



吴春霞,李阳,李昊宇,等.水分胁迫对竹柳生长的影响[J].黑龙江农业科学,2021(10):96-102,103.

水分胁迫对竹柳生长的影响

吴春霞¹,李 阳²,李昊宇²,王文全²,范敬龙³,匡代洪³

(1. 国家能源集团新疆能源有限责任公司 活性炭分公司,新疆 乌鲁木齐 830000;2. 新疆农业大学 草业与环境科学学院,新疆 乌鲁木齐 830052;3. 中国科学院 新疆生态与地理研究所,新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要:为促进新疆干旱区人工湿地竹柳栽培,以盆栽竹柳苗木为研究对象,设置淹水、湿(3 d 浇灌 1 次)、适中(7 d 浇灌 1 次)、旱(21 d 浇灌 1 次)、极旱(30 d 浇灌 1 次)5 个水分处理梯度,通过对不同水分条件下竹柳生长、生理指标的测定及细胞形态的观察,研究水分胁迫对竹柳生长的影响。结果表明:随水分胁迫时间的延长,淹水组竹柳生成气生根,叶片变黄枝条细长,21 d 和 30 d 组叶片卷曲、脱落,枝条萎缩、干枯。3 d 和 7 d 组生存状态最佳;各处理细胞膜透性和 MDA 含量表现为淹水>3 d>7 d>21 d,说明长时间对竹柳进行干旱胁迫会破坏竹柳的生物膜结构。土壤含水率保持在 15.5%~53.5%水平可能是竹柳的最佳生存状态。

关键词:竹柳;水分胁迫;生长特性;生理特性;细胞形态

在当今气候变化的大环境中,水分调节被认为是影响植物生长发育的一个重要因素。植物的生长、发育和再生产都需要充足的水分,严重的干旱可导致光合作用终止和新陈代谢紊乱,最终导致植物的死亡^[1-2]。

新疆一些干旱区湿地常年水位变化较大。如博斯腾湖湿地,自 1987 年至 2012 年,水位最高点达 1 048.7 m,最低点为 1 045.2 m,年际间水位变化达 3.5 m;从月变化看,水位在 5 月达到最高值,到 12 月下降到最低值,一年中月平均水位变化最大相差 0.27 m^[3]。受博斯腾湖湿地水位及当地生产季节的影响,博斯腾湖周边人工湿地也存在全年水量不均衡、水位变化大的特点。博斯腾湖周边的植被以怪柳、芦苇为主,在某些区域总盖度在 90%以上^[4]。这两种植物均既可以在适度淹水状态下存活,也可以在干旱条件下生存。而在博斯腾湖周边曾经建设了香蒲、水葱人工湿地,种植了传统的湿地植物香蒲和水葱,由于这些植物不能适应当地水位变化大、水量不均衡、土壤干干湿湿的特点,生长状况较差或陆续死亡。

竹柳(*Salix fragilis* L.)为杨柳科柳属植物,由美国引进,生长迅速,耐寒,耐盐碱,既耐旱又耐水湿,且具有材质优良,干形优美,木材用途多样等优点,有巨大的推广价值和广阔的发展前景^[5-11]。在新疆,竹柳既有种植于湿润区(如达坂城盐湖湿地),也有在干旱区(如哈密大南湖煤矿)于人工灌溉条件下种植,但由于种植历史均较短,这些竹柳是否存活良好还有待于进一步观察,能否作为干旱区人工湿地选材还有待于进一步研究,而其中竹柳对水分的响应是其能否良好生长的重要条件。

本研究通过对不同水分条件胁迫下竹柳生长指标、生理指标分析及细胞形态观察,分析竹柳对水分胁迫的响应,了解竹柳的耐旱、耐湿性,为新疆干旱区人工湿地竹柳的栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

竹柳取自阜康天池苗圃基地,种植于新疆农业大学农科楼实验大棚中以避免雨水的干扰。花盆规格为 40 cm×38 cm(上口径×高),盆栽土壤为乌鲁木齐南山土壤。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 设置 5 个水分梯度,即淹水(盆内水平面高于土壤平面)、3 d 组(湿,每 3 d 浇灌 1 次)、7 d 组(适中,每 7 d 浇灌 1 次)、21 d 组(旱,每 21 d 浇灌 1 次)、30 d 组(极旱,每 30 d

收稿日期:2021-07-07

基金项目:新疆维吾尔自治区重点研发计划项目(2017 B03014-3);新疆维吾尔自治区土壤与植物生态过程重点实验室资助项目。

第一作者:吴春霞(1997—),学士,从事环境影响评价研究。E-mail:623166168@qq.com。

通信作者:王文全(1968—),硕士,教授,从事环境污染控制与修复研究。E-mail:wwq6804@163.com。

浇灌 1 次)。每处理重复 3 次,共 15 株。2019 年 6 月 30 日傍晚第 1 次灌溉,淹水组采用模拟人工湿地装置栽培,其余每盆每次浇灌 6 L 自来水。

1.2.2 测定项目及方法 生长指标:测定竹柳在每个水分胁迫梯度下的茎长、枝条数和叶片数。

生理指标:叶绿素的含量通过托普 TYS-4N 植物营养测定仪测定;MDA 含量采用硫代巴比妥酸法测定^[12];细胞膜透性采用紫外分光光度法测定^[13]。

细胞形态观察:采用徒手切片法对竹柳叶片上表皮细胞及根部细胞结构进行显微镜观察^[14-15]。选取生长健壮且生长一致的植株中部的成熟叶片,去除竹柳叶片中央主脉,在叶片上表皮沿平行方向均匀切片,将切好的组织迅速置于预先加了蒸馏水的载玻片上,调整好位置后封片,在光学显微镜下观察、照相。

气孔测定方法^[16]:在每株竹柳叶片上表皮边缘到中间主脉随机采集组织进行观测,每个处理制作 3 个重复装片,每个装片上随机测量 5 个气孔的值,以每个装片的平均气孔开度作为一个重复值,测定孔径宽度、长度及角度,单位为 μm 。气孔长度是指哑铃形保卫细胞长度;气孔宽度即为气孔开度是垂直于哑铃形保卫细胞的最宽值;气孔角度是哑铃形保卫细胞张开的程度。

土壤含水率通过顺科达 TR-6D 土壤四合一检测仪测定。

1.2.3 数据分析 运用 SPSS 19.0 统计分析软件进行数据分析处理,各处理组水平之间采用单因素方差分析、多重比较采用 LSD 法;利用 Origin 2017 软件作图。

2 结果与分析

2.1 水分胁迫下土壤含水率和竹柳存活状态

由图 1 可知,土壤含水率大小依次是淹水>3 d>7 d>21 d≈30 d,淹水、3 d 和 7 d 组有显著差异且显著高于 21 d 和 30 d 组($P<0.05$),而 21 d 和 30 d 之间无显著差异($P>0.05$)。

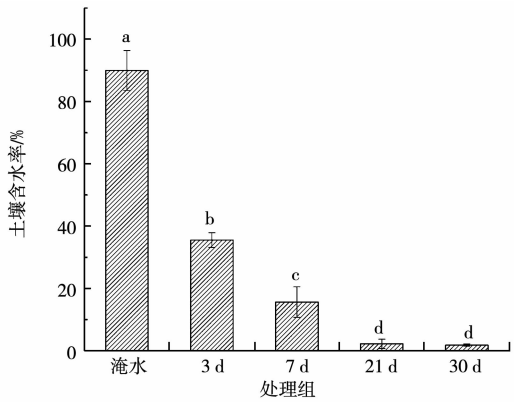


图 1 水分胁迫下土壤含水率

注:不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。下同。

试验过程中竹柳的存活状态详见表 1。从 6 月 30 日至 8 月 30 日(第 61 天)淹水组、3 d 组和 7 d 组的竹柳保持存活状态;21 d 组至第 21 天时,竹柳叶片大部分脱落,枝条干枯,此时进行第 2 次灌溉并复水 1 次,至第 30 天时依然存活,但至第 42 天时已经全株干枯,此时灌溉再加复水 1 次未见复活。30 d 组在第 30 天进行第 2 次灌溉时已全株干枯,再复水 1 次未见复活。

由此可见,对竹柳存活较适宜的土壤含水率为 15.5%~53.5%。持续淹水 60 d,土壤含水率达到 90%时,竹柳依然能够存活。当土壤含水率低至 2.23%时,如果不能及时而连续地灌溉,竹柳即死亡。

表 1 水分胁迫下竹柳的存活状态

处理	6 月 30 日 (第 0 天)		7 月 7 日 (第 7 天)		7 月 21 日 (第 21 天)		7 月 30 日 (第 30 天)		8 月 11 日 (第 42 天)		8 月 30 日 (第 61 天)	
	灌溉次数*	状态	灌溉次数	状态	灌溉次数	状态	灌溉次数	状态	灌溉次数	状态	灌溉次数	状态
淹水	持续	活	持续	活	持续	活	持续	活	持续	活	持续	活
3 d	1	活	3	活	8	活	11	活	15	活	21	活
7 d	1	活	2	活	4	活	5	活	7	活	9	活
21 d	1	活	1	活	2	活	2+1 [#]	活	3+1 [#]	死	3+2 [#]	死
30 d	1	活	1	活	1	活	2	死	2+1 [#]	死	2+1 [#]	死

注:*表示当日累计灌溉次数;#表示复水,即未在设定时间增加的灌溉次数。

2.2 水分胁迫对竹柳茎长和枝条数的影响

2.2.1 茎长 由图2可知,至第42天,淹水组和3 d组竹柳茎长增长较快,且与第0天和第7天差异显著;7 d组茎长有增长,但各调查天数间差异不显著。这3组茎长均较大且3组之间同一调查时间下茎长差异不显著。21 d组茎长增长较慢且各调查天数间无显著差异;30 d组茎长呈现出先增长后降低的趋势,后期出现茎部萎缩现象,这一现象表明长时间的干旱胁迫会抑制竹柳茎长的生长。

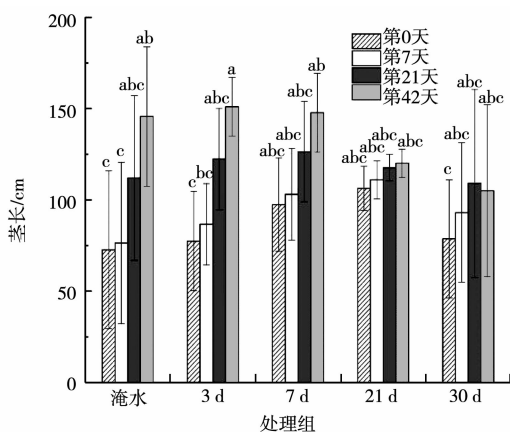


图2 水分胁迫对竹柳茎长的影响

2.2.2 枝条数 由图3可知,淹水组、3 d和7 d组的竹柳枝条数都随时间延长有所增长,其中3 d和7 d组显著增长($P < 0.05$);21 d组枝条数至第21天时略有降低,由于灌溉及复水,至第42天时虽有增长但已经干枯;30 d组竹柳未有新增枝条产生,且在第42天大量枝条枯死。说明严重的干旱胁迫会抑制竹柳枝条的生长。

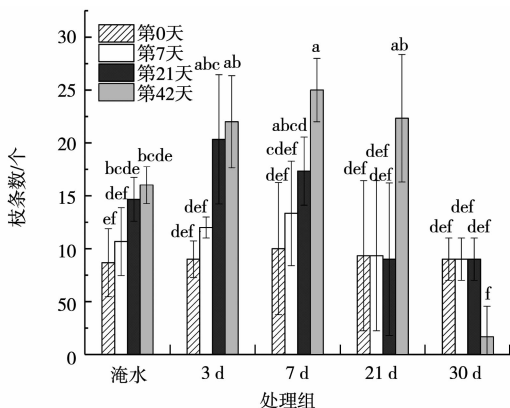


图3 水分胁迫对竹柳枝条数的影响

2.3 水分胁迫对竹柳叶片的影响

2.3.1 叶片数量 由图4可知,淹水组、3 d组、

7 d组叶片数均随着时间延长有显著增长($P < 0.05$),其中以3 d组增长最快。21 d组和30 d组在浇水后前7天,叶片数有所增加,但随着干旱程度加深,叶片开始脱落,特别是30 d组,第42天时叶片全部枯黄脱落。说明当其处于干旱环境时会通过减少叶片的方式来减少水分的散失。

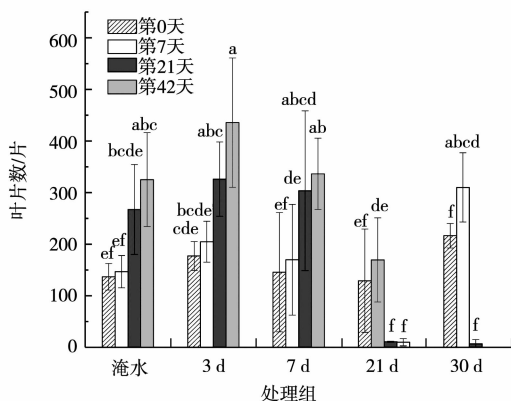


图4 水分胁迫对竹柳叶片数的影响

2.3.2 叶绿素 SPAD值的大小可以衡量叶片中叶绿素含量变化的情况^[17]。由图5可知,第21天的测定结果显示,水分胁迫对竹柳叶绿素相对含量的影响表现为7 d>3 d>淹水,且处理间无显著差异;21 d组竹柳叶绿素相对含量较其他3组显著减小,30 d组由于叶片脱落无法进行测量,表明在严重干旱情况下,竹柳叶绿素相对含量明显降低。第42天时,7 d组叶片叶绿素含量最高,但与淹水和3 d组差异不显著($P < 0.05$),而21 d和30 d组由于叶片脱落无法进行测量。

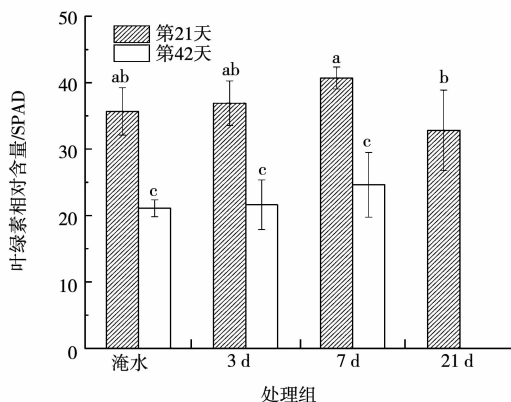


图5 水分胁迫对竹柳叶绿素相对含量的影响

2.3.3 叶片细胞膜透性 细胞膜的作用是与外界进行物质交换,维持细胞内部环境和正常生理代谢^[18]。水分胁迫通常是首先破坏生物膜的结

构和功能,再对植物体形成损伤。由图 6 可知,第 21 天各处理细胞膜透性测定结果显示,各处理细胞膜透性表现为淹水>3 d>7 d>21 d,淹水、3 d、7 d 组之间无显著差异,而 21 d 组细胞膜透性显著低于其他 3 组($P<0.05$)。30 d 处理组由于叶片全部脱落无法进行测量。这说明淹水对细胞膜透性影响较小,而长时间干旱胁迫会破坏竹柳的生物膜结构。

2.3.4 叶片气孔开度及细胞形态 由表 2 可知,从竹柳叶片上的气孔长度来看,不同水分胁迫下 4 个处理组差异不显著;而从气孔开度和气孔角度来看,淹水组、3 d 组和 7 d 组差异不显著,3 个组均显著大于 21 d 组($P<0.05$)。由图 7 显示 3 d 组气孔开口最大,周边保卫细胞饱满圆润;21 d 组气孔呈闭合状态,保卫细胞出现严重皱缩情况,

表明干旱胁迫强烈抑制了竹柳叶片的气孔开度。30 d 处理组由于叶片全部脱落无法进行叶片气孔开度及细胞形态测量。

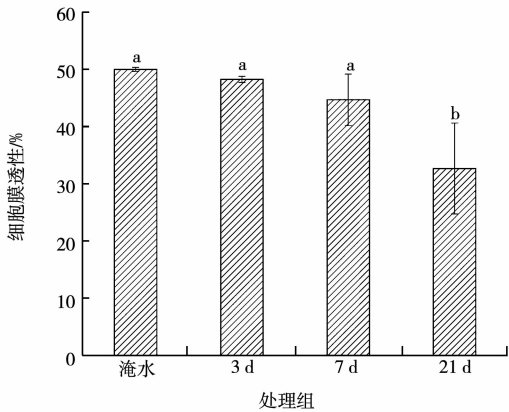


图 6 水分胁迫对竹柳细胞膜透性的影响

表 2 不同处理下竹柳上表皮气孔数据(n=15)

指标		淹水	3 d	7 d	21 d	30 d
气孔长度/ μm	内长度	554.03 ab	601.89 a	543.47 ab	496.04 b	-
	外长度	1032.36 a	1032.18 a	1049.15 a	1028.92 a	-
气孔开度/ μm	内开度	125.43 a	139.89 a	139.65 a	36.45 b	-
	外开度	788.64 a	636.39 b	766.28 a	655.14 b	-
气孔角度/ $^{\circ}$	内角度	26.58 a	25.55 a	29.27 a	9.66 b	-
	外角度	74.89 a	60.90 b	71.64 a	65.12 b	-

注:1.“-”表示无数据。
2.同行不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。

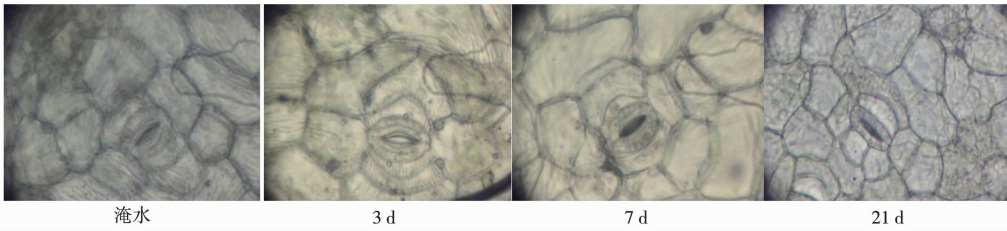


图 7 40 倍显微镜下竹柳叶片上表皮

2.4 水分胁迫对竹柳根部的影响

2.4.1 根系深度 由图 8 可知,淹水组根系深度显著大于其他处理组。淹水组的竹柳在土壤表面以上水面以下部分生成大量网状气生根(图 9)。气生根能起到吸收气体或支撑植物体向上生长,有保持水分的作用^[19],其主要特征表现为无根冠并且附有大量细而密的红色根毛组织。其他处理组根系深度表现为 21 d>7 d>3 d,差异不显著(图 8),30 d 组长期缺水根系死亡未测量其深度。随着土壤水分的减少,根系表现出逐渐向下深扎

且直径变粗、侧根根毛减少的现象。
2.4.2 根部细胞 水分的吸收、运移与根的直径和木质部导管的分化程度有关^[20]。由图 10 可以看出,水分胁迫对竹柳根部导管数量的影响表现为淹水>21 d>3 d≈7 d;水分胁迫对竹柳根部导管直径的影响表现为 3 d≈7 d>21 d>淹水。淹水组导管直径较小结构饱满;3 d 组导管直径增大数量减少;7 d 组情况与 3 d 组相似,但导管形态出现萎缩迹象;21 d 组导管直径显著变小,出现萎蔫变形,30 d 处理组根系死亡无法进行细胞

形态观测;这一现象可能说明竹柳在淹水状态下,由于根系缺氧出现导管数量大但导管直径较小的现象;而严重的干旱会致使竹柳根系受损,甚至引起竹柳死亡。

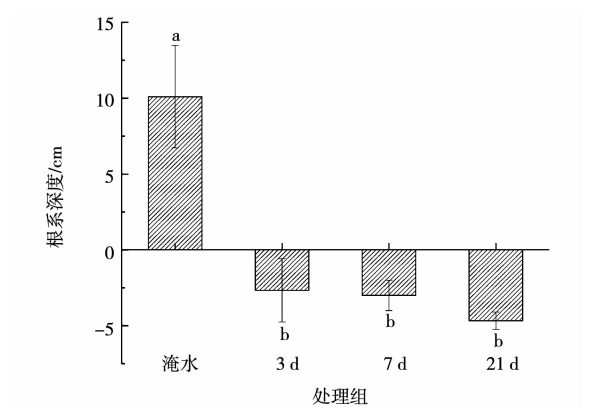


图8 水分胁迫对竹柳根系深度的影响

2.5 水分胁迫对竹柳叶片MDA含量的影响

丙二醛(MDA)是植物脂质过氧化的产物,是检测植物膜伤害的一个重要的指标,其含量可以反映植物在逆境下的受害程度^[12]。由图11可

知,第21天的测定结果显示MDA含量表现为淹水>3 d≈7 d>21 d,21 d处理组MDA含量显著低于其他3组,30 d组叶片萎蔫脱落无法进行检测;第42天各处理组MDA含量均无差异,21 d处理组由于无叶片无法进行测量。第42天各处理组竹柳叶片MDA含量均显著低于第21天($P<0.05$),说明竹柳更适应于短期淹水,而干旱对竹柳的损害更大。



图9 竹柳的气生根(呼吸根)

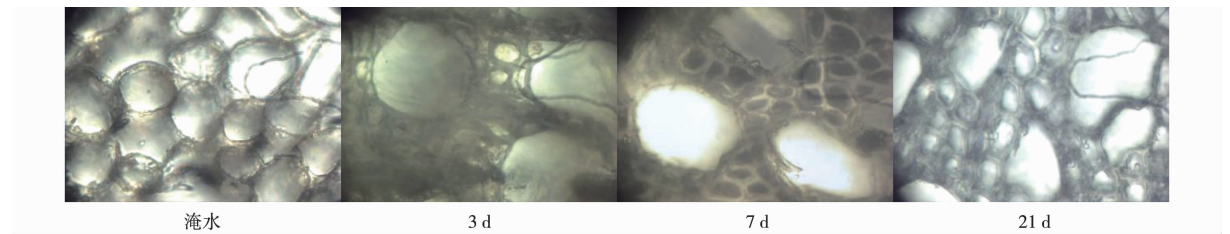


图10 40倍显微镜下竹柳根部切片

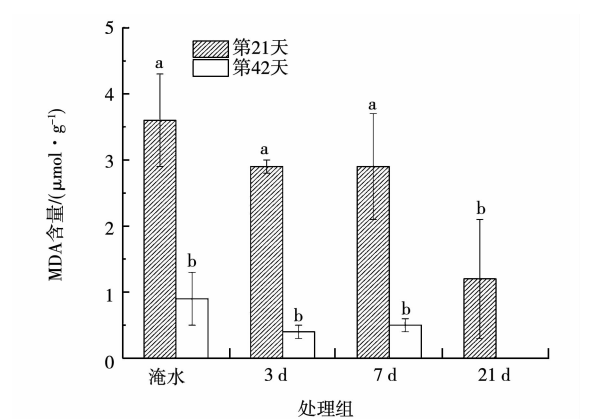


图11 水分胁迫对竹柳MDA含量的影响

3 讨论

3.1 水分胁迫对竹柳生长指标的影响

水分过多或过少都会对植物的生长发育造成不良影响,土壤水分过多对植物产生涝害,水分过

少引起植物干旱伤害^[21]。在前人的淹水胁迫试验中,不同树种在长时间淹水下,其茎、枝、根生长均出现不同程度受阻现象,如杞柳、竹柳基部生长出红色气生根,青皮柳产生白色肥大皮孔;而薄壳山核桃、枫杨淹水胁迫下叶片生长缓慢、出现黄叶等现象,薄壳山核桃过度淹水时生长受抑制,枫杨过度淹水最终死亡^[12,22-23]。在本试验研究中,淹水组竹柳随着淹水时间的延长出现了茎长增长缓慢,叶片逐渐变黄,新增枝条数量减少,淹水部分生成气生根和皮孔的现象;由此可见,这一反应是耐淹木本植物对于淹水胁迫的标志性形态反应^[24-26]。

另有研究表明随着干旱胁迫强度的增加,竹柳外形特征呈现出受害越来越严重的趋势,主要通过叶片凋落减少地上部分的蒸发面积,来降低光合作用,减少水分消耗,从而避生长过于干旱

的危害^[3,27-28];本试验中 21 d 组和 30 d 组随着干旱胁迫时间的延长,竹柳出现了叶片萎蔫、卷曲、枯黄、脱落,枝干表皮起皱,枝条萎缩干枯,枝尖变黑,茎长增长缓慢甚至出现负增长现象。因此,植物形态变化可以最直接地表现出植物在水分胁迫下的抗性。

3.2 水分胁迫对竹柳生理指标的影响

徐陆婷婷^[29]研究得出不同淹水胁迫下,竹柳的 MDA 含量整体呈现先上升后下降的趋势,表现出对淹水胁迫的适应性,随着淹水时间的延长和淹水程度的加深,叶片膜系统受到破坏,水分过饱和的条件不利于杞柳的生长。本试验中,水分胁迫第 21 天时,叶片 MDA 含量表现为淹水 $> 3\text{ d} \approx 7\text{ d} > 21\text{ d}$,21 d 组 MDA 含量显著小于其他 3 组($P < 0.05$),21 d 组叶片有枯黄脱落现象,受害程度明显比其他 3 组严重。细胞膜透性变化趋势与 MDA 含量的变化趋势基本一致。冯海燕等^[30]进行不同水分胁迫对剑麻生理特性的影响试验,剑麻组织的细胞膜透性受到一定程度破坏,且受破坏程度随着胁迫的加剧而增强的结果,与本研究结果一致。

本试验竹柳叶绿素相对含量表现为 $7\text{ d} > 3\text{ d} > \text{淹水} > 21\text{ d}$,且 3 d、7 d 组竹柳叶片颜色较深,同样说明适度的水分对竹柳的生长有促进作用。陈梦园等^[31]的研究表明,干旱胁迫导致栓皮栎叶片的 SPAD 值均下降,干旱越严重,SPAD 值降低程度越大。本试验中,在相同测定时期中,21 d 组竹柳的 SPAD 值显著小于其他 3 组,与陈梦园等^[31]的研究一致。武瑞瑞等^[32]试验结果表明,不同干旱胁迫程度,植物生长恢复速度也有所不同,适度干旱对植株生长有促进作用,严重干旱时叶绿素含量才减少,与本试验研究结果相符。

3.3 水分胁迫对竹柳叶片气孔开度的影响

气孔是植物体内水分向外扩散和内外气体交换的窗口,气孔开度的调节是水分胁迫下植物适应环境、抵御干旱的机制之一^[33]。符玉英^[34]的研究证明水分胁迫情况下,植物的叶片随着水分不断散失,叶片的水势不断下降,植物气孔的开度随之减小,气孔的阻力增加。本试验中淹水竹柳气孔开度小于和 3 d、7 d 组竹柳的气孔开度,表明过度的淹水胁迫对竹柳叶片气孔开度有一定影

响;21 d 组竹柳气孔开度显著小于其他 3 组,说明竹柳在受到严重干旱胁迫时,气孔会趋向闭合,以减少水分的流失,表现出竹柳的耐旱性。

3.4 水分胁迫对竹柳根系的影响

植物根系能够感知土壤环境变化信息,并根据来自冠部的信号,相应的调节自身生长发育和对水分的吸收和运输,因而根系在适应干旱胁迫方面发挥重要的作用。在干旱环境中,根系的下扎深度、根系分支和根毛的形成直接关系作物对土壤水分的吸收和利用,是衡量作物抗旱能力的重要表型指标。当水分成为限制植物生长的条件时,根系会产生形态、生理等方面的变化来适应其逆境胁迫^[35]。刘胜群等^[36]在对玉米根系解剖结构时发现,第一轮次生根的导管数目较少,之后轮次次生根导管数目逐步增多,表明随着植株生长,根系通过增加导管数目来增强对水分的运输能力以满足植株生长发育的需要。本研究发现水分胁迫对竹柳根部导管数量的影响表现为淹水 $> 21\text{ d} > 3\text{ d} \approx 7\text{ d}$;水分胁迫对竹柳根部导管直径的影响表现为 $3\text{ d} \approx 7\text{ d} > 21\text{ d} > \text{淹水}$,且在采样过程中发现淹水处理竹柳的淹水部分生成大量细而密的红色气生根,其他处理根系深度表现为 $21\text{ d} > 7\text{ d} > 3\text{ d}$ 。可见随着土壤水分的减少,根系逐渐向下深扎且直径逐渐增大,根毛组织逐渐减少。

4 结论

通过对竹柳的生长指标的观察及数据分析得出,淹水组竹柳生成大量气生根,叶片颜色偏黄;3 d 组和 7 d 组的竹柳茎长、叶片数均大于其他两组,且叶片颜色较深,叶肉丰厚;21 d 组和 30 d 组竹柳在受到干旱胁迫时叶片出现皱缩,卷曲现象。以上现象综合说明 3 d 组和 7 d 处理组竹柳的生长情况最佳。

本试验的生理指标中,各处理细胞膜透性表现为淹水 $> 3\text{ d} > 7\text{ d} > 21\text{ d}$;MDA 含量表现为淹水 $> 3\text{ d} \approx 7\text{ d} > 21\text{ d}$;叶绿素相对含量表现为 $7\text{ d} > 3\text{ d} > \text{淹水} > 21\text{ d}$;气孔开度表现为 $3\text{ d} \approx 7\text{ d} > \text{淹水} > 21\text{ d}$ 。

在 40 倍显微镜下观察竹柳叶片上表皮细胞及根部切片形态后发现,3 d、7 d 处理组的气孔张

开程度和根部导管直径均大于其他两处理组,21 d组气孔开度甚至出现闭合状态,以减少水分的散失,以上均是竹柳对水分胁迫的响应。

综合所有数据得出竹柳在土壤水分含量15.5%~53.5%是最佳生长条件。

参考文献:

- [1] FANG Y J, XIONG L Z. General mechanisms of drought response and their application in drought resistance improvement in plants[J]. Cellular and Molecular Life Sciences, 2015, 72(4): 673-689.
- [2] JALEEL C A, GOPI R, SANKLAR B A, et al. Differential responses in water use efficiency in two varieties of *Catharanthus roseus* under drought stress[J]. Comptes Rendus Biologies, 2008, 331(1): 42-47.
- [3] 侯佳文, 海米提·依米提, 叶茂. 博斯腾湖滨柽柳(*Tamarix ramosissima*)生长对湖水位的敏感性[J]. 中国沙漠, 2015, 35(3): 667-673.
- [4] 宋佳, 叶茂. 博斯腾湖区植物多样性特征研究[J]. 科技视界, 2016(4): 296.
- [5] 宋学贵, 王彬, 周光良, 等. 干旱胁迫对竹柳光合特性的影响[J]. 四川林业科技, 2014, 35(5): 40-44.
- [6] 胡国涛, 杨兴, 陈小米, 等. 速生树种竹柳对重金属胁迫的生理响应[J]. 环境科学学报, 2016, 36(10): 3870-3875.
- [7] 李根, 周广柱. 低温胁迫下3种竹柳品系的抗寒性[J]. 江苏农业科学, 2016(6): 307-310.
- [8] 李小艳. 七种柳树对NaCl盐胁迫的生长生理响应[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2018.
- [9] 任磊, 赵夏陆, 许靖, 等. 4种茶菊对于旱胁迫的形态和生理响应[J]. 生态学报, 2015(15): 5131-5139.
- [10] 顾菁. 菊属野生种抗旱生理机理及抗旱蛋白质组学研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2013.
- [11] 洪文君, 申长青, 庄雪影, 等. 盐胁迫对竹柳幼苗生理响应及结构解剖的研究[J]. 热带亚热带植物学报, 2017(5): 489-496.
- [12] 徐陆婷婷, 于一苏, 吴中能, 等. 淹水胁迫对杞柳生理生化特性的影响[J]. 广东农业科学, 2013(8): 45-47.
- [13] 王玉祥, 张博, 王涛. 盐胁迫对苜蓿叶绿素、甜菜碱含量和细胞膜透性的影响[J]. 草业科学, 2009(3): 53-56.
- [14] 李娟娟. 两种浮萍耐脱水抗性的显微结构研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2014.
- [15] 王丹, 孙杨. 三种野生地被植物叶片解剖结构与抗旱性关系研究[J]. 天津农业科学, 2017(6): 1-4.
- [16] 解斌, 李俊豪, 景淑怡, 等. 2种梨砧木叶片光合与气孔形态特征研究[J]. 经济林研究, 2019, 37(2): 126-133.
- [17] 朱丽丽, 李井会, 宋述尧. 大白菜叶片SPAD值与叶绿素含量及含氮量的关系[J]. 北方园艺, 2010(23): 15-17.
- [18] 崔庆利. 水分胁迫对沙棘细胞膜透性及丙二醛含量的影响[J]. 现代农业科技, 2017(11): 139-145.

- [19] 苏醒. 根长在外边的怪树——小叶榕[J]. 农村青少年科学探究, 2018(Z2): 59.
- [20] WILLIAM J L, GROOVER A, RAFFAEL L. The plant vascular system: Evolution, development and functions[J]. Journal of Integrative Plant Biology, 2013(4): 294-388.
- [21] CLOSE D C, DAVIDSON N J. Long term waterlogging: nutrient, gas exchange photochemical and pigment characteristics of *Eucalyptus nitens* saplings[J]. Russian Journal of Plant Physiology, 2003, 50(6): 843-847.
- [22] 蔺伟虎, 汪建军, 李会强, 等. 不同生长条件下内生真菌对多年生黑麦草生理特性的影响[J]. 草业科学, 2016(8): 1574-1582.
- [23] 赵竑绯, 赵阳, 张驰, 等. 模拟淹水对杞柳生长和光合特性的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(3): 898-906.
- [24] 刘春风. 淹水对15个树种苗木生长和形态特征的影响[D]. 南京: 南京林业大学, 2009.
- [25] JING Y X, CHENG Z P, CHENG H Y, et al. The relationship between photosynthetic character and adventitious roots in flooded *Cleistocalyx operculatus* seedlings[J]. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2000, 8(1): 361-364.
- [26] YAMARNOTO F, SAKATA T, TERAZAWA K. Physiological, morphological and anatomical responses of *Fraxinus mandshurica* seedlings to flooding[J]. Tree Physiology, 1995, 15(11): 713-719.
- [27] 杨跃文, 温阳, 张文军, 等. 水分胁迫对不同种源黄柳幼苗生长特性的影响[J]. 林业科技, 2012, 37(4): 1-3, 49.
- [28] 侯舒婷, 张倩, 刘思岑, 等. 黄金香柳对水分胁迫的生长与生理响应[J]. 西北植物学报, 2014(12): 2491-2499.
- [29] 徐陆婷婷. 煤矿塌陷区湿地生态恢复相关树种的水淹胁迫试验研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2013.
- [30] 冯海燕, 习金根. 不同水分胁迫对剑麻生理特性的影响[J]. 安徽农业科学, 2017(19): 13-15, 33.
- [31] 陈梦园, 李迎超, 王利兵, 等. 2个种源栓皮栎对于旱及复水的光合生理响应[J]. 生态学杂志, 2019(10): 2950-2958.
- [32] 武瑞瑞, 黄家雄, 杨阳, 等. 干旱和复水对4种咖啡叶片叶绿素荧光特性和SPAD的影响[J]. 热带农业科学, 2019(10): 66-74.
- [33] 李真真, 张莉, 李思, 等. 玉米叶片气孔及花环和维管束结构对水分胁迫的响应[J]. 应用生态学报, 2014(10): 2944-2950.
- [34] 符玉英. 水分胁迫下植物叶片光合的气孔和非气孔限制[J]. 科技与创新, 2018(8): 57-58.
- [35] PAREEK A, SOPORY S, BOHNERT H J, et al. Abiotic stress adaptation in plants: Physiological, molecular and genomic foundation[J]. Springer, 2011, 108: 247-248.
- [36] 刘胜群, 宋凤斌. 不同耐旱性玉米根系解剖结构比较研究[J]. 干旱地区农业研究, 2007(2): 86-91.



吴学丽,臧宏伟,于立芝.连续流动注射分析测定沼液中全氮和全磷含量[J].黑龙江农业科学,2021(10):103-106.

连续流动注射分析测定沼液中全氮和全磷含量

吴学丽¹,臧宏伟²,于立芝³

(1.中国科学院 海岸带研究所,山东 烟台 264003;2.山东省烟台市农业科学研究院,山东 烟台 265500;3.中国农业大学 烟台研究院,山东 烟台 264670)

摘要:为提高沼液中氮、磷含量的检测效率和准确性,采用石墨消解仪消解沼液样品,应用连续流动注射分析仪测定沼液中氮、磷含量,研究了该方法的正确度、精密密度、检出限和定量限。结果表明:氮的平均回收率为96.75%~104.50%,磷的回收率为100.82%~101.47%;测定结果具有较好的重复性和重现性;确定了全氮的检出限为10 mg·L⁻¹、定量限为30 mg·L⁻¹,全磷的检出限为4 mg·L⁻¹、定量限为12 mg·L⁻¹。该方法可用于沼液中全氮和全磷含量的快速高效测定。

关键词:连续流动注射分析仪;沼液;全氮;全磷

我国是畜禽养殖大国,每年产生大量的畜禽养殖粪水,经厌氧发酵后形成沼液,沼液农用是资源再利用的有效途径^[1]。沼液中含有一定氮、磷、钾等营养成分,以及作物所需的微量元素和B族维生素等^[2-5],对促进和调节植物生长发育过程、防治病害、提高作物的产量和质量具有重要的作用^[6-8]。及时准确地了解沼液中氮、磷的含量有利

于促进沼液在农业生产中的科学应用。传统的全氮测定方法主要有凯氏定氮法和杜马斯燃烧法^[9-11],传统测定磷的方法主要是磷钼酸喹啉重量法和钼酸铵分光光度法^[12-14],采用传统方法检测沼液中的氮、磷操作过程繁琐、成本比较高。连续流动注射分析方法具有速度快、精度高的优势,可以同时测定样品中的氮、磷,已有将该方法用于土壤、水质中氮、磷检测的相关研究^[15-19],但鲜见应用该方法测定沼液中氮、磷含量的报道。本研究探讨了应用连续流动注射分析仪同时检测沼液中的氮、磷含量正确度、精密密度、检出限和定量限等问题,以确定应用该方法测定沼液中氮、磷的可行性,为提高沼液中氮、磷含量检测的效率和准确性提供方法和依据。

收稿日期:2021-07-03

基金项目:2018年农业领域地方标准制修订计划(鲁质监标发[2018]18号)。

第一作者:吴学丽(1981—),女,博士,工程师,从事技术支撑和仪器研发工作。E-mail:xlwu@yic.ac.cn。

通信作者:于立芝(1963—),女,学士,教授,从事资源与环境、农业标准化方面的教学与科研工作。E-mail:yulizhi8656@sina.com。

Effect of Water Stress on Bamboo-willow (*Salix fragilis* L.) Growth

WU Chun-xia¹, LI Yang², LI Hao-yu², WANG Wen-quan², FAN Jing-long³, KUANG Dai-hong³

(1. Activated Carbon Branch of National Energy Group Xinjiang Energy Limited Company, Urumqi 830000, China; 2. College of Prataculture and Environmental Sciences, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China; 3. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China)

Abstract: In order to promote the cultivation of bamboo-willow in constructed wetlands in arid areas of Xinjiang, in this experiment, the potted bamboo-willow seedlings were taken as the object, and five water treatment gradients were set up, which were flooding, wet, moderate, dry and extremely dry. Through the measurement of growth, physiological indexes and observation of cell morphology of bamboo-willow under different water conditions, the effects of water stress on the growth of bamboo-willow were studied. The results showed that: with the extension of water stress time, the bamboo-willow in the flooding group took root by air, and the leaves became yellow and slender. The leaves in 21 d and 30 d groups were curled and fell off, and the branches shrank and dried. The survival status of the three and seven day groups was the best. The cell membrane permeability and MDA content of each treatment showed flooding > 3 d > 7 d > 21 d, indicating that long-term drought stress will destroy the biofilm structure of bamboo-willow. The best survival state of bamboo-willow was to keep the soil moisture content in the range of 15.5%~53.5%.

Keywords: bamboo-willow; water stress; growth characteristics; physiological characteristics; cell morphology