

李海明, 吴水金, 黄惠明, 等. 柠檬香茅资源的抗寒性评价与筛选[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(14): 123–127.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.14.023

柠檬香茅资源的抗寒性评价与筛选

李海明, 吴水金, 黄惠明, 李跃森, 郑开斌

(福建省农业科学院热带农业研究所, 福建漳州 363005)

摘要:以 4 个柠檬香茅资源(漳州香茅、广东香茅、永春香茅、新西兰香茅)的叶片作为材料, 进行 -25、-15、0、5、15 ℃ 低温处理, 测定相对电导率、MDA 含量、SOD 活性及 POD 活性, 计算半致死温度(LT_{50}), 并应用隶属函数法对各生理指标进行综合评判。结果表明, 随着处理温度的降低, 4 个柠檬香茅资源的相对电导率呈逐渐升高的趋势, 半致死温度为 -21.81 ~ -20.94 ℃。低温胁迫过程中, 各香茅品种的 SOD、POD 活性整体呈升高的趋势; MDA 含量随着处理温度的降低逐渐升高。采用隶属函数综合评价的 4 个香茅资源的抗寒性, 其由强到弱依次为漳州香茅 > 永春香茅 > 新西兰香茅 > 广东香茅。通过抗寒性评价可知, 漳州香茅、永春香茅可向低温地区引种或作为抗寒育种材料。

关键词:柠檬香茅; 抗寒性; 生理生化指标; 隶属函数法

中图分类号: S573+.401 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2021)14-0123-04

香茅是禾本科香茅属约 55 种芳香性植物的统称, 亦称为香茅草, 为常见的香草之一^[1], 其中柠檬香茅(*Cymbopogon citratus*) 又称柠檬草, 叶有很浓的柠檬味, 原产于东南亚热带地区, 我国广东、广西、云南、福建、海南和台湾等省均有栽培, 喜高温多湿气候, 在无霜或少霜害地区生长良好, 由于根系发达, 能耐旱、耐瘠, 生长比较粗放, 不论砂土、黏土还是其他瘠瘦的土壤均可生长^[2-3]。温度条件是植物正常生长的重要环境因素, 因此低温会限制植物分布, 是引种环节需要考虑的环境因素之一^[4]。目前香茅属植物的研究集中在提取工艺、精油成分、抑菌作用及成分分析上^[5-8], 抗寒性方面的研究相对较少。在低温胁迫下, 植物体内发生复杂的生理生化反应, 各项生理生化指标的变化能够科学、准确地鉴定出植物抗寒性, 是植物体内一系列生理生化过程综合作用的结果, 受外界环境因子的影响或制约^[9]; 相对电导率、丙二醛(malondialdehyde, MDA) 含量随着温度的降低而上升^[10-11], 温度越低, 增幅越大; 植物体内抗氧化酶活性减弱^[12], 这些生理生

化指标的变化, 对植物引种和栽培具有一定的指导意义。本研究对 4 个柠檬香茅资源进行不同低温处理, 测定其各项生理生化指标, 以期对柠檬香茅资源的引种, 尤其是向低温地区引种, 提供理论参考依据。植物在低温胁迫下, 体内会发生复杂的生理生化反应, 低温下细胞膜的通透性增加, MDA 含量随着温度降低而上升, 超氧化物歧化酶(Superoxide dismutase, SOD)、过氧化物酶(Peroxidase, POD) 活性随着温度降低而增强, 已作为评价植物抗寒性的生理生化指标, 对植物引种和栽培具有指导意义。香茅资源的耐寒性及抗寒性方面的研究未见报道, 因此本研究对 4 个柠檬香茅资源(漳州香茅、广东香茅、永春香茅、新西兰香茅)进行 -25、-15、0、5、15 ℃ 低温处理, 测定相对电导率、MDA 含量、SOD 活性及 POD 活性, 计算半致死温度(LT_{50}), 并应用隶属函数法对各生理指标进行综合评判, 筛选出抗寒性强的柠檬香茅资源, 以期对柠檬香茅资源向低温地区引种提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

柠檬香茅资源种植于福建省漳州市龙文区朝阳镇的福建省农业科学院热带农业研究所试验地(117°43'41"E、24°32'57"N)。于 2020 年 7 月选择田间长势良好的柠檬香茅品种资源柠檬香茅、永春香茅、广东柠檬香茅、新西兰香茅, 分别剪取茎上部叶片, 迅速带回实验室, 叶片用自来水冲洗干净, 再用超

收稿日期: 2020-12-14

基金项目: 福建省农业科学院科技创新平台专项(编号: CXPT0022019002); 福建省公益类专项(编号: 2019R1030-3); 福建省农业科学院闽宁合作项目(编号: MN2018-2)。

作者简介: 李海明(1975—), 女, 福建长汀人, 硕士, 副研究员, 主要从事植物保护研究。E-mail: lhm2208564@163.com。

通信作者: 郑开斌, 博士, 研究员, 主要从事功能植物研究与开发。
E-mail: 409119296@qq.com。

纯水冲洗 3 次后滤纸吸干,用湿润的纱布包裹,分别在 -25、-15、0、5、15 ℃ 的温度下处理 24 h,处理后的样品用于各项生理指标测定。

1.2 方法

1.2.1 电导率的测定 参考邹琦的方法^[13]测定相对电导率。将低温处理后的叶片剪成 0.5 cm 大小,称取叶片 0.1 g,每个处理 3 个重复,放入干净的具刻度的玻璃试管中,加入去离子水,浸没样品,静置 12 h 后,用 DDS-11A 型电导率仪测定叶片浸提液电导率,记为 R_1 。然后将玻璃试管管盖旋紧,放入水浴锅 99 ℃ 水浴 30 min,冷却至室温后摇匀,再次测定浸提液电导率,记为 R_2 ,计算叶片相对电导率 (REC) = $(R_1/R_2) \times 100\%$ 。

1.2.2 半致死温度 (LT_{50}) 的计算 利用相对电导率,拟合 Logistic 方程,能够确定植物的半致死温度 (LT_{50}),用 SPSS 19.0 统计软件对不同处理温度与叶片相对电导率之间的关系进行非线性回归分析,用 Logistic 方程 $y = k/(1 + ae^{-bx})$ 来拟合,式中: y 为相对电导率; x 为处理温度; k 为细胞伤害率饱和容量,即 y 的最大极限值; a 、 b 为方程参数。为了确定 a 、 b 的值,将方程线性化处理得到 $\ln[(k - y)/y] = \ln a - bx$,令 $y_1 = \ln[(k - y)/y]$,转化为细胞伤害率与处理温度的直线方程。通过回归求得 a 、 b 值及决定系数 r^2 ,用曲线的拐点作为香茅半致死温度,即 $LT_{50} = -(\ln a)/b$,确定不同香茅品种的抗寒性。

1.2.3 酶液的制备 称取低温胁迫处理后的香茅叶片约 1.0 g,分别取各处理材料按照质量体积比 (g/mL) 1 : 9 的比例加入 9.0 mL 的 0.1 mol/L 磷酸缓冲液 (PBS) (pH 值 = 7.0),研磨,4 ℃ 条件下 8 000 r/min 离心 10 min,取上清液即为待测酶液。

1.2.4 生理生化指标的测定 参照邹琦的方法^[13]测定生理指标。SOD 活性采用 NBT 光反应还原法测定,POD 活性采用愈创木酚法测定,MDA 含量采用硫代巴比妥酸 (TBA) 显色法测定。

1.3 数据处理

用 DPS 3.0 与 Excel 2013 进行数据分析和显著性分析。参照文献[14-15]的方法计算抗寒性隶属函数值,应用隶属函数法对各生理指标进行综合评判。

2 结果与分析

2.1 低温胁迫下叶片相对电导率及半致死温度测定

由图 1 可知,4 个香茅品种资源在 15 ℃ 时,相

对电导率相当,在 62% 左右,随着胁迫温度的降低,4 个品种的相对电导率呈增加的趋势,可见柠檬香茅叶片相对电导率与低温胁迫温度呈负相关,叶片细胞膜受损严重,电导率不断升高。5 ℃ 时,永春香茅的相对电导率最低,为 65.59%,其次是新西兰香茅,为 71.29%;当温度到 0 ℃ 时,漳州本地香茅的相对电导率最低,为 84.40%,其余 3 个品种相当;当温度胁迫到 -25 ℃,4 个品种的相对电导率相当。

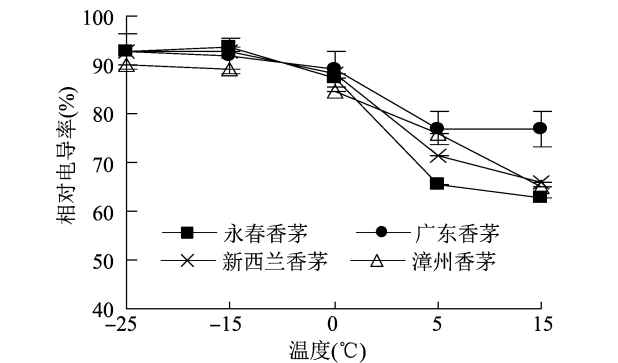


图1 4个柠檬香茅资源低温胁迫后相对电导率的变化

从 Logistic 方程和拟合的结果(表 1)来看,低温胁迫下相对电导率与温度之间的关系曲线能较好地用 Logistic 曲线方程 $y = k/(1 + ae^{-bx})$ 进行拟合, r^2 值在 0.840 ~ 0.982 之间,表明不同低温处理的相对电导率的变化符合 Logistic 方程的变化规律,与半致死温度呈较强的线性关系,拟合结果较为精确,4 个柠檬香茅资源的 LT_{50} 从小到大依次是漳州香茅、永春香茅、新西兰香茅、广东香茅,半致死温度依次为 -21.81、-21.49、-21.13、-20.94 ℃。半致死温度高,说明品种的抗寒性相对较差,易受低温胁迫的危害。可见,漳州本地香茅的抗寒性最好。

表 1 不同柠檬香茅资源的 Lotistic 方程及半致死温度

资源名称	Logistic 方程	r^2	LT_{50} (℃)
永春香茅	$y = 0.994 / (1 + 0.237e^{0.067x})$	0.840	-21.49
广东香茅	$y = 0.928 / (1 + 0.081e^{0.120x})$	0.966	-20.94
漳州香茅	$y = 0.954 / (1 + 0.150e^{0.087x})$	0.911	-21.81
新西兰香茅	$y = 0.894 / (1 + 0.034e^{0.160x})$	0.982	-21.13

2.2 低温胁迫下不同香茅品种 SOD 活性的变化

从表 2 可以看出,随着温度的降低,广东香茅和永春香茅的 SOD 活性较为稳定,广东香茅在 -25 ℃ 时的酶活性为 145.27 U/g,比 15 ℃ 的酶活性 134.35 U/g 增加 8.13%,永春香茅在 -25 ℃ 时

的酶活性比 15 ℃ 的酶活性增加 21.20% ; 15 ~ 0 ℃ , 漳州香茅的 SOD 活性增加不显著, 当温度降至 -25 ℃ 时, SOD 的活性与前 4 个温度相比, 极显著增加; 另外, 新西兰香茅随着温度的降低, SOD 活性整体逐渐增加, 当温度降至 -25 ℃ 时, SOD 的活性与前 4 个温度相比极显著增加。SOD 的活性升高, 表明植物在受到低温胁迫时, 是植物的酶保护系统对低温的一种应激反应, 起到保护植株的作用, 可见漳州香茅、新西兰香茅的抗寒性比广东香茅、永春香茅好, 各香茅品种资源的抗寒性表现为漳州香茅 > 新西兰香茅 > 永春香茅 > 广东香茅 (表 2)。

表 2 不同低温胁迫下对香茅 SOD 活性的影响

温度 (℃)	SOD 活性(U/g)			
	广东香茅	漳州香茅	新西兰香茅	永春香茅
-25	145.27 ± 3.76cB	102.61 ± 6.16cB	135.22 ± 10.94cD	149.13 ± 8.28cD
-15	139.57 ± 1.30bAB	59.13 ± 1.51bA	71.74 ± 3.45bC	154.78 ± 1.99cD
0	136.96 ± 1.30abA	40.87 ± 12.12aA	75.65 ± 2.61bBC	133.91 ± 6.56bAB
5	136.96 ± 2.61abA	40.44 ± 2.25aA	49.57 ± 15.65aAB	137.39 ± 4.94bBC
15	134.35 ± 3.45aA	43.91 ± 10.46aA	36.09 ± 4.19aA	123.04 ± 2.71aA

注: 同列数据后不同小写、大写字母分别表示在 0.05、0.01 水平差异显著。表 3、表 4 同。

2.3 低温胁迫下不同香茅品种 POD 活性的变化

从表 3 可以看出, 4 个香茅品种随着胁迫温度的降低, POD 活性呈现升高的趋势, 其中广东香茅的 POD 活性在 15 ℃ 时为 440.00 U/(g · min), 温度在 5 ℃ 时, 其 POD 活性略有降低, 但与 15 ℃ 时的 POD 活性差异不显著, 随着胁迫温度的降低, POD 活性不断升高, 在 -25 ℃ 时 POD 活性为 1 086.67 U/(g · min), 增加了 146.97%; 漳州香茅的 POD 活性与广东香茅相似, 5 ℃ 时略有下降, 随着胁迫温度的降低, POD 活性不断升高, 在 -25 ℃ 时 POD 活性为 2 376.67 U/(g · min), 增加了 184.06%; 新西兰香茅的 POD 活性随着温度的降低不断增加, 在 -25 ℃ 时 POD 活性为 1 476.67 U/(g · min), 增加了 486.75%; 永春香茅的 POD 活性随着温度的降低不断增加, 在 -25 ℃ 时 POD 活性为 856.67 U/(g · min), 增加了 252.06%; 从 POD 活性累积来看, 新西兰香茅、永春香茅的 POD 活性明显比其余 2 个品种的活性要高, POD 活性的增加, 表明抗寒能力增强, 可见, 新西兰香茅、永春香茅的抗寒性高于其他 2 个品种。

2.4 低温胁迫下不同香茅品种 MDA 含量的变化

由表 4 可知, 4 个香茅品种的丙二醛含量由

表 3 不同低温胁迫下香茅 POD 活性的影响

温度 (℃)	POD 活性[U/(g · min)]			
	广东香茅	漳州香茅	新西兰香茅	永春香茅
-25	1 086.67 ± 32.15aA	2 376.67 ± 25.66aA	1 476.67 ± 30.13aA	856.67 ± 18.49aA
-15	876.67 ± 55.07bB	2 320.00 ± 61.44aA	1 768.33 ± 27.84bB	745.00 ± 13.23bB
0	741.67 ± 22.55cC	1 755.00 ± 39.69bB	1 096.67 ± 37.52cC	723.00 ± 6.08bB
5	388.33 ± 14.43dD	821.67 ± 36.17cC	521.67 ± 7.63dD	555.00 ± 8.66cC
15	440.00 ± 17.32dD	836.67 ± 79.74cC	251.67 ± 7.63cE	243.33 ± 12.58dD

15 ℃ 至 -25 ℃ 均表现出上升的态势。说明温度越低, 植物自身的受害程度越严重。但品种间对比可以发现, 在胁迫的 5 个温度下, 广东香茅的 MDA 含量明显高于其他 3 个香茅品种, 说明广东香茅的抗寒能力低于其他 3 个香茅品种; 漳州香茅在胁迫的 5 个温度下, 各胁迫温度的 MDA 含量明显低于其他 3 个品种, 说明漳州香茅的受伤害程度小, 而广东香茅的受伤害程度大。

表 4 低温胁迫下不同香茅品种 MDA 含量的影响

温度 (℃)	MDA 含量(μmol/L)			
	广东香茅	漳州香茅	新西兰香茅	永春香茅
-25	2.493 ± 0.035aA	1.706 ± 0.139aA	1.746 ± 0.041aA	1.866 ± 0.019aA
-15	2.159 ± 0.028bB	1.464 ± 0.075bB	1.525 ± 0.041cC	1.639 ± 0.071bBC
0	2.209 ± 0.041bB	1.440 ± 0.041bB	1.557 ± 0.016cBC	1.708 ± 0.048bB
5	1.669 ± 0.065cC	1.403 ± 0.014bBC	1.658 ± 0.058bAB	1.533 ± 0.032cC
15	1.384 ± 0.045aA	1.231 ± 0.067cC	1.341 ± 0.028dD	1.209 ± 0.011dD

2.5 不同柠檬香茅资源的抗寒性综合评价

应用隶属函数法对 4 个柠檬香茅资源各抗寒性生理指标进行综合分析 (表 5) 表明, 漳州香茅的抗寒性优于其他 3 个香茅资源, 漳州香茅、永春香茅、新西兰香茅、广东香茅的平均隶属度分别为 0.694 9、0.680 5、0.403 2、0.272 0。平均隶属度综合反映了品种资源的抗寒能力, 其值越大则表明抗寒性越强。因此, 低温胁迫下 4 个香茅资源的抗寒性由强到弱依次为漳州香茅 > 永春香茅 > 新西兰香茅 > 广东香茅。

3 讨论与结论

低温使植物组织的细胞膜受损而发生电解质外渗, 电导率也随之增大, 因此电导率法逐渐广泛应用于植物耐寒性研究^[16]。本试验结果表明, 随着温度的降低, 各香茅品种的相对电导率逐渐增大, 说明低温处理对叶片细胞膜造成了伤害, 当温度胁迫

表 5 低温胁迫下 4 个香茅资源各指标隶属函数值及抗寒性综合评价

资源名称	隶属度					抗寒位次
	相对电导率	MDA 含量	SOD 活性	POD 活性	平均	
广东香茅	0.000 0	0.000 0	1.000 0	0.088 1	0.272 0	4.000 0
漳州香茅	0.779 5	1.000 0	0.000 0	1.000 0	0.694 9	1.000 0
新西兰香茅	0.203 2	0.781 8	0.200 2	0.427 7	0.403 2	3.000 0
永春香茅	1.000 0	0.734 0	0.988 1	0.000 0	0.680 5	2.000 0

迫到 -25 ℃ 时,4 个香茅资源的相对电导率相当,这表明 4 个香茅资源在 -25 ℃ 细胞膜损伤程度相当。低温半致死温度能较直观准确地反映植株的抗寒能力和耐低温的能力,值越低表明抗寒性越强^[17],本试验结果表明,4 个柠檬香茅资源的 LT₅₀ 从小到大为漳州香茅、永春香茅、新西兰香茅、广东香茅,温度依次为 -21.81、-21.49、-21.13、-20.94 ℃。该结果可为福建省乃至我国引种香茅资源的选择和抗寒保护提供理论依据。

植物受到低温胁迫时体内活性氧产量增加,细胞膜脂过氧化作用增强,严重时导致细胞受损或植株死亡。SOD 和 POD 是植物保护酶系统的关键酶类,在植物抵御低温胁迫过程中发挥着重要作用,其活性大小与植物抗寒性强弱有一定的相关性,SOD 活性大的种质其抗寒性强。过氧化物酶则通过催化与其他底物发生反应将 H₂O₂ 维持在一个较低的水平,防止过量积累,研究表明,抗寒性强的种质过氧化物酶活性高于抗寒性弱的种质^[18-19]。本试验显示,随着胁迫温度的降低,SOD 与 POD 活性升高,其中广东香茅和永春香茅的 SOD 活性比漳州香茅和新西兰香茅要高,但是漳州香茅和新西兰香茅在低温 -25 ℃ 时,活性成倍增加,达极显著水平;从 POD 活性累积来看,新西兰香茅、漳州香茅的 POD 活性明显比其余 2 个品种的活性要高,POD 活性的增加,表明抗寒能力增强,可见新西兰香茅、漳州香茅的抗寒性高于其他 2 个品种。

丙二醛作为膜脂氧化的最终产物,已经成为衡量植物抗寒性的一个通用指标,丙二醛含量越高,说明植物自身的受害程度越严重,并且在同一温度下,丙二醛含量越高,说明植物抗逆性越差,即丙二醛含量与抗寒性呈负相关^[20]。4 个香茅资源的丙二醛含量由 15 ℃ 至 -25 ℃ 均表现出上升的态势,且各胁迫温度广东香茅的丙二醛含量明显高于其他 3 个香茅品种,说明广东香茅的抗寒能力低于其他 3 个香茅品种;漳州香茅在胁迫的 5 个温度下,丙二醛含量明显低于其他 3 个品种,说明漳州香茅

的受伤害程度小,而广东香茅的受伤害程度大。

植物是一个统一的有机体,抗寒性是由多因素联合控制的综合性数量性状,各项指标能在一定程度上反映植株抗寒能力,如仅靠一种测定指标难以对其抗寒性进行客观分析。利用隶属函数法进行多指标综合评价是常用的科学方法^[21-22]。本研究依据隶属函数值大小评价的抗寒性强弱顺序为漳州香茅>永春香茅>新西兰香茅>广东香茅。

参考文献:

[1] 谢丽莎,欧阳炜,黄振园,等. 香茅草研究概述[J]. 上海中医药杂志,2012,46(7):66-68.

[2] 林霜霜,郑开斌,郑黄楠,等. 柠檬香茅叶水提液对黄秋葵的化感效应及其成分分析[J]. 福建农业学报,2018,33(1):46-50.

[3] 段元静,钟晓婷,陈超志,等. 柠檬草与香茅药材中柠檬醛、香叶醇的定性定量研究[J]. 广东药学院学报,2016,32(6):690-694.

[4] 邱乾栋,吕晓贞,臧德奎,等. 植物抗寒生理研究进展[J]. 山东农业科学,2009(8):53-57.

[5] 杨帆,杨凯瑜,李科锋,等. 抗氧化香茅草水提液浸提工艺的优化[J]. 宁夏大学学报(自然科学版),2020,41(3):279-284,290.

[6] 杨梦文,赵琳静,顾思怡,等. 香茅化学成分及药理作用的研究进展[J]. 中成药,2020,42(3):714-719.

[7] 邱珊莲,林宝妹,洪佳敏,等. 柠檬香茅精油的提取及其成分分析[J]. 中国调味品,2020,45(7):177-179,185.

[8] 宋星陈,李冬雪,任亚峰,等. 香茅属植物精油在农业病虫害控制中的应用研究进展[J]. 中国植保导刊,2018,38(7):25-33.

[9] 彭筱娜,易自力,蒋建雄. 植物抗寒性研究进展[J]. 生物技术通报,2007(4):15-18.

[10] 王瑞,马凤鸣,李彩凤,等. 低温胁迫对玉米幼苗脯氨酸、丙二醛含量及电导率的影响[J]. 东北农业大学学报,2008,39(5):20-23.

[11] 王仕林,黄辉跃,唐建,等. 低温胁迫对油菜幼苗丙二醛含量的影响[J]. 湖北农业科学,2012,51(20):4467-4469.

[12] 张杰,孙叶烁,薛一花,等. 贮藏温度对白菜叶片 SOD、POD 活性及 MDA 含量的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2019,47(10):113-119.

[13] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业出版社,2000.

[14] 叶艳然,王文莉,郑成淑,等. 四种野生苔草属植物的耐寒性评价[J]. 应用生态学报,2017,28(1):89-95.

[15] 令凡,焦健,李朝周,等. 不同油橄榄品种对低温胁迫的生理响应及抗寒性综合评价[J]. 西北植物学报,2015,35(3):508-515.

[16] 赵永强,樊继德,杨艳,等. 电导率法结合 Logistic 方程鉴定大蒜品种资源的耐寒性[J]. 广西农学报,2019,34(3):18-20,32.

[17] 许瑛,陈发棣. 菊花 8 个品种的低温半致死温度及其抗寒适

张玉玉,王进鑫,马 戌,等. 不同干旱胁迫历时及复水对侧柏叶绿素荧光的影响[J]. 江苏农业科学,2021,49(14):127-132.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.14.024

不同干旱胁迫历时及复水对侧柏叶绿素荧光的影响

张玉玉¹,王进鑫^{2,3},马 戌¹,吕国利¹,冯树林¹

(1. 西北农林科技大学水土保持研究所,陕西杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学资源环境学院,陕西杨凌 712100;

3. 农业农村部西北植物营养与农业环境重点实验室,陕西杨凌 712100)

摘要:以盆栽 1 年生侧柏幼苗为试验材料,采用盆栽称质量法,通过人工控制干旱胁迫时间和土壤水分研究不同干旱胁迫历时及旱后复水对侧柏幼苗叶绿素荧光参数的影响,探讨侧柏幼苗对不同历时干旱胁迫作出的抗旱性响应及旱后复水的恢复情况。试验设置 4 个胁迫持续时间(60、45、30、15 d)和 4 个土壤水分梯度(87.84%、70.00%、52.16%、40.00%),以充分供水(土壤水分梯度 100%)为对照,经过不同历时的干旱胁迫后复水,测定复水前及复水后 1、3、5、7、9 d 的叶绿素荧光参数。结果显示,不同历时干旱胁迫下,侧柏 PS II 的潜在光化学效率(F_v/F_o)、最大光化学量子产量(F_v/F_m)和相对光合电子传递速率(ETR)都低于对照,其中干旱胁迫 60 d 的侧柏幼苗 F_v/F_o 、 F_v/F_m 和 ETR 分别比对照下降 3.7%、0.9% 和 26.5%,而非光化学淬灭系数(NPQ)则高于对照,胁迫历时 60 d 的处理比对照高 24.8%。复水后,侧柏幼苗叶绿素荧光参数得到了恢复,在复水 3 d 时 F_v/F_o 、ETR、NPQ 基本恢复至对照水平, F_v/F_m 在复水 7 d 时基本恢复至对照水平之后出现补偿效应。由此可知,不同历时的干旱胁迫虽然对侧柏幼苗 PS II 有一定的破坏,对光合作用有一定程度的影响,但侧柏幼苗通过调节自身的光保护和光适应机制可逐渐适应这种干旱环境,并且在复水后各指标都得到了相应的恢复。

关键词:侧柏;光系统 II;叶绿素荧光参数;干旱胁迫历时;复水

中图分类号: S791.380.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2021)14-0127-06

干旱半干旱地区年降水量不但少而且分布极不均匀,经常会出现土壤缺水和干湿交替的现象^[1]。当植物处于干旱环境时,会通过调节自身的生理生化过程或启动自我保护机制来避免自身受到损伤^[2-3]。植物在生长发育过程中,会呈现出一定的阶段性变化规律,且在不同生长阶段对环境的

要求也存在明显的异质性^[4-5]。陈科皓等通过研究侧柏[*Platycladus orientalis* (L.) Franco]幼苗生物量在不同生长时期对旱后复水的响应发现,侧柏单株生物量在生长盛期随着胁迫程度的增大呈现下降趋势,地下部分生物量和根冠比随着胁迫程度的增大呈现上升趋势^[6]。王进鑫等研究发现,对侧柏幼树蒸腾耗水影响较大的是生长盛期的土壤供水状况,生长后期的土壤供水状况次之,生长前期的土壤供水状况影响最小^[7]。说明侧柏幼苗在生长盛期对土壤水分的响应更加明显。

近些年来,叶绿素荧光参数在植物处于干旱、高温、酸雨等逆境胁迫条件下抗逆性的研究较为常见^[8-12]。赵丽丽等研究干旱胁迫对百脉根叶绿素荧光特性的影响,结果发现,百脉根叶片光系统 II (PS II) 的潜在活性和最大光化学效率等参数随着

收稿日期:2019-12-25

基金项目:国家自然科学基金(编号:31670713);国家重点研发计划(编号:2017YFC0504402);榆林市林业科技计划(编号:K403021528)。

作者简介:张玉玉(1992—),女,甘肃镇原人,硕士研究生,主要从事林草生态工程研究。E-mail:gs-yuyuzhang@163.com。

通信作者:王进鑫,博士,教授,博士生导师,主要从事旱区人工林生态系统水分运移调控与生态恢复理论研究。E-mail:jwangl18@126.com。

应性[J]. 园艺学报,2008,35(4):559-564.

[18]罗 萍,贺军军,姚艳丽,等. 低温对不同耐寒性橡胶树叶片抗氧化能力的影响[J]. 西北植物学报,2014,34(2):311-317.

[19]任俊杰,赵 爽,苏彦苹,等. 春季低温胁迫对核桃抗氧化酶指标的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2016,44(3):75-81.

[20]李 倩,王月昇,王玉祥. 低温处理对白三叶叶绿素、可溶性糖和丙二醛等的影响[J]. 中国农学通报,2016,32(19):83-86.

[21]柳新红,何小勇,苏冬梅,等. 翅荚木种源抗寒性综合评价体系的构建与应用[J]. 林业科学,2007,43(10):45-50.

[22]杨凤翔,金 芳,颜 霞. 不同草莓品种抗寒性综合评价[J]. 果树学报,2010,27(3):368-372.