

# 水分胁迫对苗期番茄叶片 保护酶活性和植株形态的影响

刘朝霞<sup>1</sup>, 余焰文<sup>1</sup>, 陈艳秋<sup>2</sup>, 杨再强<sup>1,3</sup>

(1. 南京信息工程大学 气象灾害预报预警与评估协同创新中心, 江苏 南京 210044; 2. 沈阳中心气象台, 辽宁 沈阳 110016;  
3. 江苏省农业气象重点实验室, 江苏 南京 210044)

**摘 要:**以“金粉2号”(‘Jinfen 2’)番茄为试材,设计3个土壤水分胁迫处理,即轻度(T1)、中度(T2)、重度(T3),以正常灌溉为对照(CK),于2014年4月25日至5月30日测定了叶片保护酶活性及植株形态指标,以研究土壤水分胁迫对番茄苗期植株形态指标和叶片保护性酶活性的影响。结果表明:随水分胁迫时间增加,叶片的超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)活性和丙二醛(MDA)含量均有不同程度增加,同期内SOD、POD、CAT活性呈现CK>T1>T2>T3趋势,MDA含量则表现为T3>T2>T1>CK,且不同处理间存在显著差异。水分胁迫下,苗期后期番茄株高、茎粗、叶片数和叶面积指数均有不同程度的减小,尤其是重度胁迫T3处理减幅最大,分别仅为CK的61.0%、56.3%、60.1%和48.3%;轻度水分胁迫能显著促进根系的生长,T1处理的根系总表面积和根尖数比CK高34.5%和38.5%,而T2根系较于CK的优势随时间逐渐减弱,T3后期根系总长度、总表面积、平均直径和根尖数分别仅为CK的30.2%、34.5%、61.5%和32.7%;研究表明水分胁迫会抑制苗期番茄地上部分的生长,但是轻度胁迫能显著促进根系生长。短期的中度胁迫有利于根系生长,但随胁迫时间延长,这种促进作用逐渐减弱甚至转变为抑制作用。而在重度胁迫下,番茄根系则受到明显的抑制。

**关键词:**土壤水分胁迫;番茄;生长;保护酶

**中图分类号:**S 641.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)23-0001-05

我国是世界上13个最贫水的国家之一,人均水资源占有量约为12 300 m<sup>3</sup>,仅为世界人均占有量的1/4<sup>[1]</sup>。水分胁迫是植物所处逆境中最普遍的形式之一,干旱造成的损失超过其它逆境造成损失的总和<sup>[2]</sup>,它严重制约了干旱地区农业生产的可持续发展。番茄(*Solanumly copersicum* L.)是设施蔬菜的主栽品种之一,在其生育过程中,对水分的要求较高,水分胁迫对其生理代谢有显著影响。前人研究认为生物自由基伤害是细胞膜系统破坏的主要原因,而水分胁迫造成的膜系统的伤害就是细胞内O<sub>2</sub><sup>-</sup>的产生与清除的不平衡引起的<sup>[3]</sup>,膜上酶的活性也丧失,渗出大量细胞质<sup>[4]</sup>。

PAN等<sup>[5]</sup>研究表明,水分胁迫下,甘草超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化物酶(POD)活性均增加,而过氧化氢酶(CAT)活性降低。而陈由强等<sup>[6]</sup>通过研究水分对芒果幼苗的影响表明,芒果幼叶细胞中的丙二醛(MDA)、POD、CAT、SOD在水分胁迫下均有显著增加,且均在中度胁迫下达到最大值,中度胁迫次之,轻度则相对增加最少<sup>[7-9]</sup>。但是单长卷等<sup>[10]</sup>的研究则表明,随土壤干旱程度增加,冬小麦幼叶可溶性糖含量、SOD和POD活性均有显著增加,水分胁迫能明显抑制作物的光合作用<sup>[11-13]</sup>。白莉萍等<sup>[14]</sup>研究土壤水分胁迫对玉米形态发育的影响中发现,水分胁迫下,玉米株高和茎粗均受到显著抑制,且由营养生长到生殖生长阶段过程中,抑制作用表现的更明显,恢复正常灌水后,植株恢复正常的生长速度,后期能达到对照处理的株高水平<sup>[15-16]</sup>。

目前,关于土壤水分胁迫对番茄苗期的形态指标及保护性酶的影响研究仍鲜见报道,该试验通过研究水分胁迫对苗期番茄二者之间的变化及相互关系,以期为设施番茄的合理灌溉管理决策提供参考依据。

**第一作者简介:**刘朝霞(1974-),女,硕士,高级实验师,研究方向为农业气象。E-mail:zaochenhua@163.com.

**责任作者:**杨再强(1967-),男,博士,教授,博士生导师,现主要从事设施农业气象服务等研究工作。

**基金项目:**国家自然科学基金面上资助项目(41275117);公益(气象)行业科研专项资助项目(GYHY201206024)。

**收稿日期:**2015-07-27

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试番茄品种为“金粉2号”(‘Jinfen 2’),试验土壤为中土壤。

### 1.2 试验方法

试验于2014年4月25日至5月30日在南京信息工程大学 Venlo 试验温室内进行。该温室顶高 5.0 m, 肩高 4.5 m, 宽 9.6 m, 长 30.0 m, 南北走向。于番茄植株第 5 片真叶完全展开时定植, 定植时选取长势一致的健壮番茄幼苗。在温室中整畦种植, 畦长 8 m, 宽 1 m。每畦栽 2 行, 行距 30 cm, 株距 40 cm。定植前已进行土壤水分胁迫处理, 将采集器 EM50(Decagon Device, USA) 埋在不同处理 20 cm 深度土壤中, 使用 ECH<sub>2</sub>O-TE 传感器监测土壤中的水分动态, 以便于根据水分的实际情况确定灌溉量。试验设置 4 个水分处理: 正常灌溉 CK(田间最大持水量的 70%~85%), 轻度胁迫 T1(田间最大持水量的 60%~70%), 中度胁迫 T2(田间最大持水量的 50%~60%), 重度胁迫 T3(田间最大持水量的 30%~40%)。不同处理在不同水泥池的苗床内进行, 处理间不存在侧渗, 计划湿润层深度为 40 cm, 灌溉方式为浇灌。

### 1.3 项目测定

**1.3.1 保护性酶的测定** 酶液的制备: 将植物组织样品置于液氮中处理 5 min 左右后取出, 再将样品剪碎称取约 0.5 g 放入研钵中冰浴研磨, 匀浆倒入离心管中, 冰冻离心 20 min, 取上清液(即酶液)倒入试管, 置于 0~4℃ 保存。酶活性测定方法参考文献[17]。

**1.3.2 形态指标的测定** 茎粗: 采用千分尺十字交叉法, 测定距离培养土表面 3 cm 处的横茎。株高: 使用米尺从番茄幼苗的基部开始测量直到植株顶端的高度。叶面积指数: 数出相应的叶片数, 与相应的系数相乘。根系: 使用根系检测系统(XLRHIZO Tron, Canada), 在番茄生长的苗期对根系进行拍照, 拍照环绕番茄根系的 4 个方位进行, 每一方位均埋有扁状透明薄塑料管, 塑料管口径约 10 cm, 长约 40 cm, 拍照时拍摄仪器置于塑料管内, 从土壤表面开始, 按照探头外卡口逐次深入拍摄根系照片, 仪器自动设置为每次伸长 1 cm。将拍摄得到的根系照片按方位及深度进行整理, 用配套的根系分析软件(WinRHIZO Tron 2012b, Canada)对根系总长、根系总表面积、根系总平均直径、根尖数进行定量分析。

### 1.4 数据分析

试验数据运用 DPS 软件、SPSS 软件进行相关统计分析, Excel 软件作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤水分变化动态

为确保试验期间土壤水分的精准性, 试验通过采集

器 EM50(Decagon Device, USA) 收集土壤 20 cm 深度的水分变化数据, 见图 1。

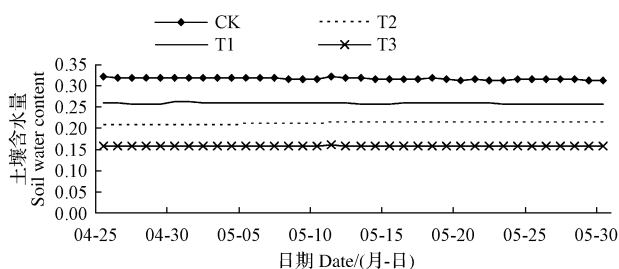


图 1 试验期间 20 cm 深度土壤含水量的变化

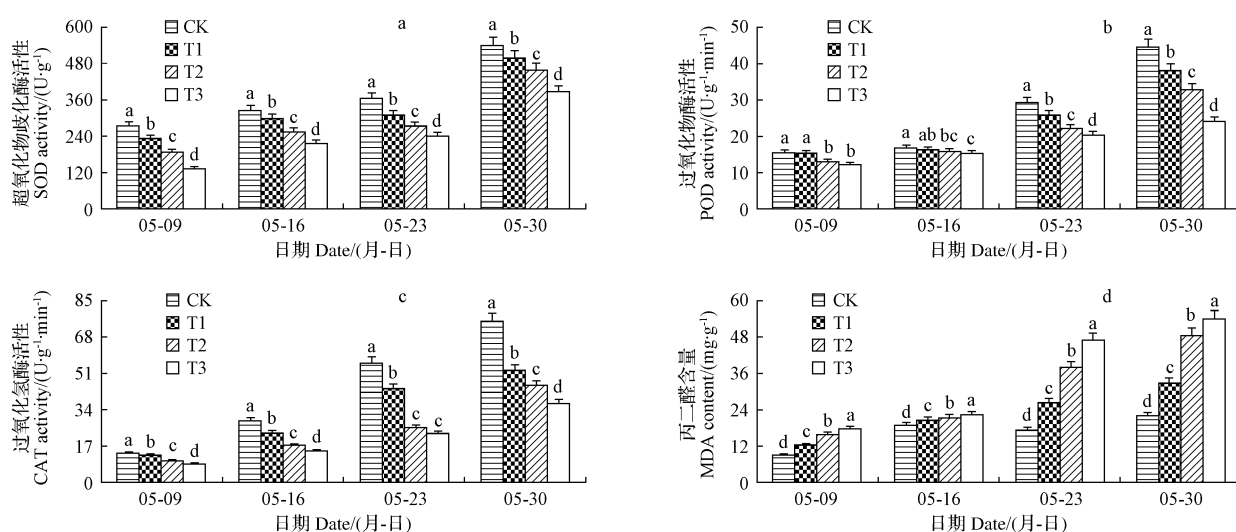
Fig. 1 The change of soil moisture content at 20 cm depth during the test

### 2.2 水分胁迫对苗期番茄保护性酶的影响

苗期番茄保护性酶的变化对水分胁迫的响应见图 2, 不同水分胁迫下苗期番茄 SOD 活性均随时间延长有不同程度增加, 且增加幅度逐渐扩大(图 2a), 同时不同处理间也有显著差别, 且均呈现出 CK>T1>T2>T3 趋势, 这表明水分胁迫能显著抑制 SOD 活性。随时间延长, CK 处理的 SOD 活性变化由 274.6 U/g 增加到 539.5 U/g, 增幅为 96.47%, T1、T2、T3 则相应增加了 1.15、1.44、1.92 倍, 说明随着幼苗的生长叶片 SOD 活性有大幅度增加, 同时水分胁迫也能明显增强苗期番茄 SOD 活性, 且水分胁迫强度越大, SOD 活性增加越多。不同处理间 SOD 活性有明显差距, 但是随时间延长, 水分胁迫处理与 CK 之间差距均有不同程度缩小。从 5 月 9—30 日, 水分胁迫处理与 CK 的 SOD 活性差距几乎缩小一半, T1 由比 CK 低 15.47% 减少到仅低 7.70%, T2 则由低 31.67% 减少到低 15.00%, T3 则由低 51.70% 减少到 28.23%。这可能是苗期番茄对于干旱条件逐渐适应的结果, 受番茄的自我调节功能作用。

POD 活性对不同处理的响应见图 2b, POD 活性的变化趋势与 SOD 基本一致。水分胁迫前期, CK 和 T1 之间无显著差别, T2 和 T3 之间无显著差别, 但是二者之间存在显著差异。说明短期的轻度水分胁迫并不会引起 POD 活性的变化。5 月 23 日之后各处理间均表现出显著差异。POD 活性从 5 月 9—30 日, CK 增加了 1.88 倍, T1、T2、T3 分别增加了 1.48、1.52、0.98 倍, 说明水分胁迫能明显抑制 POD 活性, 重度水分胁迫作用尤为明显。同期内, 水分胁迫作用下 POD 活性均比 CK 低, 在 5 月 9 日 T1、T2、T3 分别比 CK 低 0.99%、15.78%、21.19%, 到 5 月 30 日, 则分别比 CK 低 14.58%、26.27%、45.81%。这表明随胁迫时间增加, 苗期水分胁迫对 POD 活性的抑制作用越明显。

不同水分处理下 CAT 活性的变化见图 2c, 变化趋



注:不同小写字母代表同一日期不同处理间差异显著( $P < 0.05$ )。下同。

Note: Different lowercase letters represent significant differences among different treatments on the same day ( $P < 0.05$ ). The same as below.

图2 水分胁迫对苗期番茄保护性酶的影响

Fig. 2 The influence of water stress on tomato protective enzyme on seedling stage

势与 SOD 相似。各处理中 CAT 活性均有剧烈增加,从 5 月 9—30 日,CK、T1、T2、T3 分别增加了 4.51、3.08、3.51、3.33 倍,可见苗期水分胁迫对 CAT 活性也有非常明显的抑制作用。同期内 CAT 活性表现为 CK>T1>T2>T3,且越到后期水分胁迫与 CK 之间差异越明显,这表明苗期水分胁迫对 CAT 活性有显著抑制作用。

苗期各水分胁迫处理番茄 MDA 含量的比较见图 2d。CK 组 MDA 含量在苗期虽有变化,但始终维持在比较低的水平,而经过水分胁迫处理的 3 组 MDA 含量在 5 月 16 日有小幅增加,5 月 23 日之后则呈现剧烈增加。这表明移栽之后的短期内,水分胁迫并未对苗期番茄造成严重损伤,番茄能缓解水分胁迫逆境的影响。但是胁迫时间过长,T2 和 T3 在 5 月 30 日 MDA 含量则高达 48.51 mg/g 和 53.95 mg/g,与同期内 CK 的含量相比,分别增加了 1.20 倍和 1.45 倍。这说明较长时间的水分胁迫会对苗期番茄造成损伤,尤其是中度或重度水分胁迫造成的损伤更为严重。

### 2.3 水分胁迫对番茄形态指标的影响

由表 1 可以看出,水分胁迫对苗期番茄株高和叶面积指数的影响非常显著,不同水分胁迫处理之间均存在明显差异,且 CK>T1>T2>T3。水分胁迫对株高虽有较为显著的抑制作用,但是不同水分胁迫下苗期番茄株高的增长速度(5 月 9—30 日)却相差不大,这说明水分胁迫对株高的抑制作用主要表现在胁迫初期(即移栽到 5 月 9 日)。水分胁迫对叶面积指数的影响与对株高的影响基本一致。番茄茎粗对水分胁迫的响应则不同,胁迫处理与 CK 之间存在显著差异,但是轻度和中度胁迫之间差异不明显,重度水分胁迫对番茄茎粗则表现出显

著的抑制作用,T3 后期茎粗仅为 0.626 cm,较 CK 减少了 43.7%。这些表明水分胁迫能明显抑制苗期番茄的生长,尤其是重度水分胁迫。轻度水分胁迫处理 T1 对苗期番茄的叶片数影响不大,而 T2 和 T3 叶片数显著减少,与 CK 相比分别减少了 19.5%和 39.5%,说明轻度水分胁迫并不会减少番茄苗期的叶片数,而轻度 T1 叶面积指数与 CK 相比有明显下降,这可能是因为水分胁迫影响下叶片外形相对较小,有利于降低番茄的蒸发作用。

表 1 苗期不同水分胁迫下番茄外观形态指标的比较(平均值±标准差)

测定日期 Determined date/(月-日)	处理 Treatment	株高 Plant height /cm	茎粗 Stem diameter /cm	叶片数 Leaves	叶面积指数 Leaf area index
05-09	CK	23.5±0.2a	0.626±0.025a	7.7±0.3a	3.418±0.140a
	T1	20.3±0.2b	0.567±0.012b	7.3±0.3a	2.798±0.136b
	T2	17.5±0.1c	0.533±0.013b	5.7±0.3b	2.228±0.190c
	T3	12.4±0.1d	0.395±0.011c	5.0±0.0c	1.110±0.103d
05-16	CK	32.2±0.2a	0.762±0.021a	11.0±0.6a	4.457±0.219a
	T1	28.5±0.2b	0.632±0.019b	10.3±0.3a	3.664±0.219b
	T2	22.3±0.2c	0.547±0.019c	9.7±0.3a	2.909±0.218c
05-23	CK	40.4±0.2a	0.908±0.027a	20.3±1.5a	6.249±0.223a
	T1	32.5±0.2b	0.817±0.020b	13.7±0.9b	4.967±0.219b
	T2	27.1±0.2c	0.757±0.027b	13.7±0.3b	3.659±0.221c
	T3	22.0±0.2d	0.431±0.016c	7.7±0.3c	2.096±0.078d
05-30	CK	59.5±0.4a	1.111±0.067a	22.0±1.2a	10.757±0.384a
	T1	49.3±0.4b	0.920±0.015b	22.3±0.9a	8.753±0.273b
	T2	44.5±0.4c	0.860±0.025b	17.7±0.9b	7.364±0.231c
	T3	36.3±0.3d	0.626±0.017c	13.3±0.6c	5.113±0.144d

### 2.4 水分胁迫对苗期番茄根系的影响

水分胁迫处理对苗期番茄根系的总长度、总表面



积、总平均直径和根尖数均存在不同程度的显著影响(表2)。不同程度的水分胁迫处理间根系总长度和平均直径也存在显著差异,均呈现  $T1 > T2 > CK > T3$  趋势。说明轻度和中度水分胁迫有利于根系的生长,是植物对逆境的一种适应性表现,一定程度的水分胁迫有助于苗期番茄根系的生长。但是在重度水分胁迫下,根系的生长受到严重抑制,5月30日T3根系总长度仅为CK的30.16%,平均直径也仅为CK的61.49%,这表明植物的适应性是有一定限度的,重度水分胁迫严重阻碍苗期番茄的根系生长。水分胁迫对苗期番茄根系总表面积的影响则有不同,轻度胁迫处理下总表面积有显著增加,5月30日T1总表面积是CK的1.52倍。中度胁迫对总表面积前期表现为明显的促进作用,5月16日T2根系总表面积是CK的1.21倍,而在后期表现出显著的抑制作用,5月30日T2总表面积为CK的88.54%。水分胁迫对根系根尖数的影响与对根系总表面积的影响相似,轻度胁迫下根尖数与CK相比始终有显著增加,5月30日T1根尖数是CK的1.63倍,相反地,重度胁迫下根尖数较CK则明显减少,5月30日仅为CK的32.70%。中度胁迫下前中期根尖数均明显多于CK,但是在后期与CK相近,几乎无差别。

表2 不同水分胁迫处理下  
苗期番茄根系的比较(平均值±标准差)

Table 2 Comparison of tomato roots on seedling stage under different water stress treatments (mean±SD)

日期 Date/ (月-日)	处理 Treatment	总长度 Total length /cm	总表面积 Total surface area /cm <sup>2</sup>	总平均直径 Total average diameter/mm	根尖数 Number of root tips/个
05-09	CK	625.88±21.86c	967.49±9.59c	1.22±0.02b	29.7±1.5c
	T1	1 215.51±39.00a	4 257.13±30.55a	1.50±0.01a	93.7±2.0a
	T2	918.87±18.43b	2 757.41±30.22b	1.47±0.02a	74.3±1.8b
	T3	437.28±8.98d	696.03±9.61d	0.72±0.01c	28.0±1.7c
05-16	CK	814.18±10.40c	2 323.52±20.50c	1.57±0.01b	50.0±2.6c
	T1	1 321.87±16.58a	5 334.71±25.81a	1.93±0.01a	117.7±3.5a
	T2	960.69±7.16b	2 806.51±15.26b	1.60±0.02b	84.7±2.0b
	T3	596.56±6.53d	904.57±9.37d	0.84±0.01c	29.0±2.3d
05-23	CK	1 118.64±12.05c	3 552.23±48.80b	1.67±0.01c	73.7±2.0c
	T1	1 438.25±24.72a	5 461.26±53.09a	2.00±0.03a	149.7±2.9a
	T2	1 209.27±12.07b	3 059.90±11.30c	1.75±0.02b	92.7±1.5b
	T3	508.29±5.53d	980.02±8.70d	0.98±0.02d	31.3±1.8d
05-30	CK	1 367.49±6.14c	3 657.62±24.52b	1.74±0.02c	100.0±2.6b
	T1	1 506.30±10.60a	5 570.95±23.87a	2.04±0.02a	162.7±5.6a
	T2	1 319.43±15.54b	3 238.38±15.58c	1.97±0.01b	98.3±3.8b
	T3	413.50±7.93d	1 260.49±15.91d	1.07±0.01d	32.7±1.5c

### 3 结论与讨论

植物在正常生长情况下由于机体内存在防御系统,其自由基代谢保持平衡状态<sup>[18]</sup>,在水分胁迫等逆境条件下,活性氧的代谢平衡被打破,活性氧积累增多,将对植物造成多种伤害<sup>[19]</sup>。该试验结果表明,水分胁迫处理下,CK、T1、T2、T3处理的SOD和CAT活性均随处理

时间增加而明显增加,POD活性初期增加不明显,而5月16日之后迅速增加,且SOD、POD和CAT活性均呈现  $CK > T1 > T2 > T3$  趋势。这说明水分胁迫会显著抑制保护酶的活性,在水分胁迫初期,主要是由SOD和CAT协同作用清除逆境下产生的活性氧,而在胁迫中后期POD开始产生重要作用,将  $H_2O_2$  转化为  $H_2O$  和  $O_2$ ,这与齐秀东等<sup>[20]</sup>的结论基本一致。在该试验中SOD、POD和CAT活性持续增加,而不同于毕会涛等<sup>[7]</sup>和李萍等<sup>[21]</sup>研究中的保护酶活性先上升后下降现象,这可能和试验的作物品种以及水分胁迫的程度有关。

MDA的含量是细胞膜脂过氧化的重要指标,可与细胞膜上的蛋白质、酶等结合、交联使之失活,从而破坏生物膜的结构与功能,此外还和细胞膜的相对透性呈现出良好的正相关关系。该试验中的MDA含量随胁迫时间增加而增加,尤其是T2和T3在后期更是高达48.51 mg/g和53.95 mg/g,且表现为  $T3 > T2 > T1 > CK$ ,这说明水分胁迫下细胞内的活性氧增加,且随着胁迫时间和胁迫程度的增加,细胞的膜结构受到一定损伤。短期胁迫下细胞可以靠自身的适应性抵御这些伤害,所以苗期初期各处理组的MDA含量维持在较低水平,而长期的胁迫尤其是中度和重度胁迫下,细胞受到的伤害大大增加,超出细胞自我调节和修复的范围,导致细胞膜系统结构和功能都受到严重破坏。

许多研究已证实,水分胁迫作用下,植物的叶绿体受到影响<sup>[22]</sup>,叶绿素含量下降<sup>[23]</sup>,希尔反应活力降低,光合系统受到抑制<sup>[24]</sup>,光合作用速率下降,导致植物地上部分株高和茎粗等均减小<sup>[15-16]</sup>,这和该试验得出的结果是一致的。同时,水分胁迫下,为了满足植物对水分的需求,植物根系的干物质分配增加<sup>[25]</sup>,根系长度和总表面积均有不同程度增加,以便于根系吸收更多水分供应植物的正常生理活动需要。该试验中,轻度胁迫和短期的中度胁迫均有利于根系的生长,长期中度胁迫作用下这种促进作用逐渐减小甚至转变为抑制作用,但是在重度胁迫影响下,番茄根系生长则受到明显抑制。因此,轻度水分胁迫最有利于苗期番茄根系的生长。

水分胁迫对植物的影响涉及诸多生理过程,具体的影响机制及过程仍需进一步研究分析。该试验仅以“金粉2号”为研究对象,分析水分胁迫对苗期番茄的影响,研究结论对其它番茄品种是否适用尚有待进一步研究。

### 参考文献

- [1] 刘爱华. 水分胁迫对生菜生理生化及气孔参数的影响[D]. 广州:暨南大学,2010.
- [2] 张士功,刘国栋,刘更另. 植物营养与作物抗旱性[J]. 植物学通报, 2001,18(1):64-69.
- [3] 张会. 植物干旱逆境胁迫研究综述[J]. 安徽农业科学,2013,41(3):945-946.
- [4] FRIDOVICH I. The biology of free radicals[J]. Science, 1978, 201:

875-880.

- [5] PAN Y, WU L J, YU Z L. Effect of salt and drought stress on antioxidant enzymes activities and SOD isoenzymes of liquorice (*Glycyrrhiza uralensis* Fisch)[J]. Plant Growth Regulation, 2006, 49(2):157-165.
- [6] 陈由强, 朱锦懋, 叶冰莹, 等. 水分胁迫对芒果(*Mangifera indica* L.)幼叶细胞活性氧伤害的影响[J]. 生命科学研究, 2000, 4(1):60-64.
- [7] 毕会涛, 黄付强, 邱林, 等. 干旱胁迫对灰枣保护性酶活性及膜脂过氧化的影响[J]. 中国农学通报, 2007, 23(2):151-155.
- [8] 林永英. 水分胁迫对青冈叶片活性氧的伤害[J]. 福建林学院学报, 2002, 22(1):1-3.
- [9] 刘艳, 蔡贵芳, 陈贵林, 等. 干旱胁迫对甘草幼苗活性氧代谢的影响[J]. 中国草地学报, 2012, 34(5):93-98.
- [10] 单长卷, 梁宗锁. 土壤干旱对冬小麦幼苗根系生长及生理特性的影响[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(5):38-41.
- [11] 徐世昌, 戴俊英, 沈秀瑛, 等. 水分胁迫对玉米光合性能及产量的影响[J]. 作物学报, 1995, 21(3):356-363.
- [12] 姚磊, 杨阿明. 不同水分胁迫对番茄生长的影响[J]. 华北农学报, 1997, 12(2):102-106.
- [13] 唐劲驰, 黎健龙, 唐颢, 等. 土壤水分胁迫对不同茶树品种光合作用及水分利用率的影响[J]. 中国农学通报, 2014, 30(1):248-253.
- [14] 白莉萍, 隋方功, 孙朝晖, 等. 土壤水分胁迫对玉米形态发育及产量的影响[J]. 生态学报, 2004, 24(7):1556-1560.
- [15] 柏成寿, 陆幅一. 水分胁迫对番茄幼苗生长影响的研究[J]. 园艺学

报, 1991, 18(4):340-344.

- [16] 甄占萍, 杨会芹. 水分胁迫对番茄生物学性状的影响[J]. 中国农学通报, 2001, 17(4):98-99.
- [17] 杨再强, 朱静, 张波, 等. 高温处理对结果期草莓叶片衰老特征的影响[J]. 中国农业气象, 2012, 33(4):512-518.
- [18] MOCORD J M. Superoxide dismutase: An enzymic function for erythrocyte cuprein[J]. Journal of Biological Chemistry, 1969, 244(22):6049-6055.
- [19] BARTOLI C G, GÓMEZ F, MARTÍNEZ D E, et al. Mitochondria are the maintarget for oxidative damage in leaves of wheat (*Triticum aestivum* L.)[J]. Journal of Experimental Botany, 2004, 55(403):1663-1669.
- [20] 齐秀东, 孙海军, 郭守华. SOD-POD 活性在小麦抗旱生理研究中的指向作用[J]. 中国农学通报, 2005, 21(6):230-232.
- [21] 李萍, 侯万伟, 刘玉皎. 干旱胁迫对蚕豆苗期植株形态及叶片保护性酶活性的影响[J]. 西南农业学报, 2014, 27(3):1029-1036.
- [22] KIVIMAENPAA M, SUTINEN S, KARLSSON P E. Cell structural changes in the needles of norway spruce exposed to long-term ozone and drought[J]. Annals of Botany, 2003, 92(6):779-793.
- [23] 韩锦峰, 汪耀富, 岳翠凌, 等. 干旱胁迫下烤烟光合特性和氮代谢研究[J]. 华北农学报, 1994, 9(2):39-45.
- [24] 覃鹏, 曾淑华, 刘飞虎. 烟草抗旱性生理生化研究进展[J]. 贵州农业科学, 2002, 30(2):55-57.
- [25] 王学文, 付秋实, 王玉珏, 等. 水分胁迫对番茄生长及光合系统结构性能的影响[J]. 中国农业大学学报, 2010, 15(1):7-13.

## Effect of the Water Dry Stress on the Young Plant Morphology and Protective Enzyme Activity of Greenhouse Tomato

LIU Zhaoxia<sup>1</sup>, YU Yanwen<sup>1</sup>, CHEN Yanqiu<sup>2</sup>, YANG Zaiqiang<sup>1,3</sup>

(1. Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters, Key Laboratory for Aerosol-Cloud-Precipitation of China Meteorological Administration, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing, Jiangsu 210044; 2. Shenyang Central Meteorological Observatory, Shenyang, Liaoning 110016; 3. Jiangsu Key Laboratory of Agricultural Meteorology, Nanjing, Jiangsu 210044)

**Abstract:** 'Jinfen 2' tomato was used as test material, designed 4 soil moisture gradients test, from April 25<sup>th</sup> to May 30<sup>th</sup>, 2014, and the treatments of mild, moderate, and severe water stress were T1, T2, and T3, with normal irrigation as CK, to study soil moisture stress on tomato seedling morphological index and protective enzymes. The results showed that with stress time increased, SOD, POD, CAT activity and MDA content had different degrees of increasing. Moreover in the same period SOD, POD, CAT activity presented trend of CK>T1>T2>T3, while MDA content was expressed as T3>T2>T1>CK, besides there were significant differences between different treatments. Tomato was affected less under mild stress, but the long-term moderate and severe stress would destroy cellular structure more seriously; Under water stress, the plant height, diameter coarse, leaf number and leaf area index of late seedling stage tomato all reduced to some extent, and that under the severe stress decreased more especially, only reaching 61.0%, 56.3%, 60.1% and 48.3% of CK respectively; mild water stress could significantly promote root growth, and the amplifications of total surface area and root tip of T1 were as much as 34.5% and 38.5% compared with CK. And T2 roots advantages compared to CK gradually weakened over time, while the final total root length, total surface area, average diameter and the number of root tips of T3 were only 30.2%, 34.5%, 61.5% and 32.7% of CK respectively. Studies showed that water stress could inhibit the growth of tomato above-ground part, but mild stress could significantly promote the growth of root system. Short-term moderate stress was beneficial to root growth, but with the extension of stress time, the promotion would gradually diminish or even into inhibition. And under severe stress, tomato root was obvious inhibition. The study provided the scientific basis for water management of greenhouse tomato.

**Keywords:** soil water dry stress; tomato; growth; protective enzyme