



不同温度对迷人杜鹃种子萌发与幼苗生长及生理特性的影响

童琪^{1,2},钟雁¹,李婧^{1,2},胡瑾¹,周艳^{1,2*}

(1 贵州省植物园,贵阳 550004; 2 国家林业和草原局西南喀斯特山地生物多样性保护重点实验室,贵阳 550004)

摘要:该研究利用实验室不同恒温和变温控制试验,考察了不同温度[恒温(15 °C、25 °C、35 °C)和变温(25 °C/15 °C、30 °C/20 °C,高温 12 h,低温 12 h)]处理对迷人杜鹃种子萌发、幼苗形态指标和生理生化指标的影响,探讨温度对迷人杜鹃种子萌发和幼苗生长的影响机制。结果表明:(1)迷人杜鹃种子在 25 °C/15 °C 变温条件下萌发率(87.69%)和萌发指数(8.65)均最高。(2)25 °C/15 °C 变温有利于迷人杜鹃幼苗的地径、苗高、平均根长和萌枝数的增加,以及根、茎、叶生物量的积累。(3)25 °C/15 °C 变温处理下幼苗叶片的总叶绿素、可溶性糖和可溶性蛋白含量最高,而 MDA 含量、CAT 活性和 SOD 活性较低。研究认为,迷人杜鹃种子萌发和幼苗生长的最适宜温度条件为 25 °C/15 °C(昼/夜),而在高温(35 °C)和低温(15 °C)环境下均会受到显著抑制。

关键词:迷人杜鹃;种子萌发;幼苗生长;生理特性

中图分类号:Q945.34

文献标志码:A

Seed Germination, Seedling Growth and Physiological Characteristics of *Rhododendron agastum* under Different Temperatures

TONG Qi^{1,2}, ZHONG Yan¹, LI Jing^{1,2}, HU Jin¹, ZHOU Yan^{1,2*}

(1 Guizhou Botanical Garden, Guiyang 550004, China; 2 Key Laboratory for Biodiversity Conservation in Karst Mountain Area of Southwestern China of the National Forestry and Grassland Administration, Guiyang 550004, China)

Abstract: The effects of temperature on seed germination, seedling morphological and physiological biochemical indexes were studied by different constant temperatures (15 °C, 25 °C, 35 °C) and variable temperatures (25 °C/15 °C, 30 °C/20 °C, high and low temperature for 12 h respectively) controlled experiments in laboratory. This paper also discussed the influencing mechanism of temperature on seed germination and seedling growth of *Rhododendron agastum*. The results showed that: (1) the condition of variable temperature 25 °C/15 °C, the seed germination rate (87.69%) and exponential value (8.65) was the highest. (2) The variable temperature 25 °C/15 °C is beneficial for ground diameter, seedling height, average root length and twig increase, and biomass accumulation of roots, stems and leaves of *R. agastum*. (3) After the seedling leaves was treated at variable temperatures 25 °C/15 °C, the total leaf chlorophyll, soluble sugar and soluble protein contents were the highest, while the MDA content, CAT activity and SOD activity was lower. The research showed that the optimum temperature for seed germination and seedling growth of *R. agastum* was 25 °C/15 °C(day/night). The growth was significantly inhibited at high tem-

收稿日期:2019-12-09;修改稿收到日期:2020-03-01

基金项目:贵州省千层次创新人才项目;贵州省林业厅科技项目(黔林科合[2018]10号)

作者简介:童琪(1989—),女,硕士,研究实习员,从事观赏植物资源保育与利用研究。E-mail:824967050@qq.com

*通信作者:周艳,博士,副研究员,从事观赏植物资源保育与利用研究。E-mail:651820105@qq.com

perature (35 °C) and low temperature (15 °C).

Key words: *Rhododendron agastum*; seed germination; seedling growth; physiological characteristics

种子萌发是植物生长的开端,而适当的温度是植物生长发育的必要条件,也是影响种子萌发的主要因素,还是植物形态建成的重要因子^[1]。种子萌发和幼苗生长阶段是一个植物种群能否定植的关键时期^[2],摸清种子萌发和幼苗生长的适宜温度对指导农林业苗木生产实践具有重要意义。不同植物的种子在不同温度下的萌发行为和幼苗生长对温度的反应存在较大差异^[3]。温度对植物种子萌发和幼苗生长的影响已受到学术界广泛关注。

迷人杜鹃(*Rhododendron agastum* Balf.)属常绿灌木或小乔木,枝条粗壮,花大,呈粉红色,产云南、贵州等地,生于海拔1 600~1 900 m的山坡常绿阔叶林或山地灌丛中,具有重要的观赏价值。目前对迷人杜鹃的研究主要集中在形态分类^[4]、种子萌发特性^[5]、抗旱性能力^[6]、化感作用^[7-9]、光适应性^[10]等方面,而在温度对迷人杜鹃种子萌发、幼苗生长及生理特性的影响方面报道较少。

叶绿素是植物进行光合作用的主要色素,在光合作用的光吸收中起核心作用,其含量多少影响光合作用的强弱。当植物处于逆境环境时,可通过增加体内可溶性糖和可溶性蛋白的含量来减轻植物所受的伤害。在逆境条件下,植物体内细胞膜会遭到破坏,丙二醛是细胞膜损伤的产物,其含量的高低可以表示植物抗逆能力的大小。逆境胁迫会导致植物体内产生过氧化伤害,此时植物体内的抗氧化酶如超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)便会清除过量超氧阴离子,减轻活性氧造成的危害,因此植物体内保护酶活性是评价抗逆能力的重要指标。本研究探讨了不同温度处理对迷人杜鹃种子萌发、幼苗生长及生理特性的影响,通过测定具有代表性的幼苗生理生化指标,反映出迷人杜鹃幼苗在不同温度下的生理适应性,以期寻找其种子萌发和幼苗生长的最佳温度条件,为播种育苗提供理论基础与科学依据。

1 材料和方法

1.1 试验区概况与材料

试验在贵州省植物园进行,地处贵阳市云岩区(E106°42', N36°24'),年均温15.2 °C,年降水量为1 200 mm;年平均相对湿度80%。试验用迷人杜鹃种子于2013年12月采自贵州省“百里杜鹃”自然保

护区境内约30年株龄的3棵母树,采后自然风干,保存于5 °C冰箱中。实验用苗为生长一致的3年生迷人杜鹃实生幼苗。

1.2 试验设计

1.2.1 不同温度下种子萌发试验 2018年5月开始迷人杜鹃种子萌发试验,在人工气候箱内调控温度,恒温处理设置15 °C、25 °C、35 °C等3个水平,变温处理设置25 °C/15 °C、30 °C/20 °C(高温12 h,低温12 h,日夜变化温度条件)两个水平,共计5个温度处理。气候箱内空气相对湿度为74%,光强为40 nmol·m⁻²·s⁻¹。种子萌发在培养皿内进行,内垫双层滤纸,用水湿润。每个温度处理设3个重复,每重复100粒种子。种子萌发以幼苗第一对真叶出现作为萌发标准,每天观察记录,至到种子不再萌发为止。

1.2.2 不同温度下幼苗盆栽试验 迷人杜鹃属于高山杜鹃,生长地海拔较高,昼夜温差较大,有研究表明20~25 °C是适合高山杜鹃生长的最佳温度^[11],30 °C时高山杜鹃生长开始受到抑制,为探索迷人杜鹃适宜的胁迫温度,试验同样设置恒温(15 °C、25 °C、35 °C)和变温(25 °C/15 °C、30 °C/20 °C,高温12 h,低温12 h)共计5个温度处理。2018年5月使用12 cm×20 cm的营养袋装土,每个袋子栽1株3年生迷人杜鹃幼苗,置于人工气候箱中培养,实验期间保持土壤湿润。每个温度处理3次重复,每个重复10盆,按照常规管理,待幼苗生长20 d后,每个处理随机选取6株幼苗测量生长指标;每个处理选取10株长势一致的幼苗采集当年生健康枝条顶端成熟叶片测定幼苗生理生化指标。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 种子萌发指标 每天观察记录种子萌发情况,据此计算萌发率和萌发指数。其中,萌发率(%)=7 d内处理种子发芽数/供试种子数×100%;萌发指数=Σ(Gt/Dt),式中Gt为与Dt相对应的每天发芽种子数,Dt为发芽天数。

1.3.2 幼苗生长指标 各处理随机选取6株幼苗,整株挖出清洗干净,测定地径、苗高、平均根长和萌枝数。采用刻度直尺测量株高、根长,游标卡尺测定根的最大直径,用电子天平测定植株生物量。

1.3.3 幼苗生理生化指标 温度处理20 d后,生理生化指标丙二醛(MDA)含量、超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化氢酶(CAT)活性、叶绿素含量、

可溶性蛋白含量、可溶性糖含量采用各处理幼苗的叶片进行测定。其中,叶绿素含量测定采用乙醇丙酮提取法,可溶性蛋白含量测定采用考马斯亮蓝法,可溶性糖含量测定采用蒽酮显色法,MDA含量测定采用硫代巴比妥酸法,SOD活性测定采用氮蓝四唑光化还原法,CAT活性测定采用紫外吸收法^[12-13]。

1.4 数据分析

采用Excel 2010和SPSS 22.0软件中的单因子方差分析和最小显著差法(LSD)进行各处理间数据的差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 温度对迷人杜鹃种子萌发的影响

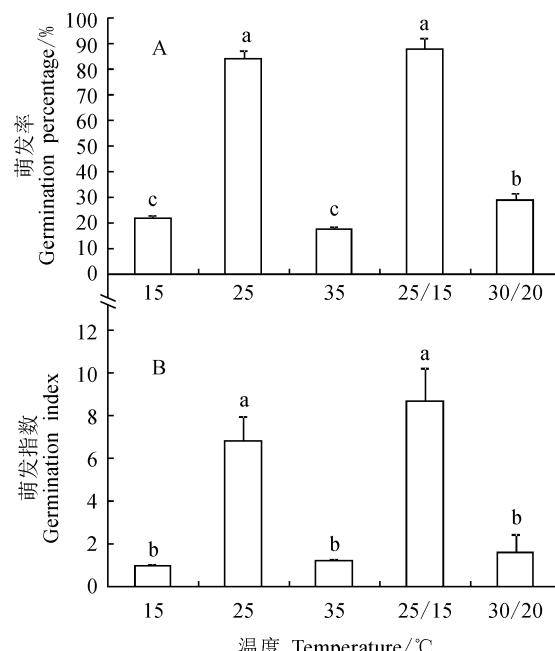
迷人杜鹃种子在不同温度条件下均有萌发(图1,A,B),但种子萌发率和萌发指数在不同温度处理间均差异显著($P<0.05$)。其中,迷人杜鹃种子萌发率在25℃/15℃变温和25℃恒温条件下明显较高,显著高于其余温度处理,但两者之间差异不显著;25℃/15℃变温处理的萌发率最高(87.69%),分别比15℃、35℃、30℃/20℃处理显著提高75.26%、80.45%、67.11%;在15℃和35℃恒温处理时,迷人杜鹃的种子萌发率均较低,显著低于其余温度处理(图1,A)。同时,迷人杜鹃种子萌发指数在各温度条件下的表现与萌发率相似(图1,B),25℃/15℃变温和25℃恒温处理明显较高,且显著高于其余温度处理,但两者之间差异不显著;25℃/15℃变温处理时萌发指数值最高(8.65),分别比15℃、25℃、35℃、30℃/20℃处理显著提高89.36%、18.78%、86.82%、82.43%,而15℃处理时萌发指数最低。以上结果表明25℃/15℃变温条件下最有利于迷人杜鹃种子萌发。

2.2 温度对迷人杜鹃幼苗生长的影响

2.2.1 幼苗死亡率 迷人杜鹃幼苗死亡状况在不同温度处理之间存在显著差异($P<0.05$,表1)。其

中,25℃/15℃变温处理迷人杜鹃幼苗没有出现死亡的现象;25℃恒温处理幼苗的死亡率较低(3.3%),15℃恒温处理幼苗的死亡率较高,显著高于25℃恒温处理;而高温35℃和30℃/20℃处理的幼苗死亡率均较高,显著高于其余温度处理,且以30℃恒温处理最高(30%)。

2.2.2 幼苗生长指标 迷人杜鹃幼苗的株高、地径、平均根长及萌枝数在不同温度处理间均存在较大差异(表1)。其中,就各恒温处理而言,幼苗株高、地径、平均根长、萌枝数4个指标均随着温度的增加而先增加后降低,并以25℃处理的效果较好,显著高于35℃和15℃恒温处理;两个变温处理相



不同小写母表示处理间在0.05水平存在显著性差异

图1 不同温度条件下迷人杜鹃种子萌发特征

The different normal letters showed significant difference among treatments at 0.05 level

Fig. 1 Characteristics of seed germination of *Rhododendron agastum* under different temperatures

表1 不同温度处理下迷人杜鹃幼苗生长情况

Table 1 The growth of *R. agastum* seedlings under different temperatures

温度 Temperature /℃	死亡率 Rate of dead seedlings/%	株高 Height/cm	地径 Ground diameter /cm	平均根长 The mean of root length/cm	萌枝数 Respouting number
15	13.31±2.62b	32.66±0.68b	0.49±0.04b	0.51±0.02b	0.67±0.58b
25	3.34±0.62c	44.43±0.18a	0.62±0.03a	0.77±0.05a	3.67±0.58a
35	30.00±0.31a	30.86±0.52b	0.46±0.02b	0.54±0.04b	0.33±0.58b
25/15	—	47.7±0.73a	0.65±0.02a	0.82±0.03a	4.33±0.58a
30/20	26.72±1.68a	34.41±2.66b	0.65±0.02a	0.49±0.02b	1.00±0.00b

比较,幼苗4个生长指标均表现为25℃/15℃处理显著高于30℃/20℃处理;各温度处理综合比较,25℃/15℃变温和25℃恒温处理的迷人杜鹃长势较好,各生长指标均显著高于其余处理,而这两个处理间无显著差异,并且以25℃/15℃处理最好,它的株高、地径、平均根长和萌枝数分别比其他处理(15℃、35℃、30℃/20℃)显著提高16.84%~31.53%、23.08%~29.23%、34.15%~40.24%和76.91%~92.37%。

2.2.3 幼苗生物量

迷人杜鹃幼苗生物量的分配在不同温度条件下存在显著差异,其表现与生长指标相似(表2)。其中,在各恒温处理间,幼苗根、茎、叶和地上部分生物量随着温度的增加均先增加后降低,并以25℃处理的效果较好,它显著高于35℃和15℃处理;两个变温处理相比较,25℃/15℃处理幼苗的各器官和地上部分生物量均显著高于30℃/20℃处理;各温度处理综合比较,幼苗各器官和地上部分生物量均以25℃/15℃处理最大,它显著高于25℃恒温处理,而25℃恒温处理又显著高于其他温度处理($P<0.05$)。

2.3 温度对迷人杜鹃幼苗叶片生理指标的影响

迷人杜鹃幼苗叶片总叶绿素含量、可溶性糖含量和可溶性蛋白含量在不同温度条件下的变化趋势下同,都在恒温25℃和变温25℃/15℃条件下明显较高,而在其余3个温度处理下明显较低,且前两者显著高于后三者(图2)。其中,在恒温条件下,随着温度的增加,幼苗总叶绿素含量、可溶性糖含量和可溶性蛋白含量均呈现出先增加后降低的变化趋势,并在25℃时达到最大,且显著大于35℃和15℃处理($P<0.05$);在变温条件下,25℃/15℃处理总叶绿素、可溶性糖和可溶性蛋白含量均显著高于30℃/20℃处理;各温度处理综合比较,25℃/15℃处理的幼苗总叶绿素、可溶性糖和可溶性蛋白含量均最高,其次是25℃处理,其余三者明显较低且无显著差异,并以35℃处理最低,25℃/15℃处理的

3个指标分别比35℃处理显著提高152.97%、73.16%和65.48%。以上结果说明25℃/15℃变温条件下最有利于迷人杜鹃幼苗叶片叶绿素、可溶性糖和可溶性蛋白的积累,促进其生长和渗透调解能力。

同时,迷人杜鹃幼苗叶片SOD、CAT活性和MDA含量在不同温度处理下也存在显著性差异,并均在25℃和25℃/15℃处理明显较低,而在其余处理明显较高,表现出与叶绿素、可溶性糖和可溶性蛋白含量相反的变化趋势(图3)。其中,在恒温条件下,幼苗叶片SOD、CAT活性和MDA含量随着温度的增加均呈现出先降低后增加的趋势,并均

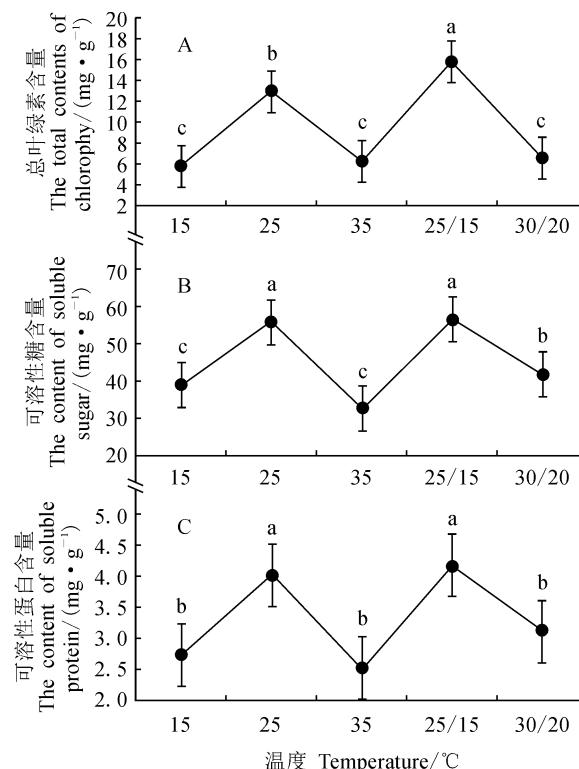


图2 不同温度下迷人杜鹃幼苗叶片总叶绿素、可溶性糖和可溶性蛋白含量的变化

Fig. 2 The total contents of chlorophyll, soluble sugar and soluble protein in leaves of *R. agastum* seedlings under different temperatures

表2 不同温度条件下迷人杜鹃幼苗生物量积累和分配的变化

Table 2 The biomass accumulation and allocation of *R. agastum* seedlings under different temperatures

温度 Temperature/°C	叶生物量 Leaf biomass/g	茎生物量 Stem biomass/g	地上部分生物量 The ground biomass/g	根生物量 Root biomass/g
15	0.88±0.04c	1.39±0.18c	2.27±0.16c	1.11±0.00d
25	1.46±0.10b	2.32±0.13b	3.17±0.20b	1.94±0.12b
35	0.72±0.14cd	0.98±0.09d	1.70±0.19d	1.27±0.06c
25/15	1.66±0.11a	2.56±0.08a	4.22±0.18a	2.42±0.08a
30/20	0.67±0.06d	0.92±0.03d	1.66±0.09d	1.37±0.05c

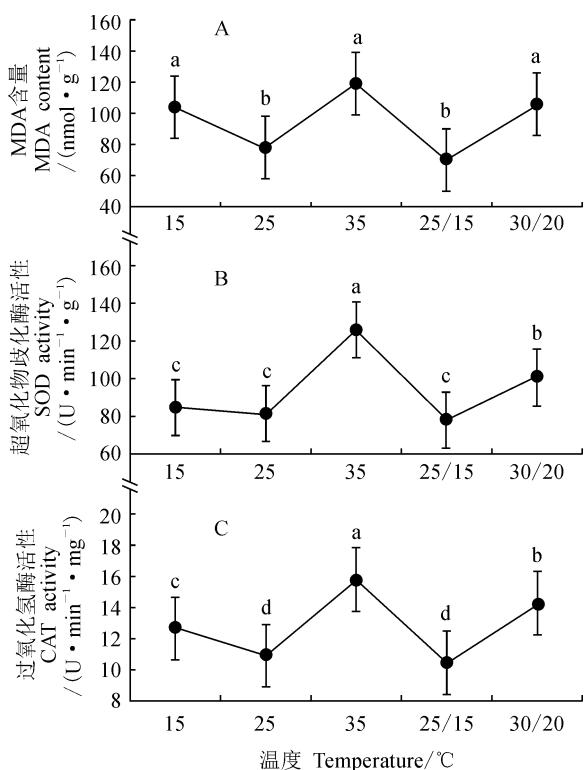


图3 不同温度下迷人杜鹃幼苗叶片 MDA 含量及 SOD 和 CAT 活性的变化

Fig. 3 The MDA content and SOD, CAT activities in leaves of *R. agastum* seedlings under different temperatures

在 25 °C 时最低,且多与 35 °C 和 15 °C 处理差异显著;在变温条件下,30 °C/20 °C 处理幼苗叶片酶活性和 MDA 含量均显著高于 25 °C/15 °C 处理;各温度处理综合比较,35 °C 处理幼苗叶片 SOD、CAT 活性和 MDA 含量均最高,15 °C 和 30 °C/20 °C 处理次之,25 °C 和 25 °C/15 °C 处理最低,并与其余处理差异显著。35 °C 处理幼苗叶片的 SOD 活性分别比 15 °C、25 °C、25 °C/15 °C、30 °C/20 °C 处理显著提高 32.81%、35.50%、37.99%、19.95%,其相应的 CAT 活性分别比 15 °C、25 °C、25 °C/15 °C、30 °C/20 °C 处理显著提高 19.67%、30.90%、33.76%、9.58%。结果表明,在高温胁迫条件下,迷人杜鹃幼苗叶片的抗氧化酶 SOD、CAT 活性与 MDA 含量均显著增加,提高了体内清除活性氧的能力,且高温下幼苗膜质损伤更为严重,而 25 °C/15 °C 变温条件下幼苗受到的伤害最小。

3 讨 论

3.1 温度与迷人杜鹃种子萌发的关系

温度是影响植物生长的主要环境因子,植物种

子萌发需要温度、水分、气体三个基本条件,有时也受光照条件的影响,协调萌发的环境条件具有重要的意义。大量的试验结果表明有利于种子发芽的温度条件在 20~25 °C 范围内^[14-17],温度过低或过高均会影响种子的萌发;还有研究显示变温条件下种子的发芽率高于恒温^[18-20]。本研究结果与前人相一致,迷人杜鹃种子在 25 °C/15 °C 变温时萌发率及萌发指数均最高;35 °C 高温和 15 °C 低温时种子萌发受到严重抑制,萌发率、萌发指数均最低。植物种子的适宜萌发温度与气候和生境条件密切相关,是长期以来对外界自然环境的一种适应性表现^[21]。迷人杜鹃属于高山杜鹃,生长地海拔较高,昼夜温差较大,25 °C/15 °C 变温条件与当地种子萌芽期间的气候条件基本一致,所以最有利于种子萌发。

3.2 温度与迷人杜鹃幼苗生长的关系

赵勇竣等^[22]研究发现,高温胁迫下番茄幼苗的株高、根长、茎粗和鲜重的相对生长量均受到一定程度的抑制,与对照相比生长量明显减少。本研究结果表明,温度对迷人杜鹃幼苗的生长发育也有明显影响,一定程度的高温和低温胁迫都会对迷人杜鹃幼苗的生长产生抑制作用,特别是 35 °C 高温下幼苗的死亡率达到 30%,证明其幼苗不耐高温。综合比较苗高、地径、平均根长、萌枝数、鲜重等生长指标在不同温度处理下的表现,可以看出最适宜迷人杜鹃幼苗生长的温度仍为 25 °C/15 °C。

3.3 温度与迷人杜鹃幼苗生理指标的关系

相关研究表明^[23],温度胁迫会使植物体内叶绿素合成受阻及加速叶绿素分解,导致总叶绿素含量下降。本试验证明对比 25 °C 处理,15 °C 及 35 °C 处理下总叶绿素含量都处于较低水平,说明在高、低温胁迫下迷人杜鹃幼苗总叶绿素含量降低,光合作用受到了一定的影响。

Almeselmani 等^[24]研究认为,高温胁迫会破坏植物细胞质膜的稳定性,从而影响植物的正常生理过程。本试验证明在 25 °C 及 25/15 °C 处理下,迷人杜鹃幼苗叶片 MDA 含量都保持在较低水平,随着温度的升高或降低,其 MDA 含量显著增加,且在 35 °C 处理下 MDA 含量达到最高。这说明受到高温或低温胁迫时,迷人杜鹃幼苗叶片产生膜脂过氧化反应,导致过氧化产物 MDA 含量的增加,且迷人杜鹃幼苗在高温胁迫下膜质损伤更为严重,幼苗不耐高温。

同时,在 25 °C 及 25/15 °C 处理下,本试验中迷人杜鹃幼苗叶片可溶性糖含量及可溶性蛋白含量均保

持在较高水平,而在15℃、35℃胁迫下叶片的可溶性糖含量及可溶性蛋白含量降低,并与25℃、25℃/15℃处理差异显著,说明温度胁迫会对迷人杜鹃幼苗叶片可溶性糖及可溶性蛋白的累积造成影响,从而阻碍两者的渗透调解能力,并抑制幼苗的生长发育。

李建建^[25]认为,在高温逆境胁迫下容易激发植物机体内的保护酶体系,以此清除自由基,提高抗逆性。本研究中在35℃、30℃/20℃胁迫下,叶片抗氧化酶活性显著升高,这可能是由于迷人杜鹃体内防御系统对逆境胁迫的响应,保护酶系统调节机制开始发挥作用,使SOD和CAT的活性增强,维持幼苗体内活性氧代谢的动态平衡,保护其生长发育不受逆境的严重影响。尤其是幼苗保护酶活性在35℃、30℃/20℃的处理下相较其他温度处理呈增高的趋势,且CAT活性较SOD活性增加更为明显。

4 结 论

迷人杜鹃种子发芽与幼苗生长的最适温度是

25℃/15℃,可能是因为与恒温条件相比,变温环境与自然环境更加接近,而环境温度过高或过低都会影响迷人杜鹃的正常生理代谢。恒温条件下种子的萌发率随着温度的升高先上升后下降,25℃/15℃变温处理下萌发率最高;恒温条件下幼苗的生物量和株高等生长指标随着温度的升高先增加后降低,25℃处理的生长速度较快,25℃/15℃变温处理下生长速度最快;迷人杜鹃幼苗叶片总叶绿素含量、可溶性糖含量和可溶性蛋白含量在恒温条件下,随着温度的增加均呈现出先增加后降低的变化趋势,在恒温25℃和变温25℃/15℃条件下明显较高;幼苗叶片SOD、CAT活性和MDA含量在恒温条件下随着温度的增加均呈现出先降低后增加的趋势,在恒温25℃和变温25℃/15℃条件下明显较低。在低温(15℃)和高温(35℃)处理下,迷人杜鹃幼苗的各项生理指标均有显著变化,且以高温(35℃)胁迫下尤为明显,即迷人杜鹃幼苗对高温伤害反应最为强烈,不适宜在高温环境下生长。

参考文献:

- [1] 张凯,慕小倩,孙晓玉,等.温度变化对油菜及其伴生杂草种子萌发和幼苗生理特性的影响[J].植物生态学报,2013,37(12): 1132-1141.
- ZHANG K, MU X Q, SUN X Y, et al. Effects of temperature change on seed germination, seedling growth and physiological characteristics in rape and companion weeds[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2013, 37(12): 1132-1141.
- [2] 刘小金,徐大平,杨曾奖,等.温度对越南黄花梨种子萌发的影响[J].林业科学研究,2014,27(5): 707-709.
- LIU X J, XU D P, YANG Z J, et al. Effects of temperature on seed germination of *Dalbergia tonkinensis*[J]. *Forest Research*, 2014, 27(5): 707-709.
- [3] 高瑞如,赵瑞华,杨学军,等.盐分和温度对盐节木幼苗早期生长的影响[J].生态学报,2009,29(10): 5395-5405.
- GAO R R, ZHAO R H, YANG X J, et al. Effects of salt and temperature on early growth of *Halocnemum strobilaceum* (Chenopodiaceae) seedlings[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(10): 5395-5405.
- [4] 陈训,巫华美.中国贵州杜鹃花[M].贵阳:贵州科技出版社,2003.
- [5] 黄承玲,周洪英,黄家涌,等.迷人杜鹃种子特性与萌发实验研究[J].种子,2009,28(8): 96-98.
- HUANG C L, ZHOU H Y, HUANG J Y, et al. Studies on seed characteristics and germination of *Rhododendron agastum* Balf. f. et W. W. Sm. [J]. *Seed*, 2009, 28(8): 96-98.
- [6] 黄承玲,陈训,高贵龙,等.3种高山杜鹃对持续干旱的生理响应及抗旱性评价[J].林业科学,2011,47(6): 48-55.
- HUANG C L, CHEN X, GAO G L, et al. Physiological response of seedlings of three *Azalea* species of drought stress and evaluation of drought resistance[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2011, 47(6): 48-55.
- [7] 周艳,陈训,韦小丽,等.凋落物对迷人杜鹃幼苗更新和种子萌发的影响[J].林业科学,2015,51(3): 65-74.
- ZHOU Y, CHEN X, WEI X L, et al. Effects of litter on the seedling regeneration and seed germination of *Rhododendron agastum*[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2015, 51(3): 65-74.
- [8] 周艳,韦小丽,陈训.迷人杜鹃凋落叶水浸提液对其自身种子萌发的影响[J].种子,2015,34(3): 8-11.
- ZHOU Y, WEI X L, CHEN X. Effects of *Rhododendron agastum* litter on its seed germination[J]. *Seed*, 2015, 34(3): 8-11.
- [9] 李朝婵,钱沉鱼,全文选,等.迷人杜鹃群落天然更新障碍的化感研究[J].中南林业科技大学学报,2018,38(9): 9-13.
- LI C C, QIAN C Y, QUAN W X, et al. Study on allelopathy of natural regeneration of *Rhododendron agastum* community [J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2018, 38(9): 9-13.
- [10] 周艳,韦小丽,李朝婵,等.遮阴对迷人杜鹃种子萌发和芽苗生长的影响[J].贵州农业科学,2015,43(6): 149-152.
- ZHOU Y, WEI X L, LI C C, et al. Effects of shade on seed germination and seedling growth in *Rhododendron agastum* [J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2015, 43(6): 149-152.
- [11] 李小玲,雒玲玲,华智锐.高温胁迫下高山杜鹃的生理生化响应

- 应[J]. 西北农业学报, 2018, **27**(2): 253-259.
- LI X L, LUO L L, HUA Z R. Physiological and biochemical responses of *Rhododendron lapponicum* to heat stress[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2018, **27**(2): 253-259.
- [12] 蔡永萍. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2014: 110-113.
- [13] 李合生. 植物生理生化试验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [14] 杜锦华, 刘东玲, 常海飞, 等. 不同温度处理对香紫苏种子萌发特性的影响[J]. 安徽农业科学, 2010, **38**(29): 16 227-16 229.
- DU J H, LIU D L, CHANG H F, et al. Effect of the different temperature treatments on germination characteristics of *Salvia sclarea* seeds[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2010, **38**(29): 16 227-16 229.
- [15] 高婷婷, 毛培春, 郭强, 等. 温度对10个白三叶品种种子萌发特性的影响[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2014, **34**(1): 59-64.
- GAO T T, MAO P C, GUO Q, et al. Effect of temperature on the seed germination characteristics of ten *Trifolium repens* varieties[J]. *Journal of Shanxi Agricultural University* (Natural Science Edition), 2014, **34**(1): 59-64.
- [16] 贺佳圆, 王婧婷, 白小明, 等. 温度对8个野生早熟禾材料萌发特性的影响[J]. 草业科学, 2013, **30**(3): 383-389.
- HE J Y, WANG J T, BAI X M, et al. Effects of temperature on seed germination characteristics of eight wild *Poa* germplasm [J]. *Pratacultural Science*, 2013, **30** (3): 383-389.
- [17] 孙坤, 吕小旭, 苏雪, 等. 不同温度下中国沙棘种子的萌发策略[J]. 西北师范大学学报(自然科学版), 2012, **48**(3): 84-87.
- SUN K, LÜ X X, SU X, et al. Seed germination strategy of *Hippophae rhamnoides* L. sub. *sinensis* Rousi at different temperature[J]. *Journal of Northwest Normal University* (Natural Science), 2012, **48**(3): 84-87.
- [18] 宋兆伟, 郝丽珍, 黄振英, 等. 光照和温度对沙芥和斧翅沙芥植物种子萌发的影响[J]. 生态学报, 2010, **30**(10): 2 562-2 568.
- SONG Z W, HAO L Z, HUANG Z Y, et al. Effects of light and temperature on the germination of *Pugionium cornutum* (L.) Gaertn. and *Pugionium dolabratum* Maxim. seeds[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, **30**(10): 2 562-2 568.
- [19] 范宣, 游明鸿, 刘金平, 等. 温度对川西柳叶菜种子萌发特性的影响[J]. 草业与畜牧, 2016, (1): 31-33.
- FAN X, YOU M H, LIU J P, et al. Effect of temperature on seed germination characteristics of *Epilobium fangii*[J]. *Prataculture & Animal Husbandry*, 2016, (1): 31-33.
- [20] 王冀川, 徐雅丽, 段黄金. 温度对油葵种子发芽和出苗的影响[J]. 种子, 2002, **21**(3): 33-34, 36.
- WANG J C, XU Y L, DUAN H J. Effect of temperature on seed germination and seedling emergence of oil sunflower[J]. *Seed*, 2002, **21**(3): 33-34, 36.
- [21] MARIA SO, LETICOAP L G, ROSAURA G. Germination of four species of the genus *Mimosa* in a semi-arid zone central Mexico[J]. *Journal of Arid Environments*, 2003, 55: 75-92.
- [22] 赵勇峻, 徐术菁, 王钊, 等. 高温胁迫对3个番茄品种生长和生理指标的影响[J]. 江苏农业科学, 2019, **47**(17): 147-149.
- ZHAO Y J, XU S J, WANG Z, et al. Effect of high temperature stress on growth and physiological indexes of three tomato varieties[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2019, **47**(17): 147-149.
- [23] 张毅龙, 张卫强, 甘先华. 低温胁迫对6种珍贵树种苗木光合荧光特性的影响[J]. 生态环境学报, 2014, **23**(5): 777-784.
- ZHANG Y L, ZHANG W Q, GAN X H. Influence of low temperature stress on the photosynthetic fluorescence characteristics of 6 kinds of precious hardwoods seedling in winter [J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2014, **23** (5): 777-784.
- [24] ALMESELMANI M, DESHMUKH P S, SAIRAM R K, et al. Protective role of antioxidant enzymes under high temperature stress[J]. *Plant Science*, 2006, **171**(3): 382-388.
- [25] 李建建. 高温胁迫对黄瓜幼苗生理生化特性的影响及生理机制的研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2006.

(编辑:裴阿卫)