

# 烯效唑浸种对干旱胁迫下工业大麻幼苗形态、 渗透调节物质及内源激素的影响

姜颖<sup>1,2</sup>, 左官强<sup>1</sup>, 王晓楠<sup>2</sup>, 张晓艳<sup>2</sup>, 韩承伟<sup>2</sup>,  
韩喜财<sup>2</sup>, 曹焜<sup>2</sup>, 赵越<sup>2</sup>, 孙宇峰<sup>2</sup>, 冯乃杰<sup>1</sup>

(1. 黑龙江八一农垦大学农学院, 黑龙江 大庆 163319; 2. 黑龙江省科学院大庆分院, 黑龙江 大庆 163319)

**摘要:** 选用  $0.4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  的烯效唑 ( $S_{3307}$ ) 浸种工业大麻“火麻一号”种子, 采用盆栽试验方法, 于大麻三叶期设置清水浸种后正常供水 (CK)、清水浸种后干旱胁迫 (D) 和烯效唑浸种后干旱胁迫 (D+S) 3 个处理, 探讨烯效唑浸种对干旱胁迫下工业大麻幼苗形态、渗透调节物质及内源激素的影响。结果表明: 与 D 处理的植株相比, D+S 处理显著提高了根系干、鲜重, 分别提高 46.67%~61.54% 和 16.46%~25.53%; 恢复了胁迫后期的地上部干、鲜重, 复水 4 d 后地上部干、鲜重较 D 处理分别提高了 4.38% 和 2.23%; 促进了根系生长的能力, 干旱胁迫 8 d 后, D+S 处理较 D 处理根长、根表面积、根体积、根总投影面积、分枝数、交叉数和根尖数分别增加了 34.48%、34.77%、69.10%、70.00%、29.62%、54.28% 和 33.07%; 提高了幼苗叶片 SPAD 值, 降低了细胞膜透性, 增加了可溶性糖和可溶性蛋白含量, 干旱胁迫 8 d 后 D+S 处理较 D 处理 SPAD 值增加了 28.30%, 细胞膜透性减少了 17.22%, 可溶性糖和可溶性蛋白含量分别增加了 17.32%~36.78% 和 5.07%~7.94%。干旱胁迫 8 d 后, D+S 处理使工业大麻叶片中脱落酸 (ABA) 含量增加了 1.02 倍, 水杨酸 (SA) 和茉莉酸 (JA) 含量分别降低了 17.79% 和 14.40%。可见, 烯效唑浸种能通过调控工业大麻幼苗生长及生理指标来增强其抗旱能力, 缓解干旱胁迫对幼苗造成的伤害。

**关键词:** 烯效唑 ( $S_{3307}$ ) 浸种; 工业大麻; 干旱胁迫; 幼苗形态; 渗透调节; 内源激素

**中图分类号:** S563.3; S482.8 **文献标志码:** A

## Effects of soaking seeds with uniconazole on morphology, osmotic regulators and endogenous hormones of industrial hemp seedlings under drought stress

JIANG Ying<sup>1,2</sup>, ZUO Guanqiang<sup>1</sup>, WANG Xiaonan<sup>2</sup>, ZHANG Xiaoyan<sup>2</sup>, HAN Chengwei<sup>2</sup>,  
HAN Xicai<sup>2</sup>, CAO Kun<sup>2</sup>, ZHAO Yue<sup>2</sup>, SUN Yufeng<sup>2</sup>, FENG Naijie<sup>1</sup>

(1. College of Agronomy, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing, Heilongjiang 163319, China;

2. Daqing Branch of Heilongjiang Academy of Sciences, Daqing, Heilongjiang 163319, China)

**Abstract:** This study used  $0.4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  of uniconazole solution to soak the seeds of industrial hemp “Huoma No.1”. The seedlings was treated with three methods that contained normal water supply (CK), drought stress (D), and uniconazole + drought stress (D+S) at the trifoliate stage with a pot experiment. The aim was to study the effects of uniconazole on the morphology, osmotic regulators, and endogenous hormones of hemp seedlings under drought stress. The results showed that compared with the plants under drought stress (D), D+S significantly increased the dry and fresh weights of roots by 46.67%~61.54% and 16.46%~25.53%, respectively; restored the dry and fresh weights of aerial part at the late stage of stress that increased 4.38 and 2.23%, respectively, after 4 days of rehydration; promoted the ability of root growth that the root length, root superficial area, root volume, total projected area of roots, root branches number, root crossing number, and root tip number increased by 34.48%,

收稿日期:2019-05-31

修回日期:2020-02-20

基金项目:黑龙江省科学院青年创新基金(CXJQ2018DQ01);国家重点研发专项(2016YFC0501207-03);黑龙江省科学院科学研究基金(ZS2019);黑龙江省科学院院长基金(YZ2018DQ02)

作者简介:姜颖(1986-),女,吉林通化人,博士研究生,助理研究员,研究方向为大麻遗传育种与栽培。E-mail:bazhujiangying@126.com

通信作者:冯乃杰(1970-),女,河北宝坻人,教授,主要从事作物化学调控研究工作。E-mail:byndfj@126.com

孙宇峰(1964-),男,吉林双辽人,研究员,主要从事作物育种与栽培工作。E-mail:sunyf888@163.com

34.77%, 69.10%, 70.00%, 29.62%, 54.28%, and 33.07%, respectively, after 8 days of drought stress. Uniconazole increased SPAD value by 28.30%, decreased cell membrane permeability by 17.22%, and increased soluble sugar by 17.32%~36.78%, and soluble protein content by 5.07%~7.94% after 8 days of drought stress. The D+S treatment increased the content of abscisic acid (ABA) for 1.02 fold, decreased the contents of salicylic acid (SA) and jasmonic acid (JA) by 17.79 and 14.40%, respectively, after 8 days of drought stress. It is thus clear that uniconazole can enhance the drought resistance of industrial hemp seedlings and alleviate the damage by regulating their growth and physiological indicators under drought stress.

**Keywords:** seed soaking with uniconazole ( $S_{3307}$ ); industrial hemp; drought stress; seedling morphology; osmotic regulation; endogenous hormones

全球性气候不断变化导致世界各地缺水问题日益严重,进而引发干旱。干旱作为重要的非生物胁迫因子之一,其发生周期短,程度重,对粮食生产构成严重威胁,制约着我国农业的发展<sup>[1]</sup>。干旱会使植物形态结构、光合能力和生理行为发生变化<sup>[2-3]</sup>,且对植物生长发育和产量产生巨大的负面影响。大麻是世界上最古老的一年生草本植物之一,在中国有数千年的种植历史<sup>[4]</sup>。 $\delta$ -9-四氢大麻酚(THC)含量低于0.3%的大麻称之为工业大麻,允许在我国种植。工业大麻作为我国传统的多用途、多功能经济作物,其种子、纤维以及花叶被广泛应用于多个领域中<sup>[5-7]</sup>。干旱胁迫是限制大麻生长的主要环境因素之一,对大麻的品质和产量造成重大的损失<sup>[5]</sup>。干旱胁迫会降低大麻种子的发芽势和发芽率,抑制种子胚芽和胚根生长<sup>[8]</sup>,进而影响发芽指数和活力指数。有研究表明,干旱胁迫对大麻萌发初期和快速生长期幼苗和植株的生理特性有明显的抑制作用<sup>[9-10]</sup>。植物生长调节剂的应用可以影响植物体内多种参与逆境代谢相关的生理活动,明显提高植株的抗逆性<sup>[11]</sup>。烯效唑( $S_{3307}$ )作为一种高效低毒的三唑类植物生长延缓剂<sup>[12]</sup>,具有很强的生长调节能力,主要用于壮苗和抗逆,具有“控上促下”、“前控后促”的效果,可以改变幼苗形态<sup>[13]</sup>,缓解膜脂过氧化程度<sup>[14]</sup>,增强渗透调节能力,改变植物激素的含量和作用方式,使植株生命活动发生改变,最终达到抗逆、增产等一系列效果<sup>[15]</sup>。

本研究以工业大麻品种“火麻1号”为试验材料,研究了烯效唑对干旱胁迫下工业大麻幼苗形态、渗透调节物质及内源激素的影响,旨在分析烯效唑对干旱胁迫下工业大麻的调控效应,为烯效唑在工业大麻抗逆方面的应用及进一步拓宽工业大麻化控技术的研究提供理论基础和技术支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试材料为黑龙江省大麻品种“火麻1号”,种子由黑龙江省科学院大庆分院提供。烯效唑( $S_{3307}$ )由黑龙江八一农垦大学化控实验室提供。

### 1.2 试验方法

用 $0.4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 烯效唑浸种,浸种完成后进行播种,选择发芽较好且长势一致的种子,定植于装有草炭土:沙子为2:1(体积比)的花盆中,草炭土pH值6.30。在遮雨棚中进行试验,保证供水一致(维持在田间持水量的70%),直至三叶期(3对真叶)进行处理。试验共设3个处理,分别为:清水浸种,正常供水(CK);清水浸种,三叶期断水(D);烯效唑浸种,三叶期断水(D+S)。干旱胁迫0、2、4、6、8 d以及复水4 d后分别取样进行指标测定。

### 1.3 指标测定

地上部和地下部干重用烘干称重法测定;根系总根长、体积、表面积、总投影面积、平均直径、根尖数、分枝数和交叉数用加拿大Regent公司生产的根系扫描仪,经数字化软件(WinRHIZO-2004a)分析后获得根系形态数据。

细胞膜透性采用电导法测定<sup>[16]</sup>;可溶性糖含量采用蒽酮比色法测定<sup>[17]</sup>;可溶性蛋白质含量采用考马斯亮蓝(G-250)法测定<sup>[18]</sup>;SPAD值采用CCM-220+手持叶绿素仪测定。

样品中内源激素脱落酸(ABA)、水杨酸(SA)、茉莉酸(JA)含量采用液相色谱-质谱联用法检测。

### 1.4 数据分析

试验数据采用Excel 2010和SPSS statistics 20软件进行整理、分析,采用OriginPro 9.1绘图软件绘制图片。

## 2 结果与分析

### 2.1 烯效唑浸种对干旱胁迫下工业大麻幼苗生物量的影响

由表1可知,干旱胁迫下工业大麻地上部鲜重

明显下降,地上部干重积累产生了明显的抑制作用。D+S 处理与 D 处理地上部鲜重在胁迫 2 d 未出现明显差异,但在干旱胁迫 8 d 和复水 4 d 后 D+S 处理高于 D 处理,分别高 2.36% 和 2.23%;而地上部干重在胁迫 6 d 开始恢复,在复水 4 d 后比 D 处理高 4.38%。由图 1 可知,D 处理下,工业大麻的根系鲜重、根系干重均较 CK 出现明显的下降,根系鲜重下降了 13.19%~25.40%,根系干重下降了 23.53%~29.17%;而 D+S 处理显著提高了根系干鲜重,与 D 处理相比,根系鲜重增加了 16.46%~25.53%,干重增加了 46.67%~61.54%。

## 2.2 烯效唑浸种对干旱胁迫下工业大麻根系形态指标的影响

研究发现,烯效唑处理后对总根长的影响是多方面的,与正常供水下、干旱胁迫 4 d 和 8 d 后相比,烯效唑处理显著增加了工业大麻的总根长,分别增加了 84.10%、77.42% 和 34.48% (图 2A)。D+S 处理

后对根平均直径的影响差异不明显,只在胁迫 4 d 后比 D 处理增加 5.40% (表 2)。随着处理时间的延长,根表面积、根体积和根总投影面积不断增加,D 处理较 CK 有所降低 (图 2);D+S 处理的工业大麻根表面积在处理 8 d 后比 D 处理高 34.77% (图 2B);D+S 处理的工业大麻根体积在处理 0、2、4、6 d 和 8 d 后都显著高于 D 处理下的根体积,增加了 59.66%~93.22% (图 2C);根总投影面积在 D+S 处理 4、6 d 和 8 d 后显著高于 D 处理下的根总投影面积,分别提高了 37.47%、69.23% 和 70.00% (图 2D);复水处理 4 d 后 D+S 处理根表面积、根体积和根总投影面积与 CK 差异不显著 (图 2)。D 处理下,根尖数、分枝数和交叉数显著低于 CK,在处理 8 d 后,根尖数、分枝数和交叉数分别比 CK 降低 31.23%、25.78% 和 42.66%;D+S 处理根尖数、分枝数和交叉数显著高于 D 处理,在处理 8 d 后,根尖数、分枝数和交叉数分别比 D 处理增加 33.07%、29.62% 和 54.28% (表 2)。

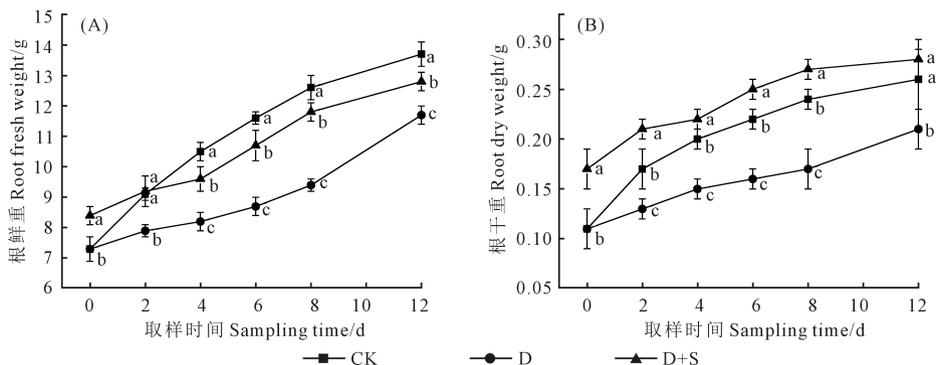
表 1 烯效唑浸种对干旱胁迫下工业大麻地上部干、鲜重的影响

Table 1 Effect of seed soaking with uniconazole on fresh and dry above-ground weight of industrial hemp under drought stress

指标 Indicator	处理方法 Treatment method	取样时间 Sampling time/d	CK	D	D+S
鲜重/g Fresh weight	干旱处理 Drought stress	0	8.84±0.56a	8.84±0.56a	7.91±0.16b
		2	9.66±0.49a	8.88±0.18ab	8.16±0.57b
		4	11.03±0.28a	9.25±0.31b	8.69±0.26b
		6	11.99±0.30a	9.67±0.22b	9.15±0.30b
		8	12.25±0.34a	9.75±0.28b	9.98±0.32b
		12	13.06±0.52a	11.22±0.39b	11.47±0.70b
干重/g Dry weight water	干旱处理 Drought stress	0	2.01±0.05a	2.01±0.05a	1.76±0.05b
		2	2.47±0.05a	2.10±0.09b	1.85±0.06c
		4	3.04±0.07a	2.34±0.06b	2.08±0.06c
		6	3.38±0.54a	2.50±0.04b	2.40±0.03b
		8	3.96±0.08a	2.63±0.06b	2.63±0.05b
		12	4.23±0.12a	3.20±0.03b	3.34±0.07b

注:表中同行不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )。下同。

Note: Values followed by different lowercase letters within each row are significantly difference at the 0.05 probability level. The same below.



注:不同小写字母表示处理间差异显著( $P<0.05$ )。下同。

Note: Different lowercase letters mean significant difference among the treatments ( $P<0.05$ ). The same below.

图 1 烯效唑浸种对干旱胁迫下工业大麻根系干、鲜重的影响

Fig.1 Effect of seed soaking with uniconazole on fresh and dry root weight of industrial hemp under drought stress

表2 烯效唑浸种对干旱胁迫下工业大麻根系形态的影响

Table 2 Effect of seed soaking with uniconazole on root morphology of industrial hemp under drought stress

指标 Indicator	处理方法 Treatment method	取样时间 Sampling time/d	CK	D	D+S
根平均直径/mm Root mean diameter	干旱处理 Drought stress	0	0.590±0.059a	0.590±0.059a	0.616±0.066a
		2	0.614±0.005a	0.605±0.009a	0.617±0.027a
		4	0.640±0.018ab	0.611±0.007b	0.644±0.019a
		6	0.654±0.014a	0.620±0.019a	0.646±0.049a
		8	0.695±0.048a	0.633±0.008a	0.669±0.032a
		12	0.803±0.103a	0.715±0.090a	0.732±0.028a
根尖数/个 Root tips number	干旱处理 Drought stress	0	51.00±7.81a	51.00±7.81a	61.67±6.66a
		2	67.67±12.50a	61.67±12.50a	76.33±2.52a
		4	92.67±5.69a	69.67±7.51b	91.00±6.25a
		6	133.00±8.19a	82.67±6.43b	121.67±12.1a
		8	184.67±2.52a	127.00±8.54c	169.00±6.93b
		12	269.67±41.96a	211.00±34.83a	255.00±34.40a
分枝数/个 Root branches number	干旱处理 Drought stress	0	48.33±9.71b	48.33±9.71b	87.00±7.81a
		2	104.67±8.15a	94.00±9.54a	109.33±9.29a
		4	165.67±5.03a	115.00±6.08b	156.00±6.00a
		6	285.00±20.66a	176.67±7.57b	272.33±9.07a
		8	350.33±27.43a	260.00±20.81b	337.00±29.51a
		12	513.67±51.16a	394.67±20.55b	490.33±16.92a
交叉数/个 Root crossing number	干旱处理 Drought stress	0	11.67±1.53b	11.67±1.53b	24.00±3.61a
		2	29.33±3.06a	20.67±2.08b	33.00±3.00a
		4	122.00±8.89a	61.67±4.93b	105.00±13.89a
		6	159.33±14.47a	97.33±4.04b	149.00±23.39a
		8	190.67±11.59a	109.33±5.13c	168.67±2.52b
		12	288.33±27.74a	187.33±9.45b	222.33±8.08b

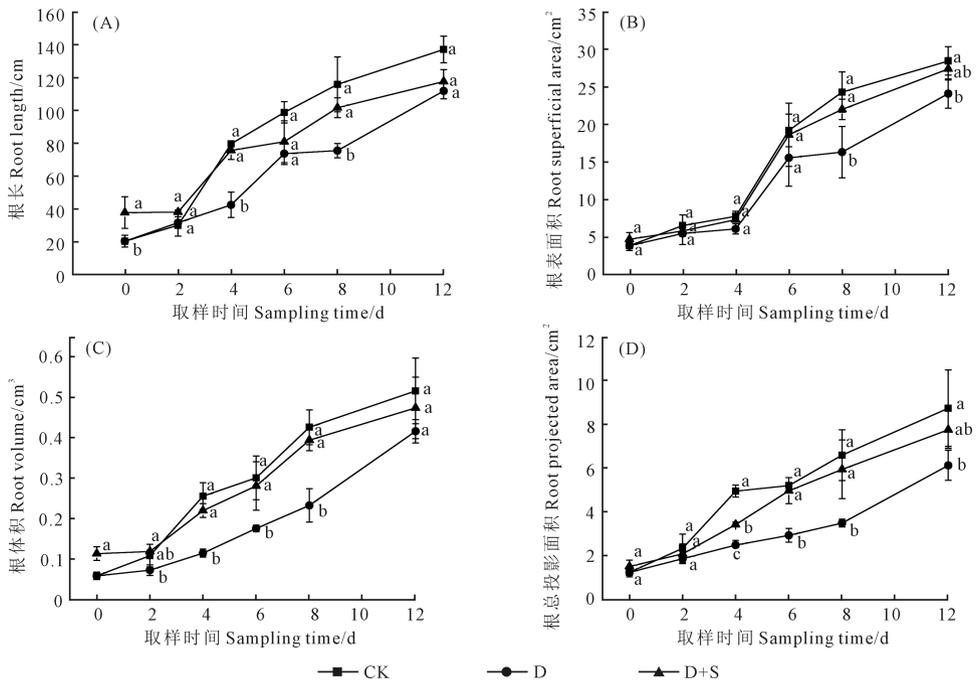


图2 烯效唑浸种对干旱胁迫下工业大麻根长、根表面积、根体积、根总投影面积的影响

Fig.2 Effect of seed soaking with uniconazole on root length, superficial area, volume, and projected root area of industrial hemp under drought stress

## 2.3 烯效唑浸种对干旱胁迫下工业大麻幼苗生理生化指标的影响

**2.3.1 烯效唑浸种对干旱胁迫下工业大麻幼苗 SPAD 值的影响** 随着处理天数的增加,各处理的 SPAD 值呈现出不同的变化趋势。正常供水条件下,SPAD 值处于稳定状态;D 处理下,SPAD 值呈下降趋势,在胁迫 4、6、8 d 后显著低于 CK,分别降低了 11.01%、18.33% 和 27.31%,而在复水 4 d 后得到缓解;D+S 处理下,SPAD 值显著高于 D 处理,在胁迫 4、6、8 d 后分别增加了 11.77%、19.87% 和 28.30% (图 3)。可见,烯效唑浸种能提高叶片的 SPAD 值,对于提高光合作用有明显作用。

**2.3.2 烯效唑浸种对干旱胁迫下工业大麻幼苗细胞膜透性的影响** 工业大麻幼苗遇干旱胁迫导致叶片的细胞膜透性明显增加,并随着胁迫时间的延长不断升高;D 处理 4、6 d 和 8 d 后,细胞膜透性显著增加,分别是 CK 的 1.26、1.33 倍和 1.39 倍,复水 4 d 后得到恢复;烯效唑浸种可以显著降低叶片的细胞膜透性,与 D 处理相比,在胁迫 0、2、4、6、8 d 和复水 4 d 后分别减少了 11.40%、15.01%、19.46%、22.69%、

17.22% 和 12.08% (图 4),这表明烯效唑浸种能够缓解干旱胁迫对工业大麻叶片造成的氧化损伤。

**2.3.3 烯效唑浸种对干旱胁迫下工业大麻幼苗渗透调节物质含量的影响** 干旱胁迫导致了工业大麻叶片内的渗透调节物质——可溶性糖和可溶性蛋白含量均显著增加。D 处理可溶性糖和可溶性蛋白含量分别较 CK 增加了 23.08%~123.84% (图 5A) 和 2.44%~8.98% (图 5B);复水 4 d 后可溶性糖和可溶性蛋白含量有所下降,但仍高于对照 (图 5)。烯效唑浸种进一步促进了叶片内渗透调节物质含量的增加,处理过程中,D+S 处理可溶性糖和可溶性蛋白含量分别比 D 处理增加了 17.32%~36.78% (图 5A) 和 5.07%~7.94% (图 5B);复水后 D+S 处理的渗透调节物质含量仍然高于 CK 和 D 处理 (图 5)。

## 2.4 烯效唑浸种对干旱胁迫下工业大麻幼苗内源激素的影响

测定干旱胁迫 8 d 后的 CK、D、D+S 处理叶片中内源激素——脱落酸 (ABA)、水杨酸 (SA) 和茉莉酸 (JA) 的含量 (图 6)。干旱胁迫下,工业大麻叶片中的内源激素 ABA、SA 和 JA 含量显著增加,分别比 CK

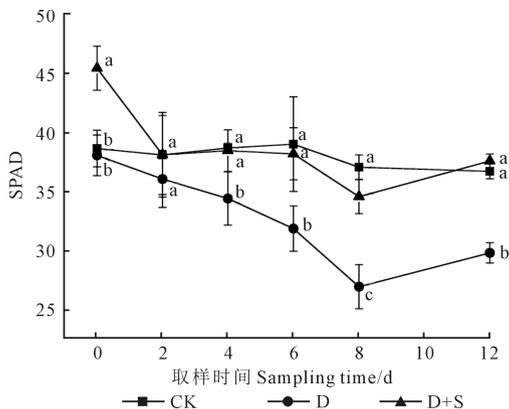


图 3 烯效唑浸种对干旱胁迫下工业大麻幼苗 SPAD 值的影响  
Fig.3 Effect of seed soaking with uniconazole on SPAD value of industrial hemp under drought stress

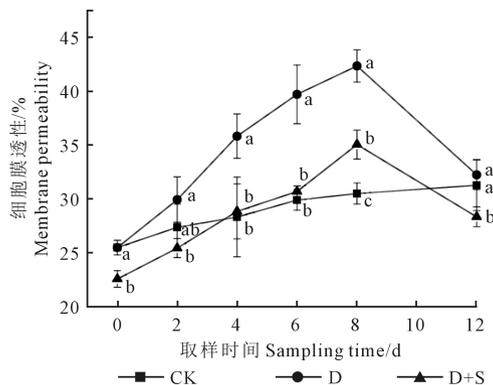


图 4 烯效唑浸种对干旱胁迫下工业大麻幼苗细胞膜透性的影响  
Fig.4 Effect of seed soaking with uniconazole on membrane permeability of industrial hemp under drought stress

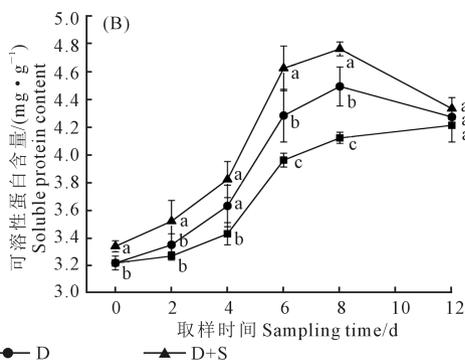
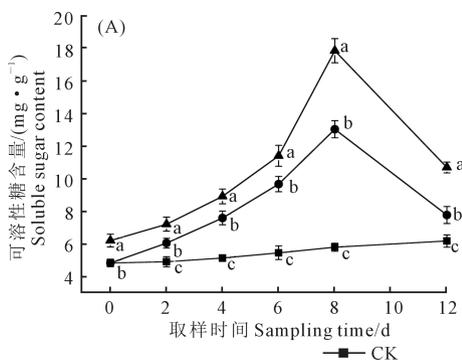


图 5 烯效唑浸种对干旱胁迫下工业大麻幼苗可溶性糖和可溶性蛋白含量的影响

Fig.5 Effect of seed soaking with uniconazole on soluble sugar and soluble protein content of industrial hemp under drought stress

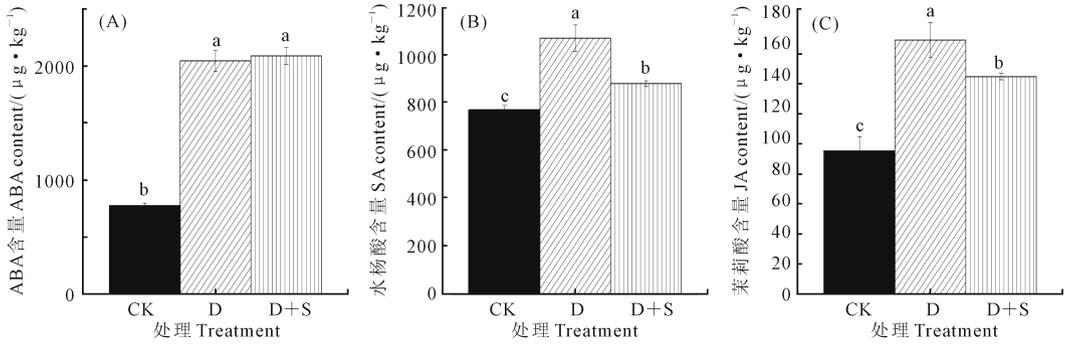


图6 烯效唑浸种对干旱胁迫下工业大麻幼苗 ABA、SA 和 JA 的影响(干旱胁迫 8 d)

Fig.6 Effect of seed soaking with uniconazole on ABA, SA, and JA of industrial hemp under drought stress (8 d after drought stress)

增加了163.50%、38.72%和77.67%。D+S处理ABA含量有所增加,但与D处理差异不显著(图6A);而D+S处理显著降低了SA和JA的含量,分别比D处理降低了17.79%(图6B)和14.40%(图6C)。

### 3 讨论与结论

随着干旱胁迫的延长,植株高度和叶面积减小<sup>[19]</sup>;烯效唑作为一种植物生长抑制剂,能有效地保护植物免受损伤,降低植物高度和叶面积<sup>[20-21]</sup>;而且烯效唑对于缓解逆境胁迫下植株根系的生长具有促进作用<sup>[13]</sup>。Barnes等<sup>[22]</sup>研究发现,烯效唑处理对水分胁迫下的松木幼苗的茎有显著的抑制作用,但促进了根系生长。本研究发现在胁迫初期,烯效唑浸种处理的地上部干、鲜重比干旱胁迫处理低,但在胁迫后期慢慢得到恢复,且在复水4 d后比干旱处理植株的地上部干、鲜重分别高出4.38%和2.23%;而烯效唑浸种处理显著提高了地下部干、鲜重,较干旱处理的根系鲜重增加了16.46%~25.53%,根系干重增加了46.67%~61.54%。由此表明烯效唑具有“控上促下”、“前控后促”的效果,即具有延缓地上部生长、促进地下部根系生长的能力<sup>[13,23]</sup>。工业大麻苗期,主根占主要部分,亦起到主要作用,烯效唑浸种显著增加了总根长,在干旱胁迫8 d后,总根长比干旱处理下提高了34.48%。根系长出的侧根降低了根的平均直径,侧根生长越多平均直径反而越低。本研究发现,烯效唑浸种处理后分枝数和交叉数显著高于干旱处理,在干旱胁迫8 d后,分枝数和交叉数分别比干旱处理下增加了29.62%和54.28%;而对根系平均直径的影响差异不明显。根尖数是工业大麻根系的一个重要指标,根尖数近似与侧根数相等,烯效唑浸种处理后根尖数显著增加,在干旱胁迫8 d后,根尖数比干旱处理下增加了33.07%。根系长度和直径的变化会引起工业大麻根表面积和根体积的变化,而工业大麻根

表面积直接影响到其对水分和营养的吸收能力。研究结果表明,烯效唑浸种后根表面积、根体积和根总投影面积有所增加,在干旱胁迫8 d后,根表面积、根体积和根总投影面积比干旱胁迫处理增加了34.77%、69.10%和70.00%。烯效唑浸种处理下,叶片SPAD值显著提高,在干旱胁迫8 d后增加了28.30%,这对于提高光合作用有明显作用。干旱胁迫能够破坏活性氧的产生和消除之间的动态平衡,使植物细胞受到伤害,细胞膜透性增大,从而影响植物的正常生长代谢<sup>[9,25]</sup>。本研究发现,干旱胁迫导致工业大麻叶片的细胞膜透性明显增加,胁迫处理8 d后较CK增加了38.76%;而烯效唑浸种可以显著降低叶片的细胞膜透性,与干旱处理相比,在胁迫8 d后减少了17.22%,这表明烯效唑能够缓解干旱胁迫对工业大麻叶片造成的氧化损伤。可溶性糖和可溶性蛋白作为渗透调节物质是植物抗逆形成的重要物质基础<sup>[26]</sup>,逆境胁迫下,可溶性糖和可溶性蛋白大量积累,可以维持植物细胞渗透势和增大细胞原生质浓度而引起抗脱水作用,有利于植物抵抗逆境的伤害。研究表明,逆境胁迫下,烯效唑施用可以增加渗透调节物质的含量,提高抵御逆境能力<sup>[15,27]</sup>。本研究发现,干旱胁迫使可溶性糖和可溶性蛋白含量显著增加,烯效唑浸种进一步促进了叶片内渗透调节物质含量的增加,分别比干旱胁迫处理的植株增加了17.32%~36.78%和5.07%~7.94%。植物通过提高内源ABA水平诱导气孔关闭等机制来应对干旱胁迫造成的损伤<sup>[28]</sup>。本研究发现干旱胁迫8 d后,工业大麻叶片中的内源激素ABA显著增加,比CK增加了163.50%;烯效唑浸种后ABA含量仍有所增加,合理的解释是烯效唑能够抑制ABA 8'-hydroxylase的活性,减少ABA的降解,从而提高ABA的含量<sup>[29]</sup>。植物通过控制SA和JA的含量来调控它们所介导的代谢途径,使植物更

具有抵御胁迫的能力。张志芬等<sup>[30]</sup>研究发现,重度干旱胁迫下,内源激素 SA 和 JA 含量显著升高。本研究结果与其相似,干旱胁迫 8 d 后,工业大麻叶片中的内源激素 SA 和 JA 显著增加,分别比 CK 增加了 38.72% 和 77.67%;烯效唑浸种后,植株损伤程度降低,SA 和 JA 的含量分别比干旱胁迫处理降低了 17.79% 和 14.40%。

#### 参 考 文 献:

- [1] 李琬.干旱对大豆根系生育的影响及灌溉缓解效应研究进展[J].草业学报,2019,28(4):194-204.
- [2] Wang S, Liang D, Li C, et al. Influence of drought stress on the cellular ultrastructure and antioxidant system in leaves of drought-tolerant and drought-sensitive apple rootstocks [J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2012, 51:81-89.
- [3] 吴园园,田一丹,刘丽欣,等.三唑酮预处理对花期大豆干旱胁迫及复水后生理特性及产量的影响[J].核农学报,2013,27(11):1749-1755.
- [4] Liu F H, Hu H R, Du G H, et al. Ethnobotanical research on origin, cultivation, distribution and utilization of hemp (*Cannabis sativa* L.) in China [J]. Indian Journal of Traditional Knowledge, 2017, 16: 235-242.
- [5] Abot A, Bonnafous C, Touchard F, et al. Effects of cultural conditions on the hemp (*Cannabis sativa*) phloem fibres: biological development and mechanical properties [J]. Journal of Composite Materials, 2013, 47(8):1067-1077.
- [6] Amaducci S, Scordia D, Liu F H, et al. Key cultivation techniques for hemp in Europe and China [J]. Industrial Crops & Products, 2014, 68:2-16.
- [7] Radu S, Robu T. Effects and efficiency of dietary hemp seed and flaxseed oils on the human metabolic function [J]. Journal of Environmental Protection & Ecology, 2014, 15(1):326-331.
- [8] 光菊,李璇,王倩,等.不同外源物质浸种对干旱胁迫下巴马火麻种子萌发的影响研究[J].云南大学学报(自然科学版),2018,40(5):212-219.
- [9] 李光菊,王倩,李璇,等.赤霉素和 VC 浸种对干旱胁迫下大麻种子萌发初期幼苗生理的影响[J].种子,2018,37(6):67-71.
- [10] 郭媛,王玉富,邱财生,等.干旱胁迫对不同大麻品种生理特性和生长的影响研究初报[J].中国麻业科学,2011,33(5):235-239.
- [11] 姜颖,赵越,孙全军,等.植物生长调节剂在植物生长发育中的应用[J].黑龙江科学,2018,9(24):4-7,11.
- [12] 宁万光,刘红敏,张万平.烯效唑对小麦幼苗高温胁迫的缓解效应研究[J].现代农业科技,2007,(14):103-104.
- [13] 刘春娟,宋双伟,冯乃杰,等.干旱胁迫及复水条件下烯效唑对大豆幼苗形态和生理特性的影响[J].干旱地区农业研究,2016,34(6):222-227.
- [14] Zhang M, Duan L, Tian X, et al. Uniconazole-induced tolerance of soybean to water deficit stress in relation to changes in photosynthesis, hormones and antioxidant system [J]. Journal of Plant Physiology, 2007, 164(6):709-717.
- [15] 王景伟,黄玉兰,金喜军,等.干旱胁迫下烯效唑拌种对芸豆保护酶活性及渗透调节物质的影响[J].江苏农业科学,2017,45(12):59-61.
- [16] 李合生.植物生理生化试验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000:114-115.
- [17] 张宪政,谭桂茹,黄元极,等.植物生理学实验技术[M].沈阳:辽宁科学技术出版社,1989:264-271.
- [18] 郝再彬,苍晶,徐仲.植物生理实验[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2004:67-68.
- [19] Zhang S H, Xu X F, Sun Y M, et al. Influence of drought hardening on the resistance physiology of potato seedlings under drought stress [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2018, 17(2):336-347.
- [20] Schluttenhofer C M, Massa G D, Mitchell C A. Use of uniconazole to control plant height for an industrial/pharmaceutical maize platform [J]. Industrial Crops and Products, 2011, 33(3):720-726.
- [21] Fletcher R A. Triazoles as plant growth regulators and stress protectants [J]. Horticultural Reviews, 2000, 24:55-138.
- [22] Barnes A D, Kelley W D. Effects of a triazole, uniconazol, on shoot elongation and root growth in loblolly pine [J]. Canadian Journal of Forest Research, 2011, 22(1):1-4.
- [23] 田晓莉,杨培珠,何钟佩,等.棉花根-冠关系研究根系伤流液及叶片中内源激素的变化[J].中国农业大学学报.1999,4(5):92-97.
- [24] Wang Y, Gu W, Meng Y, et al.  $\gamma$ -aminobutyric acid imparts partial protection from salt stress injury to maize seedlings by improving photosynthesis and upregulating osmoprotectants and antioxidants [J]. Scientific Reports, 2017, 7:43609.
- [25] 陈军,高贵珍,徐礼生,等.干旱胁迫下水杨酸浸种对小麦萌发期保护酶活性的影响[J].分子植物育种,2015,13(12):2854-2857.
- [26] 柯贞进,尹美强,温银元,等.干旱胁迫下聚丙烯酰胺浸种对谷子种子萌发及幼苗期抗旱性的影响[J].核农学报,2015,29(3):563-570.
- [27] 张兰庆.烯效唑对大豆苗期抗旱性的调控效应[D].大庆:黑龙江八一农垦大学,2016.
- [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] 韩毅强.赤霉素及烯效唑浸种对大豆根系及农艺性状的效应研究[D].哈尔滨:东北林业大学,2018.
- [30] 张志芬,付晓峰,赵宝平,等.腐植酸对重度干旱胁迫下燕麦叶片可溶性糖组分和内源激素的影响[J].中国农业大学学报,2018,23(9):17-26.