

延安大学6种园林乔木叶生理特性研究

赵满兴^{1,2}, 陈 姣¹, 陈晓洁¹, 喻华燕¹, 陈海雪¹, 张 霞¹, 马 卓¹, 马文全¹

(1延安大学生命科学学院, 陕西延安 716000; 2陕西省红枣重点实验室, 陕西延安 716000)

摘要:为研究延安市园林植物生理特性周年内随季节的响应规律,以延安大学校园内6种常见乔木(油松、侧柏、早柳、国槐、银杏和栎树)为研究对象,在春季、夏季和秋季分别采集植物叶片,分析同一生境下落叶与常绿乔木生理指标的差异性。结果表明,平均来看,油松和侧柏的相对含水量和POD活性高于其他4种落叶乔木,而电导率、MDA、SOD和CAT低于其他4种落叶乔木。说明常绿乔木比落叶乔木具有更强的保水性,落叶乔木更易受到干旱环境的影响,但其应对干旱环境的能力较强。相对含水量和POD活性均为夏季>春季>秋季,CAT活性与之相反,电导率和MDA活性均为秋季>夏季>春季,SOD活性为夏季>秋季>春季。可见,当地秋季气候环境对园林乔木生长影响较大,要重视秋季园林乔木的管护工作。由隶属函数法分析结果看出,不同树种季节间的适应特性不同,没有达到季节间的一致性,3个季节落叶乔木的平均隶属值均高于常绿乔木。综合来看,6种园林乔木对环境适应能力由强到弱为栎树>国槐>早柳>银杏>侧柏>油松。

关键词:园林乔木;叶生理特性;抗氧化酶;隶属函数法;季节变化

中图分类号:S688.9

文献标志码:A

论文编号:cjas2023-0019

Study on Leaf Physiological Characteristics of Six Kinds of Garden Trees in Yan'an University

ZHAO Manxing^{1,2}, CHEN Jiao¹, CHEN Xiaojie¹, YU Huayan¹, CHEN Haixue¹,ZHANG Xia¹, MA Zhuo¹, MA Wenquan¹^{(1)College of Life Sciences, Yan'an University, Yan'an 716000, Shaanxi, China;}^(2)Shaanxi Key Laboratory of Chinese Jujube, Yan'an 716000, Shaanxi, China)

Abstract: The responses of physiological characteristics of garden trees to different seasons were studied in Yan'an City. Taking the six garden tree species in the campus of Yan'an University as the research object, including *Pinus tabulaeformis*, *Platycladus orientalis*, *Salix matsudana*, *Styphnolobium japonicum*, *Ginkgo biloba*, *Koelreuteria paniculata*, tree leaves were collected in spring, summer and autumn to compare the physiological characteristics between deciduous arbors and evergreen. The results showed that the relative water content and POD content of *Pinus tabulaeformis* and *Platycladus orientalis* were higher than other four deciduous arbors, but the conductivity, MDA, SOD and CAT content were lower than other deciduous arbors on average. Evergreen had higher water-retaining property than deciduous arbors, and deciduous arbors were much vulnerable to drought impact, but they had high capability in respond to drought. The physiological characteristics of garden trees were different in different seasons. The relative water content and POD content were in the order of summer>spring>autumn, in contrast with CAT content. The conductivity and MDA content were in the order of autumn>summer>spring. The activities of SOD was in the order of summer>autumn>spring. The results indicated that the climate environment had higher influence on garden trees in autumn. It should pay attention

基金项目:国家自然科学基金资助项目“可溶性有机氮在陕北黄土高原植被恢复中氮素转化中的作用”(41761068);陕西省大学生创新创业训练计划项目“延安市常见绿化树种叶片生理特性及生态效益评价”(S202210719130)。

第一作者简介:赵满兴,男,1971年出生,陕西合阳人,教授,博士,主要从事园林生态及植物养分调控研究。通信地址:716000 陕西省延安市宝塔区圣地路580号,E-mail:zhaomanxing@163.com。

收稿日期:2023-01-30,修回日期:2023-06-16。

to management and protection in autumn. The subordinate function showed that the adaptive characters were difference among different tree species, and were not consistent between different seasons. The mean membership function value of deciduous arbors was higher than that of evergreen. In all, the membership function analysis revealed that the environment adaptiveness of six garden trees was in the order of *Koelreuteria paniculata* > *Styphnolobium japonicum* > *Ginkgo biloba* > *Platycladus orientalis* > *Pinus tabuliformis*.

Keywords: garden tree; leaf physiological characteristics; antioxidant enzymes; subordinate function method; season change

0 引言

校园为师生提供学习和生活的场所,优美的校园环境离不开园林植物的良好生长,园林植物在改善校园环境方面具有重要作用。与校园外环境相比,校园内环境污染较少,人为破坏相对较少,加之校园建筑物层数不高但较密集,形成了特殊的生态环境,对校园植物生长产生了一定的影响。在特定的环境中,不同植物为了应对不良环境,其生理特性也会表现出不同的响应^[1]。

刘丹等^[2]对9个桑树品种的研究发现,不同桑品种叶片的水分含量存在一定差异,叶片含水量可作为植物抗旱性的指标。叶片相对含水量可以反映其保水能力,陈少瑜等^[3]研究了干旱环境下3种树叶相对含水量的变化,发现各园林乔木的叶片相对含水量会因为干旱胁迫而下降,不同乔木之间存在差异。丙二醛(MDA)含量可以反映植物膜损伤的程度,在胁迫环境下植物MDA含量增加,植物组织保护能力减弱^[4]。周萌^[5]对锦鸡儿属植物的研究表明,相对电导率的变化可以作为衡量水分胁迫下细胞膜完整性的指标,含量越高或变化越快,膜完整性越差。超氧化物歧化酶、过氧化氢酶和过氧化物酶是酶促防御系统中的重要成员^[6]。查倩等^[7]研究指出,高温环境下葡萄叶片的POD、CAT、SOD等抗氧化酶活性升高。Hameed等^[8]研究指出,CAT活性与植物抗逆性密切相关。崔颖等^[9]研究指出,地果幼苗在轻度胁迫下可以通过自身的抗氧化酶保护作用维持植株的正常生长。综上所述,植物对环境的应对能力可以由生理活动反映出来,因此,叶片生理指标可以衡量植物叶片对环境的响应变化。

已有的研究多数集中在果树等经济林方面,针对城市园林植物在自然环境下的生理特性研究相对较少,考虑周年内的变化情况鲜见报道。延安市四季分明,植物生理特性随季节变化明显。落叶与常绿乔木生理生态特性有差异,它们的生理特性对环境的响应可能存在差异。因此,探究延安市区园林植物生理特性周年内随季节的响应尤为必要。目前,关于这方面

的研究鲜见报道。本研究立足延安特殊的生态环境,以延安大学校园常见的乔木为例,分析落叶与常绿乔木的叶片生理特性,比较同一生境下落叶与常绿乔木生理指标的差异性,明确落叶和常绿的生理特性和环境效应提供依据,以期为当地园林绿化树种选择及抚育提供理论依据和技术参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

实验地选在延安大学校园内,坐落于陕西延安市宝塔区。延安市位于陕北黄土高原丘陵沟壑区,介于北纬35°21'—37°31'、东经107°41'—110°31'之间。延安市地处暖温带温和半湿润气候区,春季干旱多风,有寒流出现。夏季温热、干旱、雨涝相间,多雷阵雨。秋季凉爽多雨,气温下降快,霜期早。冬季寒冷干燥,持续时间长。年平均温度9.7℃,1月平均气温-6.7℃,7月平均气温22.9℃,极端最高气温39.7℃,极端最低气温-25.4℃,年降水量550 mm,降雨多集中在7—9月。早霜始于10月中旬,晚霜终于4月上旬,无霜期152 d。主要灾害性气候有干旱、霜冻、冰雹等。

1.2 样品采集

采样分别于2022年春季(4月16日)、夏季(6月16日)和秋季(10月16日)进行,在延安大学校园内的同心园和先锋广场,选取生长条件基本一致、成熟、健康的6种常用园林乔木。树种分别为油松、侧柏、旱柳、国槐、银杏、栎树,其中油松和侧柏为常绿乔木、其他4种为落叶乔木。在采样点每种园林乔木选取3株长势相近的植株,作为3次重复。选择晴朗天气,采集生理旺盛的功能叶片,每株树沿东西南北方位各采集叶片10片,每株树采集叶片40片,将新鲜叶片迅速带回实验室进行生理指标分析。

1.3 测定指标及方法

生理指标测定方法参照《植物生理学实验指导》^[10],叶片相对含水量采用称重法;叶片电导率采用抽气法;丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥酸比色法;超氧化物歧化酶(SOD)采用氮蓝四唑(NBT)法;过氧化物酶(POD)采用愈创木酚法;过氧化氢酶(CAT)采用紫

外吸收法。

1.4 数据分析

使用 Excel 2003 和 SPSS 15.0 软件进行方差分析。利用隶属函数法进行综合评价。隶属函数值计算如式(1),反隶属函数值计算如式(2)。

$$R(X_i) = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \dots\dots\dots (1)$$

$$R(X_i) = 1 - \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \dots\dots\dots (2)$$

式中, X_i 为指标测定值, X_{\min} 、 X_{\max} 为所有乔木某一指标的最小值和最大值。当某一性状指标与乔木环境适应性呈正相关时用式(1),当某一性状指标与乔木环境适应性呈负相关时用式(2)。

2 结果与分析

2.1 相对含水量

如表 1 所示,春季叶片相对含水量为 74.690%~88.900%,平均为 83.865%,最高的是栾树,其次依次是银杏、国槐、旱柳、油松、侧柏,栾树比侧柏高 19.03%。侧柏与其他 5 种园林乔木间的相对含水量均达到显著差异($P<0.05$),但其他 5 种园林乔木之间差异均不显著。夏季叶片相对含水量为 79.067%~88.300%,平均为 85.488%,最高的是银杏,其次依次是栾树、侧柏、旱柳、国槐、油松,银杏比油松高 11.68%。夏季各园林乔木间的相对含水量差异均没有达到显著水平($P>0.05$)。秋季叶片相对含水量为 72.303%~88.183%,平均为 83.284%,最高的是油松,其次依次是银杏、侧柏、旱柳、国槐、栾树,油松与栾树高 21.96%。油松、侧柏、银杏之间差异不显著,但分别与国槐和栾树差异显著,而侧柏和旱柳之间差异不显著,旱柳和国槐之间差异不显著。

表 1 叶片相对含水量季节间比较 %

植物种类	春季	夏季	秋季
油松	82.627±4.90aAB	79.067±3.15aB	88.183±3.75aA
侧柏	74.690±3.73bB	86.187±4.41aA	85.900±3.88abA
旱柳	85.403±3.82aA	87.647±4.39aA	83.793±2.38bcA
国槐	85.013±2.78aA	83.460±1.13aA	81.720±2.33cA
银杏	86.557±1.83aA	88.300±9.92aA	87.803±2.67aA
栾树	88.900±1.95aA	88.270±8.64aA	72.303±1.68dB

注:表中数据为平均值±标准差,不同小写字母表示同一季节不同植物间的差异达到显著水平($P<0.05$),不同大写字母表示同一树种不同季节间的差异达到显著水平($P<0.05$),下同。

相同树种不同季节间比较来看(表 1),6 种园林乔

木平均来看,相对含水量为夏季>春季>秋季,秋季比夏季高 11.53%。春季、夏季和秋季相对含水量的变异系数依次为 5.90%、4.25%和 7.09%,秋季树种间的差异较高。对于油松而言,相对含水量为秋季>春季>夏季,春季与夏季、秋季差异均不显著,夏季和秋季差异显著。对于侧柏而言,相对含水量为夏季>秋季>春季,夏季与秋季差异不显著,但均与春季差异显著。对于旱柳而言,相对含水量为夏季>春季>秋季,春季、夏季与秋季季节间差异不显著。对于国槐而言,相对含水量为春季>夏季>秋季,春季、夏季与秋季季节间差异不显著。对于银杏而言,相对含水量为夏季>秋季>春季,春季、夏季与秋季季节间差异不显著。对于栾树而言,相对含水量为春季>夏季>秋季,春季与夏季差异不显著,但均与秋季差异显著。3 个季节中相对含水量最高和最低的园林乔木不同。

2.2 电导率

植物叶片电导率会随叶片受迫害程度加深而升高。由表 2 可知,春季电导率为 7.193~13.460 $\mu\text{S}/\text{cm}$,平均为 12.086 $\mu\text{S}/\text{cm}$,最高的是侧柏,最低的是银杏,侧柏是银杏的 1.87 倍。侧柏、旱柳和国槐均与油松、银杏和栾树达到显著差异水平,但侧柏、旱柳、国槐之间差异不显著,油松、银杏、栾树之间差异不显著。夏季电导率为 5.867~14.237 $\mu\text{S}/\text{cm}$,平均为 13.833 $\mu\text{S}/\text{cm}$,最高的是国槐,最低的是油松,国槐是油松的 2.43 倍。旱柳和油松差异不显著,侧柏、国槐、银杏和栾树之间差异不显著,旱柳和油松均与其他 4 种园林乔木达到差异显著水平。秋季电导率为 5.820~25.497 $\mu\text{S}/\text{cm}$,平均为 13.182 $\mu\text{S}/\text{cm}$,最高的是银杏,最低的是侧柏,银杏是侧柏的 4.38 倍。侧柏与油松没有达到显著差异水平,油松和栾树也没有显著差异,侧柏、旱柳、国槐、银杏、栾树之间差异显著。

相同树种不同季节间比较来看(表 2),6 种园林乔

表 2 叶片电导率季节间比较 $\mu\text{S}/\text{cm}$

植物种类	春季	夏季	秋季
油松	7.377±1.54bA	5.867±1.14bA	8.243±1.05deA
侧柏	13.460±1.16aA	11.367±1.69aA	5.820±0.72eB
旱柳	12.737±2.85aA	7.920±1.08bB	13.593±0.61cA
国槐	9.397±1.98aA	14.237±5.02aA	16.867±1.23bA
银杏	7.193±1.01bC	10.470±1.21aB	25.497±3.07aA
栾树	9.020±2.19bB	13.137±4.41aA	9.070±1.67dB

木平均来看,电导率为秋季>夏季>春季,秋季是春季的 1.34 倍。对于油松而言,电导率为秋季>春季>夏

季,春季、夏季、秋季季节间差异不显著。对于侧柏而言,电导率为春季>夏季>秋季,夏季与春季差异不显著,但均与秋季差异显著。对于旱柳而言,电导率为秋季>春季>夏季,春季与秋季差异不显著,但均与夏季差异显著。对于国槐而言,电导率为秋季>夏季>春季,春季、夏季与秋季季节间差异不显著。对于银杏而言,电导率为秋季>夏季>春季,春季、夏季与秋季季节间差异显著。对于栎树而言,电导率为夏季>秋季>春季,春季与秋季差异不显著,但均与夏季差异显著。

2.3 丙二醛含量

丙二醛的累积量可以反映植物原生质膜受损的程度。如表3所示,春季丙二醛含量为6.995~10.819 $\mu\text{mol/g}$,平均为8.159 $\mu\text{mol/g}$,最高的是油松,最低的是侧柏,油松比侧柏高54.67%。油松和栎树之间差异不显著,但均与侧柏和旱柳差异显著。侧柏、旱柳、国槐、油松之间差异不显著。夏季丙二醛含量为5.327~29.755 $\mu\text{mol/g}$,平均为14.118 $\mu\text{mol/g}$,最高的是国槐,最低的是旱柳,国槐是旱柳的5.59倍。油松、侧柏和栎树之间差异不显著,但均与其他树种差异显著。银杏、旱柳、国槐之间差异显著。秋季丙二醛含量为7.368~34.031 $\mu\text{mol/g}$,平均为15.113 $\mu\text{mol/g}$,最高的是栎树,最低的是旱柳,栎树是旱柳的4.62倍。侧柏、旱柳、国槐、银杏之间差异不显著,但均与油松和栎树差异显著,油松和栎树之间差异显著。

表3 丙二醛含量季节间比较 $\mu\text{mol/g}$

植物种类	春季	夏季	秋季
油松	10.819±1.92aB	13.621±1.93bAB	18.160±4.32bA
侧柏	6.995±1.97bB	13.709±3.88bA	11.032±1.32cAB
旱柳	7.463±1.15bA	5.327±0.21dB	7.368±0.36cA
国槐	8.567±1.34abB	29.755±1.56aA	9.929±1.47cB
银杏	8.484±1.31abA	9.204±0.42cA	10.156±1.86cA
栎树	9.957±1.36aB	13.095±0.54bB	34.031±5.01aA

相同树种不同季节间比较来看(表3),6种园林乔木平均来看,丙二醛含量为秋季>夏季>春季,秋季是春季的1.73倍。对于油松而言,丙二醛含量为秋季>夏季>春季,春季和秋季差异显著,均与夏季没有达到显著差异水平。对于侧柏而言,丙二醛含量为夏季>秋季>春季,夏季与春季差异显著,但均与秋季差异不显著。对于旱柳而言,丙二醛含量为春季>秋季>夏季,春季与秋季差异不显著,但均与夏季差异显著。对于国槐而言,丙二醛含量为夏季>秋季>春季,春季与秋季差异不显著,但均与夏季差异显著。对于银杏而言,丙二醛含量为秋季>夏季>春季,春季、夏季与秋季

季节间差异不显著。对于栎树而言,丙二醛含量为秋季>夏季>春季,春季与夏季差异不显著,但均与秋季差异显著。

2.4 超氧化物歧化酶(SOD)活性

SOD作为一种普遍存在于植物细胞的保护酶,它的活性可以指示植物应对干旱环境的能力。由表4可知,春季SOD活性为23.911~124.281 $\mu\text{mol/g}$,平均为65.979 $\mu\text{mol/g}$,最高的是栎树,最低的是国槐,栎树是国槐的5.20倍。油松和国槐之间差异不显著,旱柳和银杏间差异不显著,但均与侧柏和栎树差异显著。夏季SOD活性为278.121~438.966 $\mu\text{mol/g}$,平均为368.915 $\mu\text{mol/g}$,最高的是侧柏,最低的是油松,侧柏是油松的1.58倍。侧柏和国槐之间差异不显著,旱柳和国槐间差异也不显著,但均与其他树种差异显著。秋季SOD活性为96.561~410.973 $\mu\text{mol/g}$,平均为266.010 $\mu\text{mol/g}$,最高的是侧柏,最低的是油松,侧柏是油松的4.26倍。旱柳与银杏之间差异不显著,油松和栎树间差异不显著,但均与其他树种差异显著。夏季和秋季SOD活性最高和最低的树种相同。同一季节的不同园林乔木的SOD活性也有差别,这与各园林乔木的自身状况密切相关。

表4 超氧化物歧化酶活性季节间比较 $\mu\text{mol/g}$

植物种类	春季	夏季	秋季
油松	26.268±1.90dC	278.121±38.54eA	96.561±2.75dB
侧柏	42.047±5.79cC	438.966±7.06aA	410.973±21.54aB
旱柳	85.267±4.02bC	406.407±4.61bA	346.398±16.62bB
国槐	23.911±3.40dC	410.756±2.16abA	291.204±15.34cB
银杏	90.944±5.84bC	316.100±9.56dB	369.015±28.52bA
栎树	124.281±3.57aB	363.137±13.17cA	118.578±34.98dB

相同树种不同季节间比较来看(表4),6种园林乔木平均来看,SOD活性为夏季>秋季>春季,夏季是春季的5.64倍。对于油松而言,SOD活性为夏季>秋季>春季,春季、夏季、秋季间差异显著。对于侧柏而言,SOD活性为夏季>秋季>春季,春季、夏季、秋季间差异显著。对于旱柳而言,SOD活性为夏季>秋季>春季,春季、夏季、秋季间差异显著。对于国槐而言,SOD活性为夏季>秋季>春季,春季、夏季、秋季间差异显著。对于银杏而言,SOD活性为秋季>夏季>春季,春季、夏季、秋季间差异显著。对于栎树而言,SOD活性为夏季>春季>秋季,春季与秋季差异不显著,但均与夏季差异显著。

2.5 过氧化物酶(POD)活性

由表5可知,春季POD活性为69.363~

152.908 U/(g·FW·h), 平均为 99.893 U/(g·FW·h), 最高的是国槐, 最低的是侧柏, 国槐是侧柏的 2.20 倍。油松和国槐之间差异不显著, 侧柏、旱柳、银杏、栎树间差异不显著, 但油松和国槐均与其他 4 种乔木差异显著。夏季 POD 活性为 81.601~170.362 U/(g·FW·h), 平均为 124.271 U/(g·FW·h), 最高的是国槐, 最低的是油松, 国槐是油松的 2.09 倍。侧柏、旱柳和国槐之间差异不显著, 油松、银杏、栎树间差异也不显著, 但这 2 组间差异显著。秋季 POD 活性为 78.170~67.670 U/(g·FW·h), 平均为 71.586 U/(g·FW·h), 最高的是栎树, 最低的是侧柏, 栎树是侧柏的 1.16 倍。6 种园林乔木之间差异均不显著。同一季节的不同园林乔木的 POD 活性也有差别, 这与各园林乔木的自身状况密切相关。

表 5 过氧化物酶活性季节间比较 U/(g·FW·h)

植物种类	春季	夏季	秋季
油松	148.869±15.51aA	81.601±5.13bB	71.054±5.08aB
侧柏	69.363±5.86bB	166.978±12.87aA	67.670±7.76aB
旱柳	76.129±5.08bB	160.214±13.78aA	71.757±5.22aB
国槐	152.908±2.11aB	170.362±7.12aA	67.670±7.76aC
银杏	79.914±3.33bAB	81.601±5.13bA	73.197±2.63aB
栎树	72.172±1.02bB	84.873±2.14bA	78.170±6.19aAB

相同树种不同季节间比较来看(表 5), 6 种园林乔木平均来看, POD 活性为夏季>春季>秋季, 夏季是秋季的 1.74 倍。对于油松而言, POD 活性为春季>夏季>秋季, 夏季、秋季间差异不显著, 但均与春季差异显著。对于侧柏而言, POD 活性为夏季>春季>秋季, 春季、秋季间差异不显著, 但均与夏季差异显著。对于旱柳而言, POD 活性为夏季>春季>秋季, 春季、秋季间差异不显著, 但均与夏季差异显著。对于国槐而言, POD 活性为夏季>春季>秋季, 春季、夏季、秋季间差异显著。对于银杏而言, POD 活性为夏季>春季>秋季, 春季、夏季间差异不显著, 但均与秋季差异显著。对于栎树而言, POD 活性为夏季>秋季>春季, 春季与夏季差异显著, 但均与秋季差异不显著。

2.6 过氧化氢酶(CAT)活性

如表 6 所示, 春季 CAT 活性为 1104.02~3941.31 U/(g·FW·h), 平均为 1830.451 U/(g·FW·h), 最高的是栎树, 最低的是侧柏, 栎树是侧柏的 3.57 倍。栎树与其他 5 种乔木均有显著差异, 除栎树外, 其他 5 种乔木之间差异不显著。夏季 CAT 活性为 1102.34~2679.01 U/(g·FW·h), 平均为 1494.499 U/(g·FW·h), 最高的是栎树, 最低的是旱柳, 栎树是旱柳的 2.43 倍。栎树与

其他 5 种乔木均有显著差异, 除栎树外, 其他 5 种乔木之间差异不显著。秋季 CAT 活性为 970.52~5119.07 U/(g·FW·h), 平均为 2408.740 U/(g·FW·h), 最高的是栎树, 最低的是国槐, 栎树是国槐的 5.28 倍。栎树与其他 5 种乔木均有显著差异, 油松、侧柏、旱柳、银杏之间无显著差异。3 个季节 CAT 活性最高的均是栎树, CAT 活性最低的树种不一致。同一季节的不同园林乔木的 CAT 活性也有差别, 这与各园林乔木的自身状况密切相关。

表 6 过氧化氢酶活性季节间比较 U/(g·FW·h)

植物种类	春季	夏季	秋季
油松	1143.63±264.22bB	1381.62±152.92bB	2375.10±320.40bcA
侧柏	1104.02±167.94bB	1474.33±392.91bAB	1811.16±213.27bcA
旱柳	1781.63±230.92bB	1102.34±232.94bC	2561.89±437.17bA
国槐	1651.14±187.61bA	1353.18±45.11bA	970.52±198.91dB
银杏	1310.39±557.62bA	1153.28±98.12bA	1614.69±275.21cdA
栎树	3941.31±608.47aAB	2679.01±709.46aB	5119.07±866.87aA

相同树种不同季节间比较来看(表 6), 6 种园林乔木平均来看, CAT 活性为秋季>春季>夏季, 秋季是夏季的 1.58 倍。对于油松而言, CAT 活性为秋季>夏季>春季, 春季、夏季间差异不显著, 但均与秋季差异显著。对于侧柏而言, CAT 活性为秋季>夏季>春季, 春季、秋季间差异显著, 但均与夏季差异不显著。对于旱柳而言, CAT 活性为秋季>夏季>春季, 春季、夏季、秋季间差异显著。对于国槐而言, CAT 活性为春季>夏季>秋季, 春季、夏季间差异不显著, 但均与秋季差异显著。对于银杏而言, CAT 活性为秋季>春季>夏季, 春季、夏季、秋季间差异不显著。对于栎树而言, CAT 活性为秋季>春季>夏季, 夏季与秋季差异显著, 但均与春季差异不显著。

2.7 6 种园林乔木叶片生理特性隶属函数综合分析

为了较全面地反映 6 种乔木生理特性, 运用隶属函数法对各树种各生理指标求其隶属值并计算平均隶属值。平均隶属值越大, 性状越优良。3 个季节分别进行生理指标隶属函数分析, 结果如表 7 所示, 春季 6 种园林乔木隶属函数平均值为栎树>旱柳>国槐>油松>银杏>侧柏。夏季 6 种园林乔木隶属函数平均值为国槐>侧柏>栎树>旱柳>银杏>油松。秋季 6 种园林乔木隶属函数平均值为银杏>栎树>旱柳>侧柏>油松>国槐。每个树种 3 个季节的隶属函数值平均为栎树(0.616)>国槐(0.501)>旱柳(0.458)>银杏(0.428)>侧柏(0.408)>油松(0.294)。

表7 6种园林乔木生理指标隶属函数综合分析

季节	植物种类	相对含水量	电导率	MDA	SOD	POD	CAT	平均隶属函数值	排序
春季	油松	0.559	0.029	1.000	0.023	0.952	0.014	0.430	4
	侧柏	0.000	1.000	0.000	0.181	0.000	0.000	0.197	6
	旱柳	0.754	0.885	0.122	0.611	0.081	0.239	0.449	2
	国槐	0.726	0.352	0.411	0.000	1.000	0.193	0.447	3
	银杏	0.835	0.000	0.390	0.668	0.126	0.073	0.349	5
	栎树	1.000	0.291	0.775	1.000	0.034	1.000	0.683	1
夏季	油松	0.000	0.000	0.340	0.000	0.000	0.177	0.086	6
	侧柏	0.771	0.657	0.343	1.000	0.962	0.236	0.662	2
	旱柳	0.929	0.245	0.000	0.798	0.886	0.000	0.476	4
	国槐	0.476	1.000	1.000	0.825	1.000	0.159	0.743	1
	银杏	1.000	0.550	0.159	0.236	0.000	0.032	0.330	5
	栎树	0.997	0.869	0.318	0.529	0.037	1.000	0.625	3
秋季	油松	1.000	0.123	0.405	0.000	0.322	0.339	0.365	5
	侧柏	0.856	0.000	0.137	1.000	0.000	0.203	0.366	4
	旱柳	0.724	0.395	0.000	0.795	0.389	0.384	0.448	3
	国槐	0.593	0.561	0.096	0.619	0.000	0.000	0.312	6
	银杏	0.976	1.000	0.105	0.867	0.526	0.155	0.605	1
	栎树	0.000	0.165	1.000	0.070	1.000	1.000	0.539	2

3 讨论

通过测定植物叶片的生理指标可以了解植物对环境的响应。在干旱环境中,相对含水量与植物应对干旱环境能力呈正相关^[11-12]。本研究表明,油松和侧柏的相对含水量高于其他4种落叶乔木,保水性较好,充分体现了这2种常绿乔木具有较强的抗旱性。这与油松和侧柏叶形状、叶片较厚并具少量树脂有关,这与赵瑾等^[13]研究认为抗旱性植物的叶片一般都较小,有的变态成刺或革质的结果较一致。MDA是膜脂氧化的最终分解产物,其含量可反映植物遭受逆境伤害的程度^[14]。MDA积累越少,说明植物抗性越强^[15-16]。油松和侧柏的电导率和丙二醛(MDA)含量均低于其他4种落叶乔木,说明两者对环境的敏感性较弱,油松电导率在夏季最低,可能与其叶为针形,质地较硬,不易受到高温的伤害有关。从相对含水量、电导率和MDA含量来看,油松的侧柏具有一定的适应和抵抗干旱的能力,这与王巧等^[17]的研究结果较一致。

抗氧化酶(SOD、POD、CAT)在控制活性氧水平起着关键作用^[18]。POD酶活性可以反映某一时期植物体的抗性。POD活性越高表明树体抗氧化胁迫能力越强^[19]。抗逆性好的物种,POD活性高^[20-21]。SOD能反映植物在特定环境下的适应能力,其含量越高,表明

植物抗氧化胁迫能力越强^[22]。3种抗氧化酶活性比较来看,国槐、旱柳、银杏和栎树的SOD和CAT活性高于油松和侧柏,说明这4种落叶乔木通过酶促反应来应对干旱环境,油松和侧柏的POD活性高于其他4种落叶乔木,这2种常绿乔木通过增强POD活性来避免受到伤害,说明不同的树种应对干旱环境时的酶促反应有区别,这与前人的研究结果一致^[23-24]。油松的POD活性高,油松具有较强的忍受严重水分胁迫的能力^[25]。油松在应对干旱胁迫时会启动抗氧化防御体系来应对^[26-27]。可见,常绿和落叶植物在干旱环境下存在着不同的生存策略^[28]。

本研究表明,不同园林乔木的生理特性在季节间有差异。夏季的相对含水量最高,秋季最低,这与夏季园林乔木叶片生理代谢强、吸收水分能力强有关,秋季较低且树种间差异较大,说明树种间对干旱环境条件的响应各异。秋季MDA活性和电导率最高,园林乔木对秋季环境的敏感性较强,当地秋季气候环境对园林乔木生长影响较大。春季MDA和电导率最低,表明这6种园林乔木在春季有较强的抗膜脂氧化能力,对干旱胁迫的适应性较好^[2]。夏季SOD和POD活性最高,说明夏季抗氧化酶活性高度活跃,这6种园林乔木抗旱性较强。CAT活性与植物抗逆性密切相

关^[8],本研究发现秋季的CAT活性最高,且树种间差异较大,进一步说明了延安市秋季环境对植物生长影响较大。从各园林乔木表现出的差异性看出,季节对各园林乔木的抗氧化酶活性影响不同,主要与各园林乔木自身生理调节机制有关^[1]。

运用隶属函数法能较全面地反映园林乔木的综合抗逆性,本研究通过比较平均隶属值发现,6种园林乔木春季、夏季和秋季的平均隶属函数值次序各不相同,进一步说明每种园林乔木在应对当地不同的气候环境时各有自己的优势。3个季节平均来看,落叶乔木比常绿乔木适应当地环境更有优势。本研究仅研究了延安大学常见的6种园林乔木的生理特性,由于植物与环境的相互作用较复杂,今后需研究植物叶解剖结构、组织结构及功能性状对环境的响应。

4 结论

常绿乔木与落叶乔木比较来看,3个季节油松和侧柏的相对含水量和POD活性高于其他4种落叶乔木,而电导率、MDA、SOD和CAT低于其他4种落叶乔木。说明常绿乔木比落叶乔木具有更强的保水性,落叶乔木更易受到干旱环境的影响,但其应对干旱环境的能力较强。

季节间比较来看,相对含水量和POD活性均为夏季>春季>秋季,CAT活性与之相反。电导率和MDA活性均为秋季>夏季>春季,SOD活性为夏季>秋季>春季。可见,当地秋季气候环境对园林乔木生长影响较大,要重视秋季园林乔木的管护工作。

6种乔木比较来看,由隶属函数法分析结果看出,春季对环境适应性较强的树种是栎树、旱柳、国槐,夏季则是国槐、侧柏、栎树,秋季分别是银杏、栎树、旱柳。3个季节落叶乔木的平均隶属值均高于常绿乔木,综合来看,6种园林乔木对环境适应能力由强到弱为栎树>国槐>旱柳>银杏>侧柏>油松。

参考文献

- [1] 彭碧森. 广西大学六种园林乔木叶片结构与功能的比较研究[D]. 南宁:广西大学,2019.
- [2] 刘丹,邱长玉,李标,等. 用隶属函数法综合评价9个实用桑树品种的耐旱性[J]. 蚕学通讯,2022,42(4):1-11.
- [3] 陈少瑜,郎南军,李吉跃,等. 干旱胁迫下坡柳等幼苗质膜相对透性和脯氨酸含量的变化[J]. 广西植物,2006,26(1):80-84.
- [4] 唐文艺. 青裸幼苗在冻融环境下对青蒿素、干旱及碱性盐复合胁迫的生理响应特征[D]. 长春:吉林大学,2021.
- [5] 周萌. 锦鸡儿属响应干旱胁迫的形态适应特征和生理机制的研究[D]. 兰州:兰州大学,2016.
- [6] 张琛,刘辉,郝笃隽,等. 高温对甜樱桃萨米脱幼苗叶片生理指标的影响[J]. 果树学报,2023,40(4):712-723.
- [7] 查倩,奚晓军,蒋爱丽,等. 高温胁迫对葡萄幼树叶叶绿素荧光特性和抗氧化酶活性的影响[J]. 植物生理学报,2016,52(4):525-532.
- [8] HAMEED A, GOHER M, IQBAL N. Heat stress-induced cell death, changes in antioxidants, lipid peroxidation and protease activity in wheat leaves[J]. Journal of plant growth regulation,2012, 31(3):283-291.
- [9] 崔颖,李芊夏,刘彬,等. 干旱胁迫对地果幼苗形态与生理特性的影响[J]. 西北林学院学报,2020,35(6):82-88.
- [10] 李小芳,张志良. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社,2016:3,202-211.
- [11] 耿云红. 干旱胁迫对绿化木本植物抗逆性研究[J]. 山东农业大学学报(自然科学版),2019,49(1):12-18.
- [12] 刘洋,张鸿翎,韩涛. 干旱胁迫对4种菊科宿根花卉生理特性的影响[J]. 西北林学院学报,2021,36(5):76-81.
- [13] 赵瑾,李文根,魏国仁,等. 宝鸡市5种乡土树种抗旱性综合评价和研究[J]. 西北林学院学报,2019,34(6):74-81.
- [14] 赵宏亮,程昊,谢沁宏,等. 旱区6种灌木抗旱性评价及鉴定指标的筛选[J]. 西北林学院学报,2022,37(3):24-29.
- [15] 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.
- [16] 王延双,方文,王欣彤,等. 水淹胁迫对红花玉兰苗木生长和生理特性的影响[J]. 北京林业大学学报,2020,42(1):35-45.
- [17] 王巧,朱红,王华田,等. 油松古树衰老过程中的生长及生理变化[J]. 山东大学学报:理学版,2016,51(5):29-35.
- [18] QAYYUM A, AI AYOUBI S, SHER A, et al. Improvement in drought tolerance in bread wheat is related to an improvement in osmolyte production, antioxidant enzyme activities, and gaseous exchange[J]. Saudi journal of biological sciences,2021,28(9):5238-5249.
- [19] 年晓晨,王冲,贾占稳,等. 不同抚育措施对衰老火炬树叶片生理的影响[J]. 西北林学院学报,2021,36(5):63-68.
- [20] 黄婵. 植物抗旱生理基础研究进展[J]. 农村实用技术,2019,211(6):62-64.
- [21] 关景春,焦孟月,张彦妮. 8个矮牵牛品种抗旱性综合评价分析[J]. 西北林学院学报,2018,33(2):62-69,187.
- [22] LU C, LU Q, ZHANG J, et al. Characterization of photosynthetic pigment composition, photosystem II photochemistry and thermal energy dissipation during leaf senescence of wheat plants grown in the field[J]. Journal of experimental botany,2001(362):1805-1810.
- [23] 赵广华. 19种木兰科植物过氧化物酶研究[D]. 恩施:湖北民族学院,2018.
- [24] 赵宏伟,王新鹏,于美芳,等. 分蘖期规划胁迫及复水对水稻抗氧化系统及脯氨酸的影响[J]. 东北农业大学学报,2016,47(2):1-7.
- [25] 王琰,陈建文,狄晓艳. 水分胁迫下不同油松种源SOD、POD、MDA及可溶性蛋白比较研究[J]. 生态环境学报,2011,20(10):1449-1453.
- [26] 王凯悦,陈芳泉,黄五星. 植物干旱胁迫响应机制研究进展[J]. 中国农业科技导报,2019,21(2):19-25.
- [27] 金思雨,彭祚登. 刺槐和油松干旱胁迫响应研究进展[J]. 西北林学院学报,2022,37(4):79-91.
- [28] 王凯,赵成姣,邓杰,等. 成年侧柏和刺槐对春季干旱的适应策略[J]. 生态学杂志,2017,36(11):3176-3181.