

# 水涝胁迫对党参的生长、生理特性及多糖含量的影响

王赞文<sup>a</sup>,梁宗锁<sup>a,b</sup>,韩蕊莲<sup>c</sup>

(浙江理工大学,a.生命科学学院;b.浙江省植物次生代谢调控重点实验室,c.建筑工程学院,杭州 310018)

**摘 要:**为探究党参在水涝胁迫下所发生的生理生化响应,采用盆栽控水法对党参在不同程度水涝胁迫下党参植株的生长、生理特性、多糖含量进行测定,以期对党参的科学栽培和管理提供依据。结果表明:在水涝胁迫处理下,党参所在的同一物候期较正常灌水下滞后且随着水涝胁迫的加剧,物候期滞后现象更明显;在重度、轻度水涝胁迫下,党参叶片的超氧化物歧化酶、过氧化物酶、过氧化氢酶活性在处理14~56 d内一直上升,之后下降;其可溶性蛋白含量在处理42 d之后下降;其可溶性糖含量在70 d内持续降低而丙二醛含量一直升高;党参植株随着水涝胁迫程度的加重更不利于地上部分鲜重、根鲜重、总生物量以及地下部分多糖含量的积累。因此降雨时应及时排水,确保排水深度至根系集中分布层以下,以优化党参植株培育、提高其产量。

**关键词:**党参(*Codonopsis pilosula*);水涝胁迫;生理特性;生长特性;党参多糖

**中图分类号:** Q945.78

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-3851(2017)06-0893-08

## 0 引言

党参(*Codonopsis pilosula*)是我国传统的贵重药材,性味甘平,具补中益气、健脾益肺等功效;秋季采挖,主产于陕西、四川、山西、甘肃、宁夏等省<sup>[1]</sup>,广泛用于内热解渴、心悸气短、食少便溏、脾肺虚弱等症状<sup>[2]</sup>。陕西等省常因夏季暴雨、秋季连阴雨而造成洪涝灾害。在大田实际种植过程中,因大田土壤翻耕不平坦或因其它因素导致地表面低洼、沼泽等常见地貌,在发生洪水或暴雨之后,往往会出现积水过量、过久,如未及时采取相应的措施会造成对作物不可逆的伤害。这种伤害根据农作物种类、土壤的理化状态及水涝持续时间的差异,可以导致同比减产20%~85%,甚至徒劳无获<sup>[3]</sup>。植物在长期的进化过程中进化出一套抗、耐涝害逆境的自外而内的生理生化和分子调控体制,植物体在逆境胁迫时会加快需氧细胞的代谢,使其产生过多的一系列活性氧簇(reactive oxygen species, ROS),打破了原有的平衡微环境。植物体为了维护这种微环境会产生

一系列清除水涝逆境胁迫产生的过多的ROS的保护酶,如超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、过氧化物酶(peroxidase, POD)、过氧化氢酶(catalase from micrococcus lysodeikticus, CAT)等<sup>[4]</sup>。水涝逆境对植物的伤害通过膜脂的过氧化生成过氧化物,如丙二醛(malondialdehyde, MDA)从而对植株产生毒害;另外其渗透调节物也会发生动态性变化,如可溶性蛋白<sup>[5]</sup>。因此深入探讨作物的抗、耐涝性及适应水涝逆境的生理生化及分子调控机理,可为通过化学、分子调控水平提高植物抗、耐涝性提供科学依据,也可为易受涝渍灾害的地区,适时地采取相应的措施尽量排除减产隐患,以及为遭受涝渍灾害的地带,实施实际可行的减少农业减产减收的方略提供科学指导<sup>[3]</sup>。

目前对党参的研究主要集中在化学成分提取工艺和党参多糖药理活性等方面,而关于水涝胁迫对党参的生理、生长特性以及党参多糖含量变化的研究鲜见报道。因此本实验采用盆栽控水法,通过研究党参植株对不同程度水涝的生理和代谢响应,旨在探讨党

收稿日期:2017-06-15 网络出版日期:2017-08-07

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划项目(2015BAC01B03)

作者简介:王赞文(1990-),男,江西吉安人,硕士研究生,主要从事水涝胁迫对党参植株的影响研究。

通信作者:梁宗锁,E-mail:liangzs@ms.ismc.ac.cn

参植株的耐涝性与生长、生理指标、党参多糖含量的关系,以期对党参的大田栽培和管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验采用盆栽苗控水法,供试材料为2年生党参,由甘肃省陇南市宕昌县麻界村基地提供。于2016年9月15日将大小一致的2年生党参苗载入到上口口径31 cm,下口径25 cm,高27 cm盆中。于10月初选取78盆移进温室内,并随机分为3组,每组25盆,三组处理分别为正常灌水(最大田间持水量的75%)、轻度水涝(含水量70%)、重度水涝(含水量100%)。3盆用于空白对照。每盆栽种6株,首次浇透水,使土壤含水量分别降至设定土壤含水量水平后开始采用称重法控水。除土壤水分处理不同外,其它农艺管理均一致。各盆在称重后随机的调换一下位置,排除不必要的实验误差。自2016年11月10日达到设定梯度之后,分别在处理14、28、42、56、70 d采取三种处理的党参全株,进行相关指标测定。

1.2 相关指标的测定方法

1.2.1 形态观察

肉眼观察党参植物在不同程度水涝环境中处理70 d内的外部形态变化。

1.2.2 生理指标测定方法

测定不同程度不同处理天数水涝胁迫下党参新鲜叶片的SOD、可溶性蛋白、POD、可溶性糖、CAT活性、MDA含量等生理指标。SOD活性根据梁爱华等<sup>[6]</sup>的氮蓝四唑光氧化还原法测定;可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝法测定<sup>[7]</sup>;POD活性按袁庆华等<sup>[8]</sup>的愈创木酚显色法测定;可溶性糖含量采用蒽酮法测定<sup>[7]</sup>;CAT活性参照Zhang等<sup>[9]</sup>紫外吸收法测定;MDA含量采用硫代巴比妥酸显色法<sup>[10]</sup>测定。

1.2.3 生长指标测定

在不同的采样期分别采挖10株长势相近的不同土壤含水量处理的党参植株,洗净,用吸水纸吸干党参根部的水珠,对党参植株的地上部分、根称量并记录。在65℃下分别烘干至恒重,称量、记录,并用粉碎机将党参地上部分、根分别打粉,过40目筛,备用。

1.2.4 多糖含量的测定

1.2.4.1 标准曲线绘制

采用苯酚硫酸法测定其含量。先分别配制0.2 mg/mL葡萄糖标准品溶液和5%苯酚溶液。精密吸取葡萄糖标准溶液0.5、1.0、2.5、4.0、5.0、10.0 mL分别置25.0 mL容量瓶中,定容摇匀,制得

标准系列溶液。再分别吸取标准系列溶液1 mL于6支具塞试管中,以1.0 mL双蒸水做空白调零,逐管加入1.0 mL的5%苯酚溶液,再垂直加入浓硫酸5.0 mL,摇匀,静置5 min,再沸水浴15 min后取出,冷却,于波长490 nm下测定吸光度值。以多糖溶度(单位为μg/mL)为横坐标、吸光值为纵坐标,绘制标准曲线。

1.2.4.2 党参多糖含量测定

精确称定步骤1.3备用的党参地上部分和根粉末各0.1 g,置100.0 mL的平底烧瓶中,加入50.0 mL 80%乙醇溶液,冷凝回流2 h,取出,冷却至室温,过滤,待溶剂挥干后,再加入50.0 mL蒸馏水冷凝回流2 h,过滤至100.0 mL的容量瓶中,定容作为供试品提取溶液。精确吸取多糖提取液0.2 mL,加水至1.0 mL按测定标准曲线的方法测定其吸光值并换算成党参多糖含量。

2 实验结果与分析

2.1 水涝胁迫对党参的形态变化

表1是党参在三种土壤水分处理70 d内的形态变化。从表1可以看出,党参在重度水涝处理70 d内大部分处于营养生长,处理56 d后叶片脱落;在轻度水涝处理下在处理28 d内营养生长,在处理42~56 d进入蕾期,处理70 d进入盛花期且叶脱落;在正常灌水处理下处理14 d进入营养生长,处理28~42 d处于蕾期,42~56 d内盛花期且有部分凋谢,处理70 d进入花凋谢、叶片发黄。在长期观察中可知,重度水涝条件下处理70 d内一直处于藤长期(营养生长)且叶片提前脱落;轻度水涝条件下在处理70 d内党参经历了营养生长和部分开花期,70 d后叶片开始脱落,而正常灌水条件下在处理70 d内经历党参的整个物候期,且同一物候期较其前2种水涝处理下提前。水涝使植物生长期滞后且水涝越严重对党参的生长期危害越大。

表1 党参植株生长期

处理 时间/d	重度水涝	轻度水涝	正常灌水
14	藤长期	藤长期	藤长期
28	藤长期	藤长期、 5.6%蕾期	藤长期、 33.3%蕾期
42	藤长期、 2.0%蕾期	藤长期、 35.6%蕾期	蕾期、 13.3%开花
56	藤长期、2.0% 蕾期,叶落	藤长期、43.3% 蕾期、1.0%开花	56.7%开花、 10.0%凋谢
70	藤长期、1.0% 开花,叶落	藤长期、开花期、 叶脱落	92.0%开花、 22.0%凋谢、叶黄

## 2.2 水涝胁迫对党参的生理特性的影响

SOD是氧自由基的自然天敌,是机体内消除ROS的头号杀手,可催化过氧阴离子发生歧化反应生成过氧化氢和分子氧,是生命健康之本,在逆境胁迫下植物体内的SOD含量高低意味着衰老与死亡的直观指标<sup>[4,12]</sup>。图1(a)为不同水涝胁迫下党参叶片的SOD活性变化,从图中可看出在重度水涝、轻度水涝二种胁迫下处理70 d内,党参叶片的SOD活性变化呈V型且大小顺序为轻度水涝处理下最大;在重度水涝、轻度水涝处理14~56 d的过程中党参叶片的SOD活性一直增加,之后开始下降,下降幅度分别为30.24%、17.65%;而正常灌水在处理70 d内变化不明显。图1(b)为不同程度水涝胁迫下党参叶片的POD活性变化。POD与SOD、CAT相互协调配合,催化过氧化物分解<sup>[13]</sup>。在三种处理下党参叶片的POD活性呈倒V型且在处理14~56 d的过程中一直增大,在轻度水涝处理下增加幅度最大;之后三种处理下的党参叶片的POD活性降低,下降幅度分别为54.52%、53.00%、23.48%。这与水淹胁迫对喜树幼苗生理影响的结果一致。在水淹胁迫下,喜树幼苗叶片中SOD和POD活性变化在水淹前阶段均呈现不同层次的上升趋势,而后期都降低,可见活性氧的过多生成或许已超越SOD和POD的清除水平<sup>[14]</sup>。

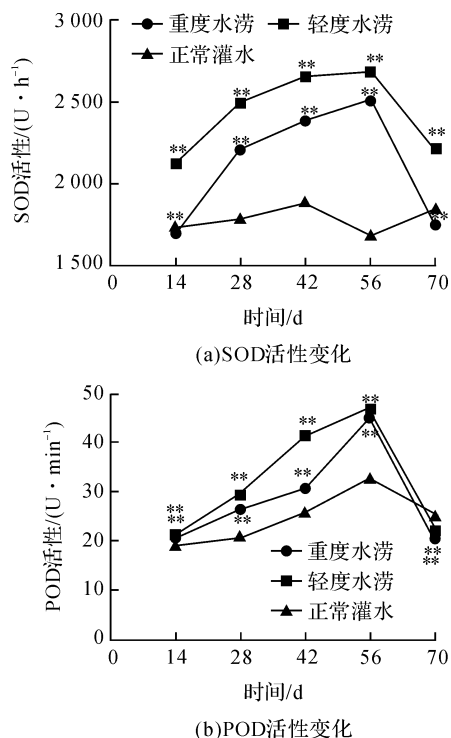


图1 不同水涝胁迫下党参叶片的SOD和POD活性变化(\*\*表示 $p<0.001$ )

CAT是以铁卟啉为辅基的一种酶类清除剂,可迅速将 $H_2O_2$ 分解为氧气和水,清除体内的过氧化氢,从而使细胞免于遭受 $H_2O_2$ 的危害,是植物体逆境胁迫下防御体系的关键酶之一;与SOD、POD协同作用清除过氧阴离子和过氧化氢<sup>[12]</sup>。图2(a)为不同水涝胁迫下党参叶片的CAT活性变化,由图可知在重度水涝、轻度水涝、正常灌水三种处理下在处理14~56 d过程中党参叶片的CAT活性一直增加且CAT活性大小依次为轻度水涝,其次是重度水涝,最低是正常灌水,这与三种处理下党参叶片的SOD、POD活性变化大体一致。水涝胁迫对党参植株的逆境伤害主要是缺氧作用,由于党参根系补充分子氧不足,扰乱植物根系内ROS的动态平衡,致使过多的活性氧累积而导致膜脂过氧化反应,使得植物体内丙二醛含量升高<sup>[14-15]</sup>。图2(b)为不同水涝胁迫对党参叶片的MDA含量变化的影响,从图中可知党参的叶片的MDA含量在重度水涝、轻度水涝处理70 d内党参叶片的MDA一直增加,而正常灌水处理下党参叶片的MDA含量变化不明显。在分别处理14、28、42、56、70 d下重度水涝、轻度水涝与正常灌水处理下MDA含量的差值分别为0.28、0.87、1.34、2.19、2.61;0.31、0.38、0.87、1.27、1.60,可知随着水涝胁迫处理的时间的延续和水涝程度的增加,党参植株受到的毒害越大。

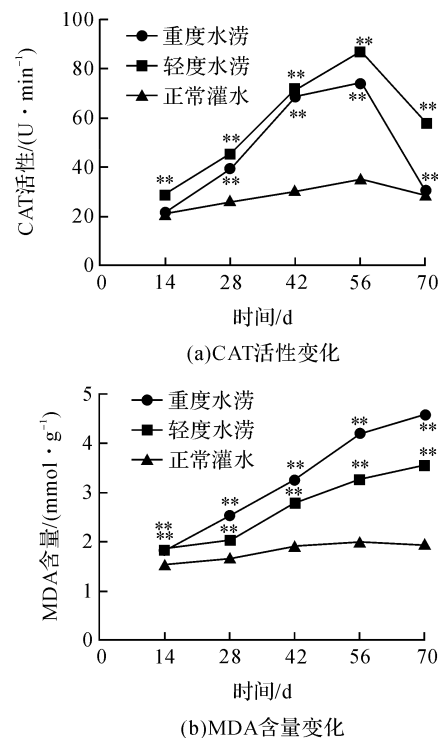
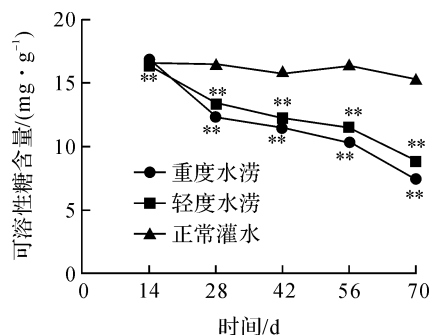


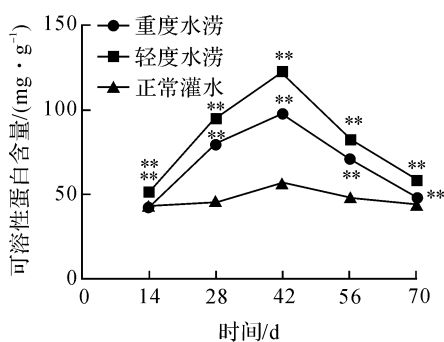
图2 不同水涝胁迫下党参叶片CAT活性和MDA含量变化(\*\*表示 $p<0.001$ )



蔗糖是高等植物中光合作用的主要产物,是碳水化合物贮藏和累积的主要形式。可溶性糖通过蔗糖转换从而在植物体内运作,代表植株的耗能水平,对植物耐受、抵抗长期水涝逆境至关重要<sup>[15]</sup>。图3(a)为不同水涝胁迫下党参叶片的可溶性糖含量变化,从图中可知,正常灌水处理下其可溶性糖含量变化不明显,重度水涝和轻度水涝处理下党参叶片的可溶性糖含量一直降低且重度水涝处理下降幅度更大。可溶性蛋白是植物体内主要的渗透调节物质之一,在调节细胞渗透压方面有不可替代的作用,植物细胞内的渗透势与体内的可溶性蛋白含量呈负相关,可溶性蛋白越低,渗透势越高,细胞易脱水死亡;相反,可溶性蛋白越高,植物才能防止因水涝胁迫而导致的细胞死亡<sup>[5]</sup>。图3(b)为水涝胁迫下党参叶片的可溶性蛋白含量变化,在三种处理下党参叶片的可溶性蛋白含量呈倒V型。在处理14~42 d的过程中党参叶片的可溶性蛋白含量一直增加,处理42 d后开始下降,下降幅度分别为50.87%、52.30%、21.85%;而正常灌水下党参叶片的可溶性蛋白含量变化不大。



(a)可溶性糖含量变化



(b)可溶性蛋白含量变化

图3 不同水涝胁迫下党参叶片可溶性糖和可溶性蛋白含量变化(\*\*表示  $p < 0.001$ )

### 2.3 水涝胁迫对党参的生长特性的影响

植物在不同的土壤含水量处理下其生长指标必然会发生相应的变化,植物的生长特性(总生物量、

鲜重、根冠比等)受逆境胁迫的变化十分显著,用以上直接可观的指标评价不同类型、无性繁殖等植物抗逆能力具有十分重要的科学意义<sup>[16]</sup>。图4(a)为不同程度水涝胁迫下党参地上部分鲜重的变化,从图中可知党参植株在重度水涝、轻度水涝、正常灌水三种处理下党参地上部分的鲜重呈递增趋势但略有差异,在三种处理14~42 d内其地上部分鲜重变化并不明显,之后处理56、70 d都有明显的增加,且在处理70 d内党参地上部分鲜重为正常灌水处理下最高,其次轻度水涝,最低的是重度水涝。图4(b)为不同程度水涝胁迫下党参根鲜重的变化,由图可知,在重度水涝、轻度水涝、正常灌水三种土壤含水量处理28 d后,正常灌水处理下党参根鲜重最大,其次是轻度水涝,最低是重度水涝且在轻度水涝、正常灌水两种处理下党参根的鲜重缓慢增加。而在重度水涝处理下党参根的鲜重变化并不明显。图4(c)为不同程度水涝胁迫下党参的总生物量的变化,从图中可知党参植株在重度水涝、轻度水涝、正常灌水三种处理下党参的总生物量呈递增趋势,在处理28 d后开始升高且在正常灌水处理下党参的总生物最高,其次是轻度水涝,最低是重度水涝。图4(d)为不同程度水涝胁迫下党参的根冠比变化,由图可知,土壤含水量在重度水涝处理下党参的根冠比变化不明显,结合图4(b)中在重度水涝处理下党参根的鲜重变化不明显,可见党参在重度水涝处理下生长滞后。在轻度水涝胁迫下党参的根冠比呈下降趋势,在处理14~42 d的过程中党参的根冠比下降较快,之后下降不明显,结合图4(b)中轻度水涝处理下根的鲜重在增加,可知党参地上部分增加更快,不利于党参根的生长发育;而在正常灌水处理下党参的根冠比呈先上升后下降再上升的趋势,从14~42 d处理过程中党参的根冠比一直增加,42~56 d的处理过程中急剧下降之后又略微升高,结合图4(a)~(b)可知在正常灌水处理下党参的地上部分与根的鲜重一直在增加,可见在正常灌水处理14~42 d过程中党参根的增长更快,42~56 d党参地上部分增长更快,之后又是党参根增长的更快。綜上图4(a)、(b)、(d)可知重度水涝对党参根的生长危害最大,轻度水涝胁迫也不利于党参根的生长。这符合吴丹等<sup>[3]</sup>和张阳等<sup>[17]</sup>研究报道,植物遭遇涝渍逆境的过程中,植物的生长发育发生非常态的变化,首先植株的形态受到显著的影响,最直接、最显眼的表现是植物的生物量较正常状态下明显降低。

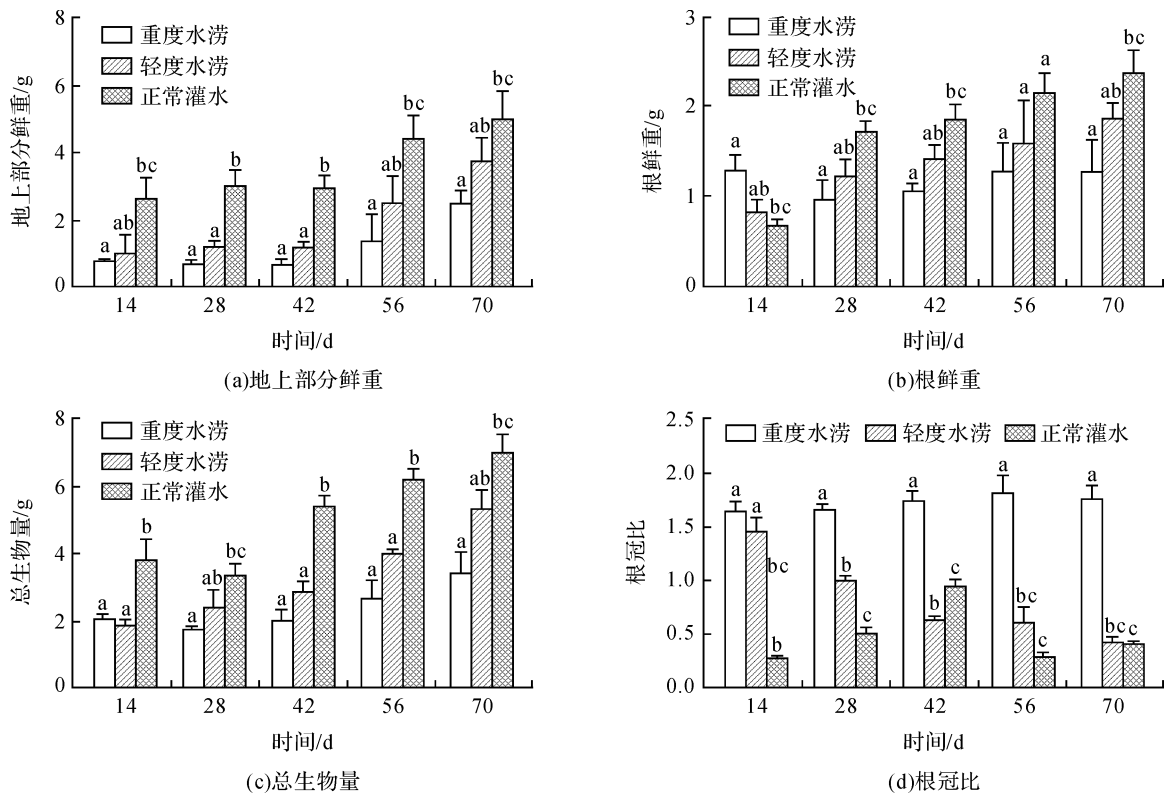


图4 不同水涝胁迫对党参的地上部分鲜重、根鲜重、总生物量和根冠比的影响

## 2.4 水涝对党参多糖含量的影响

目前,对党参多糖的提取工艺、药理活性研究较多。党参中的重要活性物质是党参多糖,其含量高达10%~20%<sup>[18]</sup>。党参多糖的药理活性十分明显,如抗肿瘤、抗炎、增强免疫功能、清除超氧和羟自由基促进脾脏造血等。多糖的标准曲线方程为 $y = 0.0074x + 0.0271$ ,  $R^2 = 0.9959$ 表明方程的拟合度较好。图5(a)为不同程度水涝胁迫对党参地下部分多糖含量的影响,由图可知,在正常灌水处理下地下部分多糖的含量呈直线上升,在重度水涝、轻度水涝两种胁迫处理下呈V型且在处理28 d后党参地下部分多糖含量缓慢增加;其中正常灌水处理下地下部分多糖含量最高且上升更明显,其次是轻度水涝。图5(b)为不同程度水涝胁迫下地上部分多糖含量的变化,在重度水涝、轻度水涝、正常灌水三种土壤含水量处理70 d内党参地上部分多糖含量大小顺序是重度水涝,其次轻度水涝,最后是正常灌水,与地下部分多糖含量变化完全相反。图6为在不同程度水涝胁迫下党参植株地下部分多糖含量与地上部分多糖含量的比值,这种比值关系能反映出党参植株在不同时间段不同土壤含水量处理下地下部分与地上部分合成多糖的能力。由图6可知在重度水涝、轻度水涝、正常灌水三种处理下正常灌水处理下比值最大,其次轻度水涝,最低是重度水涝。因

此,重度水涝胁迫对党参根多糖含量的积累危害最大,轻度水涝胁迫也不利于党参根多糖含量的积累。

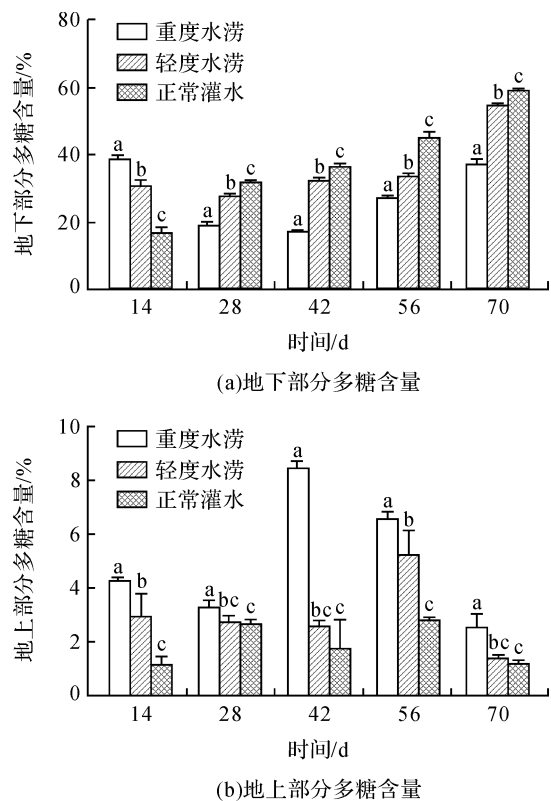


图5 不同程度水涝胁迫对党参地下部分多糖和地上部分多糖含量的影响

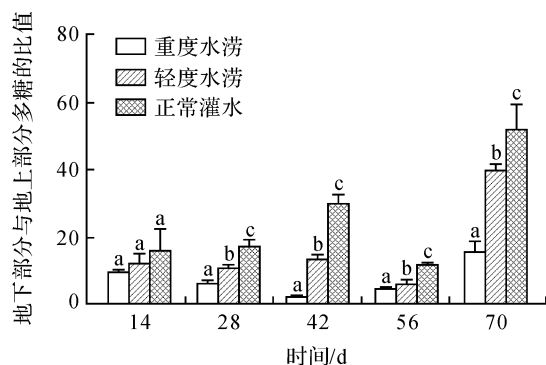


图6 不同程度水涝胁迫下党参地下部分多糖含量与地上部分多糖含量的比值

### 3 讨论

植物在非生物和生物逆境胁迫下打破植物体内活性氧的动态平衡,如干旱、涝渍、重金属、光照强度等逆境,使植物体内的活性氧增加,扰乱植物正常的新陈代谢,使植物细胞生理生化代谢异常,影响相应基因的表达,甚至导致细胞凋亡<sup>[15,20]</sup>。在水涝逆境下,植物通过提高自身相应基因的表达来增加植物体内的抗氧化酶活性的含量,有效的缓解 ROS 对细胞的毒害<sup>[19]</sup>。党参植株在不同程度水涝胁迫下, SOD、POD、CAT 三者的活性均出现先上升后降低的趋势。在处理 14~56 d 的过程中三者活性一直升高,之后下降趋势且轻度水涝处理下三者的活性最大,说明在 56 d 水涝胁迫处理后党参植株活性氧的产生或许已超越三者的清除水平并且重度水涝在处理 70 d 过程中已毒害植物的生长。植物细胞膜的稳态是细胞履行正常生理生化代谢的必要条件,在涝渍胁迫下植物细胞质膜透性往往会受到影响,致使植物新陈代谢发生变化<sup>[21]</sup>。植物细胞质膜的结构和功能在逆境胁迫下的变化为细胞膜选择性的丧失,使细胞体外有大量的小分子物质和某些电解质的渗漏;在水涝处理过程中,植物细胞遭受伤害的程度越大,质膜丧失选择性越明显,细胞外液的渗透物越多,电导率越大<sup>[22]</sup>。党参植株在重度水涝和轻度水涝胁迫下处理 70 d 内党参叶片的 MDA 含量一直上升且重度水涝胁迫下其含量最高,说明重度水涝胁迫下党参植株受到的危害最大。可溶性蛋白是重要的渗透调节物质、营养物质以及参与各种代谢的酶类,其含量的变化能反映细胞的吸水 and 保水能力,对细胞所需的营养成分及生物膜起到保护作用,同时也能了解植物总代谢的状况,因此常作为评价植物抗逆性的重要指标<sup>[5,23]</sup>。植物在涝渍逆境

的过程中,植物叶片的可溶性蛋白含量在前阶段处理过程中其含量均升高至最大,之后开始下降<sup>[17]</sup>。党参植株在重度水涝和轻度水涝胁迫处理 70 d 内,在 14~42 d 内党参叶片的可溶性蛋白含量一直升高,42~70 d 内下降趋势。在水涝胁迫的研究过程中,美国山核桃、乌桕和落羽杉三种树的可溶性蛋白含量都呈现急速上升的趋势但有呈现不同程度的差异,由于其耐涝能力的不同,其可溶性蛋白含量表现在不同的时间段开始下降;耐涝能力差的美国山核桃和乌桕在 30 d 处理过程中呈上升趋势,耐涝能力略强的落羽杉在 50 d 处理后开始降低<sup>[5]</sup>。另外,党参叶片中可溶性糖在水涝胁迫下在处理 70 d 内一直降低,且随着水涝程度的加大,其含量更低。

植物只有通过光合作用才能维持其正常的生命的特征,水分是参与植物光反应的原料之一;土壤供水的过多或不足,都会使植物的光合效果发生改变,进而影响植株的生长和代谢物的积累<sup>[24]</sup>。在保证党参植株正常的生长情况下,党参植株通过光合作用合成有机物并有利于代谢物的合成与积累,进而有利于植物生理特性的调控和相关生长指标的增加。研究结果显示:观察党参的生长期可知,重度水涝胁迫下在处理 56 d 后党参的叶片就已脱落,轻度水涝胁迫下 70 d 后党参叶片开始脱落;这与王巧等<sup>[25]</sup>的研究结论一致,耐涝能力差的植物在涝渍胁迫下最直接可观就是叶片发黄脱落的现象,叶片的发黄脱落与细胞膜选择透性的丧失致使细胞外液的小分子有机物和电解质溶度升高密切相关。可见植株根系遭受涝渍逆境伤害的时间越长,叶片中扩散二氧化碳的能力愈弱,细胞膜选择透性丧失、活性氧及 MDA 含量升高,叶绿素含量降解,从而光合速率降低,进而影响代谢物的合成与积累。在重度水涝、轻度水涝、正常灌水三种土壤含水量处理下,正常灌水处理下党参植株的生长特性(地上部分鲜重、总生物量、处理 28 d 后根鲜重)最大;处理 28 d 后地下部分多糖含量最高以及党参植株地下部分多糖含量与地上部分多糖含量的比值最大,可见正常灌水处理下更有利于党参根的生长,其次是轻度水涝,最后是重度水涝。这与禹华芳等<sup>[26]</sup>的研究花生的结果略有差异,花生在重度水涝胁迫下其百仁重、百果重、单株结果数及产量降低而在轻度水涝胁迫下会提高这些指标。可见不同种的植物在水涝逆境下的生长状况不尽相同。



## 4 结 论

涝渍逆境对植物最直接最显著的影响主要在其外在的形态特征和生长特性的变化,在涝渍胁迫下,植物通过激活或者抑制相应基因的表达,从而改变其生理生化及代谢物的含量。水涝胁迫下党参植株的叶片、物候期的改变,是党参受逆境胁迫后的表象,其体内的 SOD、POD、CAT 活性的变化、MDA 含量、渗透调节物质以及代谢物的变化,是其受胁迫后的内在体现。本实验通过盆栽控水法,由外到内,研究党参植物在不同水涝胁迫程度下党参生长发育减弱的外在和内在的机理。研究结果可为党参的大田生产提供科学的培育和管理技术依据,也可为易遭受涝渍灾害的地区提供参考。

## 参考文献:

- [1] 李震宇,王爱娜,刘晓节,等. 潞党参极性和非极性成分 HPLC 指纹图谱研究[J]. 山西医科大学学报,2011,42(1):56-62.
- [2] 安娜,郭宏波,周铜水,等. 党参基因组 DNA 提取、ISSR-PCR 反应体系优化及引物筛选[J]. 植物研究,2009,32(3):346-351.
- [3] 吴丹,邹华文. 涝渍胁迫对植物生长的影响及其化学调控技术[J]. 湖北农业科学,2013,52(1):9-13.
- [4] 董亮,何永志,王远亮,等. 超氧化物歧化酶(SOD)的应用研究进展[J]. 中国农业科技导报,2013,52(5):53-58.
- [5] 戢小梅,许林,谢焰锋,等. 水涝胁迫下 2 种乡土草本植物生理特性的响应[J]. 西南农业学报,2015,28(1):110-114.
- [6] 梁爱华,马富裕,梁宗锁,等. 旱后复水激发玉米根系功能补偿效应的生理学机制研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2008,36(4):58-64.
- [7] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2000:34-45.
- [8] 袁庆华,桂枝,张文淑. 苜蓿抗感褐斑病品种内超氧化物歧化酶、过氧化物酶和多酚氧化酶活性的比较[J]. 草业学报,2002,11(2):100-104.
- [9] JIANG M, ZHANG J. Water stress-induced abscisic acid accumulation triggers the increased generation of reactive oxygen species and up-regulates the activities of antioxidant enzymes in maize leaves [J]. Journal of Experimental Botany,2002,53(379):2401-2410.
- [10] 何文亮,黄承红,杨颖丽,等. 盐胁迫过程中抗坏血酸对植物的保护功能[J]. 西北植物学报,2004,24(12):2196-2201.
- [11] 窦武宇,崔治家,侯嘉,等. 甘肃不同产地党参药材中多糖含量测定[J]. 中兽医医药杂志,2016,12(3):55-59.
- [12] 李红芳,谷巍,席彩彩,等. 卷柏复苏过程中抗氧化系统响应机制及海藻糖含量变化[J]. 植物生理学报,2016,35(12):1872-1876.
- [13] 张丹,任洁,王慧梅. 干旱胁迫及复水对红松针叶和树皮绿色组织光合特性及抗氧化系统的影响[J]. 生态学杂志,2016,35(10):2606-2614.
- [14] 刘泽彬. 三峡库区消落带两种植物对淹水环境适应性的模拟研究[D]. 北京:中国林业科学研究院,2014.
- [15] 刘泽彬,程瑞梅,肖文发,等. 水淹胁迫对植物光合生理生态的影响[J]. 世界林业研究,2013,26(3):33-38.
- [16] 陈吉虎,余新晓,孙明高,等. 北方旱区不同树种抗氧化酶活性变化及与抗旱性的关系[J]. 干旱地区农业研究,2006,24(5):120-125.
- [17] 张阳,李瑞莲,张德胜,等. 涝渍对植物影响研究进展[J]. 作物研究,2011,25(4):420-424.
- [18] 马方励,沈雪梅,时军. 党参多糖对实验动物胃肠道功能的影响[J]. 安徽医药,2014,34(9):1626-1630.
- [19] 张阳. 不同方式育苗移栽棉对蕾期涝渍胁迫响应的研究[D]. 长沙:湖南农业大学,2012.
- [20] 何嵩涛,刘国琴,樊卫国. 银杏对水涝胁迫的生理反应(I):水涝胁迫对银杏膜脂过氧化作用及保护酶活性的影响[J]. 山地农业生物学报,2000,19(4):000272-275.
- [21] 王良桂,杨秀莲. 淹水对 2 个桂花品种生理特性的影响[J]. 安徽农业大学学报,2009,36(3):382-386.
- [22] 王蕾,何钢,王静,等. 缓释氧肥对水淹胁迫短梗大参生理生化指标的影响[J]. 中国农学通报,2013,29(10):201-206.
- [23] 郭晓勇,李潘,张敏,等. 水涝胁迫下欧李 SOD 和 POD 的变化[J]. 成都大学学报(自然科学版),2016,35(2):130-133.
- [24] 王巧,刘秀梅,王华田,等. 干旱和水涝胁迫对幼龄油松生长及光合作用的影响[J]. 中国水土保持科学,2015,13(6):40-47.
- [25] 王巧. 泰山油松古树衰老机理与树势评价[D]. 泰安:山东农业大学,2016.
- [26] 禹华芳,李益得,刘高永,等. 苗期水涝胁迫对不同花生品种生长性状及产量的影响[J]. 分子植物育种,2016,14(1):233-238.

## Effect of Waterlogging Stress on the Growth, Physiological Characteristics and Polysaccharide Content of *Codonopsis Pilosula*

WANG Zanwen<sup>a</sup>, LIANG Zongsuo<sup>a,b</sup>, HAN Ruilian<sup>c</sup>

(a. College of Life Scienc; b. Key Laboratory of Plant Secondary Metabolism and Regulation of Zhejiang Province; c. School of Civil Engineering and Architectural, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 31008, China)

**Abstract:** To study the physiological and biochemical response of *Codonopsis pilosula* under waterlogging stress, the growth, physiological characteristics and polysaccharide content of *C. pilosula* under waterlogging stress of different degrees were measured with the method of controlling water by potted planting, with a hope to provide a basis for scientific cultivation and management of *C. pilosula*. The results show that, under the waterlogging stress, the same phenophase of *C. pilosula* lags behind that under normal irrigation conditions, and the lagging aggravates as the aggravation of waterlogging stress; under severe and mild waterlogging stress, the SOD, POD, CAT activity of *C. pilosula* leaf keep rising within 14 to 56 days after treatment, and then fall; the soluble protein content decreases on the 42th day after treatment; the soluble saccharide content constantly decreases, while the content of MDA keeps increasing within 70 days; with the aggravation of waterlogging stress, it is less conducive to accumulate the fresh weight of ground part, root fresh weight, total biomass and underground polysaccharide content of *C. pilosula*. Therefore, drainage measures should be taken timely in rainy season, and it should be ensured that at least the concentrated distribution layer of root system is not under waterlogging stress, so as to optimize the cultivation and yield of *C. pilosula*.

**Key words:** *Codonopsis pilosula*; waterlogging stress; physiological characteristics; growth characteristics; codonopsis polysaccharides

(责任编辑:唐志荣)