

三种常见校园园林植物干旱胁迫实验分析

徐进博¹, 李文博^{1,2*}

¹西藏农牧学院, 资源与环境学院, 西藏 林芝

²西藏农牧学院, 西藏人居环境研究中心, 西藏 林芝

收稿日期: 2023年5月15日; 录用日期: 2023年7月18日; 发布日期: 2023年7月27日

摘 要

为了选取抗旱能力较强的园林应用植物, 以校园内常见三种灌木——小蜡、金叶女贞和尼泊尔黄花木为实验材料, 使用干旱胁迫法处理, 分析所选树种的叶绿素含量、叶面积和土壤含水量的整体变化趋势及抗旱能力。研究表明: 随着干旱胁迫实验的进行, 三种植物的叶绿素含量均呈现不同程度的下降, 其中小蜡的叶绿素含量降低最为显著, 金叶女贞的叶绿素含量变化较小; 三种植物的叶面积指数均呈现下降趋势, 其中小蜡的叶面积指数变化最显著, 金叶女贞的叶面积指数变化最小; 三种植物的土壤含水量变化稍有不同, 小蜡的下降趋势最大, 尼泊尔黄花木次之, 金叶女贞稍有上升。经过隶属函数法分析得出结论: 三种植物的抗旱性是: 金叶女贞 > 尼泊尔黄花木 > 小蜡。

关键词

干旱胁迫, 园林植物, 叶绿素含量, 叶面积指数, 土壤含水量

Experimental Analysis on Drought Stress of Three Common Campus Garden Plants

Jinbo Xu¹, Wenbo Li^{1,2*}

¹College of Resources & Environment, Tibet Agriculture and Animal Husbandry University, Nyingchi Tibet

²Habitat Environment Research Center, Tibet Agriculture and Animal Husbandry University, Nyingchi Tibet

Received: May 15th, 2023; accepted: Jul. 18th, 2023; published: Jul. 27th, 2023

Abstract

In order to select plants with high drought resistance for garden applications, three common shrubs on campus, *Ligustrum sinense*, *Ligustrum × vicaryi*, and *Piptanthus nepalensis* were used

*通讯作者。

as experimental materials and drought stress treatment was used to analyze the changes in chlorophyll content, leaf area index, soil moisture content, and drought resistance of the selected species. The chlorophyll levels of all three species showed a decline during the drought stress experiment, with the most prominent reduction occurring in *Ligustrum sinense*, while the chlorophyll content of *Ligustrum × vicaryi* exhibited a comparatively smaller change. The leaf area index of all three plants exhibited a declining pattern, with the most pronounced difference observed in the leaf area index of *Ligustrum sinense* and the least in *Ligustrum × vicaryi*. The soil water content of the three plants varied slightly, with the *Ligustrum sinense* showing the greatest downward trend, followed by *Piptanthus nepalensis*, and the *Ligustrum × vicaryi* showing a slight increase. After analysis by affiliation function method, it was concluded that the drought resistance of the three plants was: *Ligustrum × vicaryi* > *Piptanthus nepalensis* > *Ligustrum sinense*.

Keywords

Drought Stress, Garden Plant, Chlorophyll Content, Leaf Area Index, Soil Water Content

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

1.1. 研究背景与意义

绿化是环境建设中的重要组成部分, 绿化植物的合理选择决定其生态效益的发挥程度[1], 因为水分是植物生长发育过程中不可缺少的一部分, 研究园林植物抗旱机理, 对于干旱少雨的地区园林植物选择具有重要意义, 对于现代园林绿化的发展具有促进作用。近些年来, 许多学者在园林植物抗旱性方面进行大量研究, 比如干旱胁迫对园林植物形态结构特征的影响、干旱胁迫对园林植物生长的影响、干旱胁迫下园林植物生理生化变化, 为园林植物更广泛的应用提供了有力的理论依据[2], 国际上对于合理利用植物资源, 把植物配置在合适的位置, 挖掘植物的潜力, 比如提高抗旱性的激素信号通路、研究不同组织对抗旱的响应、如何利用激素信号对植物进行抗旱性改良等。以上等几个方面说明现阶段国内外园林工作者对植物响应干旱的生理机制越来越重视。通过针对植物的干旱适应性进行实验, 可以筛选出适合在干旱少雨地区种植的植物品种, 通过这些实验, 可以研究植物在干旱环境下的适应机制, 掌握植物的生长习性, 比如耐旱、对干旱有一定的适应能力等, 进一步优化植物配置、选择适宜的植物材料, 降低园林绿化植物灌溉的用水量, 促进城市绿化事业的健康发展以及促进干旱地区水资源的合理利用与环境改善, 还可以帮助我们更好地了解干旱对生态环境和可持续发展的影响, 进而制定有效的应对干旱的策略和措施。而且, 干旱胁迫实验也有助于研究干旱事件对土壤质量、生物多样性、碳循环等方面的影响, 以及碳汇对抗全球变暖的作用, 为可持续发展提供数据基础和决策支持。目前关于此领域的研究较少, 植物抗旱性分析的研究仍需继续进行。可见, 研究绿化树种的生理特性随干旱胁迫的变化情况, 为园林植物应用提供理论指导与参考非常重要, 笔者选取了两种绿化常用的灌木, 小蜡、金叶女贞和尼泊尔黄花木三种灌木为试材, 研究在干旱胁迫下生理指标的变化情况, 希望可以为园林绿化植物的挑选与后续养护提供支持[1]。

1.2. 材料与实验方法

1.2.1. 实验材料

作者经过观察, 供试苗木选定西藏农牧学院校园内常见绿化植物和半野生植物, 分别为小蜡(*Ligustrum sinense*)是木犀科女贞属植物, 落叶灌木或小乔木, 生态习性为: 喜光, 温暖或高温湿润气候, 生活力强, 耐寒, 较耐瘠薄, 耐修剪, 不耐水湿, 土质以肥沃沙质壤土为佳, 是优美的木本花卉和园林风景树。金叶女贞(*Ligustrum × vicaryi*)是木犀科女贞属植物, 是美国加州的金边女贞与欧洲女贞树种杂交而成, 落叶灌木或小乔木, 生态习性为: 喜光植物, 耐阴性较差, 耐寒力适中, 适应性较强, 栽植在透气性良好, 土壤蓬松, 土质丰沃的沙质土地较好, 园林绿化中经常用于片植, 丛植, 或者做绿篱栽培使用。尼泊尔黄花木(*Piptanthus nepalensis*)是豆科黄花木属植物, 灌木, 观赏价值较高。上述植物取一年生短枝(10~15 cm)各 30 支, 实验用土为普通苗木树种地土壤。

1.2.2. 实验设计

实验于 2022 年 5 月~12 月在西藏农牧学院苗圃温室大棚进行, 三种植物的短枝自母株取下之后用生根粉溶液浸泡 4 小时, 之后扦插于花盆中, 每树种设置 5 个水分梯度进行处理, 每个水分梯度设置 3 盆共 45 盆扦插植株, 一盆扦插两株, 按照水分梯度顺序分别停水 0 d、7 d、14 d、21 d、28 d (分别记作 D0、D7、D14、D21、D28) [3], 干旱胁迫实验开始之前, 各水分梯度植物保持正常浇水, 5 d 1 次, 以保证植物正常生长发育的需要, 并且测量实验前土壤含水量、叶绿素含量与叶面积指数, 待根系长出完全后开始实验。2022 年 10 月 20 日胁迫实验开始, 实验要点: 每隔 7 d 对一个水分梯度停止浇水, 第 1 d (10 月 17 日)对第 1 个水分梯度(D28)停止浇水, 第 7 d (10 月 24 日)对第 2 个水分梯度(D21)停止浇水; 第 14 d (10 月 31 日)对第 3 个水分梯度(D14)停止浇水, 直到所有 5 个水分梯度胁迫完成(11 月 13 日), 则试验结束。从第 1 个水分梯度开始实验至到最后一个水分梯度实验完成形成了一个自然干旱状态下的水分处理梯度[3], 共计 5 个水分梯度处理(28 d), 测定胁迫实验结束后的叶绿素含量、土壤含水量、以及实验结束后植株的叶面积指数。注: 第 28 天对 D0 停止浇水, D0 一直处于正常浇水状态下, 所以 D0 可视作对照组。

1.2.3. 实验步骤及主要影响因素分析

1 植物选取: 选取校园内常见园林植物: 小蜡、尼泊尔黄花木和金叶女贞, 截取 10~15 cm 生长状况良好的短枝。

2 植物处理: 所截取用生根粉溶液浸泡 4 h。

3 扦插: 每种植物 15 盆, 每水分梯度 3 盆, 每盆扦插 2 株。

4 植物生长: 前期保持正常浇水, 5 d 一次。

5 开始试验: 实验前测量植物处于正常状态下的叶绿素含量, 叶面积指数和土壤含水量, 实验 5 个水分梯度分别停水 0 d、7 d、14 d、21 d、28 d (分别记作 D0、D7、D14、D21、D28)。

6 数据测量: 分别测量每个水分梯度的每种植物的叶绿素含量, 叶面积指数, 土壤含水量。

7 数据处理: 采用隶属函数法对所测数据进行处理。

在植株扦插后的生长过程中以及实验过程中, 因为植株全程种植于花盆之中, 所以土地的温度与含水量对实验的影响很小, 实验的主要影响因素为温室大棚室内的温度与空气湿度。

1.3. 试验指标测定及方法

测试指标为叶绿素含量、叶面积和土壤含水量, 叶绿素含量测定使用便携带手持式叶绿素检测仪, 叶面积大小测量使用便携扫描拍照式叶面积测量仪, 土壤含水量测量使用便携式多参数土壤速测仪。

1.4. 数据处理

数据采用 Excel 2019 进行数据分析与制表, 所用植物抗旱能力的综合评价使用模糊隶属函数法, 将某种植物的每项生理指标转换成隶属函数值, 首先, 计算一种植物的每项测量值的隶属函数值, 其次, 计算这种植物各项隶属函数值的平均数, 最后, 对每种植物的平均数排序, 平均数越大, 抗旱能力越强, 反之亦然[4]。计算公式如下:

$$Z(a) = \frac{Z - Z_{\min}}{Z_{\max} - Z_{\min}} \quad (\text{植物指标与抗旱性为正相关}) \quad (\text{公式 1})$$

$$Z(a) = 1 - \frac{Z - Z_{\min}}{Z_{\max} - Z_{\min}} \quad (\text{植物指标与抗旱性为负相关}) \quad (\text{公式 2})$$

公式中, $Z(a)$ 表示 a 植物某一测量指标的隶属函数值, Z 表示 a 植物某一测量指标的测定值, $Z_{\max}$ 和 $Z_{\min}$ 分别表示 a 植物中相应指标测定值中的最大值和最小值[5]。

2. 数据分析

2.1. 结果与分析

2.1.1. 不同干旱胁迫程度下对不同树种土壤含水量的影响

检测土壤水分的变化可以掌握植物对水分的需求, 是对植物种植、扦插等有重要意义的指示信息。从图 1 可以看出随着干旱胁迫实验的进行, 三种植物的土壤含水量整体上都呈现下降的趋势, 但是综合实验前后土壤含水量对比来看小蜡胁迫过程中变化幅度较大, 且 D14 胁迫后土壤含水量大于胁迫前土壤含水量。尼泊尔黄花木在胁迫过程中整体变化幅度较为平滑, 随着胁迫的进行试验后的土壤含水量对比实验前的土壤含水量均呈现下降趋势, 金叶女贞土壤含水量整体变化幅度较小。实验结束后, 从第 D0 到 D28 金叶女贞土壤含水量不断减少, 尼泊尔黄花木的土壤含水量先减少后增加, 小蜡则是先增加再减少 D28 时又有增加, 由此可知, 土壤含水量变化: 小蜡 > 尼泊尔黄花木 > 金叶女贞。

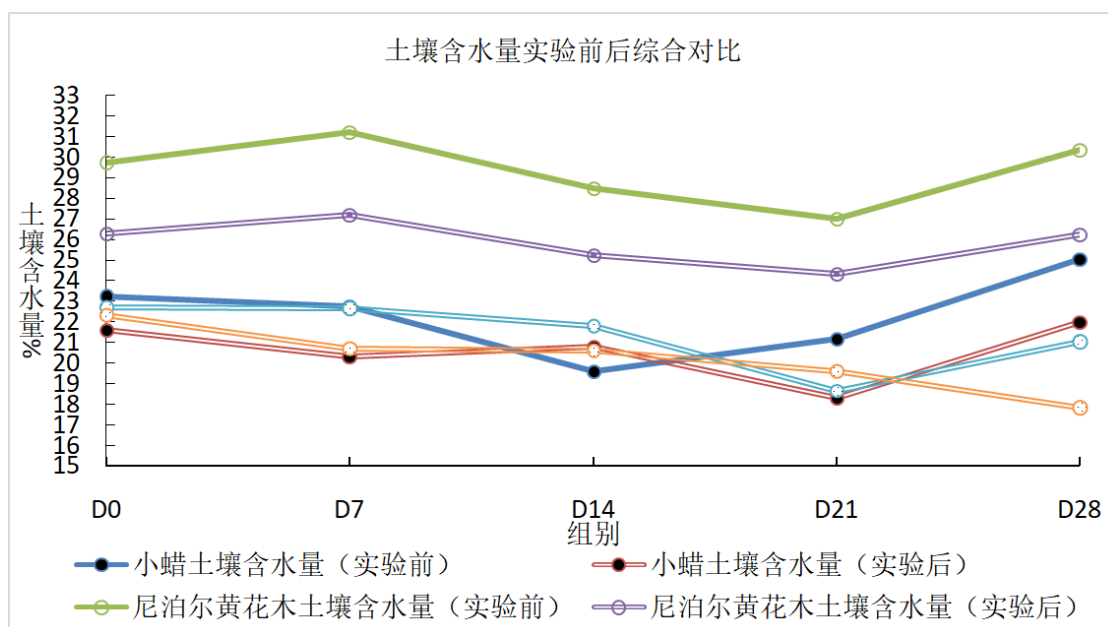


Figure 1. Effects of drought stress on soil moisture content of the three selected plants

图 1. 所选三种植物土壤含水量受干旱胁迫的影响

2.1.2. 三种植物叶绿素含量受干旱胁迫的影响

叶绿素是植物叶片中重要的组成部分, 参与植物的光合作用, 通过观察植物叶片叶绿素的含量可以分析植物叶片的健康程度。从图 2 可以看出随着胁迫的进行, 三种植物的叶绿素含量较实验之前整体上存在不同程度的下降, 也有个别存在叶绿素含量上升的情况, 综合实验前后来看, 小蜡的叶绿素含量下降趋势最为明显, 其次为尼泊尔黄花木的叶绿素含量, 下降趋势较为明显, 最后是金叶女贞, 其叶绿素含量整体的变化幅度最小; 实验结束后, 从 D0 到 D28, 随着胁迫的加深, 小蜡的叶绿素含量下降较少, 尼泊尔黄花木的叶绿素含量先下降后上升, 变化幅度较小, 金叶女贞先上升后下降, 最后缓慢上升, 变化幅度较大。由此可知, 叶绿素含量变化: 小蜡 > 尼泊尔黄花木 > 金叶女贞。

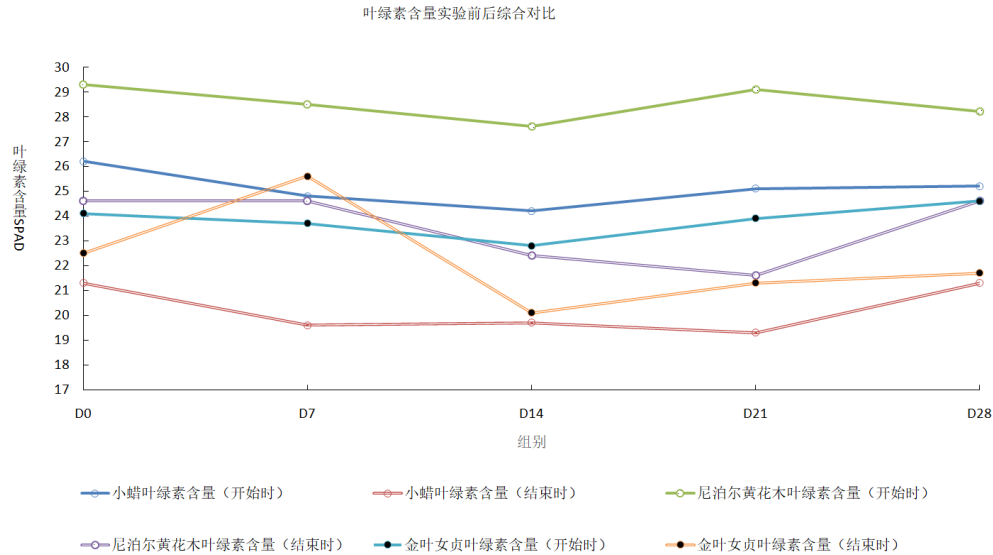


Figure 2. The effect of drought pressure on the chlorophyll content of three selected plants
图 2. 所选三种植物叶绿素含量受干旱胁迫的影响

2.1.3. 三种植物叶面积指数受干旱胁迫的影响

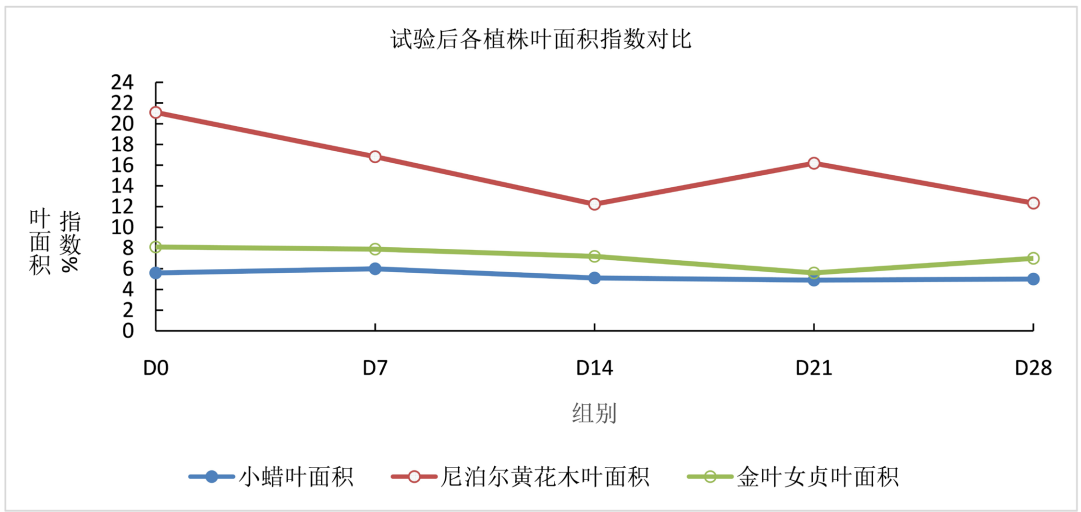


Figure 3. The influence of drought stress on the leaf area index of the three selected plants
图 3. 所选三种植物叶面积指数受干旱胁迫的影响

叶面积指数是判断植物生长发育情况与光能利用率的重要指示信息[6]。从图3可以看出随着干旱胁迫实验天数的增加, 三种植物的叶面积指数整体呈现下降趋势, 其中随着干旱胁迫实验天数的增加尼泊尔黄花木的叶面积指数的下降趋势最为明显, 其次为小蜡的叶面积指数, 下降趋势较明显, 最后是金叶女贞, 其叶面积指数的下降趋势较小, 属于缓慢减少。由此可以看出, 干旱胁迫对叶面积相对大的植物的叶面积指数影响较大, 对叶的面积相对小的植物的叶面积指数影响较小。由此可知, 实验前后叶面积变化: 尼泊尔黄花木 > 小蜡 > 金叶女贞。

2.1.4. 所选三种植物实验中各测量数据随时间变化分析

图4, 图5, 图6是所选三种植物的各自实验测量数据随时间变化而变化的分析。随着实验的进行直到结束。小蜡的叶绿素含量先下降后上升, 但总体上看是下降趋势, 说明干旱胁迫对其叶绿素含量有影响, 小蜡的叶面积指数先上升后下降, 但整体处于下降趋势, 说明干旱胁迫对其叶面积指数有影响。小蜡的土壤含水量先下降后上升再下降再上升, 但整体较为稳定, 在3%内上下波动。随着实验的进行直到结束, 尼泊尔黄花木的叶绿素含量先下降后上升, 说明到实验后期土壤含水量较多时, 叶绿素含量有所回升, 尼泊尔黄花木的叶面积指数随着胁迫等级的下降而增长, 说明土壤含水量对植物叶的生长有影响, 尼泊尔黄花木的土壤含水量先下降后上升, 在3%内上下波动, 与其叶绿素含量, 叶面积指数波动一致。随着实验的进行直到结束, 金叶女贞的叶绿素含量先下降后上升, 在D7含量最高, 然后下降。金叶女贞的叶面积指数先下降后上升, 随着土壤含水量的增多, 叶面积指数开始增大。

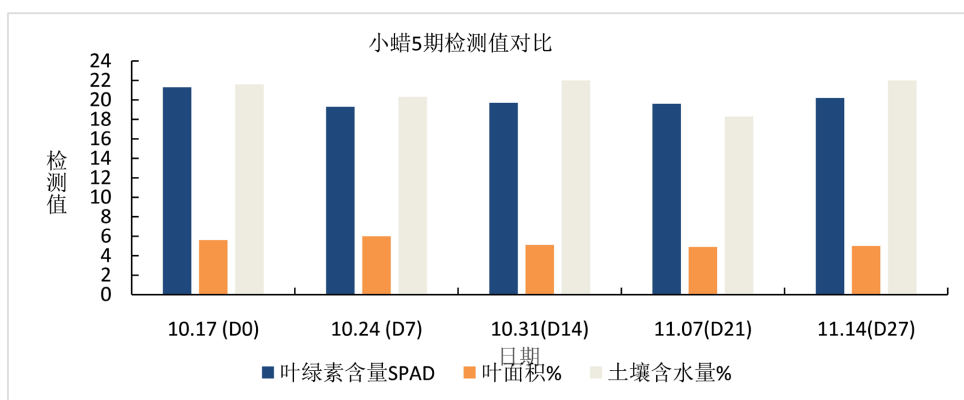


Figure 4. Comparison of measurements of *Ligustrum sinense* over time

图4. 小蜡各测量数据随时间变化对比

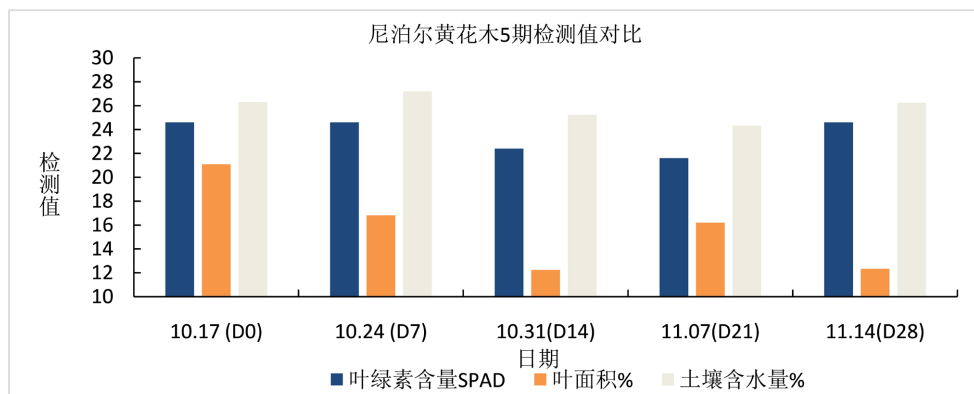


Figure 5. Comparison of measurements of *Piptanthus nepalensis* over time

图5. 尼泊尔黄花木各测量数据随时间变化对比

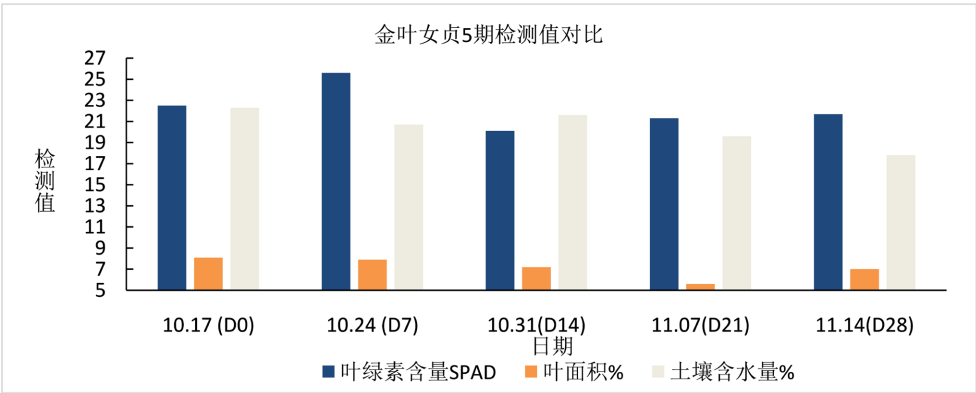


Figure 6. Comparison of measurements of *Ligustrum × vicaryi* over time
图 6. 金叶女贞各测量数据随时间变化对比

2.2. 植物抗旱能力的评价

Table 1. Comprehensive assessment of functional affiliation values of physiological indicators and drought resistance of three tree species
表 1.3 种植物各项生理指标的隶属函数值与抗旱能力综合评价

植物	叶绿素含量	叶面积指数	土壤含水量	平均值	排序
小蜡	0.36	0.38	0.69	0.48	3
尼泊尔黄花木	0.66	0.39	0.53	0.53	2
金叶女贞	0.44	0.62	0.58	0.55	1

在干旱缺水条件下，植物不但具有能够生存，而且能够维持正常或接近正常状态的代谢水平，以及维持基本正常的生长发育的能力叫做植物的抗旱能力[7]。因为植物的生长发育过程中不止受单一因素的作用，所以仅利用某一个指标评价植物的抗旱能力是不够全面与准确的，因此，评价植物抗旱能力必须采取综合多个因素判断的方法[3]。模糊隶属函数法，是将植物的生理指标转换成隶属函数值，然后计算植物不同指标的平均隶属函数值，并根据每种植物的平均隶属函数值确定抗旱性的大小[4]。表 1 表明，小蜡的隶属函数平均值为 0.48，尼泊尔黄花木的隶属函数值平均值为 0.53，金叶女贞的隶属函数值平均值为 0.55，抗旱性从强到弱的顺序是：金叶女贞 > 尼泊尔黄花木 > 小蜡。

3. 实验结果分析

3.1. 三种植物生理特性受干旱胁迫的影响

对于植物来说，水的作用尤为突出，是植物生长的首要条件，叶绿素、植物营养的积累对于植物成长过程起到了到了非常重要的作用[7]。此次干旱胁迫实验测量了三种植物的叶绿素含量，整体来看，随着胁迫实验的进行，小蜡的叶绿素含量下降趋势最为明显，其次为尼泊尔黄花木叶绿素含量，下降趋势较明显，金叶女贞叶绿素含量的下降趋势最小。通过持续一个月的实验发现，由于实验的持续和完成，叶绿量明显减少的树种常常伴随着叶子发黄和树叶的出现卷曲，叶绿数量明显减少树种的植物茎部的生长较细,或许由于叶绿素数量减少的原因。植物的叶是完成光合作用和蒸腾作用的器官，同时也具备吸收、生长和贮存作用，叶面积指数是衡量植物叶的面积大小的指标，通过此次胁迫实验发现，随着实验天数的增加尼泊尔黄花木的叶面积指数的下降趋势最为明显，其次为小蜡的叶面积指数，下降趋势较为明显，最后是金叶女贞，其叶面积指数的下降趋势较小，叶面积大的植物相对来说光合作用与蒸腾作用要更加

强烈, 根据实验数据表明, 金叶女贞的叶面积指数随实验进行下降趋势最小, 其实验后的叶绿素含量随胁迫的进行, 其下降趋势最为显著。尼泊尔黄花木的叶面积指数随实验进行下降最为显著, 但是其实验后的叶绿素含量下降速度居中, 小蜡的叶面积指数随实验进行下降速度居中, 其实验后的叶绿素含量随胁迫的进行, 下降趋势却是最小的。

3.2. 三种植物所处土壤受干旱胁迫的影响

植物生长过程与土壤水分含量密切相关, 及时的检测土壤水分的变化可以掌握植物对水分的需求。本次干旱胁迫实验分别测量了实验开始时与实验结束时的土壤含水量, 综合实验前后土壤含水量对比来看小蜡胁迫过程中变化幅度较大, 尼泊尔黄花木在胁迫过程中整体变化幅度较为平缓, 随着胁迫的进行试验后的土壤含水量对比实验前的土壤含水量均呈现下降趋势。金叶女贞土壤含水量整体变化幅度较小。随着胁迫的继续直至结束, 土壤含水量的差异也越来越小, 取干旱胁迫程度较大的前三组来看, 随着干旱胁迫的持续进行, 小蜡的土壤含水量波动较大, 可能是因为小蜡和其它两种植物相比抗旱性较差导致的, 随着实验的进行, 尼泊尔黄花木的土壤含水量的变化趋势较稳定, 抗旱性较小蜡强, 金叶女贞的土壤含水量在干旱胁迫最严重的第一组实验前后土壤含水量差异较大, 到第2组及第3组时, 实验前后土壤含水量差异逐渐较小直至超过实验前的土壤含水量, 且第2组到第3组时, 试验后的土壤含水量在不断上升, 由此可以看出金叶女贞的抗旱能力在三种植物中是最强的。抗旱能力排序: 金叶女贞 > 尼泊尔黄花木 > 小蜡, 这与隶属函数法得出的结论相一致。

4. 结论与讨论

4.1. 结论

干旱胁迫实验可以模拟极端气候条件下的生长环境, 有助于评估不同园林植物的耐旱能力, 帮助我们了解植物在缺水条件下的生长表现和适应能力。在选择校园园林绿化植物的应用起到积极作用, 帮助我们选择那些在干旱条件下仍然能够良好生长和保持美观的植物, 这有助于我们创建更加可持续和适应性强的绿化系统, 并减少用水量和维护成本。通过本次实验, 笔者认为在进行校园植物配置的时候应当首先选择当地的乡土树种, 其次经过简单的栽培管理可以适应当地气候的植物, 如遇到不甚了解习性的植物, 应及时查阅资料或进行实验, 以明确其生长习性, 避免资源浪费。

本次实验得出结论如下: 土壤含水量变化: 小蜡 > 尼泊尔黄花木 > 金叶女贞。叶绿素含量变化: 小蜡 > 尼泊尔黄花木 > 金叶女贞。叶面积变化: 尼泊尔黄花木 > 小蜡 > 金叶女贞。抗旱性从强到弱的顺序是: 金叶女贞 > 尼泊尔黄花木 > 小蜡。

本次实验测量了西藏乡土树种尼泊尔黄花木的抗旱能力, 以为尼泊尔黄花木的园林应用提供支持, 相对于其他同类型的实验还有不足之处, 比如实验植物种类较少, 测量指标较少, 关于植物的外在形态的变化没有作详细的记录与阐述, 植物随实验进行其体内相关物质含量变化如丙二醛, SOD, APX, CAT等没有进行测量, 没有测量植物细胞膜透性随实验天数增加的变化。本次实验中叶绿素含量变化与曾继娟等[8]对胡枝子的研究结果不完全一致, 其中金叶女贞与尼泊尔黄花木的叶绿素变化与曾继娟的研究结果一致, 小蜡则可能是因为抗旱能力较弱, 叶片受损导致, 且叶绿素与植物生长状况的关系需要继续深入探讨。

4.2. 讨论

本试验中金叶女贞表现出很强的抗旱能力, 非常适合作为园林绿化植物使用尤其是在水分条件较差的地区, 其中, 金叶女贞可作为单株观赏型植物, 也可以种植在园林中的花坛、草坪、花境中, 作为装

饰品点缀园林空间, 与其他绿化植物组合拼配, 如与常春藤、杜鹃花等植物配合, 可以营造出优美的环境氛围。金叶女贞也适合群植, 可在小区门口、公园广场、街心花坛等空间栽植, 由于金叶女贞生长迅速, 树形直立, 因此可以作为绿篱植物来应用; 小蜡适宜栽植在土壤较为湿润的地区, 小蜡植物可以在庭院中种植, 起到装饰美化的作用, 小蜡植物适合作为花坛的边缘植物或是景观植物, 小蜡植物可以在大型公园中做灌木带或防风绿化, 小蜡植物比较适合在城市景观中种植, 如路边绿化、广场绿化、行道树绿化等; 尼泊尔黄花木是西藏地区的乡土树种, 可以很好的适应当地环境, 而且由于其较高的观赏价值与环境效益, 应当推广使用, 尼泊尔黄花木可作街道绿化可以提供美丽的花卉和阴凉的环境, 为城市居民提供愉悦的环境, 尼泊尔黄花木可以种植在公园中, 作为公园绿化的一部分, 尼泊尔黄花木的美丽花卉和树形结构可以为公园增添自然气息, 也可以栽种在庭院中, 它们可以为庭院创造美丽的景观, 增加私人空间的自然氛围, 也可作为景观雕塑。

目前尼泊尔黄花木的应用范围尚不广泛, 仅仅局限于藏东南及四川部分地区, 且尼泊尔黄花木的其他生态习性研究结果较少, 仍需后续调查研究。鉴于其较为优秀的抗旱能力, 可以深度挖掘其应用潜力, 丰富我国园林绿化树种的选择, 并采取各种有效途径推广尼泊尔黄花木在城市绿化中的应用, 并且发展植物应用新用途, 做到一物多用, 提高植物资源利用率。

基金项目

西藏人居环境教学团队项目(XJJXTD-12272); 西藏自治区园林一流专业建设项目、高密度人居环境生态与节能教育部重点实验室(20210111)。

参考文献

- [1] 宋丽华, 曹兵, 孟庆叶. 四树种生理指标之比较[J]. 中国城市林业, 2005, 3(1): 50-52.
- [2] 张兆英. 园林植物抗旱性研究进展[J]. 中国园艺文摘, 2015, 31(5): 69-70+112.
- [3] 董鹏, 李铭, 马新, 姜继元, 陈奇凌, 朱耀军. 干旱胁迫对 5 个园林绿化树种生理生化特性的影响[J]. 西南农业学报, 2018, 31(4): 699-704.
- [4] 张鸿, 李其勇, 朱从桦, 李星月, 郭展, 向运佳, 杨晓蓉. 作物抗旱性鉴定的主要评价方法[J]. 四川农业科技, 2017(6): 7-9.
- [5] 杨壹, 刘建军. 屋顶绿化 5 种常绿植物的抗旱性研究[J]. 西北林学院学报, 2020, 35(1): 73-79.
- [6] 金晓春, 金爱武, 宋艳冬, 娄金飞, 梅舒敏. 施肥对毛竹林换叶期冠层形成及光合能力的影响[J]. 浙江林学院学报, 2010, 27(1): 57-62.
- [7] 吴杨, 张艳, 周会汶. 油茶叶片光合色素对不同光照强度的响应特征[J]. 九江学院学报(自然科学版), 2021, 36(1): 1-4.
- [8] 曾继娟, 朱强, 岑晓斐, 李双喜. 胡枝子幼苗对干旱胁迫的生理响应[J]. 北方农业学报, 2022, 50(2): 53-60.