

外源褪黑素对干旱胁迫下苦水玫瑰生理特性的影响

蒋倩,汪富军,马晓兰,丘文山,林琦云

(甘肃农业大学园艺学院,甘肃 兰州 730070)

摘要:为探明外源喷施不同浓度褪黑素(MT)对干旱胁迫下苦水玫瑰生理特性的影响,以2年生苦水玫瑰扦插苗为试材,采用盆栽控水法,设置6个处理,即正常浇水(CK₁)、干旱胁迫(CK₂)、干旱胁迫+喷施4种浓度褪黑素MT:50(T₁)、100(T₂)、200(T₃)、300 μmol/L(T₄)处理,观察胁迫后叶片与枝条形态变化,测定各处理植株叶片丙二醛(MDA)含量、渗透性调节物质、相对电导率(REC)及抗氧化酶活性。结果表明,(1)干旱胁迫20 d时,与CK₁相比,褪黑素(T₁—T₄)处理叶片虽呈现不同程度黄化、卷曲甚至脱落,枝条也呈现不同程度下垂、干枯坏死,但表型均优于CK₂;(2)外源喷施褪黑素(MT)可有效降低干旱胁迫下苦水玫瑰叶片丙二醛及相对电导率的升高幅度,提高过氧化物酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化氢酶(CAT)活性,促进可溶性糖(SS)、可溶性蛋白(SP)和脯氨酸(Pro)的积累,且具有明显的浓度效应。对8个指标进行多元方差分析评价,结果显示各处理对干旱胁迫的缓解效应由高到低依次为T₃>T₂=T₄>T₁>CK₂。其中,胁迫至20 d时,T₃处理下叶片MDA和REC分别较CK₂降低36.23%和59.97%;POD、SOD、CAT、SS、SP和Pro分别较CK₂提高19.16%、3.54%、45.71%、20.23%、31.42%和6.75%。综上所述,外源褪黑素通过提高抗氧化酶活性和增强生物膜稳定性来降低干旱胁迫对植株的损伤,增强抗旱性,且以200 μmol/L为最适处理浓度。

关键词:干旱胁迫;褪黑素;苦水玫瑰;生理特性

中图分类号:S685.12 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2022)04-0039-08

DOI:10.13817/j.cnki.cycp.2022.04.006



苦水玫瑰(*Rosa sertate*×*R. rugosa*),蔷薇科蔷薇属落叶灌木,由于其花香气浓厚,素有“玫瑰花开十里香”的美誉,是中国著名地理标志产品^[1]。作为甘肃省永登县的特色农产品,苦水玫瑰花香型独特且纯正^[2],含油量高,花瓣被广泛用作食品添加剂、入药、酿酒^[3-5]以及生产高级香料、高档化妆品的原料,其根也

可入药,具有顺气和血、疏肝解郁功效^[6]。因此,苦水玫瑰具有极高经济价值、生态环境价值和药用价值^[7-8]。甘肃省永登县属于温带大陆性气候,年平均温度是5.9℃,年均降雨量约为290 mm,属于干旱少雨地区,干旱已成为限制该地区苦水玫瑰产业发展的重要环境因素^[9]。

褪黑素(Melatonin, MT)是一种广泛存在于动植物中的脂溶性化合物,化学名为N-乙酰基-5-甲氧基色胺,其抗氧化活性为维生素E的两倍,被认为是最有效的亲脂性抗氧化剂之一^[10]。植物中褪黑素含量虽极低,却在调节植物生长发育以及应对胁迫等方面扮演着重要作用^[11-12]。李鹏辉等^[13]表明,通过烟草叶表面喷施褪黑素,可以降低干旱胁迫诱导的膜脂过氧化物MDA含量,减轻氧化损伤,从而提高烟草幼苗的抗旱能力。李琳琳等^[14]在番茄上研究发现,叶面喷施褪黑

收稿日期:2021-01-10; **修回日期:**2021-11-28

基金项目:外源褪黑素对干旱胁迫下苦水玫瑰缓解效应的机理研究(甘肃省教育科技创新基金2022B-098);基于代谢组学苦水玫瑰耐盐碱机理的研究(省自然科学基金20JR10RA534);苦水玫瑰组培快繁技术体系建立研究(兰州市科技局2015-3-55)。

作者简介:蒋倩(1974-),女,甘肃榆中人,主要从事观赏植物应用及抗逆性研究。

E-mail:329691193@qq.com

素可提高抗氧化酶活性,减轻干旱造成的氧化损伤和细胞膜受损程度。吴燕等^[15]研究表明,外源褪黑素可以提高干旱胁迫下滁菊叶片脯氨酸、可溶性蛋白和可溶性糖含量来使细胞维持正常功能。此外,在苹果上也证实,喷施褪黑素可降低干旱胁迫下苹果叶片丙二醛(MDA)含量,提高抗氧化酶活性,以此来缓解干旱胁迫造成的损伤,提高苹果幼苗的抗旱性^[16]。

迄今,干旱胁迫对植物生理特性的影响受到国内外学者的研究报道。有研究表明,干旱胁迫会造成植物体内的生理代谢失衡,叶片失水萎蔫,膜透性增大,呼吸紊乱,气孔关闭,光合作用减弱^[18-21]。Ma等^[22]也证实干旱胁迫对植物最直接的影响就是光合强度减弱,细胞内产生过量活性氧,打破氧化代谢平衡,引起膜脂过氧化损伤加剧,甚至导致植株死亡。苦水玫瑰作为功能性园艺作物,目前国内外研究主要集中在栽培技术^[23-24]、病虫害防治^[25-26]、香气成分构成分析^[27-28]、各种活性成分提取和应用及品种资源整理等方面^[29-31],有关外源物质褪黑素缓解干旱胁迫下苦水玫瑰的研究尚属空白。因此,本试验以盆栽苦水玫瑰植株为材料,通过叶片喷施的方法来研究不同浓度褪黑素对干旱胁迫下苦水玫瑰生理指标的影响,以期为利用外源褪黑素提高苦水玫瑰干旱胁迫耐受性提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 供试材料

供试的苦水玫瑰两年生扦插苗由甘肃省永登县甘肃茂林玫瑰产业开发有限公司提供。2019年4月5日选取长势一致的裸根苗移栽到20 cm×20 cm的营养钵中,以泥炭、蛭石、珍珠岩(2:1:1)作为栽培基质,温度20℃,光照16 h/黑暗8 h,光照强度6 000 lx,相对湿度70%(光照)/65%(黑暗),放置在甘肃农业大学园艺学院玻璃温室培养。

1.2 试验处理

2019年8月17日,选择长势一致的苦水玫瑰植株,进行干旱胁迫处理,采用称重法控制土壤含水量,每天傍晚称重并复水,使土壤保持田间持水量50%±2%。对照(CK₁)处理始终保持田间持水量的80%。试验共设6个处理,CK₁(正常浇水),CK₂(干旱胁迫),T₁(干旱+褪黑素50 μmol/L),T₂(干旱+褪黑素100

μmol/L),T₃(干旱+褪黑素200 μmol/L),T₄(干旱+褪黑素300 μmol/L)。每个处理6个重复,每个重复3株。其中,褪黑素以叶面喷施的方式于每日18:00喷施,每盆均匀喷施50 mL(叶面滴水为准),每5天喷施1次,共喷施3次。干旱胁迫处理次日开始计算胁迫时间,分别于胁迫5、10、15和20 d进行各项指标的测定和分析。取样选取植株顶端向下第3~4节位上成熟叶片。

1.3 测定指标与方法

MDA含量的测定使用硫代巴比妥酸(TBA)法测定^[32],超氧化物歧化酶(SOD)活性使用氮蓝四唑NBT法^[33],过氧化物酶(POD)活性使用愈创木酚法^[33],过氧化氢酶(CAT)活性使用高锰酸钾滴定法和紫外线吸收法测定^[34],可溶性糖(SS)含量测定使用蒽酮比色法^[35],可溶性蛋白(SP)质量分数测定使用考马斯亮蓝法^[33],游离脯氨酸(Pro)含量测定使用茚三酮显色法^[33],相对电导率测定使用电导法^[35]。

1.4 数据处理

用Excel软件进行数据整理和作图,用SPSS 25.0软件进行统计分析(显著性差异分析),用DPS 9.50软件进行多元方差分析,显著性分析的方法。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫下苦水玫瑰叶片形态的变化

胁迫20 d时,正常供水植株(CK₁)叶片仍持绿,叶多繁茂,枝条舒展,生长健壮。而干旱胁迫(CK₂)下,叶片发黄萎蔫且叶边缘卷曲甚至脱落,枝条干枯坏死并严重下垂。与CK₂相比,不同浓度外源褪黑素(T₁—T₄)处理效果不同,T₁和T₂处理下叶片稍有恢复但仍明显发黄,T₃处理下叶片已明显复绿,生长状态最好,T₄处理叶片,复绿状况比T₃稍差。可见,T₃处理对盐碱胁迫伤害的缓解效果最佳(图1)。

2.2 褪黑素对干旱胁迫下苦水玫瑰叶片MDA含量的影响

随着干旱胁迫时间延长,苦水玫瑰叶片MDA含量呈上升趋势,且不同处理下MDA含量的升幅不同。胁迫至15 d时,各处理下MDA含量已显著升高,其中T₁处理下MDA含量最高,为0.013 μmol/g;胁迫至20 d时,各处理下MDA含量均达到最高值,其中T₃处理MDA含量最低,为0.013 μmol/g,且显著高于CK₁

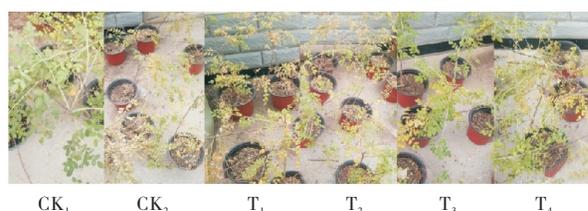


图 1 干旱胁迫下褪黑素对苦水玫瑰植株生长的影响

Fig. 1 Effects of melatonin (MT) on the growth of Kushui Rose under drought stress

($0.009 \mu\text{mol/g}$), 低于 CK_2 ($0.019 \mu\text{mol/g}$), 较 CK_2 降低 36.23% (图 2)。

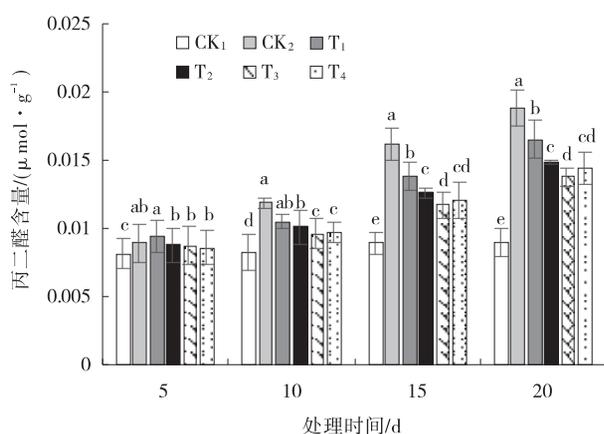


图 2 褪黑素对干旱胁迫下苦水玫瑰丙二醛含量的影响

Fig. 2 Effects of melatonin (MT) on malondialdehyde (MDA) content of Kushui rose under drought stress

注:不同小写字母表差异显著($P < 0.05$)

2.3 褪黑素对干旱胁迫下苦水玫瑰抗氧化酶的影响

随干旱胁迫时间延长,苦水玫瑰 POD 活性呈先升后降趋势(图 3-A)。胁迫至 15 d 时, T_1 、 T_2 、 T_3 和 T_4 处理的 POD 活性均达到峰值,分别为 45.33、53.33、56.00、50.67 $\text{U}/(\text{g}\cdot\text{min})$,且随褪黑素浓度的增加呈先升后降趋势。20 d 时,各处理的 POD 活性有所下降,相比 CK 含量 21.33 $\text{U}/(\text{g}\cdot\text{min})$ 均显著上升,其中, T_3 为 38.13 $\text{U}/(\text{g}\cdot\text{min})$,升幅最大,达 78.76%; T_1 升幅最小,为 37.51%。

随干旱胁迫时间的延长,苦水玫瑰 SOD 活性与 POD 活性的变化趋势基本相同(图 3-B)。 T_2 、 T_3 、 T_4 处理均在胁迫 15 d 达到峰值后不断降低, T_1 处理 SOD 活性持续上升,在第 20 天时达到最大值。其中,胁迫至 20 d 时,各处理 SOD 活性分别为 298.45、276.38、295.76、262.00 U/g ,分别较 CK_2 (285.66 U/g) 提高

4.48%、-3.60%、3.54% 和 -8.28%。

随干旱胁迫时间的延长,苦水玫瑰 CAT 活性持续升高,且随褪黑素浓度的增加呈先升后降趋势(图 3-C)。胁迫至 20 d 时, T_1 - T_4 处理分别为 442.67、514.68、680.00、522.67 $\text{U}/(\text{g}\cdot\text{min})$,较 CK_2 (466.67 $\text{U}/(\text{g}\cdot\text{min})$) 分别提高 -5.14%、10.29%、45.71% 和 12.00%, T_3 升幅最大。

2.4 褪黑素对干旱胁迫下苦水玫瑰可溶性糖(SS)和可溶性蛋白(SP)含量的影响

随干旱胁迫时间延长,苦水玫瑰可溶性糖含量呈先降低后升高的趋势,且随着褪黑素浓度的增加,呈先升后降的趋势(图 4-A)。胁迫至 10 d,各处理的 SS 含量达到最低值,分别为 7.21、7.59、8.09 和 7.37%。胁迫至 20 d,各处理的 SS 达到最高值,其中, T_3 处理的 SS 含量最高,为 9.51%,显著高于 CK_1 和 CK_2 。

随干旱胁迫时间延长,可溶性蛋白呈先升高后降低的趋势(图 4-B)。胁迫至 15 d 时, T_1 - T_4 的 SP 含量达到峰值,其中, T_3 的 SP 含量最高,为 9.81 mg/g ,显著高于 CK_2 ,相比于 CK_2 ,提高 43.01%。20 d 时, T_1 - T_4 的 SP 含量有所下降,但均显著高于 CK_2 ,较 CK_2 分别提高 12.34%、24.25%、31.42% 和 20.23%。

2.5 褪黑素对干旱胁迫下苦水玫瑰游离脯氨酸(Pro)含量和相对电导率的影响

随干旱胁迫时间延长,且随褪黑素浓度的增大,各处理 Pro 呈升—降—升的趋势(图 5-A)。胁迫至 20 d 时,各处理的 Pro 含量达到峰值,均显著高于 CK_2 ,其中, T_2 升幅最大,相比于 CK_2 ,提高 53.45%。

随干旱胁迫时间延长,且随褪黑素(MT)浓度的增大,各处理下苦水玫瑰叶片 REC 含量的变化趋势同 Pro 相似,呈升—降—升趋势(图 5-B)。胁迫至 10 d 时, T_1 - T_4 处理的 REC 达到最高值,分别为 37.28%、37.27%、34.72% 和 26.35%。至 20 d 时, T_1 - T_4 处理的 REC 均达到最低值,均显著低于 CK_2 。其中, T_2 的降幅最小,较 CK_2 降低 46.56%, T_3 的降幅最大,较 CK_2 降低 59.97%。

2.6 不同浓度褪黑素处理对苦水玫瑰生理特性的多元方差分析

对试验测定的各项指标进行多元方差分析,由分析结果可知,胁迫处理 CK_2 与 CK_1 相比有极显著性差异; T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 与 CK_2 相比,均有极显著性差异且 T_3

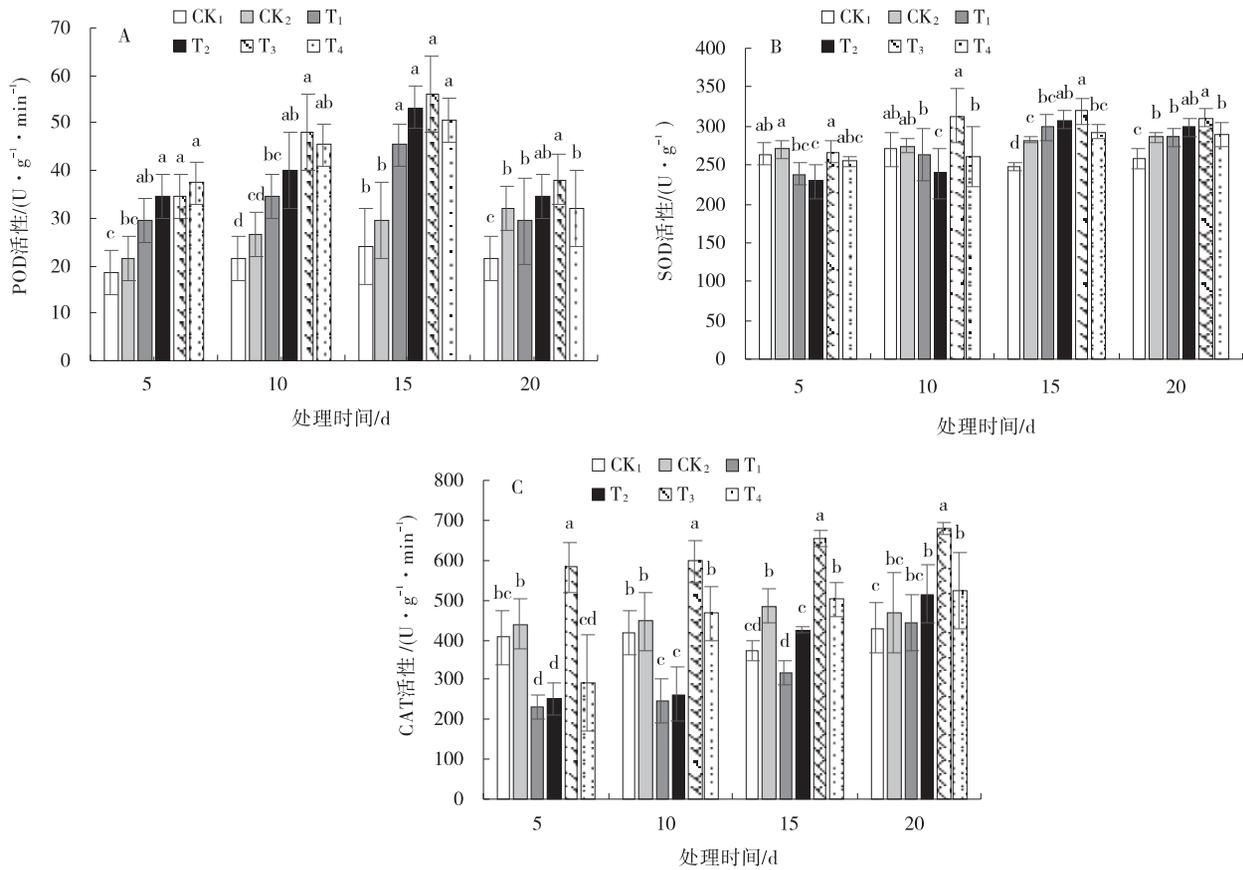


图3 褪黑素对干旱胁迫下苦水玫瑰抗氧化酶活性

Fig. 3 Effects of melatonin (MT) on activity of antioxidant enzymes of Kushui rose under drought stress

注:不同小写字母表差异显著(P < 0.05)

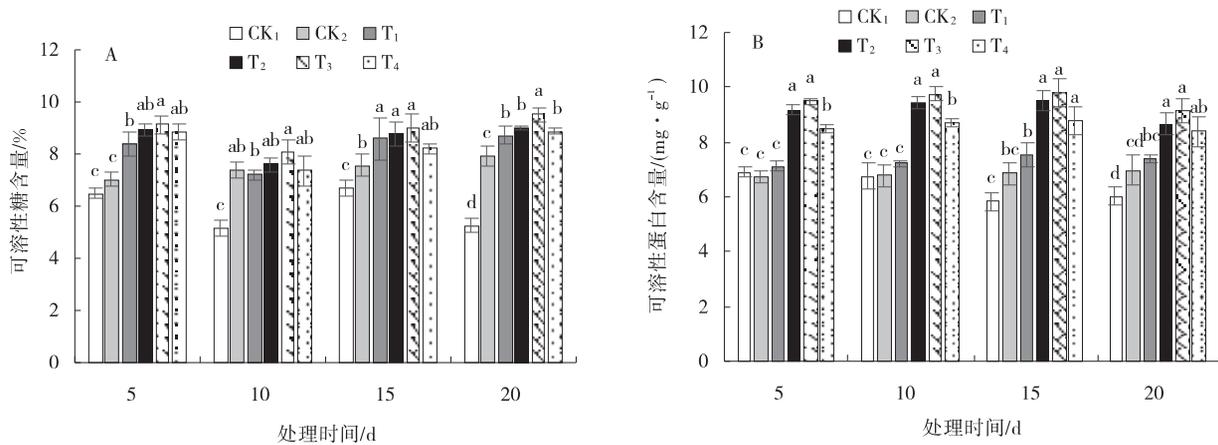


图4 褪黑素对干旱胁迫下苦水玫瑰可溶性糖和可溶性蛋白的影响

Fig. 4 Effects of melatonin (MT) on soluble sugar (SS) and soluble protein (SP) of Kushui rose under drought stress

注:不同小写字母表差异显著(P < 0.05)

效果最好; T₂、T₃、T₄与 T₁相比,均有极显著性差异; T₃、T₄与 T₂相比, T₃有极显著性差异, T₄无显著性差异; T₄与 T₃相比,具有极显著性差异,因此 T₃与其他5个处理均有极显著性差异(表2)。所以由多元方差分析可以得出不同浓度褪黑素处理的综合效果为 T₃>

T₂ = T₄ > T₁。

3 讨论

细胞膜是细胞维持胞内代谢环境稳定的重要屏障^[36]。研究表明,干旱胁迫能使细胞膜通透性增大,

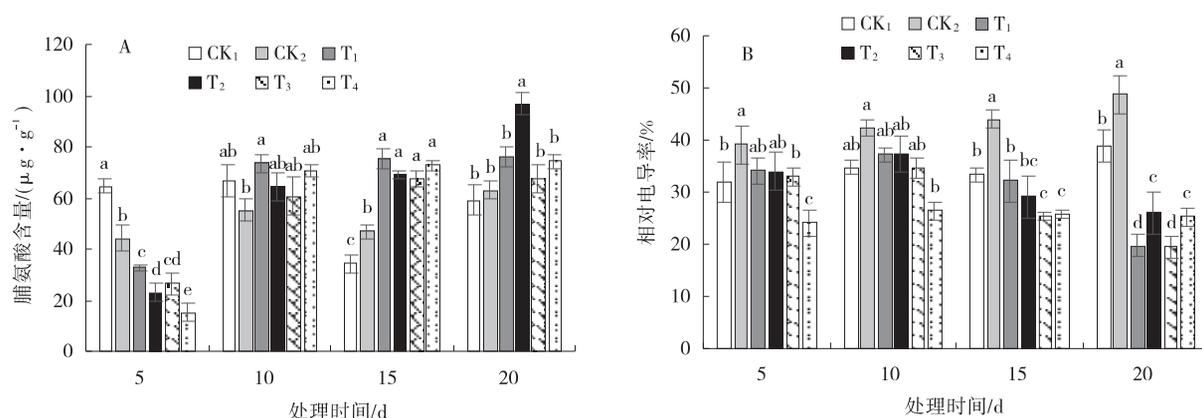


图 5 褪黑素对干旱胁迫下苦水玫瑰脯氨酸含量和相对电导率的影响

Fig. 5 Effects of melatonin (MT) on proline (Pro) content and relative conductivity (REC) of Kushui rose under drought stress

注:不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

表 2 多元方差分析结果

Table 2 Multivariate analysis of variance results

F(8, 11)	CK ₂	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
CK ₁	8.42**	12.09**	32.57**	54.00**	24.55**
CK ₂		9.76**	18.11**	27.79**	13.02**
T ₁			10.85**	36.97**	9.18**
T ₂				12.40**	1.92
T ₃					10.77**

细胞内电解质和某些小分子有机物大量外渗,相对电导率升高^[37]。本研究发现,喷施不同褪黑素(MT)后 REC 含量显著降低,这与段利萍^[38]研究相一致,可能是喷施外源 MT 后细胞水势得到平衡,细胞内电解质外渗大幅减少,从而使相对电导率降低。此外,赵永长等^[39]研究表明,干旱胁迫可以引起细胞内活性氧代谢系统失衡,导致活性氧自由基含量升高,膜脂过氧化程度增大。MDA 作为膜脂过氧化产物,其含量高低可作为评价植物细胞膜脂过氧化损伤程度和抗旱性能的重要指标^[40]。本试验结果表明,干旱胁迫下,随着胁迫时间的延长,MDA 含量呈逐渐升高趋势,外源 MT 处理后,MDA 含量显著降低,与吴燕等^[15]在雏菊上的研究结果一致,表明通过外源 MT 处理能降低 MDA 含量,降低膜脂过氧化程度。

正常情况下植株体内 ROS 的产生与消除处于动态平衡,当遇到逆境胁迫时,这种动态平衡会被打破,此时植株会启动抗氧化保护酶系统(SOD, POD 和 CAT)来清除多余的 ROS,进而实现对胁迫的耐受^[41]。左佳琦等^[42]研究发现,干旱胁迫引起的过氧化

物积累可提高植物体内抗氧化酶(POD、SOD、CAT)活性,从而缓解膜氧化损伤。本试验结果表明,随着干旱胁迫程度的加重,POD、SOD 活性呈先升后降趋势,可能是由于苦水玫瑰在初期能自发调节生理活动来增强 SOD 和 POD 活性,及时清除活性氧,后期持续胁迫超过植株最大耐受力,抗氧化酶系统完全被破坏,导致 SOD 和 POD 活性下降,植物氧化伤害加剧^[43]。此外,本试验中 CAT 活性呈不断上升的趋势,与杜蕾等研究结果一致,表明干旱条件下植物可通过提高 CAT 的活性来增强自身抗性。褪黑素作为一种电子供体,可直接与动植物体内的活性氧反应,使体内的活性氧含量保持在较低水平^[44]。本试验中,褪黑素处理后均能进一步提高 POD、SOD、CAT 活性,且具有明显的浓度效应(T₃处理提高幅度最大),这可能是外源 MT 提高了植物抗氧化系统的防御能力,维持了细胞内活性氧系统的代谢平衡,从而缓解了干旱胁迫引起的氧化损伤。

干旱胁迫下,细胞膜通透性增大,导致植物细胞渗透势升高,植物无法从外界环境中吸收生长发育所需要的水分^[43]。可溶性糖、可溶性蛋白和游离脯氨酸等渗透调节物的积累可降低渗透势和维持一定膨压,减少水分流失,抵御干旱胁迫,从而保证植物正常生理活动^[44]。Campos 等^[45]研究认为,干旱胁迫下渗透调节物质脯氨酸的积累增加,有助于清除干旱胁迫条件下植株体内的 ROS,避免细胞膜脂质过氧化。Rahdari 等^[46]证实可溶性糖能有效缓解逆境胁迫对植物造成的伤害。可溶性蛋白质不仅是渗透调节物质,更是植

物体内参与各种代谢的酶类,其量的变化可反映植物受伤害的程度和植物总代谢的水平^[47]。本研究表明,褪黑素处理后增加苦水玫瑰叶片SS、SP和Pro含量,使干旱条件下膜系统稳定性得到维持,避免了细胞膜结构破坏和细胞脱水,与邹京南等^[45]研究结果一致。

对各项指标进行多元方差分析可知,除T₂与T₄间无显著性差异外其余各处理间均有极显著性差异,褪黑素处理中T₃处理效果最好,T₂与T₄次之,T₁最差。所以由多元方差分析可以得出不同浓度褪黑素处理的综合效果为T₃ > T₂ = T₄ > T₁。

4 结论

干旱胁迫下,不同浓度外源褪黑素可提高苦水玫瑰叶片抗氧化酶活性,减轻细胞膜氧化损伤,从而增强苦水玫瑰对干旱胁迫的耐受性,以200 μmol/L褪黑素浓度处理效果最佳。

参考文献:

- [1] 周周,周小平,赵国宏,等. 中国苦水玫瑰香气成分的研究[J]. 色谱,2002,20(6):560-564
- [2] 胡超,郭春生,陈志燕,等. 苦水玫瑰油的热解产物分析[J]. 农产品加工(学刊),2013(2):30-33.
- [3] 陈兴都,蒋玉梅,李霁昕,等. 苦水玫瑰叶芽饮料加工工艺的优化[J]. 食品工业科技,2013,34(6):320-324.
- [4] 于倩,蒋玉梅,李霁昕,等. 霞多丽葡萄、苦水玫瑰及其混合发酵酒的香气比较分析[J]. 食品工业科技,2012,33(22):172-177.
- [5] 何坤颖,刘兆墉,刘磊,等. 苦水玫瑰冬枣酒发酵工艺的研究[J]. 中国酿造,2019,38(9):207-211.
- [6] 魏林兵,王兵. 苦水玫瑰的实用价值及引种驯化栽培技术[J]. 农民致富之友,2015(6):130.
- [7] 张晓. 兰州市永登县苦水玫瑰产业发展问题与建议[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2017.
- [8] 金菊. 苦水玫瑰在兰州的发展潜力与发展对策[J]. 甘肃科技,2002(9):84-85.
- [9] 祁国霞,边蕊,党静. 兰州地区苦水玫瑰产业化SWOT分析[J]. 现代农业科技,2017(18):268-269.
- [10] 邹京南,金喜军,王孟雪,等. 外源褪黑素对干旱胁迫条件下大豆苗期光合及生理的影响[J]. 大豆科学,2018,37(6):896-905.
- [11] 韩国民,刘茜,唐美玲,等. 外源褪黑素对NaCl胁迫下5BB葡萄叶片生理特性的影响[J]. 浙江农业学报,2019,31(4):556-564.
- [12] 朱玲玲. 褪黑素处理对鲜切青花菜采后衰老的调控机理研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2018.
- [13] 李鹏辉,向金友,王林,等. 干旱胁迫下外源褪黑素对烟草幼苗生理特性的影响[J]. 中国农业科技导报,2019,21(5):41-48.
- [14] 李琳琳,宋彦涛,金华,等. 外源褪黑素对干旱胁迫下番茄叶片光合特性和抗氧化酶系统的影响[J]. 大连民族大学学报,2019,21(1):33-38.
- [15] 吴燕,连洪燕,牟雪姣,等. 干旱胁迫下叶面喷施褪黑素对滁菊幼苗生理生化特性的影响[J]. 西北植物学报,2016,36(11):2241-2246.
- [16] 厉恩茂,李敏,安秀红,等. 叶面喷施褪黑素对干旱胁迫下苹果抗旱生理生化指标的影响[J]. 中国南方果树,2019,48(4):95-98.
- [17] 纪瑞鹏,于文颖,冯锐,等. 作物对干旱胁迫的响应过程与早期识别技术研究进展[J]. 灾害学,2019,34(2):153-160.
- [18] 柳燕兰,郭贤仕,马明生,等. 干旱复水对春玉米幼苗生长和生理特性的影响及其根源ABA调控效应[J]. 干旱地区农业研究,2019,37(1):187-193.
- [19] 李佳,刘济明,文爱华,等. 米槁幼苗光合作用及光响应曲线模拟对干旱胁迫的响应[J]. 生态学报,2019,39(3):913-922.
- [20] 杨建伟,赵丹,孙桂芳,等. 干旱胁迫对天目琼花光合特征的影响[J]. 河北大学学报(自然科学版),2019,39(5):529-535.
- [21] 李中华,刘进平,谷海磊,等. 干旱胁迫对植物气孔特性影响研究进展[J]. 亚热带植物科学,2016,45(2):195-200.
- [22] Ma X, Xin Z, Wang Z, et al. Identification and comparative analysis of differentially expressed miRNAs in leaves of two wheat (*Triticum aestivum*) genotypes during dehydration stress[J]. BMC Plant Biology, 2015, 15(1):1-15.
- [23] 李蓉,薛育林,殷丽强,等. 甘肃中部干旱地区苦水玫瑰高效栽培技术与示范推广对策[J]. 中国水土保持,2018(11):27-29.
- [24] 韦国忠. 永登苦水玫瑰丰产栽培管理技术[J]. 甘肃林业科技,2002,27(2):48-50.
- [25] 徐琼,吴步梅,张文利,等. 苦水玫瑰主要病虫害及其防治措施[J]. 甘肃林业科技,2013,38(1):38-40.
- [26] 王春霖. 叶斑病对苦水玫瑰品质的影响及其病原菌鉴定

- [D]. 兰州:甘肃农业大学,2016.
- [27] 牛元,徐琼,庄健,等. 4种变异苦水玫瑰形态和鲜花香气的分析[J]. 经济林研究,2017,35(4):248-253.
- [28] 周围,周小平,赵国宏,等. 中国苦水玫瑰油香气成分的研究[J]. 色谱,2002(6):560-564.
- [29] 李菲,程晓惠,李全宏. 亚临界流体萃取制备苦水玫瑰净油工艺及其关键香气化合物的研究[J]. 香料香精化妆品,2019(5):1-5.
- [30] 郭鹏辉,王瑾书,韦体,等. 苦水玫瑰的开发利用现状与发展对策[J]. 安徽农学通报,2017,23(13):31-33.
- [31] 冯庆华. 玫瑰精油系列产品的提取及工艺研究[D]. 兰州:兰州大学,2010.
- [32] 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.
- [33] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社,2006.
- [34] 路文静,李奕松. 植物生理学实验教程[M]. 北京:中国林业出版社,2012:24-109.
- [35] 李合生,孙群,赵世杰. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 高等教育出版社,2000:164-169.
- [36] Hasegawa P M, Bressan R A, Zhu J K, *et al.* Plant cellular and molecular responses to high salinity[J]. Annual review of plant biology, 2000, 51(1):463-499.
- [37] 李雪莲,张国芳,谷艳蓉,等. 4种多年生禾草苗期抗旱性的比较研究[J]. 四川草原,2005(1):13-15.
- [38] 段利萍. 外源褪黑素对茶菊干旱胁迫伤害的缓解作用及生理机制[D]. 泰安:山东农业大学,2019.
- [39] 赵永长,宋文静,董建新,等. 黄腐酸钾对干旱胁迫下烤烟幼苗活性氧代谢的影响[J]. 中国烟草科学,2017,38(4):29-36.
- [40] 田又升,谢宗铭,张建新,等. 干旱复水对棉花苗期抗氧化系统及光合荧光参数的影响[J]. 干旱地区农业研究,2016,34(6):209-214.
- [41] 李为民,李倩,柏国清,等. 盐胁迫和水分胁迫对野生大豆种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 分子植物育种,2018,16(1):223-227.
- [42] 左佳琦,谢佳恒,薛宇轩,等. 褪黑素对缓解植物逆境胁迫作用的研究进展[J]. 基因组学与应用生物学,2014,33(3):709-715.
- [43] 宋吉轩,李金还,刘美茹,等. 油菜素内酯对干旱胁迫下羊草渗透调节及抗氧化酶的影响研究[J]. 草业学报,2015,24(8):93-102.
- [44] Pieri C, Marra M, Moroni F, *et al.* Melatonin. A peroxyl radical scavenger more effective than vitamin E[J]. Life Sciences, 1994, 55(15):271-276.
- [45] Campos K F, Carvalho K, Souza F S, *et al.* Drought tolerance and antioxidant enzymatic activity in transgenic 'Swingle' citrangelo plants over-accumulating proline[J]. Environ Exp Bot, 2011, 72:242-250.
- [46] Rahdari P, Tavakoli S, Hosseini S M. Studying of Salinity Stress Effect on Germination, Proline, Sugar, Protein, Lipid and Chlorophyll Content in Purslane (*Portulaca oleracea* L.) Leaves [J]. Journal of Stress Physiology & Biochemistry, 2012, 8(1):182-193.
- [47] 韩多红,张勇玲. 碱性盐及混合盐碱胁迫对蒙古黄芪种子萌发和幼苗生理特性的影响[J]. 中草药,2013,43(12):1661-1666.

Effects of exogenous melatonin on physiological characteristics of Kushui rose under drought stress

JIANG Qian, WANG Fu-jun, MA Xiao-lan, QIU Wen-shan, LIN Qi-yun
(College of Horticulture, Gansu Agriculture University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: In order to explore the effects of exogenous spraying of melatonin (MT) on physiological characteristics of Kushui rose under drought stress, the cutting seedlings of 2-year-old Kushui rose were examined using a pot-culture water-controlling method with 6 treatments, namely, CK₁ (normal watering), drought stress (CK₂) and

drought stress+MT spraying with 4 concentrations of melatonin [50 (T_1), 100 (T_2), 200 (T_3), 300 $\mu\text{mol/L}$ (T_4)]. The morphological changes of leaves and branches were observed under each treatment. The contents of malondialdehyde (MDA), osmotic regulatory substances (SS, SP, Pro), relative conductivity (REC) and antioxidant enzyme activities(SOD、POD、CAT) were determined. The results showed: (1) Compared with CK_1 , leaves treated with melatonin (T_1-T_4) showed different degrees of chlorosis, curling and even shedding, and branches exhibited different degrees of drooping and dry necrosis at 20 d of drought stress, but these phenotypic symptoms were less severer than those treated with CK_2 ; (2) Spraying melatonin (MT) effectively reduced the malondialdehyde (MDA) and relative electrical conductivity (REC), and improved the activities of peroxidase (POD), superoxide dismutase (SOD) and catalase (CAT). On the other hand, MT promoted the accumulation of soluble sugar (SS), soluble protein (SP) and proline (Pro). However, the degree of these effect depended upon the MT concentration. Multivariate analysis of variance (ANOVA) was used to evaluate the eight indexes, whose results showed that the alleviating effect of each treatment on drought stress was $T_3 > T_2 = T_4 > T_1 > CK_2$. After 20 days of stress, MDA and REC of leaves under T_3 treatment were 36.23% and 59.97% lower than those under CK_2 , respectively. Additionally, under T_3 treatment, compared with CK_2 , POD, SOD, CAT, SS, SP and Pro increased by 19.16%, 3.54%, 45.71%, 20.23%, 31.42% and 6.75%, respectively. In conclusion, exogenous melatonin (MT) can reduce the damage to plants under drought stress and enhance drought resistance by improving the activity of antioxidant enzymes and enhancing the stability of membrane, and 200 $\mu\text{mol/L}$ showed to be the optimal concentration.

Key words: drought stress; melatonin; bitter rose; physiological characteristics

