

# 不同植物生长调节剂对大豆叶片保护酶活性及同化物代谢的影响

赵黎明, 郑殿峰

(黑龙江八一农垦大学 植物科技学院化控研究室, 黑龙江 大庆 163319)

**摘要:**在叶面喷施植物生长调节剂的情况下, 比较了大豆叶片中保护酶活性的差异, 研究了喷药后对叶片同化物代谢的调控效应, 为大豆鼓粒( $R_5$ )后期抗衰老和生理代谢功能的提高提供参考。试验于 2006 年在大田条件下进行, 为了避免遗传因子的影响, 本研究只选择垦农 4 号品种为材料, 研究对其喷药后叶片内保护酶活性和同化物代谢的变化情况。结果表明:随着喷药时间的延续, SOD 模拟物( $SOD_M$ )、氯化胆碱(Cc)和 2-N,N'-二乙氨基乙基己酸酯(DTA-6)提高了叶片中的 SOD 和 POD 活性。其中 SOD 活性以 DTA-6 为最高, $SOD_M$  次之;POD 活性则以  $SOD_M$  调节剂的为最高, 调节剂 Cc 次之。此外, DTA-6 和  $SOD_M$  在一定程度上还提高了叶片中的 CAT 活性、可溶性蛋白质、可溶性糖、硝态氮以及游离氨基酸含量, 减缓了 MDA 含量的升高, 而调节剂 Cc 则表现不明显。综合分析表明, 叶面喷施 DTA-6 和  $SOD_M$ , 维持了叶片保护酶和同化物的正常生理代谢功能, 有效的提高了叶片抗氧化能力和控制了叶片的衰老进程。

**关键词:**植物生长调节剂;大豆;保护酶;同化物代谢

**中图分类号:**S565.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-7091(2008)03-0106-06

## Effects of Different Plant Growth Regulators(PGRs) on Protective Enzyme Activity and Metabolism Assimilation in Soybean Leaves

ZHAO Li-ming, ZHENG Dian-feng

(College of Plant Science, August First Heilongjiang Reclamation Plant University, Daqing 163319, China)

**Abstract:** The aim of this experiment was to discover difference of protective enzyme activity and study effects of metabolism assimilation in soybean leaves by spraying different plant growth regulators(PGRs). It was also to provide references for anti-aging and increasing function of metabolism assimilation in the pod filling( $R_5$ ) stage. Field experiments was conducted the effects of different PGRs on metabolism assimilation and activity of protective enzyme, and Kennong4 variety was selected to avoid the impact of genetic factors in 2006. The results showed that three regulators(SOD simulation material( $SOD_M$ ), Choline chloride(Cc) and Diethyl aminoethyl hexanoate(DTA-6) increased SOD and POD activity with a continuation of spraying time in soybean leaves. SOD activity of DTA-6 was the highest, followed by  $SOD_M$ ; POD activity of  $SOD_M$  was the highest, next came Cc. In addition,  $SOD_M$  and DTA-6 also increased the CAT activity of leaves at a certain extent, enhanced soluble proteins, soluble sugar, as well as to nitrate content of free amino acids, and slowed down the increase of MDA. But Cc was not obvious. The above results indicated that it is effective to enhance the antioxidant capacity and slow down the senescence of its leaves, and maintaining physiological assimilation function of its metabolism assimilation and activity of protective enzyme in soybean leaves.

**Key words:** Plant growth regulators; Soybean; Protective enzyme; Metabolism assimilation

应用植物生长调节剂调控作物生长发育进程已为众多研究者所重视。氯化胆碱是一种季胺盐, 在植物体内能够转化为甜菜碱或磷脂酰胆碱<sup>[1]</sup>, 磷脂酰胆碱又是生物膜的重要组成部分, 并且可以作为酰基膜脂去饱和的底物, 从而在调节膜脂的流动性

方面起重要作用<sup>[2,3]</sup>。盛瑞艳等<sup>[4]</sup>研究表明, 叶面喷施氯化胆碱可以减缓膜透性的下降和 MDA 的产生速率。张燕等<sup>[5]</sup>认为, 烟草种子经氯化胆碱(Cc)溶液浸种后, 幼苗叶片超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化物酶(POD)活性也随氯化胆碱浓度的增大而明

收稿日期: 2008-02-13

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2006BAD21B01); 黑龙江省“十一五”科技攻关项目(GA06B101-1-1)

作者简介: 赵黎明(1980-), 男, 黑龙江海伦人, 硕士, 主要从事作物化学调控方面的研究。

通讯作者: 郑殿峰(1969-), 男, 黑龙江龙江人, 教授, 博士生导师, 主要从事大豆栽培及化学调控方面的教学及研究。

显提高。祁春苗等<sup>[6]</sup>认为,以浓度 300 mg/L 的氯化胆碱水溶液喷施地黄叶面,可明显减少干旱胁迫下地黄叶片丙二醛的累积。DTA-6 是一类新型、广谱性植物生长促进剂,具有高度安全性,它在低浓度下(1~40 mg/kg)对多种植物有调节、控制以及促进生长的作用,可以促进碳水化合物代谢和物质积累,显著提高产量,并能改善作物品质<sup>[7-9]</sup>。SOD 模拟物(SOD<sub>M</sub>)不同于超氧化物歧化酶(SOD),它是一种以同源多肽为 SOD 酶的有机配体,经水解反应成为具有两亲分子的多肽水溶性溶液与过渡金属反应,提纯制成高纯度多肽过渡金属盐的金属蛋白酶,再与其他金属蛋白酶复配制成具有 SOD 活性的小分子化学物质 - SOD<sub>M</sub>。与天然 SOD 相比,SOD<sub>M</sub>具有活性高、分子量小、稳定性好、水溶性强、无毒、无污染等特点。目前,国内外模拟 SOD 在农业上的应用还仅限于实验室和田间小规模研究,并取得了良好的效果,而在农作物上的大规模应用尚未见公开报道。

大豆从鼓粒期直至成熟,实质上是叶片发育程序中的最后阶段,也是叶片逐渐老化的过程。叶片衰老的起始以叶片从光合产物的源转变为氮素和矿

质元素的源为契机,并受控于遗传因子,但除了遗传因子外,叶片衰老也像其他器官衰老那样,受保护酶的调控<sup>[10]</sup>。如果在施用植物生长调节剂的情况下,能够更好的维持或打破自由基和自由基清除剂相互间的平衡,使自由基有效的或者及时的被清除,那么是否可以延缓叶片衰老,更好的促进其生理代谢功能?为此,本研究针对此方面展开研究。

1 材料和方法

1.1 试验设计

试验于 2006 年在黑龙江省大庆市林甸县吉祥村进行,试验地情况如表 1 所示。试验采用大田叶面喷施的方式,以清水为对照,供试调节剂 3 种,分别为 SOD 模拟物(SOD<sub>M</sub>)、氯化胆碱(Choline chloride,简称 Cc)和 2-N,N-二乙氨基乙基己酸酯(Diethyl aminoethyl hexanoate,简称 DTA-6),使用剂量分别为 1.5 L/hm<sup>2</sup>、15 g/hm<sup>2</sup> 和 12 g/hm<sup>2</sup>,用水量均位 225 kg/hm<sup>2</sup>。于 R<sub>5</sub> 期进行,小区为 6 行区,行距为 65 cm,株距为 5 cm。处理与对照随机排列,3 次重复。在整个生育期间,适时除草和防治病虫。

表 1 土壤基本农化性状(0~20 cm 耕层)

Tab.1 The basic chemical properties of soil(0 - 20 cm soil layer)					
项目 Item	碱解氮/(mg/kg) Alkali-hydrolyzed N	速效磷/(mg/kg) Rapidly-available P	速效钾/(mg/kg) Rapidly-available K	pH	有机质/(g/kg) Organic matter
含量 Content	178.50	25.40	257.40	7.88	30.8

1.2 测定方法

喷药后,每 5 d 取样一次,取样时每个小区选取有代表性植株 10 株,取其倒三功能叶供测试用。测试指标包括可溶性蛋白、可溶性糖、硝态氮、游离氨基酸、SOD、POD、CAT 和 MDA,其中游离氨基酸、硝态氮以及可溶性糖含量的测定采用张宪政的方法<sup>[11]</sup>,叶片 MDA、SOD 和 POD 活性测定采用刘祖祺的方法<sup>[12]</sup>,可溶性蛋白的测定采用王晶英的方法<sup>[13]</sup>,CAT 含量的测定采用张志良的方法<sup>[14]</sup>。

表 2 不同植物生长调节剂对大豆叶片 SOD 和 POD 活性的影响

Tab.2 Effects of different PGRs on activities of SOD and POD in soybean leaves							
项目 Item	处理 Treatments	喷药后天数 Days after sprayings					
		5	10	15	20	25	30
SOD / (10 <sup>-2</sup> U/(g·min))	CK	13.78 ±0.25dD	8.84 ±0.12dC	14.59 ±0.09bB	3.67 ±0.15cC	3.36 ±0.13cC	3.86 ±0.12dC
	SOD <sub>M</sub>	14.10 ±0.11cC	8.94 ±0.13bB	15.06 ±0.11aA	4.57 ±0.09bB	2.14 ±0.11dC	4.59 ±0.09cC
	Cc	18.19 ±0.13aA	14.48 ±0.11aA	13.93 ±0.10cC	3.53 ±0.14dD	9.06 ±0.13bB	12.02 ±0.11bB
	DTA-6	16.44 ±0.14bB	9.39 ±0.13dC	10.87 ±0.13dD	5.83 ±0.12aA	10.79 ±0.13aA	14.42 ±0.21aA
POD / (OD <sub>470</sub> /(min·g))	CK	2.75 ±0.07dD	2.56 ±0.06dC	2.88 ±0.05dD	2.24 ±0.04b	3.38 ±0.05cB	3.58 ±0.05bB
	SOD <sub>M</sub>	3.39 ±0.05aA	2.62 ±0.03cC	3.57 ±0.06aA	2.33 ±0.04b	3.43 ±0.03bB	3.67 ±0.13aA
	Cc	3.20 ±0.03bB	3.30 ±0.06aA	3.26 ±0.02bB	2.92 ±0.10a	3.57 ±0.04aA	3.53 ±0.03cC
	DtA-6	2.89 ±0.06cC	2.74 ±0.04bB	3.03 ±0.05cC	2.66 ±0.47ab	3.30 ±0.04dC	3.34 ±0.05dD

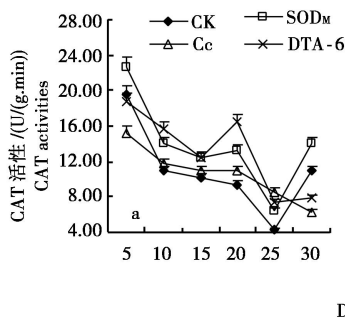
注:同一列中不同大小写字母分别表示差异达 1 %和 5 %显著水平。  
Note :Values followed by a different lowercase or capital letter within each column are significantly different at 0.05 and 0.01 probability levels ,respectively.

Cc 和 DTA-6 的 SOD 活性变化呈上升趋势,而 SOD<sub>M</sub> 和 CK 的 SOD 活性变化不大。经方差分析可知, SOD<sub>M</sub> 在喷药后 15, 20 d 与 Cc 以及 CK 的差异达 0.01 显著水平;调节剂 Cc 却在喷药后 5, 10, 25, 30 d 与 SOD<sub>M</sub> 以及 CK 达到极显著水平;DTA-6 则在喷药后 5, 10, 20, 25, 30 d 与 CK 的差异达到了显著水平,并分别在喷药后 20, 25 和 30 d, DTA-6 的 SOD 值极显著高于其他两调节剂。

过氧化物酶(POD)是植物体内抗氧化系统的组成部分,可以清除 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>,具有抵御组织细胞发生膜质过氧化的作用。叶面喷施不同植物生长调节剂后,大豆叶片中 POD 活性的变化如表 2 所示, SOD<sub>M</sub> 和 DTA-6 与对照的 POD 活性变化趋势是一致的,而 Cc 则略有差异。其中在喷药后 5 d, SOD<sub>M</sub>、Cc 和 DTA-6 的 POD 活性分别较 CK 增加了 22.30%, 15.33% 和 3.96%,至喷药后 15 d,各处理及对照的 POD 活性变化表现为: SOD<sub>M</sub> > Cc > DTA-6 > CK,这说明此时间 CK 受到的伤害较严重;之后随着喷药后时间的延长,虽然各处理及对照 POD 活性都略有升高,但后期处理 SOD<sub>M</sub> 的 POD 活性值仍要高于其他处理及对照。方差分析知, SOD<sub>M</sub> 分别在喷药后 5, 10, 15, 25 和 30 d 与 CK 达到显著水平;Cc 在喷药后第 5~25 天与 CK 的差异达 0.05 显著水平,并在 10, 20 d 和 25 d 与 SOD<sub>M</sub>、DTA-6 达到显著水平;DTA-6 则在喷药后 5, 10 和 15 d 与 CK 的差异达显著。

## 2.2 不同植物生长调节剂对大豆叶片 CAT 活性和 MDA 含量的影响

过氧化氢酶(CAT)可分解植物体内高浓度的



H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>,从而彻底清除活性氧的毒害作用。由图 1 可以看出,喷药后 5~15 d,各处理及对照叶片中 CAT 活性呈下降趋势,这可能是由于叶片细胞中过多的 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>,超出了 CAT 的防御能力,造成了酶活性的伤害。其中在喷药后第 10 天, SOD<sub>M</sub>、Cc 和 DTA-6 的 CAT 值较 CK 分别增加了 28.54%, 7.12% 和 42.82%;从喷药后 15 d, CAT 就开始有所上升,直至喷药后 20 d, SOD<sub>M</sub>、Cc 和 DTA-6 分别较 CK 增加了 41.59%, 16.60% 和 74.90%,之后 CAT 活性开始下降;至喷药后 30 d,各处理及对照的 CAT 活性表现为: SOD<sub>M</sub> > CK > DTA-6 > Cc。整体来看,经叶面喷施植物生长调节剂后, DTA-6 更能有利于大豆体内活性氧的清除和抗逆境胁迫能力的提高,而酶活性的增强可提高大豆抗衰老及抵抗逆境的能力, SOD<sub>M</sub> 次之。

丙二醛(MDA)是膜质过氧化的产物,可强烈地与细胞内的各种成分发生反应,使多种酶和膜系统遭受严重损伤,其含量的高低反应了细胞膜质过氧化的水平。因此,在一定程度上丙二醛含量的高低可以表示细胞膜脂过氧化的程度和植物对逆境条件反应的强弱。由图 1 可知,从整体上看,各处理及对照 MDA 含量呈下降趋势,其中 CK 下降的幅度较小,但含量要高于其他处理,具体表现为:喷药后 5 d,各处理及对照的 MDA 值表现为, SOD<sub>M</sub> > CK > DTA-6 > Cc;而在喷药后 10, 15, 25 和 30 d, CK 的 MDA 含量始终高于各处理,这可能是由于大豆经叶面喷施调节剂后,在一定程度上调节 MDA 含量的变化,从而使得丙二醛含量维持在一定的水平,减弱膜质过氧化进程。

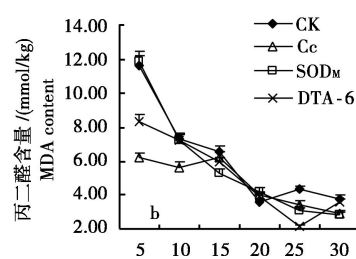


图 1 不同植物生长调节剂对大豆叶片中 CAT 活性和 MDA 含量的影响

Fig. 1 Effects of different PGRs on activities of CAT and MDA in soybean leaves

## 2.3 不同植物生长调节剂对大豆叶片中可溶性蛋白含量的影响

从图 2 可以看出,除 SOD<sub>M</sub> 处理外,其他处理及对照在大豆生育后期的可溶性蛋白质含量的总体变化规律基本一致,均是先降低再升高。但是不同处理之间表现略有不同,在喷药后 5 d,可溶性蛋白含量表现为 DTA-6 > Cc > SOD<sub>M</sub> > CK,而在喷药后 10

和 15 d, DTA-6、SOD<sub>M</sub> 以及 CK 的可溶性蛋白含量均有所下降,表现为 DTA-6 > SOD<sub>M</sub> > CK,而 Cc 处理则在喷药后 10 d 下降到最低,却在喷药后 15 d 又有所上升,至喷药后第 30 天,各处理及对照的可溶性蛋白含量表现为 Cc > DTA-6 > CK > SOD<sub>M</sub>,此时 Cc 的可溶性蛋白含量恰好达到最大值。

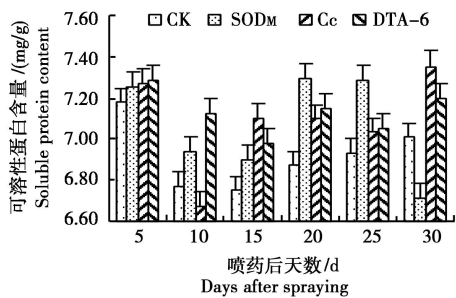


图2 不同植物生长调节剂对大豆叶片中可溶性蛋白含量的影响

Fig.2 Effects of different PGRs on content of soluble protein in soybean leaves

2.4 不同植物生长调节剂对大豆叶片可溶性糖含量的影响

可溶性糖含量反映了体内作为有效态营养物的碳水化合物和能量水平。大豆叶片可溶性糖含量高,反映了叶片合成光合产物的能力。如图3所示,除喷药后10 d外,各处理均提高了大豆生育后期叶片中的可溶性糖含量。且叶片中可溶性糖含量峰值同时出现在喷药后25 d,其中SOD<sub>M</sub>和DTA-6处理的可溶性糖含量在喷药后5~30 d内都要明显高于CK,而在喷药后15 d可溶性糖含量出现低谷值,这可能是因为此期阴雨连绵,影响了叶片光合产物的积累。至喷药后25~30 d,SOD<sub>M</sub>和DTA-6处理的输出量分别较CK增加了165.82%和15.36%,其中随着CK可溶性糖含量的增加,SOD<sub>M</sub>、Cc和DTA-6处理可溶性糖含量也有所增加,且较CK分别增加了30.4%,13.71%和16.93%。

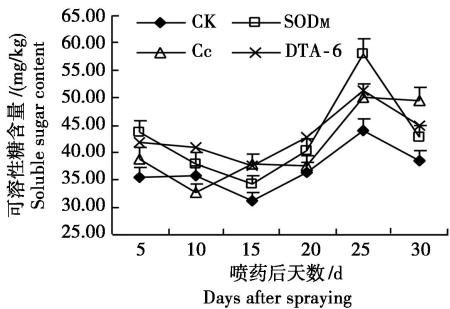


图3 不同植物生长调节剂对大豆叶片中可溶性糖含量的影响

Fig.3 Effects of different PGRs on content of soluble sugar in soybean leaves

2.5 不同植物生长调节剂对大豆叶片中游离氨基酸和硝态氮含量的影响

田间经叶面喷施调节剂后,各处理游离氨基酸含量表现各不相同(表3),其中喷药后5 d,SOD<sub>M</sub>、Cc和DTA-6分别较CK增加了33.66%,5.98%和19.33%,至喷药后15 d,各处理及对照的游离氨基酸含量为Cc>DTA-6>SOD<sub>M</sub>>CK;就喷药后15~30 d这段时间来看,SOD<sub>M</sub>、Cc和DTA-6的游离氨基酸输出量分别较CK增加了55.11%,119.56%和74.41%,说明此段时间Cc处理更有利于叶片中游离氨基酸的输出。但从整体上看,喷药后5~30 d,各处理及对照虽然在这段时间有的上升有的下降,但总的趋势还是下降的,经方差分析得知,SOD<sub>M</sub>分别在喷药后5,10,15和25 d与CK达到显著水平,Cc分别在15,20 d与CK差异达显著,而DTA-6则在喷药后5,15 d与CK达到0.01显著水平。

表3 不同植物生长调节剂对大豆叶片中游离氨基酸和硝态氮含量的影响

Tab.3 Effects of different PGRs on content of NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N and FAA in soybean leaves

		喷药后天数 Days after spraying					
		5	10	15	20	25	30
游离氨基酸 / (mg/ kg)	CK	24.80 ±2.33c	23.46 ±1.90b	19.46 ±1.12c	10.83 ±0.61bc	7.79 ±0.52b	7.26 ±0.45ab
	SOD <sub>M</sub>	33.15 ±2.19a	29.09 ±1.56a	25.44 ±1.21b	10.53 ±0.39c	20.94 ±0.54a	6.51 ±0.58bc
	Cc	26.28 ±1.83c	24.92 ±0.13b	32.34 ±1.54a	20.19 ±0.85a	13.08 ±0.61b	5.56 ±0.27bc
	DTA-6	29.59 ±2.32b	25.03 ±1.68b	30.24 ±1.31b	13.61 ±0.74b	13.57 ±1.03b	8.96 ±0.39a
硝态氮含量 / (mg/ 100g)	CK	43.84 ±1.23b	61.55 ±1.52bc	68.50 ±0.34b	117.40 ±4.63a	159.94 ±5.51bc	214.02 ±2.66b
	SOD <sub>M</sub>	88.84 ±0.73a	64.94 ±0.76bc	68.70 ±0.77b	123.49 ±1.45a	211.08 ±3.87ab	240.24 ±5.03b
	Cc	64.87 ±2.70b	50.78 ±2.54b	60.23 ±0.51b	94.41 ±2.32a	143.17 ±8.37c	309.87 ±7.69a
	DTA-6	88.59 ±0.74a	92.37 ±1.40a	84.97 ±1.49a	131.57 ±4.07a	213.92 ±1.11a	220.87 ±5.76b

硝态氮是大豆植株营养生长期和营养与生殖生长并行期的重要氮素营养源。叶面喷施植物生长调节剂对大豆叶片硝态氮含量的影响见表3,结果表明:喷药后5~30 d,各处理及对照从前后数值看,硝态氮总体上是递增的,其中SOD<sub>M</sub>和DTA-6的NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N含量在喷药后30 d内一直高于CK及Cc处理,且从积累上看,SOD<sub>M</sub>、Cc和DTA-6分别较CK增加-11.04%,43.95%,-22.27%,从中可以看出,DTA-6更有利于氨基酸、蛋白质的合成,其次是

SOD<sub>M</sub>处理。但从喷药后5~15 d这段时期来看,对于CK的NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N来说是呈上升趋势的,而SOD<sub>M</sub>、Cc和DTA-6则是呈下降趋势的,并经方差分析可知,DTA-6与CK达到了显著水平;在喷药后15~30 d,SOD<sub>M</sub>、Cc、DTA-6较CK增加幅度各自为17.88%,71.54%,-6.61%,方差分析得,DTA-6在喷药后25 d与CK达到了显著水平,而Cc则在喷药后第30天与CK达到显著水平。

### 3 结论与讨论

#### 3.1 不同植物生长调节剂对大豆叶片保护酶活性的影响

在叶发育过程中,酶并未因此而受到抑制或失活,其活性变化主要是由细胞内酶蛋白的量来调节的,而随着叶龄增长,液泡内含有较多的内蛋白酶(Ep),它们在叶片衰老期间承担着细胞质和细胞器蛋白质的降解作用<sup>[15]</sup>。由于许多蛋白,特别是酶蛋白,例如结合在类囊体膜上的 CuZn-SOD、tAPX,结合在线粒体膜上的交替氧化酶、保护性酶等是以膜结合蛋白的形式存在<sup>[16-18]</sup>。但是,植物叶片衰老过程中,有时候会产生一些过量活性氧<sup>[19,20]</sup>,而过量的活性氧能够氧化生物膜<sup>[21]</sup>,引起光合机构的光系统 I 和光系统 II 失活<sup>[22-24]</sup>,以及包括保护酶在内的某些蛋白的降解<sup>[20]</sup>。众所周知,由于细胞内存在超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)以及过氧化物酶(POD)3 种抗氧化酶,它们相互作用共同维持植物体内活性氧的平衡,使自由基维持在一个较低水平,从而对细胞起到保护作用。显而易见,叶面喷施 DTA-6 和 SOD<sub>M</sub> 提高了 SOD、POD 及 CAT 的活性,进而有效的清除了由于衰老而产生的氧自由基,保证了叶片后期生理代谢的正常进行。

此外,MDA 是膜脂过氧化作用的主要产物之一,具有很强的细胞毒性,对膜和细胞中的许多生物功能分子,如蛋白质、核酸和酶等均具有很强的破坏作用,并参与破坏生物膜的结构与功能。Ries 等研究认为,MDA 含量高低和细胞膜透性变化是反映细胞膜脂过氧化作用强弱和质膜破坏程度的重要指标。本研究表明,DTA-6 和 SOD<sub>M</sub> 调节剂减缓了 MDA 含量的升高,其中 DTA-6 主要表现在中期,而 SOD<sub>M</sub> 主要表现在前期和后期。

#### 3.2 不同植物生长调节剂对大豆叶片同化物代谢的影响

叶片中的可溶性蛋白质、可溶性糖、硝态氮以及游离氨基酸是植物体内的主要生理代谢物质,在植株代谢过程中起着重要的调节作用,其中可溶性蛋白,它是植物体内代谢过程中的一种酶,在氮素代谢中起着代谢库的作用<sup>[25]</sup>。而且在干旱条件下它们还可以维持一定的膨压,从而维持细胞生长,气孔开放和光合作用等生理过程的进行<sup>[26]</sup>。因此,植物体内生理代谢物质含量的多少,将直接影响到植株体内的代谢强度。本试验研究表明,DTA-6 和 SOD<sub>M</sub> 提高了叶片中的可溶性蛋白质、可溶性糖、硝态氮及游离氨基酸含量,其中 SOD<sub>M</sub> 的游离氨基酸输出量要

高于其他处理及对照,说明 SOD<sub>M</sub> 调节剂在叶片衰老过程中,以酰胺的形式进行 N 的转移时要相对快于其他处理及对照。因此,这也间接的说明蛋白质在蛋白酶的作用下分解成氨基酸的同时,叶片中游离氨基酸含量变化反映了蛋白质的降解情况和蛋白酶活性大小。

总之,本试验初步证明了叶面通过喷施 DTA-6 和 SOD<sub>M</sub> 调节剂,缓解了自由基对叶片膜脂的过氧化作用,提高了叶片抗氧化能力,延缓了叶片的衰老进程,促进了叶片内代谢调节物质的提高,进而为大豆后期籽粒灌浆提供强有力的生理保证。本试验中,由于在不同植物生长调节剂,不同浓度条件下,植物保护酶系的诱导表达有所不同,这可能与植物生长调节剂在植物抗性系统中所喷施种类、浓度以及喷施时期的不同有关,也可能与植物的某些内在物质在植物的信号传导中所起的作用存在的差异有关,因此,还有待进一步的研究。

#### 参考文献:

- [1] Che F S, Cho C, Hyeon S B, *et al.* Metabolism of choline chloride and its analogs in wheat seedlings[J]. *Plant Cell Physiol*, 1990, 31: 45 - 50.
- [2] Uemura M, Joseph R A, Steponkus P L. Cold acclimation of *Arabidopsis thaliana*[J]. *Plant Physiol*, 1995, 109: 15 - 30.
- [3] Uemura M, Steponkus P L. A contrast of the plasma membrane lipid composition of oat and rye leaves in relation to freezing tolerance[J]. *Plant Physiol*, 1994, 104: 479 - 496.
- [4] 盛瑞艳, 李鹏民, 薛国希, 等. 氯化胆碱对低温弱光下黄爪幼苗叶片细胞膜和光合机构的保护作用[J]. *植物生理与分子生物学学报*, 2006, 32(1): 87 - 93.
- [5] 张燕, 方力, 李天飞, 等. 氯化胆碱浸种对烟草幼苗某些生理特性的影响[J]. *植物生理学通讯*, 2004, 40(2): 164 - 166.
- [6] 祁春苗, 张秀月, 赵会杰. 氯化胆碱对受旱地黄叶片渗透调节物质与光合的影响[J]. *河南农业科学*, 2007(1): 84 - 86.
- [7] Stephen M, Poling W H. Chemical induction of  $\beta$ -carotene biosynthesis[J]. *Phytochemistry*, 1977, 16: 551 - 555.
- [8] Stephen M, Poling W H. Synthetic bioregulators of poly-cis-carotenoid biosynthesis[J]. *Phytochemistry*, 1982, 21(3): 601 - 604.
- [9] Brown R H. Influence of succinic acid 2,2'-dimethylhydrazide on yield and morphological characteristic of starve peanut (*Arachis hypogaea* L.) [J]. *Crop Science*, 1973, 13(5): 507 - 510.
- [10] Gepstein S, Nooden I D, Leopold A C. Senescence and aging in plant[M]. New York: Academic press, 1988: 85 - 109.
- [11] 张宪政. 作物生理研究法[M]. 北京: 农业出版社,

- 1993.
- [12] 刘祖祺. 植物抗性生理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1994.
- [13] 王晶英. 植物生理生化实验技术与原理[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2000.
- [14] 张志良主编. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.
- [15] Vernon A W. Effect of pod removal on leaf senescence in soybeans[J]. *Plant Physiol*, 1982, 70: 1544 - 1548.
- [16] Asada K. The water-water cycle in chloroplasts: scavenging of active oxygens and dissipation of excess photons[J]. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol*, 1999, 50: 601 - 639.
- [17] Foyer C H, Noctor G. Oxygen processing in photosynthesis: regulation and signaling[J]. *New Phytol*, 2000, 146: 359 - 388.
- [18] Palma J M, Jimenez A, Sandalio L M, *et al.* Antioxidative enzymes from chloroplasts, mitochondria, and peroxisomes during leaf senescence of nodulated pea plants[J]. *Exp Bot*, 2006, 57: 1747 - 1758.
- [19] O'Kane D, Gill V, Boyd P, *et al.* Chilling, oxidative stress and antioxidant response in *Arabidopsis thaliana* callus[J]. *Planta*, 1996, 198: 371 - 377.
- [20] Rivero R M, Ruiz J M, Garcia P C, *et al.* Response of oxidative metabolism in watermelon plants subjected to cold stress[J]. *Funct Plant Biol*, 2002, 29: 643 - 648.
- [21] Lyons J M. Chilling injury in plants[J]. *Annu Rev Plant Physiol*, 1973, 24: 445 - 466.
- [22] Agati G, Mazzinghi P, Lipucci Di, *et al.* The F685/F730 chlorophyll fluorescence ratio as indicator of chilling stress in plants[J]. *J Plant Physiol*, 1996, 148: 384 - 390.
- [23] Kudoh H, Sonoike K. Irreversible damage to photosystem I by chilling in the light: cause of the degradation of chlorophyll after returning to normal growth temperature[J]. *Planta*, 2002, 215: 541 - 548.
- [24] Lu C M, Lu Q G, Zhang J H, *et al.* Characterization of photosynthetic pigment composition, photosystem II photochemistry and thermal energy dissipation during leaf senescence of wheat plants grown in the field[J]. *J Exp Bot*, 2001, 52: 1805 - 1810.
- [25] 王月福, 于振文, 李尚霞. 氮素营养水平对小麦旗叶衰老过程中蛋白质和核酸代谢的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2003, 9(2): 178 - 183.
- [26] Hisao T C. Physiological effects of plant in response to water stress[J]. *Annu Rev Plant Physiol*, 1973, 24: 519 - 570.