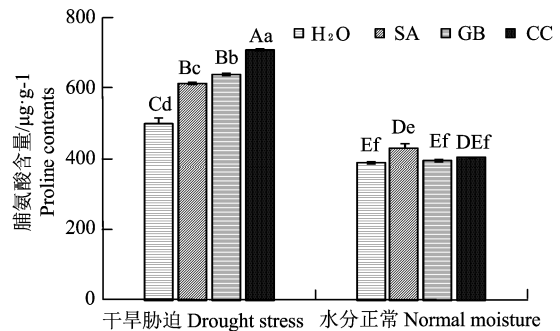


图 4 外源生长调节剂对烟草叶片脯氨酸含量的影响  
Figure 4 Effects of exogenous plant growth regulators on the content of free proline in tobacco leaves

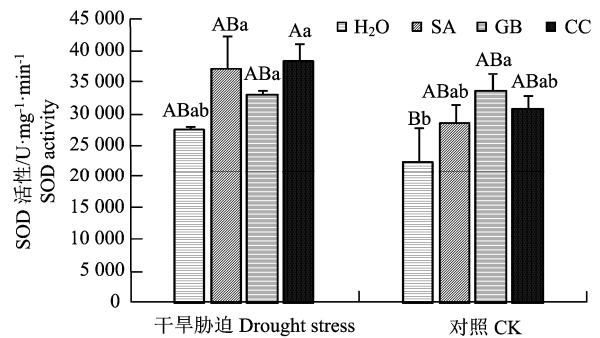


图 5 外源生长调节剂对烟草叶片超氧化物歧化酶含量影响  
Figure 5 Effects of exogenous plant growth regulators on SOD activity in tobacco leaves

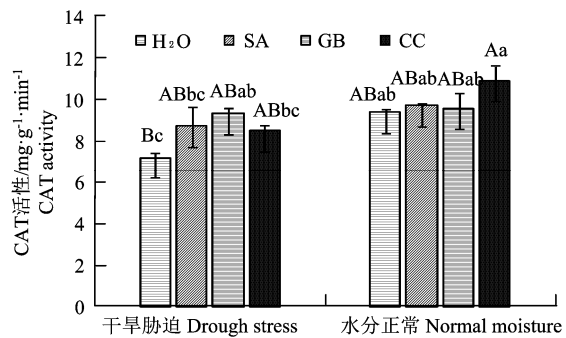


图 6 外源生长调节剂对烟草叶片过氧化氢酶含量的影响  
Figure 6 Effects of exogenous plant growth regulators on CAT activity in tobacco leaves

### 3 结论

植物体内 O<sub>2</sub><sup>-</sup>、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 和 OH<sup>-</sup> 等活性氧自由基在发生干旱时会大量产生, 它们启动膜脂过氧化或膜脂脱脂作用, 破坏细胞膜结构, 植物通过调节 SOD、POD 和 CAT 3 种内源活性氧清除剂清除活性氧自由基<sup>[30]</sup>。在干旱胁迫下, 烟叶脯氨酸含量上升, 增加

细胞液浓度, 降低细胞水势<sup>[31]</sup>, 提高烟株自身耐旱性。

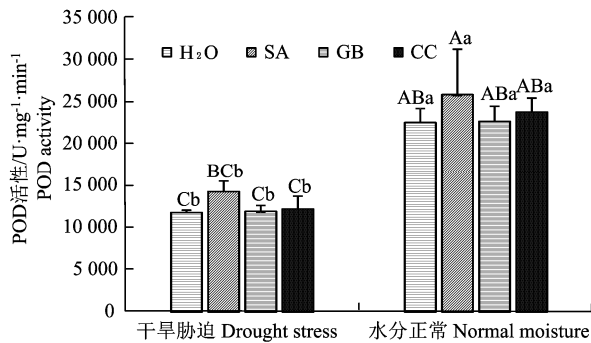


图 7 外源生长调节剂对烟草叶片过氧化物酶含量的影响  
Figure 7 Effects of exogenous plant growth regulators on POD activity in tobacco leaves

本研究结果表明: 喷施植物生长调节剂可以有效缓解干旱胁迫对烤烟的危害, 降低过氧化程度, 提高烤烟抗旱性; 与喷施清水处理的烟株相比, 改善了农艺性状, 增加干物质重, 升高脯氨酸含量、提高 SOD、CAT 和 POD 酶活性, 降低丙二醛含量。经对比研究, 这 3 种植物生长调节剂中, 以喷施氯化胆碱的效果最好。因此, 在生产中建议一是种植抗旱烟草品种; 二是在干旱情况下, 特别是在烟株旺长需水关键时期雨量不充足情况下, 喷施氯化胆碱缓解干旱胁迫。在生产实际中, 需要根据不同烟区气候环境和烟草品种调整具体的喷施时间和喷施剂量。对烤烟多个品种抗旱能力综合评价及多种植物生长调节剂混合喷施效果有待进一步研究。

## 参考文献:

- 王劲松, 李耀辉, 王润元, 等. 我国气象干旱研究进展评述[J]. 干旱气象, 2012, 30(4): 497-508.
- 韩元元, 刘辉. 云南中北部地区 1954—2012 年干旱评价研究[J]. 水资源与水工程学报, 2015, 26(1): 111-115.
- 景蕊莲, 吕小平, 胡荣海. 外源甜菜碱对小麦幼苗抗旱性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 1998, 16(2): 1-5.
- 梁峥, 骆爱玲, 赵原, 等. 干旱和盐胁迫诱导甜菜叶中的甜菜碱醛脱氢酶的积累[J]. 植物生理学报, 1996, 22(2): 161-164.
- APEL K, HIRT H. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction[J]. Annu Rev Plant Biol, 2004, 55: 373-399.
- 单长卷, 赵新亮, 汤菊香. 水杨酸对干旱胁迫下小麦幼苗抗氧化特性的影响[J]. 麦类作物学报, 2014, 34(1): 91-95.
- 卢军, 邢小军, 朱利泉, 等. 高温干旱共胁迫下外源甜菜碱和 CaCl<sub>2</sub> 对烟草生理响应的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(6): 1437-1443.
- 接玉玲, 赵海洲, 张伟, 等. 甜菜碱对干旱胁迫下湖北海棠超微弱发光及抗氧化能力的影响[J]. 应用生态学报, 2006, 17(12): 2394-2398.
- QUAN R, SHANG M, ZHANG H, et al. Engineering of

- enhanced glycine betaine synthesis improves drought tolerance in maize[J]. Plant Biotechnol J, 2004, 2(6): 477-486.
- DÍAZ-ZORITA M, FERNÁNDEZ - CANIGIA M V, GROSSO G A. Applications of foliar fertilizers containing glycinebetaine improve wheat yields[J]. J Agron Crop Sci, 2001, 186(3): 209-215.
- CHEN W P, LI P H, CHEN T H H. Glycinebetaine increases chilling tolerance and reduces chilling - induced lipid peroxidation in *Zea mays* L.[J]. Plant Cell Environ, 2000, 23(6): 609-618.
- 农友业, 何若天. 氯化胆碱对甘蔗光合性能及糖含量的影响[J]. 广西农业生物科学, 1994(4): 339-342.
- CHE F S, SATO F, HYEON S B, et al. Stimulation of photosynthesis and growth of photoautotrophically cultured plant cells by choline and its analogs[J]. Plant Cell Rep, 1993, 12(12): 691-697.
- 张会慧, 金微微, 毛卫佳, 等. 水杨酸对干旱下烤烟幼苗膜质和叶绿素荧光特性的影响[J]. 中国沙漠, 2012, 32(1): 117-121.
- 孟雪娇, 邸昆, 丁国华. 水杨酸在植物体内的生理作用研究进展[J]. 中国农学通报, 2010, 26(15): 207-214.
- KLESSING D F, MALAMY J. The salicylic acid signal in Plants[J]. Plant Mol Biol, 1994, 26(5): 1439-1458.
- KHAN W, PRITHIVIRAJ B, SMITH DL, et al. Photosynthetic responses of corn and soybean to foliar application of salicylates[J]. J Plant Physiol, 2003, 160(5): 485-492.
- 余小平, 贺军民, 张键, 等. 水杨酸对盐胁迫下黄瓜幼苗生长抑制的缓解效应[J]. 西北植物学报, 2002, 22(2): 401-405.
- 回振龙, 王蒂, 李宗国, 等. 外源水杨酸对连作马铃薯生长发育及抗性生理的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2014, 32(4): 1-8.
- 侯鹏飞, 马俊青, 赵鹏飞, 等. 外源甜菜碱对干旱胁迫下小麦幼苗叶绿体抗氧化酶及 psbA 基因表达的调节[J]. 作物学报, 2013, 39(7): 1319-1324.
- 高雁, 李春, 姜恺. 干旱胁迫条件下加工番茄对喷施甜菜碱的生理响应[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(2): 426-432.
- 高雁, 李春, 姜恺. 甜菜碱对干旱胁迫下棉花幼苗生理特性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(2): 513-516.
- 李慧琳, 陶霞, 万林, 等. 氯化胆碱对干旱胁迫下油菜幼苗生理特性的影响[J]. 水土保持学报, 2013, 27(5): 228-233.
- 倪祥银, 齐泽民, 廖妹, 等. 外源水杨酸对 NaCl 胁迫下大豆种子萌发和幼苗生长生理的影响[J]. 西北植物学报, 2014, 34(1): 106-111.
- 张素勤, 耿广东, 程智慧. 外源水杨酸对茄子抗寒性的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2007, 33(6): 687-689.
- 李玲. 植物生理学模块实验指导[M]. 北京: 科学出版社, 2009: 80-100.
- 朱广廉, 邓兴旺, 左卫能. 植物体内游离脯氨酸的测定[J]. 植物生理学通讯, 1983, 1(1): 35-37.
- 赵世杰, 史国安, 董新纯. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2002: 142-143.
- X H 波钦诺克. 植物生物化学分析方法[M]. 荆家海, 丁钟荣, 译. 北京: 科学出版社, 1981.
- 祁春苗, 赵会杰, 张秀月. 氯化胆碱对干旱胁迫下地黄抗氧化代谢及醇含量的影响[J]. 水土保持学报, 2007, 21(4): 159-163.
- 李合生. 植物生理生化实验原理与技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 184-185.