

文章编号:1001—7380(2021)06—0018—07

## 东亚类群4种四照花对持续干旱的 生理响应及抗旱性评价

刘国华, 毛霞\*, 曹仁勇

(江苏农林职业技术学院风景园林学院, 江苏 镇江 212400)

**摘要:**为了研究干旱胁迫下四照花属植物的抗旱能力,试验选取东亚四照花类群的4种四照花(中国四照花、东京四照花、香港四照花和头状四照花)为试验材料,对其在干旱胁迫过程中生理生化指标进行分析。结果发现:4种四照花随着干旱程度的增强,叶片SOD活性系数均呈现先上升后下降的变化,最大值较多出现在叶片开始进入凋落时期(胁迫处理后7d);在叶片出现脱落及叶片枯黄时,4种四照花根系活力的活性系数上升至最高(胁迫处理后21d),到出现叶片严重脱落及严重枯黄时,根系活力的活性系数迅速下降(胁迫处理后28d);随着干旱程度的增强,叶片中叶绿素的含量逐渐降低,叶片中MDA含量的变化趋势则相反。运用隶属函数对4种四照花抗旱能力的综合评价可知,其抗旱性由高到低排序为中国四照花>头状四照花>东京四照花>香港四照花。

**关键词:**干旱胁迫;四照花;生理响应;隶属函数法;抗旱

中图分类号:Q945.78;S718.43;S793.9

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.1001-7380.2021.06.003

## Physiological response and resistance evaluation of 4 East Asian dogwoods to drought stress

Liu Guohua, Mao Xia\*, Cao Renyong

(Jiangsu Vocational College of Agriculture and Forestry, Zhenjiang 212400, China)

**Abstract:** In order to study the drought resistance of 4 dogwoods from East Asia taxa, *Dendrobenthamia japonica* var *chinensis*, *D. tonkinensis*, *D. hongkongensis* and *D. capitata* were selected to learn their physiological change in the process of drought stress. The results showed that with the severity of drought degree, the SOD activity coefficients of leaves of 4 species all rose first, and then declined, and the maximum value appeared at the beginning of leaf falling (7 d after drought treatment). With the leaves' yellowing and then withering away, the activity coefficients of root activity of the four species rose until 21 d after treatment, but dropped rapidly till 28 d after treatment, with the leaves withering seriously and falling. In the process of drought stress, the chlorophyll content in their leaves gradually decreased, but with MDA content, the opposite was the case. According to the comprehensive evaluation of their drought resistance, the order from high to low was found as follows, *D. japonica* var *chinensis*, *D. capitata*, *D. tonkinensis*, *D. hongkongensis*.

**Key words:** Drought stress; *Dendrobenthamia* sp; Physiological response; Subordinate function analysis; Drought tolerance

随着全球气温升高,干旱胁迫已逐渐成为影响植物生长、发育的主要因素,是重要的非生物胁迫。植物往往通过复杂的生理生化活动形成一系列适应干旱胁迫的机制,从而影响植物的生长、生物量

积累和分配。在干旱胁迫下,不同植物抗旱能力存在差异,表现为形态、生理代谢等变化各异。植物抵御干旱的机制复杂多样<sup>[1-3]</sup>,主要通过渗透调节物质的增加、膜脂成分的变化、自由基的清除以及

收稿日期:2021-09-23;修回日期:2021-10-22

**基金项目:**中央财政林业科技推广示范资金项目“彩叶树种优良品种筛选与繁育技术示范”(苏[2020]TG03);江苏省林业科技创新与推广项目“彩叶林木育种与培育省级长期科研基地”(LYKJ[2020]26);江苏农林职业技术学院校级项目“四照花叶色嵌合体突变机制及快繁技术研究”(110751461)

**作者简介:**刘国华(1975-),男,江苏镇江人,副教授,硕士。主要从事园林植物种质资源开发应用。E-mail:guohua4037@126.com

\* **通信作者:**毛霞(1991-),女,江苏南京人,讲师,博士。主要从事彩叶苗木的抗性机理研究。E-mail:mx1991@jsafc.edu.cn

激素调节等因素综合作用,并与植物地上部分的形态、解剖结构、生理生化特性相关<sup>[4-6]</sup>。植物抗旱生理方面的研究内容广泛,但全面客观准确地评价同植物的抗旱能力,可利用与抗旱性有关的多项指标进行综合评价<sup>[7]</sup>。

四照花属植物为山茱萸科(Cornaceae)常绿或落叶小乔木或灌木,被划分为东亚四照花和北美四照花2大类群,树种树姿优美,是集彩花、彩果、彩叶于一身的园艺观赏树种<sup>[7-9]</sup>。东亚四照花种(亚种)主要分布于我国陕西、甘肃等地,植物资源丰富,有中国四照花(*Dendrobenthamia japonica* var *chinensis*)、东京四照花(*D. tonkinensis*)、香港四照花(*D. hongkongensis*)、头状四照花(*D. capitata*)等10个原种<sup>[10-11]</sup>。相关研究表明,东亚四照花除观赏价值外,还具有一定的药用价值和食用价值<sup>[12-15]</sup>。当前,对东亚四照花种质资源的研究还处在起步阶段,大多集中于育苗栽苗、繁殖体系建立方面<sup>[15-20]</sup>,对其胁迫机理,仅有少量关于日本四照花(*D. japonica*)、秀丽四照花(*D. elegans*)、狭叶四照花(*D. angustata*)等的研究报道<sup>[21-25]</sup>。

作为东亚四照花主要引种地区,中国南方长江中下游地区频繁发生水分亏缺,干旱多由短期极端高温或夏季周期性无雨引起<sup>[26]</sup>。本文研究不同干旱胁迫下东亚类群4种四照花的生长表现以及生理响应,并运用隶属函数法对四照花属4种植物抗旱性大小进行综合评价,筛选出适应干旱、半干旱地区种植的四照花树种,以期对其引种栽培提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

东亚四照花4种四照花(中国四照花、香港四照花、东京四照花和头状四照花)幼苗植株选自于江苏省句容市江苏农博园种植基地(东经119°13'55"—119°15'01",北纬32°00'46"—32°01'51"),均为3年生实生容器苗,苗均高1.6 m,地上部分有多个分支,生长健壮。

### 1.2 试验方法

1.2.1 四照花属植物的干旱胁迫处理 本试验在人工气候室中进行。将4种四照花的容器苗置于人工气候室内先缓苗7 d,在此期间保证良好的水分供应。干旱胁迫开始前,先给苗木浇清水至饱和,随后进行连续自然干旱胁迫处理,试验分为对照和干旱2个处理,对照组土壤相对含水量保持在75%左

右;干旱处理周期为28 d。28 d后解除胁迫,并浇水至饱和,随后正常养护。4种植株均设置2个处理,每个处理设重复4个,每个重复苗30株,采用完全随机试验设计方法。人工气候室内的温度设定为白天30℃,夜间25℃。每天给予12 h的光照,光照强度为550 μmol/(m<sup>2</sup> s)。

1.2.2 四照花各项生化指标测定 从干旱处理开始,每隔7 d,当日8:00采集1次对照组及处理组植株2—3片功能叶和8—10个须根,擦净叶片及须根上的表面污物,将样品置于-80℃冰箱保存。膜保护酶超氧化物歧化酶(SOD)活性测定采用NBT法<sup>[27]</sup>;丙二醛(MDA)含量测定采用硫代巴比妥酸法<sup>[28]</sup>;根系采用TTC活力测量法<sup>[26]</sup>;叶绿素含量测定用Hanstech生产的CL-01,采用叶绿素仪法进行测定<sup>[7]</sup>。

1.2.3 四照花属植物外部形态变化 从干旱处理开始,每隔7 d当日8:00对4种四照花属植物的叶片形态进行记录,包括叶色变化以及脱落情况(轻微脱落:叶片数量为起初记录叶片数量的80%—90%;脱落:叶片数量为起初记录叶片数量的50%—60%;严重脱落:叶片数量为起初记录叶片数量的0—20%)。

### 1.3 数据统计及分析

1.3.1 隶属函数计算 应用隶属函数法综合评价4种四照花的抗旱性<sup>[7]</sup>。指标与抗旱性呈正相关时,隶属函数值计算公式: $R(X_i) = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$ ;指标与抗旱性呈负相关时,反隶属函数值计算公式: $R(X_i) = 1 - (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$ 。式中, $X_i$ 为指标测定值, $X_{\min}$ , $X_{\max}$ 为所有参试材料某指标的最小值和最大值。分别计算各品种所有测定指标隶属函数值的平均值。平均值越大,则抗旱性越强。

1.3.2 活性系数计算 为消除材料间的差异,各指标均采用活性系数<sup>[26]</sup>。活性系数(%)=(干旱胁迫下的测定值/对照下测定值)×100。

1.3.3 数据分析 数据用Excel2020和SPSS18.0数据统计分析软件进行处理,多重比较采用DUNCAN法。

## 2 结果与分析

### 2.1 干旱胁迫对4种四照花外部形态的影响

从结果(见表1)可以看出,在干旱胁迫7 d后,仅东京四照花叶片存在轻微脱落;干旱胁迫第14

天,4 种四照花均开始出现叶片轻微枯黄的现象;随着干旱胁迫天数的增加,叶片枯黄及脱落现象逐渐明显。其中,香港四照花在干旱胁迫过程中,叶片形态变化最迅速,第 21 天出现叶片严重脱落现象,第 28 天叶片几乎全部脱落;中国四照花第 28 天出现叶片枯黄掉落现象,叶片状况在 4 种中最佳。干旱胁迫处理 28 d 后恢复水分管理并进行正常养护,

60 d 头状四照花和东京四照花恢复正常,但生长一般,香港四照花死亡,中国四照花长势最佳。从 4 种四照花在干旱胁迫过程中叶片形态变化发现,香港四照花的抗干旱能力最差,中国四照花抗旱性最好(如表 1)。

2.2 4 种四照花干旱胁迫下 SOD 的变化

由结果(见图 1)可以看出,四照花属 4 个种的

表 1 干旱胁迫下的四照花东亚类群 4 种植物叶片形态变化

树种	胁迫时间/d				复水 60 d 后(正常养护)
	7	14	21	28	
中国四照花	无变化	叶片轻微枯黄	叶片枯黄严重并脱落	叶片枯黄、脱落严重	生长良好
香港四照花	无变化	叶片轻微脱落	叶片脱落严重、严重枯黄	叶几近无	死亡
东京四照花	叶片轻微脱落	叶片脱落、轻微枯黄	叶片严重脱落、枯黄严重	叶片脱落严重、严重枯黄	生长一般
头状四照花	无变化	叶片轻微脱落	叶片脱落	叶片脱落严重、严重枯黄	生长一般

SOD 活性系数均呈现先上升后下降的变化趋势,其中头状四照花、中国四照花、香港四照花的 SOD 活性系数在干旱胁迫第 7 天呈最大值,分别为 127.63%,233.17%,120.87%;而东京四照花在干旱胁迫第 14 天为最大(122.28%)。且对同一树种而言,第 7 天的 SOD 活性系数与不同干旱时间的处理组间差异显著( $P<0.05$ );4 个树种中,仅有中国四照花 SOD 活性系数的最小值出现于干旱胁迫当天(115.08%),其余树种均于干旱胁迫第 28 天出现,且香港四照花第 28 天的 SOD 活性系数最小(80.33%)。结合表 1 的观察得出:4 个树种的 SOD 活性系数呈最大值的时间与叶片开始发黄的时间一致。由此可见,4 种四照花遭受干旱胁迫时,体内积累过量的有害物质,植物通过提高自身抗氧化酶活性来消除损伤。

对于同一干旱胁迫处理时间而言,不同的树种间 SOD 活性系数差异也不同。相同干旱处理时间,中国四照花的 SOD 活性系数均高于其他 3 个树种,且与不同种间均差异显著( $P<0.05$ );香港四照花的 SOD 活性系数一般低于其他 3 个树种,仅于干旱胁迫后的第 14 天时出现差异显著( $P<0.05$ )。

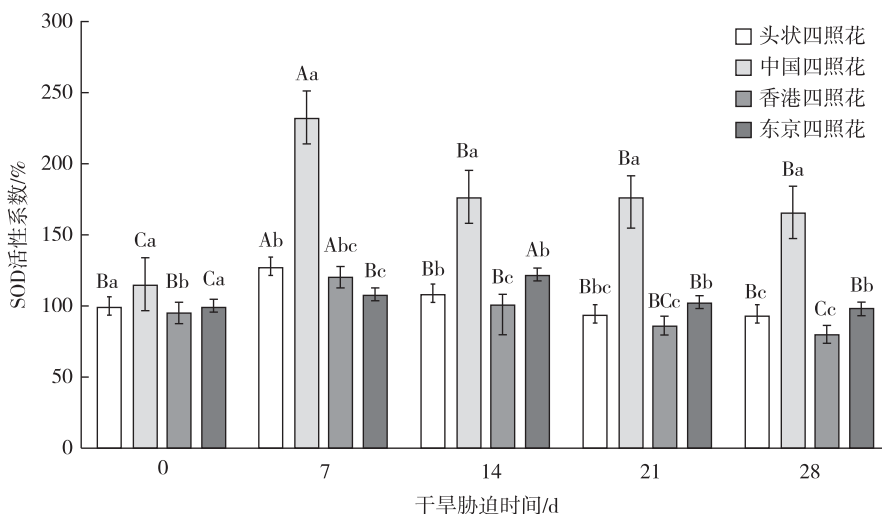
2.3 4 种四照花干旱胁迫下根系活力的变化

由结果(见图 2)可以看出,4 种四照花在干旱胁迫下根系活力的活性系数变化趋势均为先上升后下降,最大值出现于第 21 天(中国四照花

206.59%,香港四照花 208.13%,头状四照花 106.94%;东京四照花 115.38%),最小值出现于第 28 天(中国四照花 48.40%,香港四照花 47.44%,头状四照花 93.43%,东京四照花 86.86%)。其中,香港四照花和中国四照花根系活力的活性系数变化最大,且与同种不同干旱处理时间组之间差异显著( $P<0.05$ )。结合表 1 的形态观察可知,在叶片出现脱落及叶片枯黄时,4 种四照花的根系活力的活性系数上升到最高(21 d),直到出现叶片严重脱落及严重枯黄时,根系活力的活性系数迅速下降(28 d)。

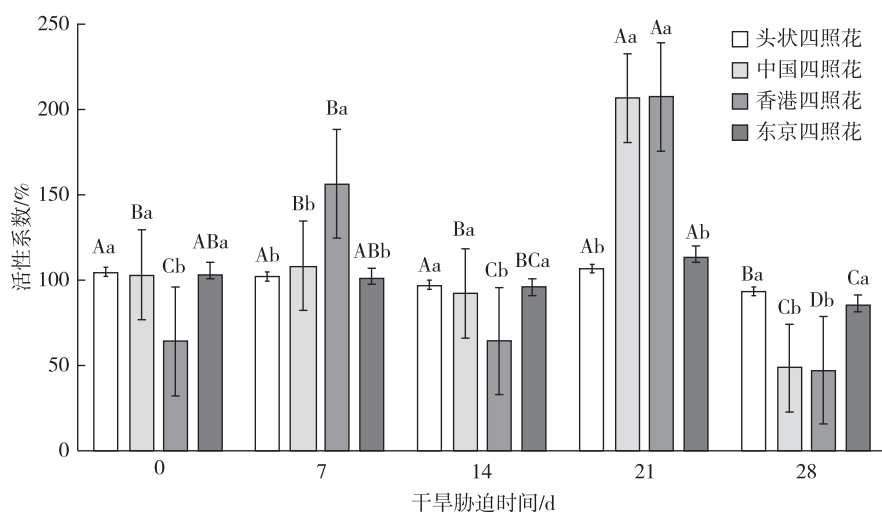
对于相同干旱胁迫处理时间而言,不同树种间根系活力的活性系数差异也不同。在相同干旱处理时,香港四照花活力的活性系数与其他 3 个种差异显著( $P<0.05$ ),且均为 4 个种中的最值(0,14,28 d 最小值;7,21 d 最大值);中国四照花仅于第 21,28 天与其他 2 个种之间差异显著( $P<0.05$ );而头状四照花与东京四照花根系活力的活性系数较一致,同干旱处理时间之间根系活力的活性系数均差异不显著( $P>0.05$ )。

由上述可知,随着干旱胁迫处理时间的推延,4 个树种叶片的根系活力均在第 21 天出现峰值,第 28 天出现谷值。说明在干旱胁迫过程中,根系活力逐渐下降,这可能是导致植物生命力减弱的原因。



注:误差线表示标准差;不同大写字母表示同种四照花不同干旱胁迫处理时间下活性系数结果的差异显著性 ( $P < 0.05$ );不同小写字母表示同干旱胁迫处理时间不同种四照花活性系数结果的差异显著性 ( $P < 0.05$ )

图 1 干旱胁迫下的四照花东亚类群 4 种植物叶片的 SOD 活性系数比较



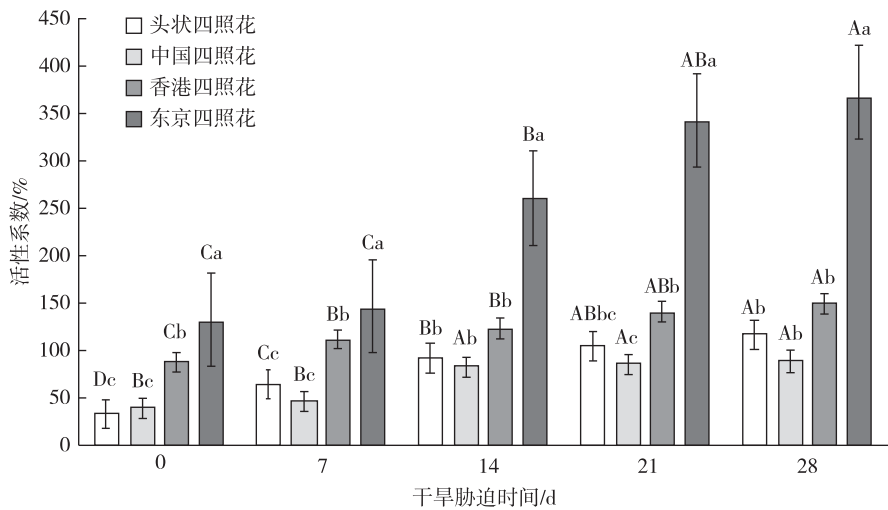
注:误差线表示标准差;不同大写字母表示同种四照花不同干旱胁迫处理时间下活性系数结果的差异显著性 ( $P < 0.05$ );不同小写字母表示同干旱胁迫处理时间不同种四照花活性系数结果的差异显著性 ( $P < 0.05$ )

图 2 干旱胁迫下的四照花东亚类群 4 种植物根系活力活性

#### 2.4 干旱胁迫对 4 种四照花 MDA 的变化

如图 3 所示,4 种四照花 MDA 含量的活性系数均呈上升的趋势。说明随着干旱处理时间的推延,叶片中 MDA 含量逐渐增加,且均在第 28 天达到最大值。其中,东京四照花在第 28 天叶片中 MDA 含量的活性系数最大 (372.83%);而中国四照花的活性系数最小 (89.63%)。

就不同种相同干旱处理时间而言,东京四照花 MDA 含量的活性系数均为最大,说明东京四照花在受到胁迫时,叶片内物质含量变化最为剧烈。结合表 1 可以看出,4 种四照花在进入叶片脱落初期,叶片内物质含量变化最为剧烈,出现了较大程度的膜脂过氧化;但中国四照花 MDA 含量的活性系数变化差异较小,说明其对于 MDA 的响应较弱。



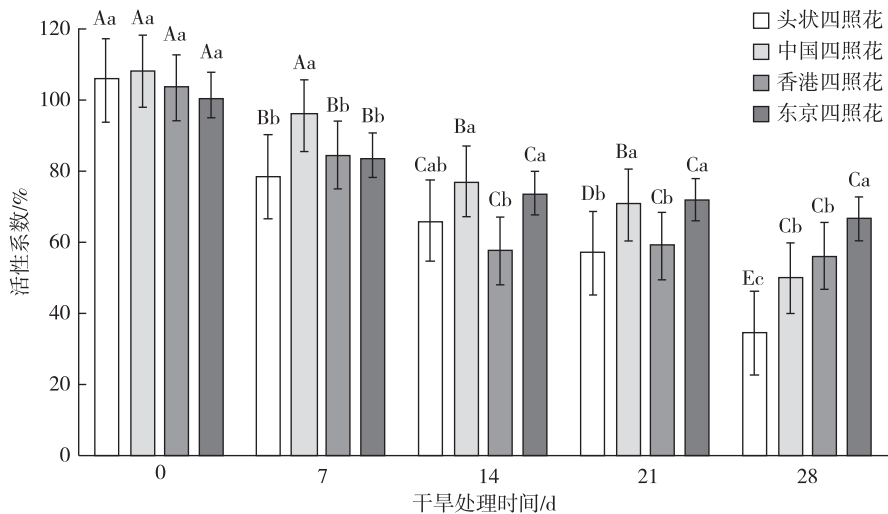
注:误差线表示标准差;不同大写字母表示同种四照花不同干旱胁迫处理时间下活性系数结果的差异显著性( $P<0.05$ );不同小写字母表示同干旱胁迫处理时间不同种四照花活性系数结果的差异显著性( $P<0.05$ )

图 3 干旱胁迫下的四照花东亚类群 4 种植物叶片 MDA 活性系数

### 2.5 干旱胁迫下 4 种四照花叶片叶绿素的变化

4 种四照花在干旱胁迫处理下,叶片叶绿素的活性系数均呈下降的趋势,与 MDA 含量的活性系数变化趋势相反。香港四照花及东京四照花的谷值均出现在第 14 天,分别为 57.59%,73.85%,且分别与第 21,28 天的活性系数差异不显著( $P>0.05$ );

中国四照花及头状四照花的谷值均出现在第 28 天,分别为 50.01%,34.68%,此时东京四照花为 66.57%,香港四照花为 56.17%。从图 4 可知,干旱胁迫条件下,头状四照花叶绿素含量变化最显著,中国四照花及香港四照花次之,东京四照花变化最小。



注:误差线表示标准差;不同大写字母表示同种四照花不同干旱胁迫处理时间下活性系数结果的差异显著性( $P<0.05$ );不同小写字母表示同干旱胁迫处理时间不同种四照花活性系数结果的差异显著性( $P<0.05$ )

图 4 旱胁迫下的四照花东亚类群 4 种植物叶片叶绿素活性系数

对于不同种同干旱处理时间而言,在第 7 天叶绿素开始出现差异显著,即中国四照花叶绿素含量的活性系数显著高于其他 3 个种( $P<0.05$ )。随着干旱处理时间的推延,东京四照花叶绿素的活性系

数降低速率较慢,到第 21 天叶绿素含量的活性系数与中国四照花之间差异不显著( $P>0.05$ ),并显著高于其他 2 个种( $P<0.05$ ),到第 28 天的活性系数显著高于其他 3 个种( $P<0.05$ )。



## 2.6 干旱胁迫下 4 种四照花抗旱性综合分析

植物的干旱响应机制是一个复杂的过程,涉及到众多基因的诱导表达和代谢途径的启动,运用单一指标较难全面准确地评价抗旱性的强弱。本研究在多指标测定分析的基础上,利用模糊隶属函数法,对 4 种四照花的抗旱性进行综合分析,求得 4 个种不同指标在干旱条件下的隶属值,后再求得平均隶属函数值(见表 2)。隶属函数值越大,其抗旱性越强。由表 2 可知,4 种四照花的抗旱性由强到弱依次为中国四照花、头状四照花、东京四照花、香港四照花。此结果与表 1 中四照花干旱胁迫处理下的外部形态变化结果较为一致。

表 2 东亚类群 4 种四照花植物的抗旱性综合评价

树种	SOD	叶绿素	MDA	根系活力	综合评价	排名
中国四照花	0.49	0.52	0.59	0.40	0.50	1
头状四照花	0.32	0.48	0.58	0.56	0.49	2
东京四照花	0.36	0.38	0.49	0.51	0.44	3
香港四照花	0.34	0.34	0.57	0.38	0.41	4

## 3 结论与讨论

### 3.1 4 种四照花抗旱性与叶片保护酶活性和丙二醛含量变化的关系

MDA 作为植物遭受逆境伤害的指标,有研究表明:植物体内 MDA 含量越多,反映植物体受到的伤害程度越高;抗旱性强的植物 MDA 含量增幅小<sup>[3,29-31]</sup>。在本研究中,4 个种 MDA 含量的活性系数均呈上升的趋势,且 4 个种均在第 28 天达到峰值。其中,东京四照花的活性系数变化增幅最大,中国四照花的活性系数增幅最小。说明中国四照花对于干旱胁迫抗性最强,其次为头状四照花,香港四照花次之,抗旱性最弱的为东京四照花。

SOD 活性可作为衡量四照花属植物抗旱能力的指标<sup>[23]</sup>。本研究表明四照花属 4 个种的 SOD 活性系数均呈现先上升后下降的变化趋势,其中头状四照花、中国四照花、香港四照花的 SOD 活性系数在干旱胁迫第 7 天呈最大值,分别为 127.63%,233.17%,120.87%,东京四照花在干旱胁迫第 14 天为最大(122.28%),且 4 个树种的 SOD 活性系数呈最大值的时间与叶片形态开始发黄的时间一致。

水分胁迫条件下,植物体内的活性氧自由基的产生和清除的动态平衡会发生破坏,导致 SOD、POD 等保护酶活性发生相应的变化,而这些变化又与

MDA 积累密切相关<sup>[28-29]</sup>。相关研究表明,自由基性氧浓度未超过伤害“阈值”时,保护酶会表现出积极应对;反之,则会以被动忍耐为主,从而引起膜脂过氧化,使得丙二醛含量增加,破坏膜的完整性<sup>[29]</sup>。同时,MDA 的积累又抑制了 SOD、POD 的活性,从而使酶系统丧失功能,进一步加重膜系统受损。本研究表明在同一干旱处理时间,中国四照花的 SOD 活性系数均高于其他 3 个树种,且与不同种间的 SOD 活性系数均差异显著( $P<0.05$ ),与其 MDA 活性系数为最小值相一致。香港四照花的 SOD 活性系数均低于其他 3 个树种,但其 MDA 活性系数为 4 个种中排第 3,说明干旱胁迫导致细胞内产生大量的自由基,超过了防御系统的“阈值”;此外,还可能是叶片膜脂过氧化程度加重导致细胞代谢紊乱和细胞活力降低。

### 3.2 4 种四照花抗旱性与叶片叶绿素含量变化的关系

叶绿素是植物进行光合作用的重要物质,其含量的多少在一定程度上反映了植物同化物质的能力<sup>[32-33]</sup>。李佩佩等<sup>[34]</sup>在对 18 个红砂(*Reaumuria soongorica*)家系的抗旱指标筛选中得出:红砂叶片中叶绿素含量越高,对应家系抗旱性越强。本研究发现四照花 4 个种随着干旱胁迫程度的增加,叶绿素的活性系数均呈下降趋势,其中头状四照花叶绿素含量变化最显著,中国四照花及香港四照花次之,东京四照花变化最小。同时,相关研究表明,干旱胁迫使叶绿素含量减少,且抗旱性强的植物叶绿素含量下降的幅度小<sup>[35]</sup>。本研究中每个种的叶片叶绿素含量的下降幅度头状四照花最大,东京四照花最小,说明头状四照花光合作用破坏程度最强,东京四照花最小,与四照花外部形态变化相对一致。

### 3.3 4 种四照花抗旱性综合评价

植物的抗旱是一个综合的生理生化反应过程。相关研究表明,叶片中 SOD 活性、MDA 含量、叶绿素含量及根系活力等指标与植物的抗旱机制息息相关,可以作为评价抗旱性的指标。本研究对以上指标进行隶属函数的综合评价,分析得出 4 种四照花的抗旱性由强到弱依次为中国四照花、头状四照花、东京四照花、香港四照花。此外,相关研究表明,不同种具有不同的抗旱机制,即使同种在不同时期也会存在差异<sup>[36-38]</sup>,是多指标间的相互联系。为了建立东亚四照花类群抗旱性评价体系,后期需加入更多的指标选定,为四照花属的引种提供理论支持。

## 参考文献:

- [1] 李合生,孙 群,赵世生,等.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,1999:23-26.
- [2] 陈建勋,王晓峰.植物生理生化实验指导[M].广州:华南理工大学出版社,2005:64-67.
- [3] 洪 震,刘术新,洪琮浩,等.5种造林树种对干旱胁迫的抗性应答[J].南京林业大学学报(自然科学版),2021,45(2):111-119.
- [4] WRIGHT S J, YAVITT J B, WURZBURGER N, et al. Potassium, phosphorus, or nitrogen limit root allocation, tree growth, or litter production in a lowland tropical forest[J]. Ecology, 2011, 92(8): 1616-1625.
- [5] FREDERIK W, WOLFRAM B, CHRISTIANE W. High intraspecific ability to adjust both carbon uptake and allocation under light and nutrient reduction in *Halimium halimifolium* L.[J]. Frontiers in Plant Science, 2015, 6:1-11.
- [6] 鲁 松.干旱胁迫对植物生长及其生理的影响[J].江苏林业科技,2012,39(4):51-54.
- [7] 陈志成,王志伟,王荣荣,等.3种阔叶树种对持续干旱的生理响应及抗旱性评价[J].中国水土保持科学,2013,11(2):65-71.
- [8] 鲁 强,徐 杰,洪香香,等.短期高温胁迫对大花四照花和日本四照花生长和光合的影响[J].江苏农业科学,2019,47(22):159-163.
- [9] FU X X, XU J, LIU G H. Ornamental germplasm resources of *Cornus* development and utilization[J]. China Forestry Science and Technology, 2015, 29(3): 1-6.
- [10] 方 彦,张 森,吴昱坤,等.大花四照花研究进展[J].上海农业学报,2020,36(4):156-162.
- [11] 洪香香,徐 杰,刘国华.观赏型四照花种质资源及其开发利用[J].林业工程学报,2015,29(3):1-6.
- [12] 张盼盼.云南分心木品质与安全性评价和头状四照花抗疟活性成分研究[D].大理:大理大学,2018.
- [13] KHAN M I, SHIN J H, SHIN T S, et al. Anthocyanins from *Cornus kousa* ethanolic extract attenuate obesity in association with anti-angiogenic activities in 3T3-L1 cells by down-regulating adipogenesis and lipogenesis[J]. PloS One, 2018, 13:1-12.
- [14] 赵玉宏,田国政,许明书,等.狭叶四照花果实主要营养成分的测定[J].湖北民族学院学报(自然科学版),2003,21(4):21-22.
- [15] HADZIABDIC D, EITZPATRICK B M, WANG X, et al. Analysis of genetic diversity in flowering dogwood natural stand using microsatellites: the effects of dogwood anthracnose[J]. Genetica, 2010, 138: 1047-1057.
- [16] 唐佳佳,刘翠玉,尚旭岚,等.狭叶四照花茎段的离体培养与植株再生[J].中国农学通报,2014,30(22):79-83.
- [17] WADL P A, WANG X, TRIGIANO A N, et al. Molecular identification keys for cultivars and lines of *Cornus florida* and *C. kousa* based on Simple Sequence Repeat Loci[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 2008, 133(6): 783-793.
- [18] FU X X, LIU H N, ZHOU X D, et al. Seed dormancy mechanism and dormancy breaking techniques for *Cornus kousa* var. *chinensis* [J]. Seed Science and Technology, 2013, 41(3): 458-463.
- [19] FU X X, LIU H N, XU J, et al. Primary metabolite mobilization and hormonal regulation during seed dormancy release in *Cornus japonica* var. *chinensis* [J]. Scandinavian Journal of Forest Research, 2014, 29(6): 542-551.
- [20] SHARMA A R, TRIGIANO R N, WITTE W T, et al. In vitro adventitious rooting of *Cornus florida* microshoots[J]. Scientia Horticulturae, 2005, 103(3): 381-385.
- [21] 王吴伟,杨 玲,鲁 强,等.盐胁迫对大花四照花种子萌发与幼苗生长的影响[J].南京林业大学学报(自然科学版),2020,207(3):93-98.
- [22] 鲁 强,杨 玲,王吴伟,等.秀丽四照花光合特性和叶绿体超微结构的盐胁迫响应[J].南京林业大学学报(自然科学版),2020,44(4):29-36.
- [23] 刘国华,周兴元,杨士虎.盐胁迫对3种四照花属植物生理特性的影响[J].西部林业科学,2018,47(2):59-64.
- [24] 彭 诚,易咏梅.低温胁迫对狭叶四照花苗木的生理影响[J].湖北农业科学,2007(5):777-778.
- [25] 彭 诚,易咏梅.冷冻胁迫对狭叶四照花苗丙二醛等生理特性的影响[J].湖北民族学院学报(自然科学版),2007,25(2):192-194.
- [26] LU Q, XU J, FU X, et al. Physiological and growth responses of two dogwoods to short-term drought stress and re-watering [J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 40(2)50-54.
- [27] 邹 琦.植物生理学实验指导[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [28] 张志良,瞿伟菁,李小方.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2009.
- [29] 邵怡若,许建新,薛 立,等.5种绿化树种幼苗对干旱胁迫和复水的生理响应[J].生态科学,2013,32(4):420-428.
- [30] 武燕奇,郭素娟.5个板栗品种对干旱胁迫的生理响应及抗旱性评价[J].东北林业大学学报,2017,45(1):20-24,29.
- [31] 苏寒之,金建邦,祝遵凌.干旱胁迫对北美红栎幼苗生理特性的影响[J].东北林业大学学报,2014,42(8):34-39.
- [32] 张 俊,刘 娟,臧秀旺,等.不同生育时期水分胁迫对花生生长发育和产量的影响[J].中国农学通报,2015,31(24):93-98.
- [33] 白向历,孙世贤,杨国航,等.不同生育时期水分胁迫对玉米产量及生长发育的影响[J].玉米科学,2009,17(2):60-63.
- [34] 吴 顺,张雪芹,蔡 燕.干旱胁迫对黄瓜幼苗叶绿素含量和光合特性的影响[J].中国农学通报,2014,30(1):133-137.
- [35] 李佩佩,李 毅,苏世平,等.抗旱优良红砂家系的早期选择与评价[J].干旱区研究,2020,37(3):169-177.
- [36] 曲小菲,吕淑敏,王林华,等.不同抗旱性小麦品种对干旱胁迫的响应及NO的调节作用[J].农业科学与技术(英文版),2010,11(4):30-33,63.
- [37] 王道杰,桂月靖,杨翠玲,等.油菜抗旱性及鉴定方法与指标Ⅲ油菜苗期抗旱性及鉴定指标筛选[J].西北农业学报,2012,21(5):108-113.
- [38] 努尔凯麦尔·木拉提,杨亚杰,帕尔哈提·阿布都克日木,等.小麦叶绿素含量测定方法比较[J].江苏农业科学,2021,49(9):156-159.