

## 淹水对金叶冬青叶片色差及生理生化因子的影响

周余华, 顾敏敏 (江苏农林职业技术学院, 江苏镇江 212400)

**摘要** [目的]为深入研究金叶冬青的耐涝性提供基础理论。[方法]以2年生金叶冬青扦插苗为试材,盆栽模拟淹水胁迫,对金叶冬青叶片形态及生理生化指标进行研究。[结果]淹水对金叶冬青的叶色和生理生化指标有较大影响,随着淹水胁迫时间的延长,金叶冬青叶片颜色变暗;叶绿素含量处于平缓—略增加的状态;叶片的初始荧光( $F_o$ )明显下降,最大荧光( $F_m$ )、PSII最大光化学效率 $F_v/F_m$ 、PSII潜在光化学活性 $F_v/F_o$ 均呈降低趋势;可溶性糖、可溶性蛋白和丙二醛(MDA)含量逐渐上升。[结论]金叶冬青对淹水的适应能力较强。

**关键词** 淹水;金叶冬青;色差;生理生化指标

**中图分类号** Q945.78 **文献标识码** A

**文章编号** 0517-6611(2021)12-0107-05

**doi**:10.3969/j.issn.0517-6611.2021.12.027



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Effects of Flooding on Color Difference and Physiological and Biochemical Indexes of *Ilex cornuta* 'Oigon' Leaves

ZHOU Yu-hua, GU Min-min (Jiangsu Polytechnic College of Agriculture and Forestry, Zhenjiang, Jiangsu 212400)

**Abstract** [Objective] To provide a basic theory for further study on waterlogging tolerance of *Ilex cornuta* 'Oigon'. [Method] Taking two years old *Ilex cornuta* 'Oigon' cuttings as test materials, the morphological, physiological and biochemical indexes of *Ilex cornuta* 'Oigon' cuttings were studied by pot experiments under simulated flooding stress. [Result] The results showed that the effects of waterflooding on leaf color and physiological and biochemical indexes were significant. With the prolongation of flooding time, the color of its leaves became dark, and the content of chlorophyll was in a mild and slightly increased state. The initial fluorescence  $F_o$  of leaves decreased obviously, and the maximum fluorescence  $F_m$ , PSII maximum photochemical efficiency  $F_v/F_m$ , PSII potential photochemical activity  $F_v/F_o$  decreased obviously. The content of soluble sugar, soluble protein and MDA increased gradually. [Conclusion] It is indicated that the adaptability of it to flooding is stronger.

**Key words** Water flooding; *Ilex cornuta* 'Oigon'; Chromatic aberration; Physiological and biochemical indexes

金叶冬青(*Ilex cornuta* 'Oigon')是冬青属常绿小灌木,单叶互生,叶缘疏生小刺。一年四季叶片都保持金黄色,适用于花园、广场和其他绿化区域内种植。金叶冬青作为新推出的一个花园色叶植物品种,耐寒,耐修剪,可以修剪成球状、塔状、层状等特殊造型,在造景方面可以和其他植物相配置,可丛植或孤植,是具有良好发展前景的常绿彩叶植物<sup>[1]</sup>。

目前被发现和引进的冬青属植物在我国有25%左右。在我国药用价值是冬青属植物现阶段的主要研究方向<sup>[2]</sup>。尽管近年来植物界对冬青属植物的园林应用价值较为关注,但仍有较多不足之处。能够科学并合理地进行园林应用的植物品种只有冬青、豆瓣冬青等少数品种,与国外相比较,对冬青属植物的研究仍远远不够<sup>[3]</sup>。

近年来,城市园林发展比较乐观,但是恶劣的环境条件是由来已久的问题,对园林植物的影响很大,对全人类来说,最具破坏力的自然灾害包括洪涝灾害。据联合国粮农组织和国际土壤学协会绘制的世界土壤图,全球约12%的土壤常年处于过湿状态<sup>[4]</sup>。目前,关于植物的水分胁迫研究较多,而与金叶冬青淹水胁迫有关的研究报道却较少。任贵军<sup>[5]</sup>研究表明,淹水胁迫下银杏叶片的叶绿素含量不断降低,初始荧光( $F_o$ )明显上升,最大荧光( $F_m$ )、可变荧光( $F_v$ )、 $F_v/F_m$ 、 $F_v/F_o$ 均表现为显著降低的趋势;蔡金峰<sup>[6]</sup>研究发现,涝渍胁迫下,乌桕叶片的丙二醛(MDA)含量随淹水时间的持续

而逐渐增加。彭秀等<sup>[7]</sup>和王义强等<sup>[8]</sup>研究表明,在淹水条件下,中华蚊母、银杏的可溶性总糖含量在试验前期呈上升趋势,试验后期处于下降状态。笔者试图在淹水胁迫条件下,对金叶冬青的叶片色差及生理特性进行研究,以期为金叶冬青耐涝性的深入研究提供理论依据。

### 1 材料与方法

**1.1 试验材料** 试材为金叶冬青。选取生长旺盛、长势一致的2年生金叶冬青扦插幼苗30株,3组重复,移至带托盘的花盆中(花盆直径22cm、高19cm)。胁迫处理前,维持金叶冬青正常生长。

**1.2 试验处理** 2018年10月7日起进行试验(表1),设置淹水水面位于根颈2cm。淹水处理采用“双套盆法”<sup>[9]</sup>,即在塑料桶内放入栽有2年生金叶冬青扦插苗的花盆,定期续水,保证2cm的淹水深度。测定时间为12:00,每隔5d测定1次,直至叶片无法采样。选取生长点下第3~5片叶进行相关指标的测定,同时采集植株中上部的叶片,快速放置于有冰块的保鲜箱内,并迅速置于超低温冰箱保存,用于测定渗透调节物质和MDA的含量。试验区位于通风、光照良好的开阔场地,设置雨棚,防止淋雨对试验造成影响。

### 1.3 测定指标与方法

**1.3.1 色差测定。** 选用CM-700 d/600 d分光测色计,第1次测出的数据作为标准色,之后的数据则为对比色,主要测定 $\Delta L$ 、 $\Delta a$ 、 $\Delta b$ 、总色差( $\Delta E_{ab}$ )等指标。

**1.3.2 荧光测定。** 选用Handy PEA高速连续激发式荧光仪,对叶绿素的荧光参数进行测定。对待测金叶冬青叶片进行30min暗反应后,测定 $F_o$ 、 $F_m$ 、 $F_v/F_m$ 以及 $F_v/F_o$ 。

**基金项目** 江苏省林业科技创新与推广项目(LYKJ[2018]07);江苏农林职业技术学院“几种乡土彩色林木筛选及高效培育”(2017kj10)。

**作者简介** 周余华(1964—),男,江苏泰兴人,副教授,博士,从事园林植物的教学、生产研究。

**收稿日期** 2020-09-23

表1 试验日期及对应试验天数

Table 1 Test date and corresponding test days

序号 No.	测定日期 Date of determination	天数 Days
1	10-07	第1天
2	10-12	第6天
3	10-17	第11天
4	10-23	第17天
5	10-29	第23天
6	11-03	第28天
7	11-09	第34天
8	11-14	第39天
9	11-19	第44天
10	11-24	第49天
11	11-29	第54天
12	12-05	第60天
13	12-12	第67天
14	12-17	第72天
15	12-23	第78天
16	12-29	第84天

**1.3.3 光谱测定。**选用 Unispec-SC 型光谱分析仪,测定  $R_{640}$ 、 $R_{700}$  和  $R_{800}$  等参数值,依据叶片反射指标计算叶绿素的含量。

**1.3.4 可溶性糖、可溶性蛋白质含量的测定。**可溶性糖含量测定采用蒽酮法,可溶性蛋白质含量测定采用考马斯亮蓝法<sup>[10]</sup>。试验仪器:梅特勒 ML204 型万分之一天平;美国 MD

SpectraMax 190 波长酶标仪。①可溶性糖含量的测定步骤:分别在若干只 20 mL 试管内,加入 0、0.4、0.8、1.0、1.2、1.6、2.0 mL 100  $\mu\text{g}/\text{mL}$  蔗糖,补水至 2 mL,按先后加入 0.5 mL 蒽酮-乙酸乙酯、5 mL 浓  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,进行 1 min 沸水浴,冷却,空白为对照,630 nm 处测定吸光度<sup>[11]</sup>。②可溶性蛋白质含量的测定步骤:取 100  $\mu\text{g}/\text{mL}$  标准蛋白液 0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mL,补水至 1.0 mL,分别加入考马斯亮蓝溶液 5.0 mL,摇匀 2 min,空白为对照,595 nm 处测定吸光度<sup>[12]</sup>。

**1.3.5 MDA 含量的测定。**试剂盒法测定 MDA,测定步骤:①取液(mL)比例为 1:5~1:10,冰浴,8 000 r/min、4  $^{\circ}\text{C}$  离心 10 min,取上清液,置于冰上;②在 1.5 mL 离心管中加 0.3 mL 试剂,再吸取样本 0.1 mL,摇匀;③95  $^{\circ}\text{C}$  沸水浴 30 min,取出,冰水冷却,10 000 r/min,离心 10 min,200  $\mu\text{L}$  的上清置 96 孔板,532 nm、600 nm 处蒸馏水调零,测定吸光度<sup>[13]</sup>。

**1.4 数据统计与处理** 运用 Excel 进行数据统计与分析。

## 2 结果与分析

**2.1 淹水对金叶冬青叶片色差的影响** 从图 1 可以看出,随着金叶冬青淹水胁迫的延长,叶片的颜色由最初的金黄色,渐渐变红,最后至红褐色。从第 1 天到第 23 天,叶片的色彩逐渐变深,但是在第 39 天之后植株的叶色变化不如之前明显。

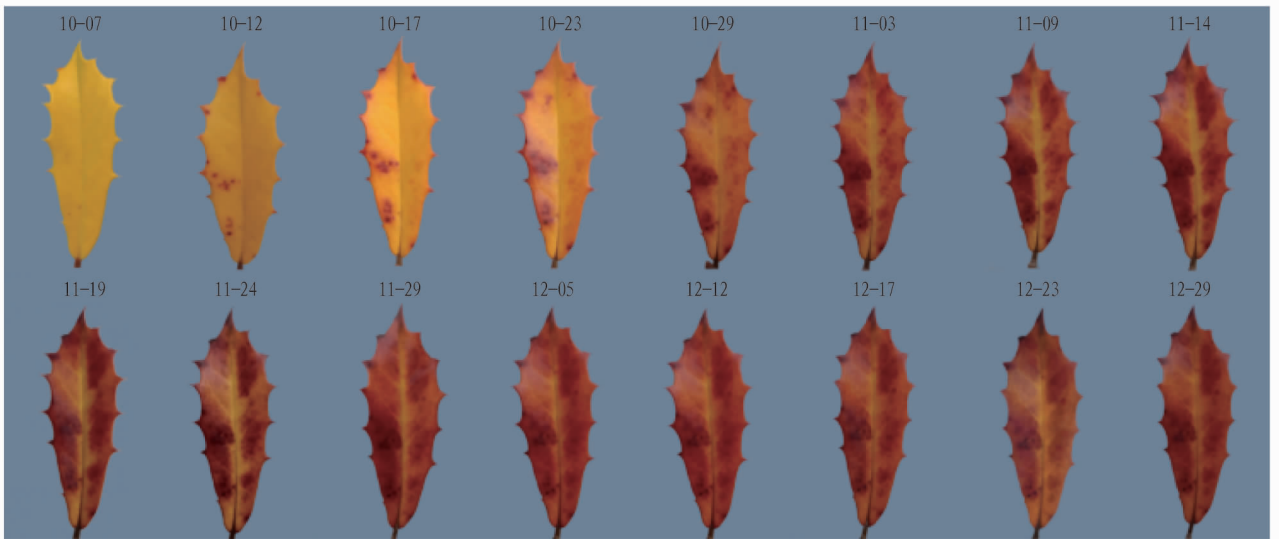


图1 淹水胁迫下金叶冬青叶片色彩的变化

Fig. 1 Changes of leaf color of *Ilex cornuta* 'Oigon' under flooding stress

Lab 色能够感知并测量任何颜色,亦可以利用  $\Delta L$ 、 $\Delta a$ 、 $\Delta b$  和  $\Delta E_{ab}$  表示标准样与测试样的色差<sup>[14]</sup>。从图 2 可以看出, $\Delta L$ 、 $\Delta a$ 、 $\Delta b$  三者的值在 10 月 17 日(第 11 天)前变化很小,说明在 11 d 内,金叶冬青对淹水较适应;从第 11 天后到 10 月 29 日(第 23 天)急剧变化,说明淹水已经对金叶冬青产生明显的影响,在这 12 d 中,表明淹水已经影响到金叶冬青正常的生理活动;从第 23 天之后,金叶冬青的叶色再次趋于稳定,说明金叶冬青已经处于淹水的伤害中。

**$\Delta a$  的变化:**淹水胁迫对  $\Delta a$  的影响总体上不大,且变化相对平缓。 $\Delta a$  的值始终大于 0,表明随着淹水天数的延长,金叶冬青的叶片逐渐变红。且第 17 天的  $\Delta a$  是第 11 天的 6 倍多,在第 23 天之前淹水条件对金叶冬青的影响较大,之后

$\Delta a$  趋于平缓。

**$\Delta L$ 、 $\Delta b$  的变化:**淹水胁迫对  $\Delta L$ 、 $\Delta b$  的影响较大,第 23 天之后变化幅度较小。 $\Delta L$ 、 $\Delta b$  总体为负增长,表明随着胁迫时间的延长,叶片颜色偏黑和偏蓝。第 6 天均为负值,第 11 天均为正值,之后为负值,且不断负增长,第 11 天至第 23 天变化明显,分别降低了 9.5、8.3 倍。

**$\Delta E_{ab}$  的变化:**从图 3 可以看出,随着淹水时间的延长,金叶冬青叶片的  $\Delta E_{ab}$  变化较大,呈直线上升趋势。第 11 天到第 23 天  $\Delta E_{ab}$  直线上升,增加了 6.3 倍,这可能是金叶冬青苗木受到淹水胁迫的影响,从而表现出叶片色彩的变化。第 23 天之后,叶片总色差变化总体上呈波浪起伏,相对缓慢的增大。

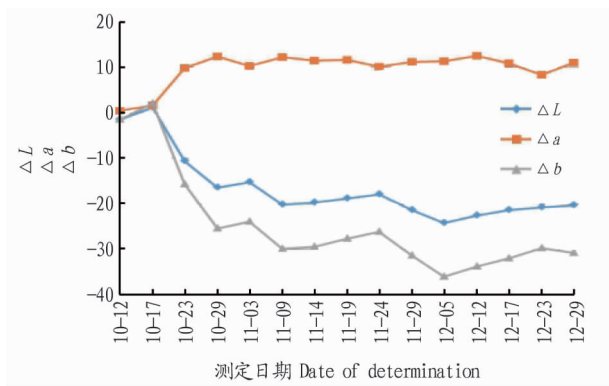


图2 淹水胁迫下金叶冬青叶片  $\Delta L$ 、 $\Delta a$ 、 $\Delta b$  的变化

Fig.2 Changes of  $\Delta L$ ,  $\Delta a$ ,  $\Delta b$  of *Ilex cornuta* 'Oigon' under flooding stress

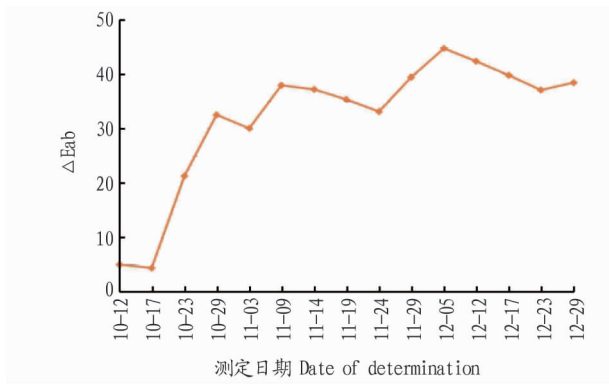


图3 淹水胁迫下金叶冬青叶片  $\Delta Eab$  的变化

Fig.3 Changes of  $\Delta Eab$  of *Ilex cornuta* 'Oigon' under flooding stress

## 2.2 淹水对金叶冬青叶片荧光特性的影响

**2.2.1 淹水对金叶冬青叶片  $F_o$ 、 $F_m$  的影响。**从图4可见,在试验次数增加的情况下,金叶冬青叶片的  $F_o$  总体呈大幅下降趋势。至第23天  $F_o$  降低了58.6%,表明金叶冬青对淹水胁迫较敏感,但是之后  $F_o$  反而略上升,说明金叶冬青通过自身的调节减少了淹水胁迫对PSII反应中心的破坏程度<sup>[15]</sup>。而金叶冬青叶片  $F_m$  呈下降趋势,至第23天  $F_m$  下降了75.8%,第23天之后则呈相对平稳的状态。第23天后  $F_m$  与  $F_o$  趋于接近,表明PSII反应中心完全开放和关闭时的荧光产量几乎相同,其受到了明显破坏。

**2.2.2 淹水对金叶冬青叶片  $F_v/F_o$ 、 $F_v/F_m$  的影响。** $F_v/F_o$  可以作为胁迫条件测定光化学反应状况一项重要指标。 $F_v/F_m$  对金叶冬青的叶片来说,在光合作用的利用方面起着决定性作用,这2个参数对于研究金叶冬青受淹水胁迫的影响是否显著至关重要<sup>[16-18]</sup>。

由图5可知,第1天至第34天金叶冬青叶片  $F_v/F_o$  与  $F_v/F_m$  呈现直线下降趋势,分别降低了86.5%、75.1%,表明淹水条件对金叶冬青的生长产生了较大影响。同时,淹水胁迫下金叶冬青的PSII反应中心产生不可逆转的损伤,阻碍了叶片的光合过程。第34天之后,二者均明显提高。第44天至第49天,2个参数分别上升了6.9、3.2倍;第49天至第54天,2个值分别下降79%、63%。出现这种情况可能是由于受

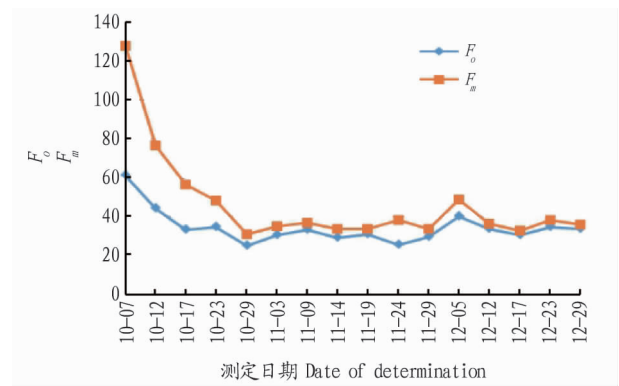


图4 淹水胁迫下金叶冬青叶片  $F_o$ 、 $F_m$  的变化

Fig.4 Changes of  $F_o$  and  $F_m$  of *Ilex cornuta* 'Oigon' under flooding stress

到天气的影响,其他测定时期所得到的  $F_v/F_o$ 、 $F_v/F_m$  均趋于平稳且波动幅度不大,但是2个指标均达到最小值,这说明虽然金叶冬青对淹水胁迫产生了耐受性,但是反应中心受到严重破坏。

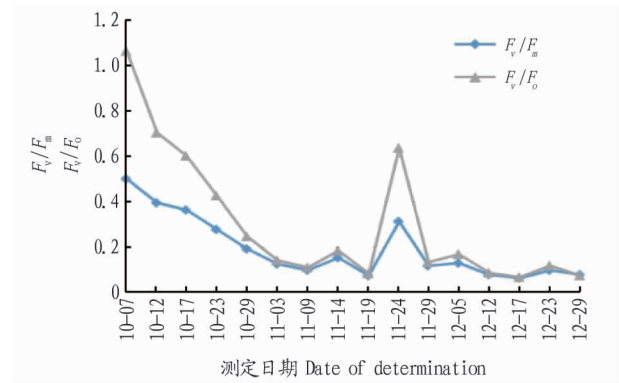


图5 淹水胁迫下金叶冬青  $F_v/F_o$ 、 $F_v/F_m$  的变化

Fig.5 Changes of  $F_v/F_o$  and  $F_v/F_m$  of *Ilex cornuta* 'Oigon' under flooding stress

**2.3 淹水对金叶冬青叶绿素含量的影响**  $R_{800}/R_{640}$  和  $R_{800}/R_{700}$  与叶绿素含量呈正相关。从图6可以看出,叶绿素含量变化处于平缓—略增加的状态,叶绿素含量变化不明显,说明一定的淹水条件能够使叶绿素含量增加,光合作用增强。但是,第28天和第67天测定的数据很明显地高于其他的试验数据,第23天和第28天  $R_{800}/R_{640}$  分别上升和下降了76.3%、37.2%, $R_{800}/R_{700}$  的值分别上升和下降了36.4%、26.2%;第60天和第67天  $R_{800}/R_{640}$  分别上升和下降了33.7%、33.4%, $R_{800}/R_{700}$  分别上升和下降了37.5%、30.4%。第28天和第67天出现突然增加的原因可能是气候条件或天气状况等不确定因素,不利于金叶冬青的生长,此外水胁迫对其生长状况亦造成不良影响,金叶冬青为抵抗不良因素,使得叶绿素含量增加。

**2.4 淹水对金叶冬青叶片可溶性糖和可溶性蛋白含量的影响** 可溶性糖和可溶性蛋白二者均通过渗透调节来降低水势,维持细胞的正常代谢<sup>[19-20]</sup>。

由图7可知,金叶冬青在淹水胁迫下,随着天数的延长叶片可溶性糖含量呈缓慢上升趋势,表现为升降的规律性变



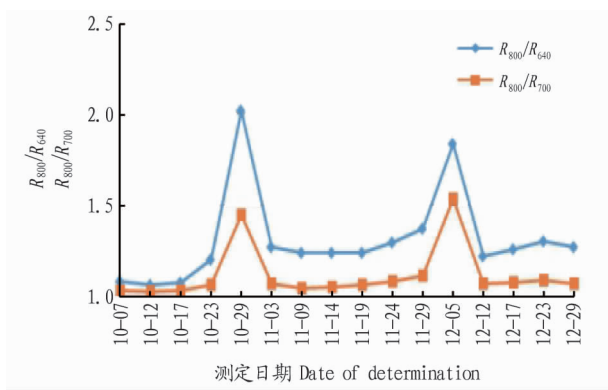


图6 淹水胁迫下金叶冬青叶片  $R_{800}/R_{640}$ 、 $R_{800}/R_{700}$  的变化

Fig.6 Changes of  $R_{800}/R_{640}$  and  $R_{800}/R_{700}$  of *Ilex cornuta* 'Oigon' under flooding stress

化。第1天至第6天可溶性糖含量变化较明显,升高了46.1%,第11天至第84天仅增加了20.0%,增长较为平缓。由此说明,淹水胁迫对可溶性糖含量具有一定积累作用,这也是适应淹水胁迫的结果。

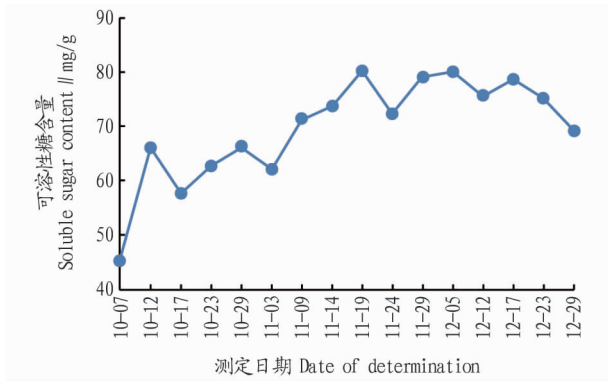


图7 淹水胁迫下金叶冬青叶片可溶性糖含量的变化

Fig.7 Changes of soluble sugar content of *Ilex cornuta* 'Oigon' under flooding stress

图8显示,金叶冬青叶片可溶性蛋白含量表现为升—降的规律性变化,大致呈上升趋势,第60天与第67天相比下降了32.0%。因此,淹水胁迫对金叶冬青叶片产生了严重影响,促进了金叶冬青叶片的蛋白质合成。

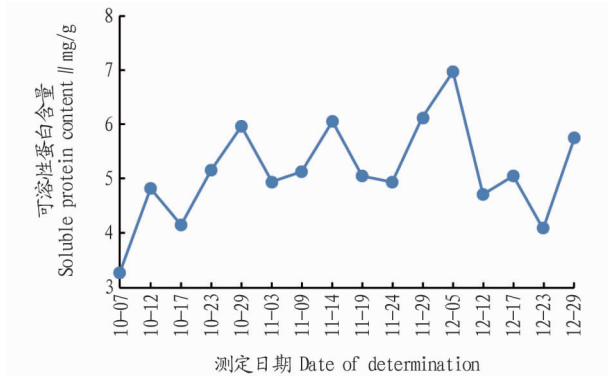


图8 淹水胁迫下金叶冬青叶片可溶性蛋白含量的变化

Fig.8 Changes of soluble protein content of *Ilex cornuta* 'Oigon' under flooding stress

2.5 淹水对金叶冬青叶片MDA含量的影响 MDA是衡量

植株受损害程度的重要指标,对研究淹水胁迫有重要意义<sup>[21]</sup>。从图9可以看出,第1天至第60天MDA含量呈波动上升,波动幅度较稳定。第72天至第84天,MDA含量波动较大。第72天至第78天,MDA含量增加了47.5%;第78天至第84天,下降了42.6%,上升和下降的幅度很大。因此,金叶冬青在前12次的试验过程中,MDA含量变化波动不大,表明金叶冬青受到了涝渍环境的影响,使MDA含量有规律的增加,且这种影响在忍受范围内。第67天测定之后,MDA含量波动大,可能是由于金叶冬青为了抵御淹水条件,产生的消极影响比较强烈。

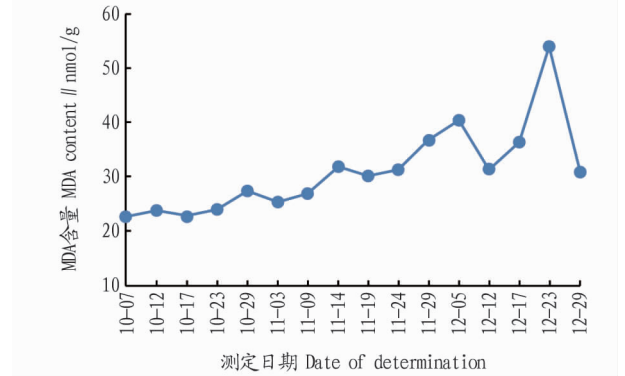


图9 淹水胁迫下金叶冬青叶片MDA含量的变化

Fig.9 Changes of MDA content of *Ilex cornuta* 'Oigon' under flooding stress

### 3 结论与讨论

3.1 结论 该研究表明,金叶冬青淹水胁迫采用双套盆法,分析淹水胁迫下2年生金叶冬青的叶片色差、叶绿素含量、荧光特性、渗透调节物质及MDA等相关指标的变化。通过84d淹水胁迫,随着胁迫不断持续,金叶冬青叶片颜色变暗,叶片的 $F_o$ 、 $F_m$ 、 $F_v/F_o$ 与 $F_v/F_m$ 直线下降,直至10月29日(第23天)后各值趋于平稳,说明在第23天前,淹水胁迫对金叶冬青叶片的形态色泽、生理因子有较大影响,这一时期内,金叶冬青受到淹水影响,植株生活力不断降低。可溶性糖、可溶性蛋白质和MDA含量整体呈上升趋势;可溶性糖、可溶性蛋白质在前6d不断增加,表明金叶冬青积极抵御淹水胁迫的不良影响,植株对淹水胁迫环境作出响应并进行自我调节;MDA含量在10月29日(第23天)前总体变化平稳,之后有较明显的上升趋势,说明随淹水胁迫的不断持续,对金叶冬青的伤害也愈趋明显。叶绿素含量处于平缓的增加状态,表明一定的淹水条件能使叶绿素含量增加。

综上,在淹水条件下金叶冬青叶片的色差和各相关生理指标受到影响,并且随着淹水胁迫的持续进行,金叶冬青所受损伤处于不断加重状态。经过84d的淹水胁迫试验,金叶冬青仍处于存活状态。因此,金叶冬青作为城市园林绿化新引进的彩叶树种具有一定的耐涝能力,可以适应较长时间的淹水胁迫,然而长时间的淹水会对其生长造成严重的抑制作用。

3.2 讨论 淹水胁迫通常会使得植物叶片叶绿素含量降低,如不结球白菜叶绿素含量明显下降<sup>[22]</sup>。然而有些植物在淹水条件下能合成叶绿素,使得叶绿素含量增大<sup>[23]</sup>。淹水胁迫

下,丁香<sup>[24]</sup>和烟草<sup>[25]</sup>的叶绿素含量上升,MDA、可溶性糖含量增大,这与该研究结果相一致。由于该试验处于相对理想的环境条件,金叶冬青的耐涝性可能会随着外界环境条件的变化而发生改变,该试验叶绿素含量并不是通过试验提取获得,仅仅通过计算绘制出其变化趋势,因此可能存在偏差。Perata 等<sup>[26]</sup>研究了拟南芥抗洪性的自然变异,结果表明,拟南芥的抗洪性与水分胁迫下的叶柄生长呈负相关,且与淀粉和可溶性糖的初始量无关。以上情况对试验结果有着直接影响,可能会带来耐涝性的差异,因此,今后有必要针对金叶冬青开展相关研究。

## 参考文献

- [1] 周余华,蒋涛,彭方仁,等.金叶冬青扦插育苗技术规程[J].现代农业科技,2014(20):159-160.
- [2] 李玉昌,李阳生,李绍清.淹涝胁迫对水稻生长发育危害与耐淹性机理研究的进展[J].中国水稻科学,1998,12(S1):70-76.
- [3] 刘洋,张璐,姜艳娟.冬青属植物分类学及园艺应用研究进展[J].北方园艺,2015(12):183-189.
- [4] 李冬玲,付晖,任全进,等.中国华东地区冬青属药用植物资源调查[J].中国野生植物资源,2003,22(1):22-24.
- [5] 任贵军.淹水胁迫对银杏叶绿素含量及荧光特性的影响[J].辽宁林业科技,2018(4):38-40.
- [6] 蔡金峰.淹水胁迫对乌桕幼苗生长及生理特性的影响[D].南京:南京林业大学,2008.
- [7] 彭秀,肖千文,罗切,等.淹水胁迫对中华蚊母生理生化特性的影响[J].四川林业科技,2006,27(2):17-20.
- [8] 王义强,谷文众,姚水攀,等.淹水胁迫下银杏主要生化指标的变化[J].中南林学院学报,2005,25(4):78-80,85.
- [9] 陈强,郭修武,胡艳丽,等.淹水对两种甜樱桃砧木根系无氧呼吸酶及发酵产物的影响[J].生态学报,2007,27(11):4925-4931.
- [10] 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,

2006:202-204.

- [11] 刘萍.烟叶增香细菌的筛选及其对烟叶品质影响的研究[D].泰安:山东农业大学,2003.
- [12] 石溪娟.四种绣线菊根系对混合盐碱胁迫的生理响应研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2010.
- [13] 李晓丹.杉树种子萌发期耐淹性资源挖掘及关联分析[D].南京:南京农业大学,2016.
- [14] 秦晓辉.美拉德反应制备珠蚌抗氧化肽及其性质研究[D].南昌:南昌大学,2014.
- [15] 白杰.3 种果树对塔里木盆地光环境的适应性及其水分利用效率研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2010.
- [16] 林惠鸿,韦娇媚,朱积余,等.水分胁迫下柚木叶绿素荧光动力学特性[J].广西林业科学,2015,44(3):239-243.
- [17] 王可珍,许春辉,赵福洪,等.水分胁迫对小麦旗叶某些体内叶绿素 a 荧光参数的影响[J].生物物理学报,1997,13(2):273-278.
- [18] 张其德,卢从明,冯丽洁,等.CO<sub>2</sub> 加富对紫花苜蓿光合作用原初光能转换的影响[J].植物学报,1996,38(1):77-82.
- [19] 王娟.淹水对牡丹生理特性的影响[J].生态学杂志,2015,34(12):3341-3347.
- [20] 王华,侯瑞贤,李晓峰,等.淹水胁迫对不结球白菜渗透调节物质含量的影响[J].植物生理学报,2013,49(1):29-33.
- [21] 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.
- [22] 郭欣欣.淹水胁迫对不结球白菜光合特性及根系生长的影响[D].南京:南京农业大学,2015.
- [23] PEZESHKI S R, PARDUE J H, DELAUNE R D. Leaf gas exchange and growth of flood-tolerant and flood-sensitive tree species under low soil redox conditions[J]. Tree physiolog, 1996, 16(4):453-458.
- [24] 常春丽,王展,王晶英.淹水胁迫对丁香幼苗形态及生理特性的影响[J].北方园艺,2018(17):105-110.
- [25] 曾淑华,刘飞虎,覃鹏,等.淹水对烟草生理指标的影响[J].烟草科技,2004,37(1):36-38.
- [26] PERATA P, ARMSTRONG W, VOESENEK L A C J. Plants and flooding stress[J]. New phytologist 2011, 190(2):269-273.

(上接第 106 页)

一,能直观地衡量复壮效果<sup>[10-11]</sup>。



图 7 复壮后黄葛古树生境状况(2019 年)

Fig.7 Habitat statuses of ancient *Ficus virens* (2019)

(3)通过跟踪调查,发现采取复壮措施后,2 株古树生长势已有明显改善。在光合作用方面,2 株黄葛古树 CO<sub>2</sub> 日同化量均呈持续增长趋势,增长幅度达 72.58% 以上,最高可达 141.87%,说明复壮后生长量显著增加,最终表现在新生梢枝条长度、叶片数量和干物质量等指标。复壮后,叶绿素相对含量总体显著提升,光合作用有效面积显著增加,导致植物干物质积累迅速,各项指标均有利于提高净光合速率,树木

生长势趋于正常水平。

(4)通过根际土壤改良,龙都路 50 号 2 株黄葛古树生长状况得到明显改善,但更值得人们反思的是在古树周边开展城市基础设施建设或重点打造古树景观时,不应该贪图施工便利、追求利益等人为破坏古树生长环境,必须留足生长空间;古树管护单位应该加强对施工单位进行监管,出现问题时要及时处理。

## 参考文献

- [1] 重庆市园林局,重庆市风暴园林学会.园林景观规划设计师(风景园林师)培训教材(试用):园林植物及生态[M].北京:中国建筑工业出版社,2007:37.
- [2] 刘磊,李旖旎,夏磊,等.重庆地区黄葛树夏季光合日变化与主要环境因子的关系[J].西南师范大学学报(自然科学版),2013,38(3):120-126.
- [3] 刘红明,李进学,杜玉霞,等.不同专用施肥水平对柠檬幼树光合生理特性的影响[J].中国土壤与肥料,2017(4):112-117.
- [4] 张晓杰.不同复壮措施对古樟树复壮效果的研究[D].南京:南京农业大学,2011.
- [5] 黄庆文.果树叶片近似叶面积计算公式[J].沈阳农业大学学报,1990,21(S1):5961.
- [6] 楼晓明,章银柯,俞青青.古树保护复壮技术探讨:以杭州西湖 4 棵古树为例[J].现代园艺,2019,42(23):204205.
- [7] 汤珧华,潘建萍,邹福生,等.上海松柏古树生长与土壤肥力因子的关系[J].植物营养与肥料学报,2017,23(5):14021408.
- [8] 程程.国槐古树光合特性和生理特性的研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2018:10-12.
- [9] 王巧,朱红,王华田,等.油松古树衰老过程中的生长与生理变化[J].山东大学学报(理学版),2016,51(5):2935.
- [10] 李晓亮,曹恒星,刘舰,等.文物景区古树精准复壮实践:以孟庙孟府景区古树为例[J].国土绿化,2020(8):53-56.
- [11] 陈峻崎.北京市古树健康评价研究[D].北京:北京林业大学,2014:1.