

王 涛, 黄语燕, 陈永快, 等. 高温胁迫下外源壳聚糖对黄瓜幼苗生长的影响[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(23): 142–146.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.23.034

# 高温胁迫下外源壳聚糖对黄瓜幼苗生长的影响

王 涛, 黄语燕, 陈永快, 廖水兰, 刘 现, 康育鑫

(福建省农业科学院数字农业研究所, 福建福州 350003)

**摘要:**以夏之光黄瓜品种为试验材料, 研究用不同浓度壳聚糖(0、25、50、100、200 mg/L)在高温(昼一夜温度周期为 36 ℃—28 ℃)条件下处理 1、3 d 及恢复常温 2 d 后, 黄瓜幼苗形态指标和生理指标的变化。结果表明, 在高温胁迫环境下, 外源壳聚糖能够增加黄瓜幼苗的茎粗、叶面积和根体积, 提高壮苗指数和根冠比, 降低丙二醛含量, 提高叶绿素、脯氨酸和可溶性蛋白含量, 增强抗氧化酶[超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)]活性, 缓解高温胁迫对黄瓜幼苗的伤害, 以 100 mg/L 壳聚糖处理的效果最优。

**关键词:** 黄瓜; 高温胁迫; 壳聚糖; 生长; 生理

**中图分类号:** S642.201 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)23-0142-05

黄瓜(*Cucumis sativus* L.), 又名胡瓜、青瓜等, 为葫芦科植物, 广泛分布于我国, 是我国设施栽培的主要蔬菜种类之一<sup>[1]</sup>。黄瓜原产于温带和热带地区, 性喜温, 不耐寒冷和高温, 生长适温为 10~32 ℃, 超过 35 ℃会导致伤害<sup>[2]</sup>。在夏秋季节, 尤其在我国南方利用日光温室和塑料大棚进行栽培时, 午后室内温度常常高于 40 ℃, 容易造成植株生理代谢失调、光合作用下降、生长发育不良, 从而使黄瓜的产量和品质受到显著影响<sup>[3]</sup>。因此, 提高黄瓜的耐热性对于设施栽培具有重要的意义。

壳聚糖是一种通过甲壳素脱乙酰化得到的聚葡萄糖胺<sup>[4]</sup>。甲壳素在自然界中含量丰富, 是地球上除了纤维素外的第二大可再生资源, 是一种非常经济的化学物质, 被认为是一种很有前景的非生物胁迫抗性诱导剂<sup>[5]</sup>。研究发现, 外源壳聚糖处理可以提高盐胁迫下黄瓜<sup>[6]</sup>、豇豆<sup>[7]</sup>的超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化物酶(POD)活性, 并可显著减轻盐害症

状。曲丹阳等研究发现, 壳聚糖可以促进镉胁迫下玉米幼苗的根系生长和叶片光合作用, 增加根系抗氧化酶活性和提高内源激素水平, 还可以调控镉胁迫下玉米幼苗叶片中的抗坏血酸-谷胱甘肽(AsA-GSH)循环<sup>[8-10]</sup>。朱云林等研究发现, 在水稻苗期喷洒壳聚糖可以提高水稻幼苗的抗寒性, 减少或避免低温对水稻幼苗的伤害<sup>[11]</sup>。王聪等研究表明, 外源壳聚糖可减缓 NaCl 胁迫下菜用大豆干质量的下降, 显著降低叶绿体 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 含量, 显著提高抗氧化酶活性, 促进菜用大豆叶绿体内的 AsA-GSH 循环<sup>[12-14]</sup>。此外, 壳聚糖还可作为作物的生长调节剂, 促进大豆<sup>[15]</sup>、玉米<sup>[16]</sup>、小麦<sup>[17-18]</sup>等作物种子的萌发、幼苗的生长发育, 从而提高农作物的产量。

目前, 壳聚糖诱导植物抵抗低温、干旱、重金属、盐害等非生物胁迫的研究已有大量报道, 而对高温胁迫的抗性研究较少。本试验以夏之光黄瓜为材料, 在高温条件下研究壳聚糖对黄瓜幼苗生长、生理代谢的影响, 探讨外源壳聚糖对黄瓜抵抗高温逆境的生理作用, 以期壳聚糖在设施栽培中的应用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地点

本试验在福建省农业科学院玻璃温室及生理生化实验室内进行。

### 1.2 试验方法

试验时间为 2018 年 8 月 8—28 日。试验黄瓜品种为夏

系和食葵产量的影响[J]. 农业环境科学学报, 2012, 30(11): 2186–2191.

[31] 顾金凤. 微生物菌肥对盐渍化土壤的改良研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2013.

[32] 李 乐, 孙 海, 刘政波, 等. 微生物肥料的作用、机理及发展方向[J]. 东北农业科学, 2016, 41(4): 63–69.

[33] 刘 杰, 罗尊长, 肖小平, 等. 土壤调理剂对冷浸田土壤特性及水稻生长的影响[J]. 土壤, 2016, 48(3): 529–533.

[34] 齐露露. 轮作与施用生物炭对设施土壤性质的影响[D]. 扬州: 扬州大学, 2018.

[35] 顾淑琴. 茭白品种对比试验[J]. 甘肃农业, 2013(16): 84–84.

[36] 董 放. 沿黄灌区引种茭白对盐渍化湿地改良效果的研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2016.

[37] 赵小英, 刘明月, 肖 杰, 等. 氮钾钼对薹菜硝酸盐积累和硝酸还原酶活性的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2003, 29(3): 239–242.

[38] 冯均科, 王雪花, 朱培森. 薹菜淹水栽培对大棚土壤盐分和 pH 值的影响[J]. 上海蔬菜, 2017(4): 63–64.

[39] 章 丽. 上海郊县设施菜地土壤次生盐渍化调查及 S3-1 菌株与蔬菜的改良作用[D]. 上海: 上海师范大学, 2018.

之光,由山东金种子农业发展有限公司提供。黄瓜播种时间为 8 月 8 日,试验共设 5 个处理,每个处理设 3 次重复。试验基质为草炭 + 珍珠岩(体积比为 2 : 1),育苗穴盘采用 72 孔穴盘(长 × 宽 × 高为 54 cm × 28 cm × 4 cm)。播种后置于温度为 25 ℃、光照度为 12 000 lx、空气相对湿度为 75% 的智能光照培养箱(GTOP - B/D)中培养。营养液配方如下:在 200 L 营养液中分别添加母液 A[16 kg Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, 6 kg KNO<sub>3</sub>]、母液 B[3 kg KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 10 kg MgSO<sub>4</sub>, 460 g EDTA - Fe, 120 g MnSO<sub>4</sub>, 60 g ZnSO<sub>4</sub>, 4 g CuSO<sub>4</sub>, 1.5 g (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub> · 4H<sub>2</sub>O, 60 g H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>]。待黄瓜幼苗长至 2 叶 1 心期(8 月 20 日)时,于每天 16:00 用 0(CK)、25(T<sub>1</sub>)、50(T<sub>2</sub>)、100(T<sub>3</sub>)、200(T<sub>4</sub>)mg/L 壳聚糖溶液喷施黄瓜叶片,以去离子水作为对照,连续喷施 3 d,叶片喷施标准以正反 2 面喷施至有水滴流下为准。喷施 3 d 后(8 月 23 日),将温度调至昼一夜温度(光照)周期为 36 ℃(12 h)—28 ℃(12 h)进行高温胁迫,分别在处理 1 d(8 月 24 日)、3 d(8 月 26 日)时取样,测定生长指标和生理指标,之后将昼一夜温度(光照)周期调至 28 ℃(12 h)—18 ℃(12 h),高温处理 3 d 后恢复常温培养 2 d,于 8 月 28 日测定黄瓜幼苗叶片的生长指标和生理指标,每个处理选择 10 株长势一致的植株,各个指标重复测定 3 次。

1.3 测定项目

1.3.1 形态指标的测定 株高:用直尺测量植株基部到顶端生长点的长度。茎粗:用游标卡尺测定植株子叶下 2 cm 处的直径。地上/地下部鲜质量:用感量 0.001 g 的电子天平称量。地上/地下部干质量:将称量后的植株放入纸袋中,置于烘箱中,于 105 ℃杀青 15 min,再于 75 ℃烘干至恒质量,用 0.001 g 电子天平称量。壮苗指数 = (茎粗/株高 + 地下部干质量/地上部干质量) × 植株干质量。根冠比 = 地下部鲜质量/地上部鲜质量。叶面积用 YMJ - B(浙江托普云农科技股

份有限公司)叶面积测量仪测定。根体积用排水法测定。

1.3.2 叶片生理指标的测定 可溶性蛋白含量的测定采用考马斯亮蓝 G - 250 染色法;丙二醛(MDA)含量的测定采用硫代巴比妥酸法;脯氨酸(Pro)含量的测定采用磺基水杨酸法;超氧化物歧化酶(SOD)活性的测定采用氮蓝四唑(NBT)法;过氧化物酶(POD)活性的测定采用愈创木酚法;过氧化氢酶(CAT)活性的测定采用紫外吸收比色法<sup>[19]</sup>;叶绿素(Chl)含量的测定采用陈建勋等的乙醇 - 丙酮混合法<sup>[20]</sup>。

1.4 数据处理

试验数据采用 Excel、DPS(7.05)数据处理软件进行统计和分析。

2 结果与分析

2.1 高温胁迫下外源壳聚糖对黄瓜幼苗生长的影响

从表 1 可以看出,高温处理 1 d 时,T<sub>3</sub> 处理在株高、根冠比、根体积方面显著优于其余处理,茎粗、叶面积以 T<sub>4</sub> 处理的表现最好,T<sub>2</sub> 处理的壮苗指数表现最佳。高温处理 3 d 后,CK 的株高显著高于 T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub> 处理,与高温处理 1 d 相比增加了 23.7%,T<sub>2</sub> 处理的株高比处理 1 d 时增加了 12.0%,T<sub>3</sub> 处理的株高比处理 1 d 时增加了 4.7%,T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub> 处理之间的差异没有达到显著水平。在茎粗、壮苗指数及叶面积方面,各处理在高温 3 d 时均显著优于 CK,以 T<sub>3</sub> 处理表现最佳。根冠比、根体积在高温 3 d 时与高温处理 1 d 相比表现为下降,CK 的根冠比、根体积最小,与除 T<sub>1</sub> 处理外的其余处理间差异显著,T<sub>3</sub> 处理的根冠比、根体积显著优于其余处理。恢复常温处理 2 d 后,CK 的株高依旧最高,与其余处理间差异显著,T<sub>2</sub> 处理的茎粗、壮苗指数表现得最好,T<sub>3</sub> 处理的根冠比、叶面积和根体积表现得最优。总体上看,黄瓜幼苗的生长随着壳聚糖浓度的增加呈现先上升后下降的趋势。

表 1 高温胁迫下外源壳聚糖对黄瓜幼苗生长的影响

处理	处理编号	株高 (cm)	茎粗 (cm)	壮苗指数	根冠比	叶面积 (cm <sup>2</sup> )	根体积 (cm <sup>3</sup> )
高温 1 d	CK	29.13 ± 0.32c	0.23 ± 0.01c	0.02 ± 0.01c	0.18 ± 0.01c	17.22 ± 0.62d	1.83 ± 0.06c
	T <sub>1</sub>	29.47 ± 0.35c	0.24 ± 0.02c	0.03 ± 0.01c	0.18 ± 0.02c	20.53 ± 0.42c	1.92 ± 0.03bc
	T <sub>2</sub>	29.67 ± 0.15bc	0.25 ± 0.01c	0.04 ± 0.01a	0.21 ± 0.01b	22.78 ± 0.28b	1.97 ± 0.06b
	T <sub>3</sub>	32.57 ± 0.49a	0.28 ± 0.02b	0.03 ± 0.01b	0.23 ± 0.01a	23.67 ± 1.03b	2.23 ± 0.06a
	T <sub>4</sub>	30.27 ± 0.25b	0.34 ± 0.01a	0.03 ± 0.01b	0.22 ± 0.01b	24.87 ± 0.40a	1.93 ± 0.06bc
高温 3 d	CK	36.03 ± 0.55a	0.27 ± 0.01d	0.02 ± 0.01c	0.14 ± 0.01d	30.35 ± 0.61d	1.40 ± 0.05d
	T <sub>1</sub>	35.77 ± 0.59a	0.36 ± 0.01c	0.03 ± 0.01b	0.15 ± 0.03cd	43.82 ± 0.32c	1.50 ± 0.05d
	T <sub>2</sub>	33.23 ± 1.03b	0.40 ± 0.01b	0.05 ± 0.01a	0.16 ± 0.02bc	45.07 ± 1.23b	1.67 ± 0.08c
	T <sub>3</sub>	34.10 ± 0.36b	0.43 ± 0.01a	0.05 ± 0.01a	0.21 ± 0.01a	47.10 ± 0.54a	2.00 ± 0.10a
	T <sub>4</sub>	35.47 ± 0.35a	0.39 ± 0.01b	0.05 ± 0.01a	0.19 ± 0.03b	45.76 ± 0.23b	1.85 ± 0.05b
高温处理后 恢复常温 2 d	CK	38.20 ± 0.20a	0.33 ± 0.03c	0.05 ± 0.01c	0.16 ± 0.01c	44.22 ± 0.86c	1.53 ± 0.06d
	T <sub>1</sub>	37.43 ± 0.38b	0.42 ± 0.01b	0.05 ± 0.01c	0.17 ± 0.01c	45.63 ± 0.28bc	1.60 ± 0.05cd
	T <sub>2</sub>	34.97 ± 0.15d	0.46 ± 0.01a	0.07 ± 0.01a	0.18 ± 0.03bc	46.40 ± 1.38b	1.67 ± 0.06c
	T <sub>3</sub>	36.03 ± 0.15c	0.45 ± 0.01a	0.06 ± 0.01b	0.21 ± 0.01a	49.10 ± 0.68a	2.07 ± 0.06a
	T <sub>4</sub>	36.07 ± 0.12c	0.44 ± 0.01ab	0.06 ± 0.01b	0.19 ± 0.05b	48.49 ± 0.16a	1.90 ± 0.05b

注:同列数据后标有不同小写字母表示处理间在 0.05 水平存在显著差异。下表同。

2.2 高温胁迫下外源壳聚糖对黄瓜幼苗生理指标的影响

2.2.1 丙二醛含量 由表 2 可知,黄瓜幼苗叶片的 MDA 含量随高温胁迫时间的延长而升高,胁迫 3 d 后,CK 的 MDA 含

量最高,T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub> 处理的 MDA 含量相近,与 CK 相比差异不显著。T<sub>4</sub> 处理的 MDA 含量最低,其次是 T<sub>3</sub> 处理,与 CK、T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub> 处理间差异显著。随着壳聚糖浓度的增大,T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub> 处理黄瓜幼

表 2 高温胁迫下外源壳聚糖对黄瓜幼苗生理指标的影响

处理	处理编号	丙二醛含量 ( $\mu\text{mol/g}$ )	叶绿素含量 ( $\text{mg/g}$ )	类胡萝卜素含量 ( $\text{mg/g}$ )	脯氨酸含量 ( $\mu\text{g/g}$ )	可溶性蛋白含量 ( $\text{mg/g}$ )
高温 1 d	CK	4.76 $\pm$ 0.28a	2.42 $\pm$ 0.05c	0.45 $\pm$ 0.02c	10.75 $\pm$ 0.19a	10.10 $\pm$ 0.64b
	T <sub>1</sub>	4.72 $\pm$ 0.31a	2.58 $\pm$ 0.04b	0.47 $\pm$ 0.01bc	9.31 $\pm$ 0.22b	10.02 $\pm$ 0.19b
	T <sub>2</sub>	4.87 $\pm$ 0.30a	2.65 $\pm$ 0.01b	0.49 $\pm$ 0.02b	10.75 $\pm$ 0.58a	10.03 $\pm$ 0.25b
	T <sub>3</sub>	4.62 $\pm$ 0.23a	2.74 $\pm$ 0.02a	0.53 $\pm$ 0.01a	10.62 $\pm$ 0.23a	11.15 $\pm$ 0.45a
	T <sub>4</sub>	3.27 $\pm$ 0.08b	2.61 $\pm$ 0.08b	0.47 $\pm$ 0.03bc	9.17 $\pm$ 0.51b	8.18 $\pm$ 0.13c
高温 3 d	CK	9.04 $\pm$ 0.48a	1.88 $\pm$ 0.01c	0.35 $\pm$ 0.03b	13.12 $\pm$ 0.43c	10.79 $\pm$ 0.16c
	T <sub>1</sub>	8.92 $\pm$ 0.26a	1.82 $\pm$ 0.02d	0.34 $\pm$ 0.01c	14.94 $\pm$ 0.45b	11.71 $\pm$ 0.70b
	T <sub>2</sub>	8.98 $\pm$ 0.06a	2.12 $\pm$ 0.01b	0.45 $\pm$ 0.01a	17.47 $\pm$ 0.94a	11.50 $\pm$ 0.30b
	T <sub>3</sub>	6.96 $\pm$ 0.22b	2.24 $\pm$ 0.03a	0.45 $\pm$ 0.01a	15.64 $\pm$ 0.31b	12.64 $\pm$ 0.15a
	T <sub>4</sub>	5.38 $\pm$ 0.30c	2.23 $\pm$ 0.02a	0.45 $\pm$ 0.03a	10.47 $\pm$ 0.48d	9.17 $\pm$ 0.16d
高温处理后 恢复常温 2 d	CK	5.92 $\pm$ 0.16a	2.03 $\pm$ 0.23c	0.37 $\pm$ 0.01c	10.75 $\pm$ 0.33b	10.77 $\pm$ 0.60c
	T <sub>1</sub>	5.82 $\pm$ 0.24a	2.12 $\pm$ 0.04b	0.38 $\pm$ 0.01c	11.48 $\pm$ 0.19a	11.50 $\pm$ 0.67b
	T <sub>2</sub>	5.87 $\pm$ 0.26a	2.60 $\pm$ 0.02a	0.47 $\pm$ 0.01b	11.72 $\pm$ 0.41a	11.89 $\pm$ 0.53b
	T <sub>3</sub>	4.95 $\pm$ 0.17b	2.63 $\pm$ 0.07a	0.48 $\pm$ 0.01a	11.60 $\pm$ 0.45a	12.64 $\pm$ 0.15a
	T <sub>4</sub>	4.00 $\pm$ 0.07c	2.61 $\pm$ 0.02a	0.48 $\pm$ 0.01ab	9.70 $\pm$ 0.34c	8.99 $\pm$ 0.36d

苗叶片 MDA 含量下降不明显,T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub> 处理 MDA 含量明显下降,T<sub>4</sub> 处理的 MDA 含量比 CK 显著降低了 40.5%。恢复常温处理 2 d 后,MDA 含量下降但仍高于胁迫 1 d 后的 MDA 含量,T<sub>4</sub> 处理的 MDA 含量依旧最低,与其他处理间差异显著。MDA 含量总体表现为 CK>T<sub>2</sub>>T<sub>1</sub>>T<sub>3</sub>>T<sub>4</sub>。

2.2.2 光合色素含量 高温处理 1 d 后,T<sub>3</sub> 处理的叶绿素含量最高,与其余处理之间存在显著差异;T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>、T<sub>4</sub> 处理之间的叶绿素含量差异不显著,而与 CK 相比差异显著,CK 的叶绿素含量最低。高温胁迫 3 d 后,各处理的叶绿素含量下降,T<sub>3</sub> 处理的叶绿素含量依旧最高,与 CK、T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub> 处理相比,差异显著;与 T<sub>4</sub> 处理相比,差异不显著。恢复常温 2 d 后,各处理的叶绿素含量回升,其中 T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub> 处理的叶绿素含量恢复到胁迫 1 d 时的水平,T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub> 处理之间没有显著差异,而与 CK、T<sub>1</sub> 处理相比差异显著。总体上看,叶绿素含量随着壳聚糖浓度的增加呈现出先上升后下降的趋势。类胡萝卜素含量在高温胁迫 1 d 后,以 T<sub>3</sub> 处理最高,其次是 T<sub>2</sub> 处理。高温胁迫 3 d 后,各处理的类胡萝卜素含量均降低,T<sub>1</sub> 处理的类胡萝卜素含量最低,与 CK 差异显著;T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub> 处理之间含量相当,差异没有达到显著水平。解除高温胁迫 2 d 后,各处理的类胡萝卜素含量升高,T<sub>3</sub> 处理的类胡萝卜素含量与 T<sub>4</sub> 处理间差异不显著,与 CK、T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub> 处理之间差异显著。

2.2.3 脯氨酸含量 高温胁迫 1 d 后,CK、T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub> 处理的叶片脯氨酸含量相近,与 T<sub>1</sub>、T<sub>4</sub> 处理差异显著。T<sub>4</sub> 处理的脯氨酸含量最低,其次是 T<sub>1</sub> 处理。高温胁迫 3 d 后,T<sub>2</sub> 处理的脯氨酸含量最高,与其余处理之间差异显著,T<sub>4</sub> 处理的脯氨酸含量显著低于 CK。解除高温胁迫 2 d 后,各处理的脯氨酸含量下降,其中 T<sub>2</sub> 处理的脯氨酸含量依旧最高,与 CK、T<sub>4</sub> 处理差异显著,但与 T<sub>1</sub>、T<sub>3</sub> 处理间差异不显著。脯氨酸含量总体表现为 T<sub>2</sub>>T<sub>3</sub>>T<sub>1</sub>>CK>T<sub>4</sub>,随着壳聚糖浓度的上升,脯氨酸含量呈现先上升后下降的趋势。

2.2.4 可溶性蛋白含量 高温胁迫 1 d 后,CK、T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub> 处理间的可溶性蛋白含量没有显著差异,T<sub>3</sub> 处理的可溶蛋白含量最高,T<sub>4</sub> 处理的可溶性蛋白含量最低,与 CK、T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub> 处

理间差异显著。高温处理 3 d 后,T<sub>3</sub> 处理的可溶蛋白含量最高,达到 12.64 mg/g,与其余处理之间存在显著差异。T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub> 处理之间的可溶性蛋白含量无显著差异,与 CK 差异显著。T<sub>4</sub> 处理的可溶性蛋白含量显著低于其他各个处理。恢复常温 2 d 后,各处理的可溶性蛋白含量几乎没有下降,仍维持在高温胁迫时的水平。总体上看,随着壳聚糖浓度的升高,黄瓜幼苗叶片的可溶性蛋白含量呈现先上升后下降的趋势,表现为 T<sub>3</sub>>T<sub>2</sub>>T<sub>1</sub>>CK>T<sub>4</sub>。

2.3 高温胁迫下外源壳聚糖对黄瓜幼苗 SOD、POD、CAT 活性的影响

从图 1 可知,高温胁迫 1 d 后,T<sub>3</sub> 处理的 SOD 活性最高,CK 的活性最低,与其余处理相比差异显著。高温处理 3 d 后,SOD 活性升高,以 T<sub>2</sub> 处理的活性最强,其次是 T<sub>3</sub> 处理,CK 的活性最弱,各处理之间差异显著。解除高温 2 d 后,SOD 活性下降,并低于高温胁迫 1 d 时的水平。总体上看,SOD 活性随壳聚糖浓度增大呈现出先升高后降低的趋势,具体表现为 T<sub>2</sub>>T<sub>3</sub>>T<sub>1</sub>>T<sub>4</sub>>CK。

由图 2 可知,高温处理 1 d 后,各处理的 POD 活性较低。高温胁迫 3 d 后,各处理的 POD 活性升高,其中 T<sub>3</sub> 处理的活性最强,CK 的活性最弱,显著低于其余处理;T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub> 处理之间差异显著,但与 T<sub>4</sub> 处理相比差异不显著;高温胁迫解除 2 d 后,POD 活性减弱,但仍高于高温胁迫 1 d 时的水平。随着壳聚糖浓度的增大,POD 活性总体表现为 T<sub>3</sub>>T<sub>2</sub>>T<sub>4</sub>>T<sub>1</sub>>CK。

由图 3 可知,高温胁迫 1 d 后,T<sub>2</sub> 处理的 CAT 活性最强,与其余处理之间差异显著;T<sub>1</sub>、T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub> 处理之间没有显著差异,与 CK 相比差异显著。高温处理 3 d 后,各处理的 CAT 活性升高,以 T<sub>2</sub> 处理的活性最高,其次是 T<sub>3</sub> 处理,CK 的活性最弱,各个处理之间存在显著差异。恢复常温处理 2 d 后,CAT 活性下降,T<sub>2</sub> 处理活性依旧最高,与 CK 相比差异显著,与其余处理相比差异不显著。总体上看,随着壳聚糖浓度的增大,CAT 活性先增强后减弱。

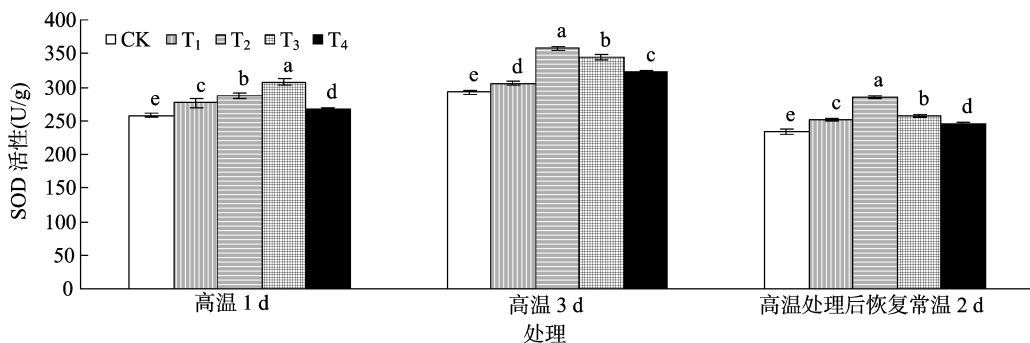


图1 高温胁迫下外源壳聚糖对黄瓜幼苗 SOD 活性的影响

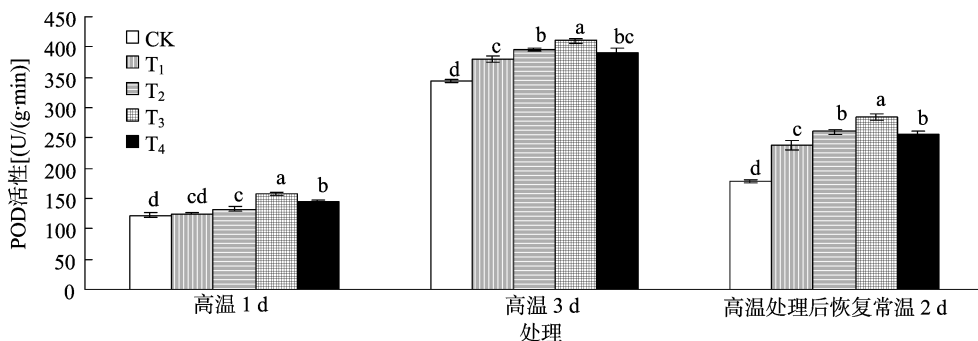


图2 高温胁迫下外源壳聚糖对黄瓜幼苗 POD 活性的影响

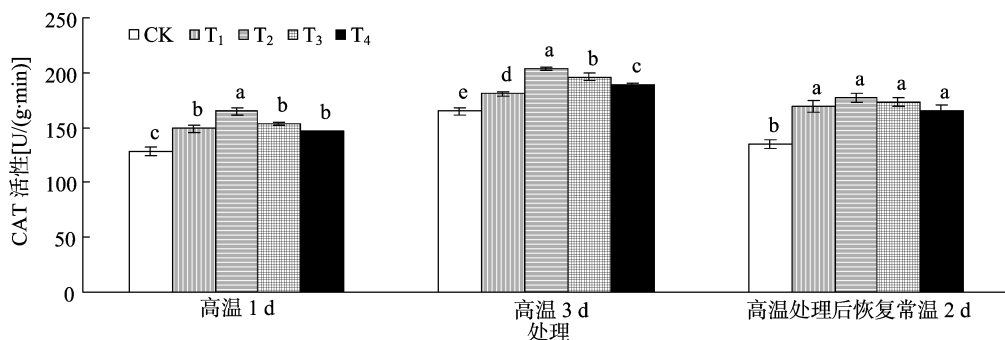


图3 高温胁迫下外源壳聚糖对黄瓜幼苗 CAT 活性的影响

### 3 讨论

#### 3.1 高温胁迫下外源壳聚糖对黄瓜幼苗生长的影响

黄瓜幼苗的株高、茎粗、叶面积等形态指标是鉴定黄瓜抗逆性强弱的重要指标<sup>[21]</sup>。研究表明,壳聚糖能够促进植物根、茎、叶的生长,增加作物产量,提高品质<sup>[22]</sup>。王春玮等的研究表明,适宜浓度的壳聚糖能够增加萝卜幼苗的干湿质量,促进芽长和根长生长<sup>[23]</sup>。刘婷等研究发现,壳聚糖处理能够促进干旱胁迫下小麦根系的发育,增加株高、根干质量和根冠比<sup>[24]</sup>。本试验结果表明,高温胁迫环境会引起植株徒长,植株的徒长导致地上部的光合产物大于地下部,从而使根冠比、根体积下降。在本试验中,高温处理 3 d 时, T<sub>3</sub> 处理的株高较处理 1 d 时增加 4.7%,与其他处理相比表现为缓慢增加,根冠比较处理 1 d 时下降 10.1%,与其他处理相比表现最优,说明 T<sub>3</sub> 处理的黄瓜幼苗在高温胁迫下受到的影响小,徒长量小,并且茎粗、壮苗指数、根冠比、叶面积及根体积均优于其余处理。解除高温胁迫后,黄瓜幼苗继续生长,根冠比、根体积得到提高。总体上看,黄瓜幼苗的生长随着壳聚糖浓度的增

加呈现出先上升后下降的趋势,可能是由于高浓度的壳聚糖对黄瓜幼苗的生长具有一定的抑制作用。

#### 3.2 高温胁迫下外源壳聚糖对黄瓜生理生化特性的影响

在高温胁迫下,植物细胞会发生膜脂过氧化作用,MDA 含量作为脂质过氧化指标,可以反映植物细胞膜脂质的过氧化程度<sup>[25]</sup>。在本试验中,对照的 MDA 含量高于其他有壳聚糖的处理, T<sub>4</sub> 处理的 MDA 含量最低,其次是 T<sub>3</sub> 处理,说明喷施壳聚糖可以降低黄瓜幼苗叶片的 MDA 含量,减轻高温胁迫引起的损伤,增强植株的抗逆性。恢复常温处理后,MDA 含量下降,以 T<sub>4</sub> 处理的表现最优,说明 T<sub>4</sub> 处理对高温的耐受性更强。叶绿素是植物进行光合作用的主要色素,其含量可直接反映植物的光合效率和有机物的积累,而类胡萝卜素作为保护叶绿素的辅助色素,是植物生理的重要指标<sup>[26]</sup>。本试验结果表明,除 T<sub>1</sub> 处理外,其他处理的叶绿素含量均高于 CK,壳聚糖处理的类胡萝卜素含量整体上优于 CK,说明施用壳聚糖可以诱导高温胁迫环境下黄瓜幼苗叶片光合色素的合成,提高叶片的叶绿素、类胡萝卜素含量,保护光合作用正常进行,其中 T<sub>3</sub> 处理的效果最佳。解除高温胁迫后,叶绿素和

类胡萝卜素含量升高,  $T_3$  处理表现最佳, 说明  $T_3$  处理的恢复力更强。可溶性蛋白、脯氨酸是植物体内的重要渗透调节物质, 在植物的逆境胁迫中发挥着重要作用<sup>[27-29]</sup>。在本试验中, 除  $T_4$  处理外, 其他处理的脯氨酸、可溶性蛋白含量整体上优于 CK, 其中脯氨酸含量以  $T_2$  处理最高, 可溶性蛋白含量以  $T_3$  处理最优。说明适宜浓度的壳聚糖处理能够促进高温胁迫下黄瓜幼苗叶片的脯氨酸、可溶性蛋白积累, 提高黄瓜幼苗的渗透调节能力, 从而在一定程度上缓解高温带来的伤害。恢复 2 d 后, 脯氨酸含量下降, 可溶性蛋白含量仍维持在胁迫时的水平。在植物正常生长的情况下, 植株体内的活性氧产生和清除处于动态平衡状态<sup>[30]</sup>。在逆境胁迫下, 细胞内的活性氧大量积累而对细胞造成伤害, 通过诱导抗氧化酶活性提高, 以清除活性氧伤害<sup>[31]</sup>。在本试验中, 高温胁迫下壳聚糖处理的黄瓜幼苗叶片的 SOD、POD、CAT 活性均高于 CK, 其中 POD 活性均以  $T_3$  处理最佳, SOD、CAT 活性以  $T_2$  处理最优。说明 SOD、POD、CAT 活性的提高能够清除高温逆境产生的自由基, 减轻膜脂过氧化作用对细胞造成的伤害, 保护细胞膜的稳定性, 提高黄瓜幼苗的耐高温能力。解除高温胁迫后, SOD、CAT 活性基本恢复到高温处理 1 d 时的水平, 而 POD 活性恢复得较慢。

#### 4 结论

综上所述, 在高温胁迫下, 外源壳聚糖能够促进黄瓜幼苗的生长, 提高植株的壮苗指数, 降低幼苗叶片的 MDA 含量, 增加叶绿素、类胡萝卜素含量, 提高渗透调节物质脯氨酸、可溶性蛋白含量, 增强抗氧化酶(SOD、POD、CAT)的活性, 从而提高黄瓜幼苗的抗逆性, 减轻高温对植株的伤害。本试验结果表明,  $T_3$  处理(100 mg/L 壳聚糖)的效果最佳。

#### 参考文献:

- [1] 张 琨, 王志强. 黄瓜的栽培技术[J]. 农民致富之友, 2016(17):20.
- [2] 涂海莲. 广西钦州地区发展黄瓜种植的分析[J]. 大观周刊, 2012(37):173, 221.
- [3] 孙亮亮. 壳聚糖-聚乙二醇接枝聚合物的合成及表征[D]. 杭州:浙江大学, 2013.
- [4] 黄 娟. 高温胁迫下外源 GABA 对黄瓜幼苗生长的影响[J]. 长江蔬菜, 2016(8):73-78.
- [5] 邓雨艳, 明 建, 张昭其, 等. 壳聚糖诱导脐橙果实抗病性、水杨酸及活性氧代谢变化[J]. 中国农业科学, 2010, 43(4):812-820.
- [6] 宋士清, 尚庆茂, 郭世荣, 等. 壳聚糖对黄瓜幼苗抗盐的协同生理作用研究[J]. 西北植物学报, 2006, 26(3):435-441.
- [7] 周 娟, 邹礼平. 壳聚糖对盐胁迫下豇豆幼苗生长发育的影响[J]. 北方园艺, 2014(23):30-33.
- [8] 曲丹阳, 张立国, 顾万荣, 等. 壳聚糖对镉胁迫下玉米幼苗根系生长及叶片光合的影响[J]. 生态学杂志, 2017, 36(5):1300-1309.
- [9] 曲丹阳, 顾万荣, 张立国, 等. 壳聚糖对镉胁迫下玉米幼苗根系抗氧化酶活性和内源激素水平的影响[J]. 西北植物学报, 2017, 37(4):719-727.
- [10] 曲丹阳, 顾万荣, 李丽杰, 等. 壳聚糖对镉胁迫下玉米幼苗叶片 AsA-GSH 循环的调控效应[J]. 植物科学学报, 2018, 36(2):291-299.
- [11] 朱云林, 顾大路, 王伟中, 等. 壳聚糖对水稻幼苗抗冷性的影响[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(8):66-68.
- [12] 王 聪, 杨恒山, 刘艳华, 等. NaCl 胁迫下外源壳聚糖对菜用大豆叶绿体 AsA-GSH 循环的影响[J]. 江苏农业学报, 2016, 32(5):1141-1147.
- [13] 王 聪, 董永义, 贾俊英, 等. NaCl 胁迫下外源壳聚糖对菜用大豆叶绿体抗氧化系统的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(5):1356-1365.
- [14] 王 聪, 杨恒山, 董永义, 等. NaCl 胁迫下外源壳聚糖对菜用大豆光合作用及叶绿体活性氧代谢的影响[J]. 华北农学报, 2016, 31(4):162-167.
- [15] 徐卫红, 徐芬芬, 俞晓凤, 等. 壳聚糖对盐胁迫下大豆幼苗抗盐性的影响[J]. 湖北农业科学, 2010, 49(8):1859-1861.
- [16] 韩玉军, 陶 波. 壳聚糖对玉米幼苗生长及生理生化活性的影响[J]. 玉米科学, 2012, 20(3):73-76.
- [17] 陈 军, 高贵珍, 赵 亮, 等. 干旱胁迫下壳聚糖浸种对小麦萌发期保护酶活性的影响[J]. 基因组学与应用生物学, 2015, 34(10):2251-2254.
- [18] 王玉萍, 于 丹, 李 成, 等. 壳聚糖对盐胁迫下小麦种子萌发及幼苗生理特性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2016, 34(1):180-185.
- [19] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社, 2006.
- [20] 陈建勋, 王晓峰. 植物生理学实验指导[M]. 广州:华南理工大学出版社, 2002.
- [21] 顾兴芳, 张圣平, 王 烨. 我国黄瓜育种研究进展[J]. 中国蔬菜, 2005, 1(12):1-7.
- [22] 陈惠萍, 徐朗莱. 壳聚糖调节植物生长发育及诱发植物抗病性研究进展[J]. 云南植物研究, 2005, 27(6):613-619.
- [23] 王春玮, 朱启忠, 麻小刚, 等. 壳聚糖对萝卜种子萌发及幼苗生理生化特性的影响[J]. 北方园艺, 2009(6):61.
- [24] 刘 婷, 赵永富. 低聚壳聚糖对小麦幼苗抗干旱胁迫的影响[J]. 江苏农业科学, 2009(1):88-89.
- [25] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社, 2012:228-230.
- [26] 刘秀香. 松嫩平原两种生境芦苇叶片光合色素的时空动态[D]. 长春:东北师范大学, 2013.
- [27] 杨华庚, 杨毅敏, 廖红妮, 等. 壳聚糖对蝴蝶兰幼苗耐盐性的诱导作用[J]. 生态学杂志, 2015, 34(12):3430-3437.
- [28] 李 晨, 包国章, 成文革, 等. 黑麦草幼苗对冻融及酸沉降的生理响应特征[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(8):159-162.
- [29] 蹇光耀, 孔祥生, 张淑玲. 3 个牡丹品种对高温胁迫的生理响应[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(12):103-105.
- [30] 尹永强, 胡建斌, 邓明军. 植物叶片抗氧化系统及其对逆境胁迫的响应研究进展[J]. 中国农学通报, 2007, 23(1):105-110.
- [31] 周伟辉, 薛大伟, 张国平. 高温胁迫下水稻叶片的蛋白响应及其基因型和生育期差异[J]. 作物学报, 2011, 37(5):820-831.