

干旱胁迫对茄子幼苗生长及生理特性的影响

刘旭, 王爱红, 林碧英*, 吴宏琪, 祖颖达, 张子昆

(福建农林大学园艺学院, 福州 350002)

摘要: 本试验以茄子为材料, 研究干旱胁迫对茄子幼苗生长及生理特性的影响。设置4个干旱胁迫处理梯度, 其土壤含水量分别为对照(70%~80%)、轻度胁迫(50%~60%)、中度胁迫(40%~50%)和重度胁迫(30%~40%)。结果显示: 随干旱胁迫强度的增加, 茄子幼苗的株高、茎粗、干重、壮苗指数、相对生长量和叶绿素、可溶性蛋白含量及CAT活性均逐渐降低, 且均低于对照, 在2 d与对照相比下降较小, 但随干旱胁迫时间延长急剧下降, 且干旱强度越大, 下降越明显, 其中叶绿素、可溶性蛋白含量及CAT活性与壮苗指数、相对生长量呈极显著正相关; MDA、脯氨酸含量及SOD、POD活性均逐渐增加, 且均高于对照, 其中MDA含量在2 d时急剧增加, 但随后下降, 而脯氨酸含量及SOD、POD活性在2 d、4 d时增加较小, 但随干旱胁迫时间延长急剧增加, 且干旱强度越大, 增加越高。研究表明, 在一定强度的干旱胁迫下, 茄子幼苗的地上部生长受到抑制, 在干旱胁迫前期细胞膜受到伤害较大, 且随着干旱胁迫时间的延长叶绿素合成受到抑制越明显, 但能通过自身的抗氧化酶系统和渗透调节物质来提高对干旱胁迫的适应能力。

关键词: 茄子; 干旱胁迫; 抗氧化酶; 生长指标

中图分类号: S641.1

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2023)02-0117-05

Effects of Drought Stress on Growth and Physiological Characteristics of Eggplant Seedlings

LIU Xu, WANG Aihong, LIN Biying*, WU Hongqi, ZU Yingda, ZHANG Zikun

(College of Horticulture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: To study the effect of drought stress on the growth and physiological characteristics of eggplant seedlings. Four treatment gradients of drought stress were set up, and the water content of the soil were control (70%–80%), mild stress (50%–60%), moderate stress (40%–50%) and severe stress (30%–40%), respectively. The results showed that with the increased of drought stress intensity, the plant height, stem diameter, dry weight, strong seedling index, relative growth, the contents of chlorophyll and soluble protein and CAT activity of eggplant seedlings decreased gradually, and they were all lower than CK. And the decrease was smaller compared with CK in the second day, but decreased sharply with the extension of drought stress time and the greater the drought intensity. In which the contents of chlorophyll and soluble protein and CAT activity were significantly positively correlated with the strong seedling index and relative growth. The contents of MDA and proline and the activities of SOD and POD increased gradually, and they were all higher than CK. The content of MDA increased sharply in the second day, but then decreased, while the content of proline and the activities of SOD and POD increased slightly in the second and fourth days, but increased sharply with the extension of drought stress time and the greater the drought intensity. The results showed that under the certain drought stress, the growth of eggplant seedlings is inhibited, the cell membrane is damaged greatly in the early stage of drought stress, and the content of chlorophyll is inhibited more obviously with the extension of drought stress time, but the adaptability of eggplant seedlings to drought stress could be improved through its antioxidant enzyme system and osmotic regulation substances.

Key words: Eggplant; Drought stress; Antioxidant enzyme; Growth index

收稿日期: 2020-03-27

基金项目: 福建省科技重大专项(2018NZ0002-2); 福建农林大学科技创新基金项目(CXZX2017534)

作者简介: 刘旭(1994-), 男, 硕士, 从事蔬菜生理生化与生态研究。

通讯作者: 林碧英, 女, 教授, E-mail: lby3675878163@qq.com

干旱胁迫是非生物胁迫中影响植物正常生长的一种常见胁迫,植物的生长离不开水,严重缺水会抑制植物生长甚至萎蔫死亡^[1],尤其对一些耐旱能力弱的农作物会造成严重经济损失。因此对植物的抗旱性研究尤为重要。目前已有大量关于干旱胁迫的相关研究,如棉花^[2]、野生大豆^[3]、番茄^[4]等植物,关于茄子干旱胁迫的相关研究还鲜有报道。植物在干旱胁迫下,会产生一系列的生理变化,如细胞膜透性增大,从而导致植物的MDA含量增加^[5-6],光合色素含量的降低会导致植物光合速率下降,植物可通过自身脯氨酸、可溶性蛋白等渗透物质的累积和抗氧化酶SOD、POD、CAT活性的增强来调节自身对干旱胁迫的适应能力^[7-8]。茄子(*Solanum melongena* L.)为热带一年生草本植物,最早起源于亚洲东南热带区域,后被世界各地广泛种植,目前已成为我国种植最广泛,栽培面积最大的几种主要蔬菜之一^[9],因其果实丰富的营养价值以及根、茎、叶的药用价值而备受喜爱。茄子是一种需水量较大的蔬菜,在整个栽培过程中对水分要求较为严格,因此探讨干旱胁迫对茄子生长和生理特性的影响具有重要意义。本试验通过在不同干旱胁迫下,对茄子生长相关指标和生理特性指标的测定,探讨干旱胁迫与茄子耐旱性的关系,为以后茄子相关的耐旱性研究提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地点及材料

试验于2019年6~8月在福建农林大学园艺学院人工气候室进行。供试茄子为‘福农绿茄’品种,由福建农林大学园艺学院蔬菜研究所提供。

1.2 试验设计

将供试材料茄子种子进行常规温汤浸种后催芽,待种子露白后,播到穴盘中进行育苗,育苗基质采用草炭:蛭石:珍珠岩=3:1:1,待苗长到2叶1心期移栽到装有相近重量土壤8 cm×10 cm×12 cm(下底×高×上底)的塑料营养钵中,待苗长至4叶1心期,选取长势健壮一致的植株放入人工气候室进行干旱胁迫处理,试验设置4个干旱胁迫处理梯度,分别为正常浇水对照(CK)、轻度胁迫(T₁)、中度胁迫(T₂)和重度胁迫(T₃),其土壤含水量分别为田间最大持水量的70%~80%、50%~60%、40%~50%和30%~40%,人工气候室环境条件:昼/夜温度为25℃/19℃,光照强度在250 μmol/(m²·s)左右,昼夜时长均为12 h,空间相对湿

度在65%左右,待每个处理的土壤含水量分别达所需含水量时,于每天18:00采用称重法控水补水来进行水分控制,处理期间除土壤水分有明显差异外其他管理均一致,每处理设3次重复,处理8 d。各处理分别在干旱胁迫处理0、2、4、6、8 d随机选取3株叶片剪碎混合后进行相关生理生化指标的测定,各处理在8 d随机选取3株植株进行相关形态指标的测定。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 形态指标的测定

株高用精确度为1 mm的刻度尺来测量,从根茎分界处到生长点的高度为株高;用精确度为0.02 mm的游标卡尺测定茎粗,以子叶下部节间1 cm为基准测定茎粗;以精确度为0.01 g的电子天平来测量鲜重和干重。

干重:105℃杀青20 min,75℃烘干至恒重。

壮苗指数SI=[(幼苗茎粗D/幼苗株高H)×幼苗干质量]×100%

相对生长量=(处理最后1天的鲜重/处理前的鲜重)×100%

1.3.2 生理生化指标的测定

用混合液提取法测定叶绿素含量^[10],用愈创木酚法测定过氧化物酶活性^[11],用紫外吸收法测定过氧化氢酶活性^[12],用氮蓝四唑法测定超氧化物歧化酶活性,用磺基水杨酸法测脯氨酸含量,用硫代巴比妥酸法测定丙二醛含量,用考马斯亮蓝法测定可溶性蛋白含量^[13]。

1.4 数据处理

采用SPSS 20.0、Excel 2010软件进行数据分析,图表中数据为“平均值±标准差”。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对茄子幼苗生长的影响

由表1可知,干旱胁迫处理8 d时,茄子幼苗的株高、茎粗、干重、壮苗指数及相对生长量均低于对照,且随干旱胁迫程度的增加,各生长指标均逐渐降低。其中T₁处理各生长指标分别比对照减少7.58%、3.36%、15.46%、10.82%、21.36%,除干重、相对生长量外,其他生长指标与对照均无显著性差异。T₂处理各生长指标分别比对照减少14.09%、8.40%、23.71%、10.82%、28.54%,除茎粗外,其他生长指标与对照均与对照达到显著性差异。T₃处理各生长指标分别比对照减少24.70%、18.21%、31.96%、24.90%、37.62%,且与对照均达到显著性差异。

表1 干旱胁迫对茄子幼苗生长的影响

处理	株高(cm)	茎粗(mm)	干重(g)	壮苗指数(%)	相对生长量(%)
CK	6.60±0.10a	3.57±0.33a	0.97±0.22a	52.33±4.51a	176.33±14.98a
T ₁	6.10±0.10ab	3.45±0.16a	0.82±0.02b	46.67±2.52ab	138.64±10.07b
T ₂	5.67±0.46b	3.27±0.17ab	0.74±0.04c	42.67±4.04bc	126.00±13.89bc
T ₃	4.97±0.35c	2.92±0.20b	0.66±0.02d	39.30±1.53c	110.00±5.20c

注:不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),下同

2.2 干旱胁迫对茄子幼苗叶绿素含量的影响

由图1可知,随干旱胁迫强度的增加,茄子幼苗的叶绿素含量逐渐降低。T₁、T₃变化趋势较为复杂,呈先下降后上升再下降再上升的趋势,T₂处理的叶绿素含量呈先下降后上升再下降的趋势,其中T₁处理除2 d时叶绿素含量比对照增加5.76%外,其他处理时间均低于对照,T₂、T₃处理的叶绿素含量均始终低于对照,且均达到显著性差异。在干旱胁迫处理8 d时,各处理的叶绿素含量由大到小依次为:CK>T₁>T₂>T₃。

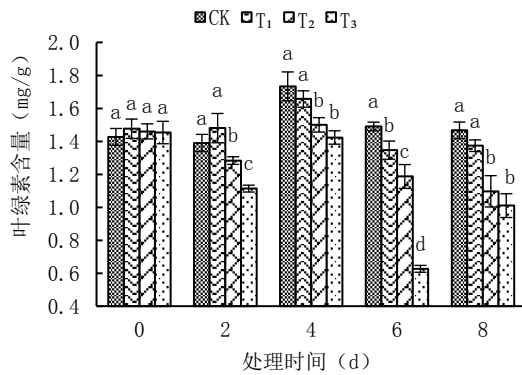


图1 干旱胁迫对茄子幼苗叶绿素含量的影响

2.3 干旱胁迫对茄子幼苗MDA含量的影响

由图2可知,各干旱胁迫处理茄子幼苗的MDA含量均高于对照,随干旱胁迫强度的增加,MDA含量逐渐增加,且均呈先上升后下降再上升的趋势。2 d时T₁~T₃处理与对照相比上升最大,分别为25.07%、35.93%、50.41%,且均达到显著性

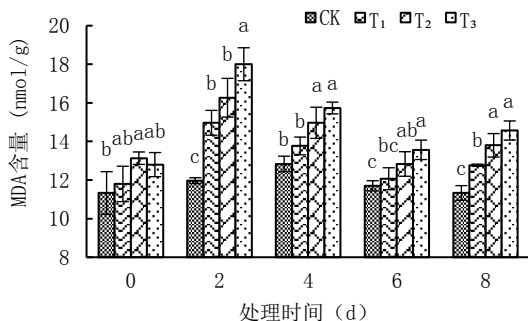


图2 干旱胁迫对茄子幼苗MDA含量的影响

差异。随干旱胁迫时间的延长,T₂、T₃处理与对照相比均达到显著性差异,T₁处理在2 d、8 d与对照相比均达到显著性差异。

2.4 干旱胁迫对茄子幼苗脯氨酸含量的影响

由图3可知,各干旱胁迫处理茄子幼苗的脯氨酸含量均高于对照,其中T₂、T₃处理均达到显著性差异,T₁处理除6 d外,其他处理时间均达显著性差异。随着干旱胁迫时间的延长,各处理脯氨酸含量均呈上升趋势,且随干旱胁迫强度的增加,脯氨酸含量逐渐增加。

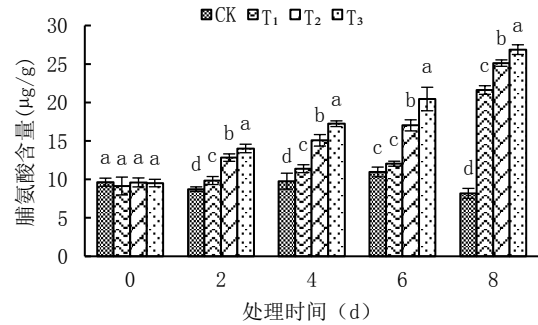


图3 干旱胁迫对茄子幼苗脯氨酸含量的影响

在2 d、4 d时各处理与对照相比,脯氨酸含量增加较小,但随干旱胁迫时间的延长,脯氨酸的含量逐渐增大,8 d时达到最大。在干旱胁迫处理8 d时,各处理的脯氨酸含量由大到小依次为:T₃>T₂>T₁>CK。

2.5 干旱胁迫对茄子幼苗可溶性蛋白含量的影响

由图4可知,各干旱胁迫下处理茄子幼苗的可溶性蛋白含量均显著低于对照,且随着干旱胁迫

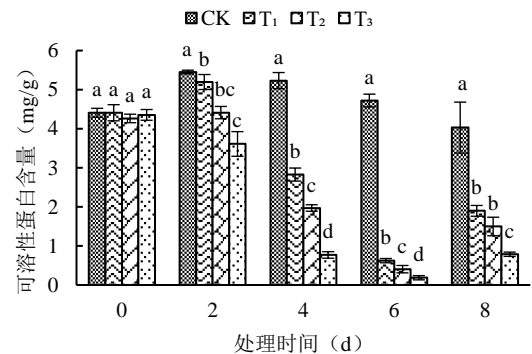


图4 干旱胁迫对茄子幼苗可溶性蛋白含量的影响

迫强度的增加,可溶性蛋白含量逐渐降低。 $T_1 \sim T_3$ 处理可溶性蛋白含量随着干旱胁迫时间的延长均呈先降低后上升的趋势,在2~6 d时各处理的可溶性蛋白含量与对照相比逐渐减少,6 d时可溶性蛋白的含量达到最低,分别比对照减少86.80%、91.43%、96.07%。8 d时各处理的可溶性蛋白含量由大到小依次为:CK> T_1 > T_2 > T_3 。

2.6 干旱胁迫对茄子幼苗抗氧化酶活性的影响

由图5A可知,干旱胁迫下各处理的SOD活性均高于对照,随干旱强度的增加,各处理SOD活性也逐渐增加,随干旱胁迫时间的延长, T_2 、 T_3 处理呈先上升后下降再上升的趋势, T_1 呈先上升后下降的趋势。2 d、4 d时干旱胁迫下各处理与对照相比增加不显著,随干旱胁迫时间的延长,各处理与对照相比SOD活性均迅速增加,除 T_1 外其他处理均达显著性差异。8 d时各处理SOD活性由大到小依次为: T_3 > T_2 > T_1 >CK。

由图5B可知,各干旱胁迫处理POD活性均高于对照,除2 d外,随干旱胁迫强度的增加,各处理POD活性逐渐增加。各处理POD活性均呈先下降后上升再下降的趋势,2 d、4 d干旱胁迫下各处理与对照相比增加较小,6 d、8 d时各处理均迅速增加,除 T_1 外其他处理均达显著性差异。8 d时各处理POD活性依次为: T_3 > T_2 > T_1 >CK。

由图5C可知,各干旱胁迫处理CAT活性均显著低于对照,随干旱胁迫时间的延长均呈先下降后上升的趋势,且随干旱胁迫强度的增加,各处理CAT活性逐渐降低。除2 d外,其他处理时间各处理的CAT活性与对照相比下降较大,6 d达到最低。8 d时各处理CAT活性由大到小依次为:CK> T_1 > T_2 > T_3 。

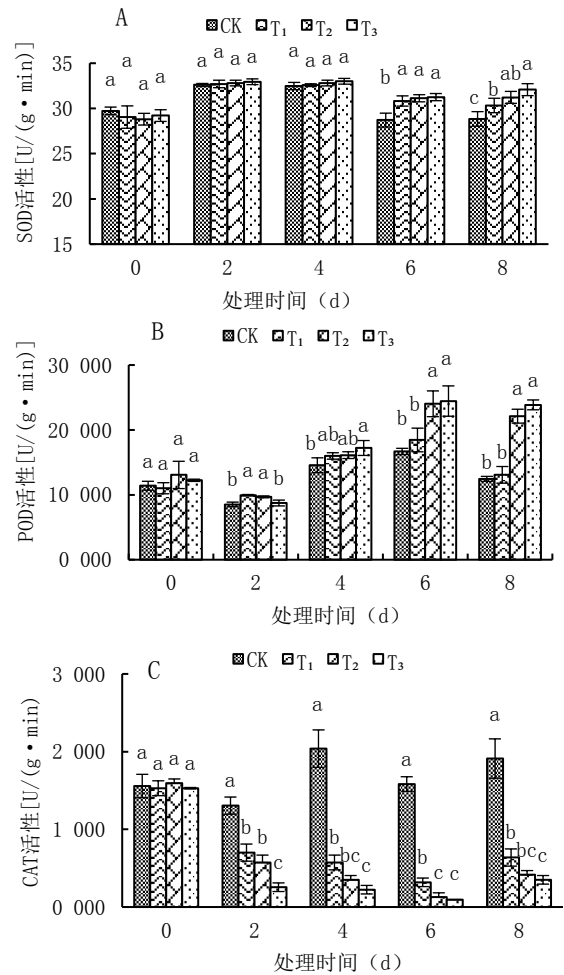


图5 干旱胁迫对茄子幼苗抗氧化酶SOD、POD、CAT活性的影响

2.7 干旱胁迫处理下茄子幼苗生长和生理生化指标的相关系数

由表2可知,干旱胁迫下,茄子幼苗的相对生长量和壮苗指数均与MDA、脯氨酸含量及POD活性呈极显著负相关,均与叶绿素、可溶性蛋白含

表2 干旱胁迫处理下茄子幼苗生长和生理生化指标的相关系数

指标	相对生长量	壮苗指数	叶绿素	MDA	可溶性蛋白	脯氨酸	SOD	POD	CAT
相对生长量	1								
壮苗指数	0.744**	1							
叶绿素	0.769**	0.833**	1						
MDA	-0.900**	-0.844**	-0.901**	1					
可溶性蛋白	0.917**	0.876**	0.811**	-0.911**	1				
脯氨酸	-0.912**	-0.829**	-0.827**	0.914**	-0.974**	1			
SOD	-0.696*	-0.786**	-0.898**	0.792**	-0.835**	0.858**	1		
POD	-0.765**	-0.841**	-0.952**	0.868**	-0.769**	0.779**	0.806**	1	
CAT	0.860**	0.741**	0.791**	-0.873**	0.908**	-0.973**	-0.831**	-0.716**	1

注:“-”表示负相关,“*”表示显著相关($P < 0.05$),“**”表示极显著相关($P < 0.05$)

量及CAT活性呈极显著正相关,其中相对生长量与SOD活性呈显著负相关,且与壮苗指数呈极显

著正相关。叶绿素含量与可溶性蛋白含量和CAT活性呈极显著正相关,与其他指标均呈极显著负

相关。POD、SOD活性和脯氨酸含量间均呈极显著正相关,且均与CAT活性呈极显著负相关。

3 讨论与结论

3.1 干旱胁迫对茄子幼苗生长的影响

在干旱胁迫下,植物的生长受到抑制,生长势受到影响,植物的相对生长量减少^[14],而相对生长量是植物生长的重要指标之一。研究认为,水分胁迫会抑制番茄地上部的生长^[15]。本试验研究表明,各干旱胁迫处理茄子幼苗的株高、茎粗、干重、壮苗指数及相对生长量均低于对照,且随干旱胁迫强度的增加,相关生长指标逐渐降低,这与刘朝霞等^[15]结果一致,说明干旱胁迫能抑制茄子幼苗地上部的生长。

3.2 干旱胁迫对茄子幼苗叶绿素含量的影响

叶绿体是植物能量转化和光合作用的重要细胞器,叶绿素是植物进行光合作用的重要光合色素,在一定程度上可反映植物抗逆能力^[16-17]。研究表明,干旱胁迫下黑果枸杞的叶绿素含量降低^[18]。本试验研究表明,各干旱胁迫处理茄子幼苗的叶绿素含量除2 d外,其他处理时间均低于对照,且随干旱强度的增加,叶绿素的含量逐渐降低,该结果与张婷华等^[19]对番茄研究结果一致。其中T₁处理的叶绿素含量与对照相比下降较小,其他处理的叶绿素含量降低较为明显。

3.3 干旱胁迫对茄子幼苗MDA含量的影响

植物受到干旱胁迫后,细胞内渗透压失去平衡,膜结构发生变化,从而导致细胞膜受损^[20],而MDA含量是植物细胞膜受损的重要指标,MDA含量越低,说明细胞膜受到的损伤越小。本试验研究表明,各干旱胁迫处理茄子幼苗的MDA含量均高于对照,且随着干旱强度的增加,MDA含量也逐渐增加,其结果与靳月等^[21]对闽楠的研究结果一致。且各处理在2 d时上升较大,随后下降,说明在干旱胁迫前期对茄子幼苗的细胞膜损伤较大。

3.4 干旱胁迫对茄子幼苗渗透调节物质的影响

植物受到非生物胁迫时会积累大量可溶性蛋白和脯氨酸等渗透调节物质,来平衡细胞内渗透压以及保护细胞膜和生命物质等^[22]。脯氨酸含量的多少可判定植物抗逆性的强弱^[23],在非生物胁迫中是衡量植物抗逆性能力的重要指标。本试验研究表明,在干旱胁迫处理下,茄子幼苗的脯氨酸含量均高于对照,且随胁迫时间延长逐渐上升,8 d各处理脯氨酸含量与对照相比上升最大。可溶性蛋白含量表现相反,在2~6 d逐渐降低,可

能是干旱胁迫抑制了可溶性蛋白的合成,通过促进脯氨酸的合成来增强茄子幼苗对干旱的适应能力。

3.5 干旱胁迫对茄子幼苗抗氧化酶活性的影响

SOD、POD及CAT是植物体内重要的抗氧化酶,当植物受到干旱胁迫时,体内会产生大量的活性氧自由基,活性氧自由基能破坏生物大分子以及引起膜损伤,这些抗氧化酶能清除这些自由基,从而缓解植物受到的伤害^[24],研究表明,干旱胁迫下H₂S能提高植物体内抗氧化酶活性,从而增强植物的耐旱能力^[25]。本试验研究表明,干旱胁迫下各处理的SOD、POD活性均高于对照,POD活性除2 d外,随干旱胁迫强度增加,各处理SOD、POD活性均逐渐增加,而CAT活性与SOD、POD活性表现相反,均显著低于对照。说明各干旱胁迫处理茄子幼苗可能通过增强SOD、POD活性来提高对干旱的适应能力,干旱胁迫却抑制了CAT活性。

综上所述,随着干旱胁迫强度的增加,茄子幼苗的株高、茎粗、干重、壮苗指数、相对生长量和叶绿素、可溶性蛋白含量及CAT活性均逐渐降低,均低于对照,在2 d时与对照相比下降较小,但随干旱胁迫时间的延长急剧下降,且干旱强度越大,下降越明显,其中叶绿素、可溶性蛋白含量及CAT活性与壮苗指数、相对生长量呈极显著正相关;MDA、脯氨酸含量及SOD、POD活性均逐渐增加,且均高于对照,其中MDA含量在2 d时急剧增加,随后下降,脯氨酸含量及SOD、POD活性在2 d、4 d时增加较小,随干旱胁迫时间的延长急剧增加,且干旱强度越大,增加越高。结果表明,在一定强度的干旱胁迫下,茄子幼苗的地上部生长受到抑制,在干旱胁迫前期细胞膜受到较大伤害,且随干旱胁迫时间的延长叶绿素合成受到抑制越明显,但能通过自身的抗氧化酶系统和渗透调节物质来提高对干旱胁迫的适应能力。

参考文献:

- [1] 杨肖华,郭圣茂,冯美玲,等.干旱胁迫及复水对射干光合作用和叶绿素荧光特性的影响[J].江西农业大学学报,2018,40(3):525-532.
- [2] Farah D, Asutosh K P, Sanjay R, et al. Physiological and proteomic responses of cotton (*Gossypium herbaceum* L.) to drought stress[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2012, 53: 6-18.
- [3] 李为民,李倩,柏国清,等.盐胁迫和水分胁迫对野生大豆种子萌发及幼苗生长的影响[J].分子植物育种,2018,16(1):223-227.
- [4] 裴冬丽,张红岩,张贺,等.干旱胁迫对番茄幼苗叶片SOD、POD和PAL活性的影响[J].吉林农业科学,2015,40(4):83-86.

(下转第140页)

鼠生长发育及脏器系数等无影响,表现为基本无毒,证实FI具有食用安全性。可见,烟草FI蛋白具有良好的开发利用前景。

参考文献:

- [1] 饶国华,赵谋明,林伟锋,等.中国低次烟叶资源综合利用研究[J].资源科学,2005(5):120-127.
- [2] 赵谋明,饶国华,林伟锋.烟草蛋白质研究进展[J].烟草科技,2005(4):31-34.
- [3] 何亚飞,李霞,谢寅峰. Rubisco 与 Rubisco 活化酶的分子机理研究进展[J].分子植物育种,2017,15(8):3295-3301.
- [4] 张启东,李鹏,柴国璧,等.烟叶蛋白研究进展[J].化学通报,2013,76(7):605-611.
- [5] 张劲松,高学云,黄镇,等.沉淀离子强度对烟草 Rubisco 结晶的影响[J].中国烟草科学,1997(3):3-7.
- [6] 张劲松,高学云,黄镇,等.沉淀 pH 值对烟草 Rubisco 结晶的影响[J].中国烟草科学,1997(2):3-7.
- [7] 中华人民共和国卫生部.中华人民共和国国家标准食品安全性毒理学评价程序和方法[S].北京:中国标准出版社,1995.
- [8] 王士连.蝇蛆耐高温抗氧化肽的发现及生物信息学分析[D].

广州:广州大学,2017.

- [9] 徐叔云,卞如濂,陈修,等.药理实验方法学[M].北京:人民卫生出版社,2002:406.
- [10] 陈波利,谭艾娟,吕世明,等.蝉拟青霉提取液对小鼠的镇痛作用[J].动物医学进展,2019,40(11):63-67.
- [11] 龚洋洋,陆建学,黄艳青,等.南极磷虾粉氨基酸营养价值分析与评价[J].饲料工业,2013,34(16):38-41.
- [12] Kong B H, Peng X Y, Xiong Y L, et al. Protection of lung fibroblast MRC-5 cells against hydrogen peroxide-induced oxidative damage by 0.1-2.8kDa antioxidative peptides isolated from whey protein hydrolysate[J]. Food Chemistry, 2012, 135(2): 540-547.
- [13] Kung S D, James A S, Tso T C, et al. Tobacco as a potential food source and smoke material: nutritional evaluation of tobacco leaf protein[J]. Journal of Food Science, 1980, 45: 320-322.
- [14] 郭培国,李荣华,陈建军.烟叶中FI蛋白的简便提取技术及其氨基酸成分分析[J].中国烟草学报,2000(2):17-21.
- [15] 栾倩倩.鲜烟叶中有效成分的分离纯化研究[D].大连:大连理工大学,2018.

(责任编辑:王昱)

(上接第121页)

- [5] Fang Y J, Xong L Z. General mechanisms of drought response and their application in drought resistance improvement in plants [J]. Cellular and Molecular Life Sciences, 2015(4): 673-689.
- [6] 王 珊,王竹承.干旱胁迫对桔梗幼苗生长及生理特性的影响[J].西北农业学报,2014,23(7):160-165.
- [7] 桑子阳,马履一,陈发菊.干旱胁迫对红花玉兰幼苗生长和生理特性的影响[J].西北植物学报,2011,31(1):109-115.
- [8] 路其祥.干旱胁迫对蒲公英抗性生理生化指标的影响[D].邯郸:河北工程大学,2020.
- [9] 何倚剑.茄子种质资源遗传多样性与群体结构分析[D].南京:南京农业大学,2013.
- [10] 何启平,陈莹.校园常见植物叶绿素提取方法比较及其含量测定[J].黑龙江农业科学,2015(10):117-120.
- [11] 王伟玲,王展,王晶英.植物过氧化物酶活性测定方法优化[J].实验室研究与探索,2010,29(4):21-23.
- [12] 陈晓敏.测定切花中过氧化氢酶活性的3种常用方法的比较[J].热带农业科学,2002,22(5):13-16.
- [13] 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,2006:118-173.
- [14] 张爱民,杨红,耿广东.干旱胁迫对辣椒幼苗形态指标的影响[J].贵州农业科学,2011,39(10):54-56.
- [15] 刘朝霞,余焰文,陈艳秋,等.水分胁迫对苗期番茄叶片保护酶活性和植株形态的影响[J].北方园艺,2015(23):1-5.
- [16] 刘振威,孙丽,方婷婷,等.不同光质及组合对番茄幼苗生长及生理特性的影响[J].华北农学报,2015,30(5):141-145.

- [17] 孙晓东,贾娜,何鹏,等.干旱胁迫对陕北沙棘幼苗生长发育的影响[J].东北农业科学,2018,43(2):16-20.
- [18] 郭有燕,刘宏军,孔东升,等.干旱胁迫对黑果枸杞幼苗光合特性的影响[J].西北植物学报,2016,36(1):124-130.
- [19] 张婷华,杨再强,李永秀,等.水分胁迫对番茄叶片光合特性和叶绿素荧光参数的影响[J].灌溉排水学报,2013,32(6):72-76.
- [20] 徐卫平,蒋景龙,任绪明,等.低温胁迫对3种柑橘幼苗细胞膜及渗透调节的影响[J].分子植物育种,2017,15(3):1104-1108.
- [21] 靳月,李铁华,文仕知,等.干旱胁迫对闽楠幼苗的生长和生理特性的影响[J].中南林业科技大学学报,2018,38(9):50-57.
- [22] 路之娟,张永清,张楚.干旱胁迫对不同苦芥品种苗期生长和根系生理特征的影响[J].西北植物学报,2018,38(1):112-120.
- [23] 程艳,吴春燕,王娜,等.矮壮素基质浇灌法对番茄幼苗生长及理化指标的影响[J].东北农业科学,2018,43(6):40-43.
- [24] 李瑞姣,岳春雷,李贺鹏,等.干旱胁迫对日本莢蒾幼苗生理生化特性的影响[J].西北林学院学报,2018,33(2):56-61,103.
- [25] Jin Z P, Shen J J, Qiao Z J, et al. Hydrogen sulfide improves drought resistance in Arabidopsis thaliana[J]. Biochemical and Biophysical Research Communications, 2011(3): 481-486.

(责任编辑:王昱)