

智永祺,郑玉红,张鹏翀,等. 阶跃温度对石蒜光合作用和新陈代谢的影响[J]. 江苏农业科学,2019,47(22):148–152.
doi:10.15889/j.issn.1002–1302.2019.22.033

阶跃温度对石蒜光合作用和新陈代谢的影响

智永祺^{1,2}, 郑玉红^{2,3}, 张鹏翀⁴, 周 坚^{1,2}

[1. 南京林业大学南方现代林业协同创新中心, 江苏南京 210037; 2. 南京林业大学生物与环境学院, 江苏南京 210037;
3. 江苏省中国科学院植物研究所, 江苏南京 210014; 4. 杭州植物园(杭州市园林科学研究院), 浙江杭州 310013]

摘要: 为了解温度对石蒜光合作用的影响,研究了阶跃温度条件下石蒜光合作用动态变化。结果表明,阶跃温差越大,对石蒜光合作用影响越大。其中,5~20℃温度阶跃处理影响最大,处理中期净光合速率(P_n)小于0,蒸腾速率(E)上升。另外,阶跃温差越大,中期 P_n 的恢复时间越长。除5~10℃温度阶跃处理外,其他处理 P_n 在不同阶段之间变化不连续。阶跃处理中期,5~10℃处理 P_n 最不稳定,5~20℃处理最稳定。5~15℃和5~20℃处理的MDA含量变化趋势一致,呈“W”形,而5~10℃处理呈“M”形。不同处理POD活性总体呈上升趋势,处理30 min内,阶跃温差越大,POD活性越高。不同处理间SOD活性的变化差异较大,5~10℃处理SOD活性逐渐下降,5~15、5~20℃处理分别为先升后降和先降后升变化趋势,处理30 min后,阶跃温差越大,SOD活性越高。5~10℃和5~20℃处理的可溶性蛋白含量是先升后降变化趋势,5~15℃处理则为峰谷交替变化趋势。该结果从光合生理角度阐明了温度阶跃影响石蒜光合作用和新陈代谢,可为石蒜冬春季栽培中温度控制提供参考依据。

关键词: 温度阶跃; 石蒜; 光合作用; 新陈代谢

中图分类号: S682.2⁺90.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002–1302(2019)22–0148–04

石蒜(*Lycoris radiata*)是石蒜属(*Lycoris* Herb.)植物中自然分布最广的种类。不同于一般落叶植物,石蒜秋季出叶,春季落叶。从石蒜叶片衰老的时间看,环境温度的改变是导致其夏眠的主要原因。同属春出叶长筒石蒜(*L. longituba*)的研究也发现,叶片衰老与温度密切相关^[1]。恒温处理能使忽地笑(*L. aurea*)叶片营养生长呈现出常绿状态^[2]。可见,温度对石蒜属植物的营养生长具有重要影响。

温度对石蒜生长发育影响的研究,主要集中在对开花的影响^[3–5],而对营养生长的研究较少。已有的研究发现,石蒜具有较强的抗寒性,0℃条件下也能正常生长^[6–7]。温度还影响石蒜的分布,最冷季度平均温度对石蒜分布影响最大,最佳适区对应的最冷季平均温度在–2~8℃之间^[8]。不同温度下石蒜光响应曲线的研究发现,石蒜的光合最适温度为10~15℃^[9]。

通过分析温度对石蒜光合作用的影响是理解石蒜独特生物学特性的基础,可以了解低温环境下植物生活的活动。近年来,在温室效应的作用下,出现“一天中温度快速变化”的现象越来越多。石蒜营养生长期(光合作用)主要是在晚秋—冬季—早春时期,这个阶段最容易产生环境温度快速变

化。因此,本研究将石蒜作为研究植物适应温度快速变化的代表植物,研究温度阶跃条件下石蒜光合作用的动态响应过程。

1 材料与方法

1.1 材料

试验材料为石蒜,直径约3 cm,取自于南京林业大学石蒜苗圃,盆栽于草炭基质中,室温20℃培养,每3 d浇水1次。4周后,转入5℃、相对湿度恒定为60%的人工气候箱(宁波赛福,PRX–450B)培养1周。

1.2 试验方法

试验于2016年1月份进行。仪器为GFS–3000型高级光合作用测量系统(Heinz Walz GmbH, Effeltrich, Germany),叶室光照为红蓝光源(3040–L)提供。选取35 cm左右长势一致、健康叶片测定。

1.2.1 阶跃温度对石蒜光合参数的影响 设置人工气候箱温度分别为5、10、15、20℃,设定光照强度为80%。

选取健康石蒜叶片,设定叶室温度为5℃,测定样品叶的光合参数为背景值;然后将石蒜分别转入10℃(T_1 :温度阶差5℃)、15℃(T_2 :温度阶差10℃)、20℃(T_3 :温度阶差15℃)人工气候箱,同时调整叶室温度与人工气候箱温度相同,测定叶片光合参数作为石蒜对阶跃温度的响应值,直到达到稳定状态。试验重复3次。5℃起始阶段,数据为手动记录,此时记录3个测量点;转入温度不同的人工气候箱后,数据为程序自动记录,测量点时间间隔为5~45 s的循环。测量的光合参数包括净光合速率(P_n)、蒸腾速率(E)、胞间二氧化碳浓度(C_i)和气孔导度(G_s)等。

1.2.2 阶跃温度对石蒜叶片新陈代谢的影响 取材时间同“1.2.1”节。每个阶跃温度处理于第3次重复测量时取样。

收稿日期:2018–07–09

基金项目:江苏省林业三新工程(编号:LYSX[2014]52);江苏省高校优势学科建设工程项目(PAPD);杭州西湖风景名胜区(市园文局)科技发展规划(编号:2014–002);浙江省杭州市科技发展规划(编号:20152231E02)。

作者简介:智永祺(1990—),男,江苏高邮人,硕士,助理农艺师,主要从事观赏植物种质资源改良与应用研究。Tel:(0575)88613526; E-mail:zhiyongqi@yeah.net。

通信作者:周 坚,博士,教授,主要从事观赏植物种质资源改良与应用研究。Tel:(025)85427316; E-mail:zhiwu@njfu.edu.cn。

5 ℃ 取样 1 次,转入阶跃温度处理 5 min 取第 2 次样,随后每 5 min 取 1 次样,处理 30 min 取最后 1 次样。每次取 3 张长势一致叶片,迅速转入 -80 ℃ 冰箱保存。

取石蒜叶片,擦净组织表面污物,去中脉剪碎,混匀。称取剪碎样品 0.5 g,磷酸缓冲液(PBS)冰浴研磨呈匀浆,测定可溶性蛋白质含量^[10]、POD 活性^[11]、SOD 活性^[10]以及 MDA 含量^[12]。

1.3 数据处理

运用 Excel 2010 对数据进行汇总、计算,并进行相关性分析,R 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 阶跃温度处理对石蒜叶片净光合速率(P_n)和蒸腾速率(E)的影响

从图 1 可以看出,3 个不同温度阶跃处理在从 5 ℃ 人工气候箱转出时,净光合速率 P_n 明显下降,在上升一段时间后,最终达到稳定状态。因此,可依据 P_n 的变化,把温度阶跃处理过程分为 3 个时期,即前期、中期和后期。前期,石蒜在

5 ℃ 人工气候箱中培养,以转入不同温度的人工气候箱后叶片 P_n 变化阶段为中期,后续 P_n 的波动阶段为后期。

不同阶跃温度处理中期时间长度不同;温度阶差越高,中期时间越长。从前期到中期,阶差温度为 15 ℃ (T_3)时叶片 P_n 降幅最大,约下降 2.90 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,但之后稳步上升;阶差温度为 5 ℃ (T_1)时 P_n 降幅最小,约为 0.35 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$;阶差温度为 10 ℃ (T_2)时 P_n 降幅中等,约为 0.98 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。中期稳定程度则随阶点温度下降而降低, T_3 处理最稳定, T_2 处理在中后期逐渐上升,而 T_1 处理在从中期起始连续上升,但不稳定。观察中后期衔接处发现, T_1 处理连续性较好,后期 P_n 稳定程度与中期相近(图 1)。

不同处理蒸腾速率(E)变化不同(图 1)。从前期到中期, T_1 、 T_2 处理 E 值下降,而 T_3 处理为升高。在中期, T_1 处理的 E 值第 50 个测量点达到最小值; T_2 处理先降后升,而 T_3 处理的 E 值在波动中上升。研究发现,尽管在 T_3 处理中期 E 值最高,达到 0.359 6 $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,但是 P_n 却为负值,表明其呼吸作用强于光合作用。后期, T_3 处理最稳定, T_2 处理波动幅度小,而 T_1 处理最不稳定,呈“升—降—升”的变化趋势。

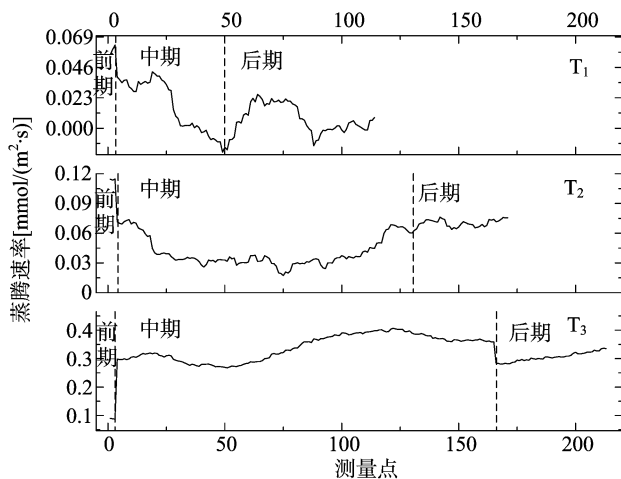
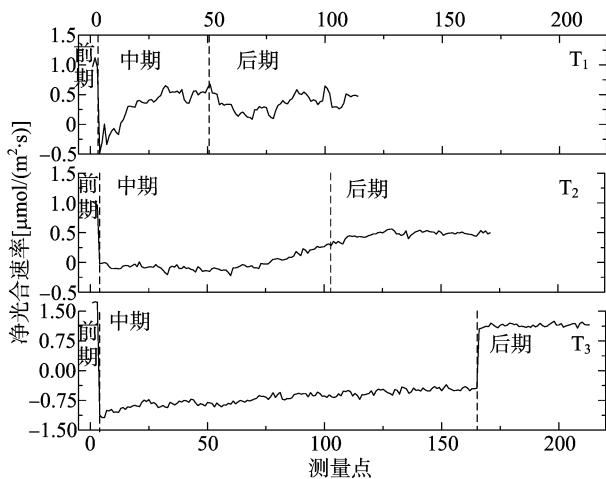


图1 净光合速率和蒸腾速率对不同阶跃温度的响应

2.2 阶跃温度对胞间 CO_2 浓度(C_i)和气孔导度(G_s)的影响

3 种阶跃温度处理中,温度阶差 5 ℃ 时胞间 CO_2 浓度(C_i)值在中后期出现异常。根据 C_i 计算公式和实际意义,去除异常值后再比较。由图 2 可知, C_i 值随温度阶差的升高而上升,温度阶差 15 ℃ 时值最高,中期均值约为 476.93 $\mu\text{mol}/\text{mol}$;温度阶差 5 ℃ 时最低,中期均值约 288.18 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 。中期的 C_i 值总体都表现为下降,温度阶差 5 ℃ 和 15 ℃ 时 C_i 值连续下降,而温度阶差为 10 ℃ 时表现为先升后降变化趋势。

在各阶跃温度处理的中期和后期,气孔导度(G_s)对温度阶跃的响应与 E 值变化趋势相似;不同的是,从前期到中期,温度阶差为 5 ℃ 时 G_s 呈上升趋势,而 E 值则呈下降的趋势; G_s 最大值出现在第 19 个测量点,为 5.01 $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,距测量开始约 9 min;从中期到后期, G_s 呈连续变化,变化趋势由下降转为上升,后期 G_s 先升后降,最后逐渐稳定。 T_2 处理中,中后期的变化幅度不大,总体趋势为先降后升, G_s 最大值出现在倒数第 3 个测量点,为 5.63 $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。 T_3 处理中,中期 G_s 值变化呈“M”形,从中期到后期, G_s 值断裂式下

降,后期的 G_s 值呈逐渐上升的趋势, G_s 最大值出现在中期,在第 124 个测量点处,为 18.99 $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

2.3 阶跃温度处理期间石蒜叶片各光合参数的相关性分析

由表 1 可知,除 T_1 处理 P_n 与 E 、 C_i 、 G_s 的相关关系不显著外,其余指标都呈极显著相关关系;但是相关性不同。 T_2 处理中 P_n 与 E 呈极显著正相关,相关系数为 0.71, T_3 处理时却呈极显著负相关,表明不同阶跃温度处理期间, E 值对净光合速率 P_n 的影响不同。 T_2 处理中 P_n 与 G_s 呈极显著正相关,相关系数为 0.65; T_3 处理中二者则呈极显著负相关,相关系数为 -0.40。 T_1 、 T_2 处理中, E 与 C_i 均呈极显著为负相关,相关系数分别为 -0.38 和 -0.44; T_3 处理中二者呈极显著正相关关系,相关系数为 0.27。但所有处理中, G_s 和 E 之间呈极显著正相关关系,且均为为强相关。

2.4 阶跃温度对石蒜叶片新陈代谢的影响

图 3-A 所示为不同阶跃温度对石蒜叶片丙二醛(MDA)含量的影响。总体上, T_1 处理石蒜叶片的 MDA 含量均值最高,为 344.42 $\mu\text{mol}/\text{g}$;随时间延长呈“M”形的变化趋势:在处

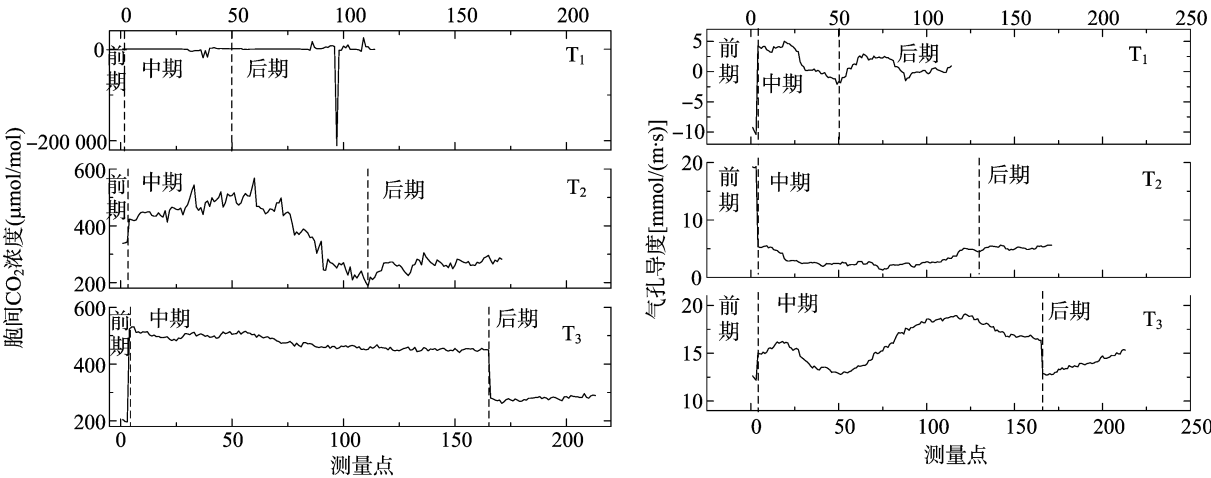


图2 石蒜胞间CO₂浓度和气孔导度对不同阶跃温度的响应

表 1 P_n 、 E 、 C_i 、 G_s 间相关性分析

处理	光合参数	相关系数			
		P_n	E	C_i	G_s
T_1	P_n	1.00			
	E	-0.15	1.00		
	C_i	-0.04	-0.38 **	1.00	
	G_s	-0.14	1.00 **	-0.41 **	1.00
T_2	P_n	1.00			
	E	0.71 **	1.00		
	C_i	-0.88 **	-0.44 **	1.00	
	G_s	0.65 **	0.86 **	-0.28 **	1.00
T_3	P_n	1.00			
	E	-0.31 **	1.00		
	C_i	-1.00 **	0.27 **	1.00	
	G_s	-0.40 **	0.90 **	0.34 **	1.00

注: ** 表示极显著($P < 0.01$)相关。

理 5 min 后上升,10 min 后下降,15 min 后趋于稳定,约为 302.82 $\mu\text{mol/g}$ 。 T_2 、 T_3 处理的 MDA 含量变化趋势一致,呈“W”形,2 次谷值出现的时间分别为处理 5、10 min,而 15 min 后 MDA 含量均上升; T_2 处理后 MDA 含量低于前期, T_3 为高于前期。

不同处理 POD 活性总体变化趋势是先升高、后降低、再升高(图 3-B)。不同的是,各处理之间第 2 次升高的时间点不同, T_1 和 T_3 处理 15 min 处升高, T_2 处理在 20 min 处升高。但 T_3 处理 POD 活性整体较高,平均值为 225.63 $\text{U}/(\text{g} \cdot \text{min})$,高于其他处理。10 min 以后活性最高值是 251.23 $\text{U}/(\text{g} \cdot \text{min})$,其他 2 个处理平均值分别为 211.33、218.16 $\text{U}/(\text{g} \cdot \text{min})$ 。

不同于 POD 活性的变化,不同处理 SOD 活性的变化差异较大(图 3-C)。 T_1 处理的石蒜叶片 SOD 活性在前中期迅速下降,中期下降逐渐平缓,至后期已基本不再变化; T_2 处理石蒜叶片的 SOD 活性在 0~5 min 上升,5 min 以后下降,20 min 以后逐渐稳定; T_3 处理石蒜叶片的 SOD 活性在 10 min 前比较平稳,10~15 min 呈下降趋势,15 min 后则迅速上升。30 min 处 T_3 处理 SOD 活性最高,为 559.34 U/g 。总体来看,

T_2 处理的活性维持在较高水平,平均值 594.92 U/g 。

图中 3-D 所示为不同阶跃温度处理对石蒜叶片可溶性蛋白含量的影响,不同处理间可溶性蛋白含量差异不大, T_1 和 T_3 处理趋势相似,0~5 min 均为上升,5 min 以后上下波动; T_1 处理含量最高,均值为 1.84 mg/g 。 T_2 处理在 0~5 min 呈上升趋势,5 min 后则为下降,均值为 1.65 mg/g 。

3 讨论与结论

3.1 石蒜光合作用对温度阶跃的响应

迄今为止,对于植物光合作用的研究,大多是在稳态下进行,植物光合作用的瞬态响应极少被研究。Laik 等首先进行了尝试^[14],因附属硬件较多,只能在室内进行测定;国内仅对春玉米(*Zea mays*)和番茄(*Lycopersicon esculentum*)进行过相关研究^[15-16]。本研究通过人工气候箱精准控温,对阶跃温度条件下石蒜光合作用动态变化进行了研究。阶跃温度的设定依据是自然条件下,石蒜营养生长期月平均最高温为 9.4~17.4 $^{\circ}\text{C}$ 、月平均最低温为 2.1~8.2 $^{\circ}\text{C}$ ($< 9^{\circ}\text{C}$)。

虽然阶跃起点均为 5 $^{\circ}\text{C}$,但由于温度阶差不同,净光合速率的响应也不同。王婷认为 10~15 $^{\circ}\text{C}$ 是石蒜的最适光合温度,其中 10 $^{\circ}\text{C}$ 比 15 $^{\circ}\text{C}$ 更适合石蒜光合作用进行^[9]。本研究中,温度阶差为 10 $^{\circ}\text{C}$ 时 P_n 降幅最小,说明 5~15 $^{\circ}\text{C}$ 温度处理对石蒜的光合作用影响最小;处理的温度阶差为 15 $^{\circ}\text{C}$ 时, P_n 降幅最大,相关性分析表明, P_n 与 C_i 、 E 呈极显著负相关, C_i 高于环境二氧化碳浓度值,说明阶点温度为 20 $^{\circ}\text{C}$ 时,超出了石蒜最适光合作用温度范围,也间接证明了当气温升高到 20 $^{\circ}\text{C}$ 以上时,石蒜光合能力的下降^[17]。温度阶差为 15 $^{\circ}\text{C}$ 时 P_n 在不同阶段之间波动明显,结合此阶段 MDA 和可溶性蛋白含量变化及 POD、SOD 活性变化,可知温度大幅升高可能引起石蒜新陈代谢的紊乱从而导致光合速率的明显波动,这可能是石蒜夏眠的重要原因之一。

从前中期到中期,3 种阶跃温度处理 P_n 都有不同程度下降。根据 G_s 和 C_i 变化可以判断,这种下降都不是由气孔因素主导^[18]。温度阶差为 15 $^{\circ}\text{C}$ 时, P_n 一度出现负值,表明此时光合产物的积累无法满足呼吸作用的需要。对同为夏眠的荒漠植物托里阿魏(*Ferula krylovii*)的研究表明,适当升高温

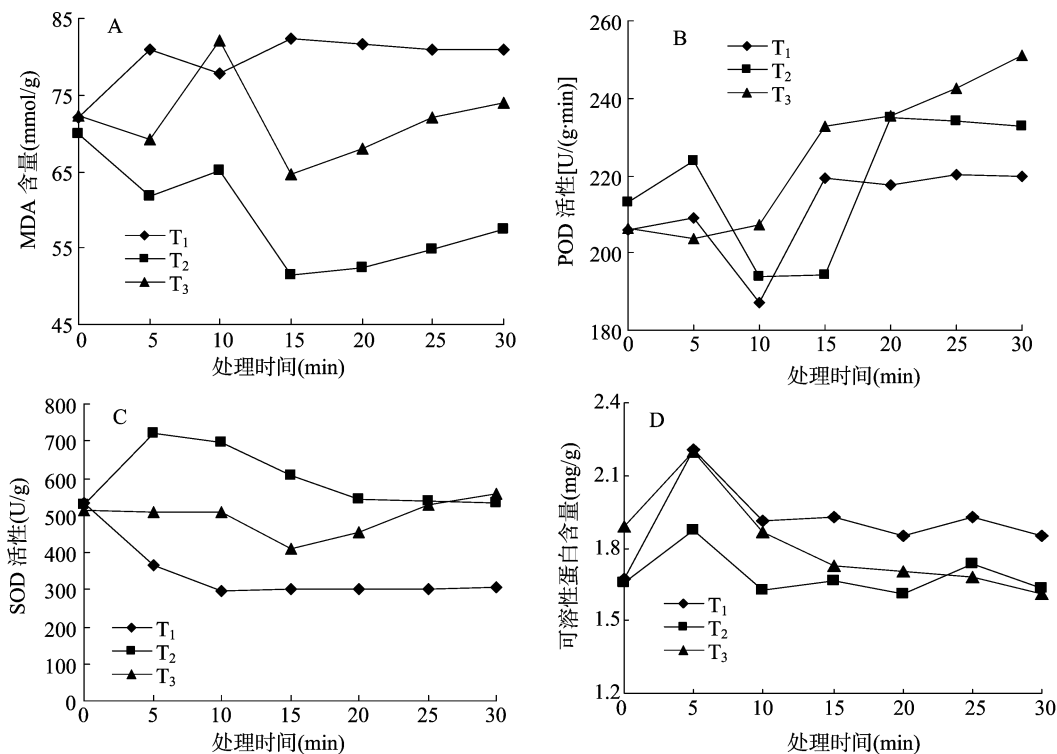


图3 石蒜 MDA、POD、SOD 和可溶性蛋白对阶跃温度的响应

度会引起呼吸速率的增加^[19]。故推断石蒜在进入 20 ℃ 环境时,呼吸速率增加,但由于呼吸作用释放能量是一个缓慢的过程^[20],提供的能量不足以支持足够的光合作用,也可能是由呼吸作用与光合作用共用物的量不足以及 PS II 的活性下降导致,所以表现出 P_n 为负值。温度阶差为 5 ~ 15 ℃ 时,从前期到中期, P_n 均不连续,表明温度阶差 ≥ 5 ℃ 时,短期内不利于石蒜光合作用。该结论得到小麦高温条件下光合特性研究的支持^[21]。在 3 种不同阶跃温度处理中期,随着呼吸作用产生能量的释放,呼吸作用与光合作用共用物的积累,以及 PS II 活性的逐渐恢复等, P_n 缓慢上升。此外,不同处理中期的稳定时间长度也存在差异,T₃ 最长,T₁ 几乎为 0。其原因可能为温度阶差越大,呼吸速率越大,对光合作用和呼吸作用的共同物 ADP 和 $NAPD^+$ 的需求量也越大,这 2 种物质积累所需的时间也越长;同时,阶点温度越高,PS II 活性下降程度越大,活性恢复所需时间越长,推测为多个因素共同造成光合系统适应温度变化时间的增加^[18]。而在后期, P_n 保持相对稳定,也证明了该推断。T₁ 处理后期, C_i 大幅下降至负值,原因是当 G_s 很低,气孔未完全开放,就会出现 C_i 测定值为负的情况。当然,这是不真实的,实际情况是 C_i 很低。T₁ 处理后期的末段出现了 $C_i > 20\ 000\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,也是异常值,具体原因有待进一步研究。

3.2 阶跃温度对石蒜新陈代谢的影响

受到阶跃温度处理的石蒜,抗氧化系统也会发生变化,不同生理指标的活性变化情况不同。丙二醛(MDA)是细胞膜脂质过氧化产物之一,能加剧膜的损伤,故 MDA 的含量是反应膜脂过氧化的重要指标^[22-23]。比较不同阶跃温度处理发现:温度阶差越小,对细胞膜稳定性影响越大。而 T₃ 处理对细胞膜稳定性影响不大,这可能是由于 20 ℃ 对石蒜还未致死,但

高温又引起适应膜系统变化的节奏放缓;而 T₂ 处理的 MDA 总体下降,可能是 15 ℃ 的环境条件对石蒜膜系统影响不大。

不同阶跃温度处理抗氧化酶系统中各酶的活性变化有差异,SOD 活性的变化差异最大,POD 活性变化相对较小,但总体均有不同程度的上升。在不同处理过程中,不同的抗氧化酶在各阶段发挥的作用不一样:T₁ 处理 POD 活性上升,SOD 活性下降,POD 在抗氧化过程中起主要作用;T₂ 处理 SOD 活性在 5 min 时最大,POD 活性在 20 min 时达到最大,说明在 5 ~ 15 ℃ 阶跃温度处理中,不同的抗氧化酶在不同时期起着主要作用;T₃ 处理 SOD 活性变化不大,而 POD 活性呈明显上升,是 POD 在抗氧化系统中起着主要作用。

参考文献:

- [1] 刘晓萍. 长筒石蒜叶片衰老的初步研究[D]. 南京:南京林业大学,2007:55.
- [2] 梁素秋. 金花石蒜花芽分化及体外培养之探讨[D]. 台北:台湾大学,1992.
- [3] Hasegawa A, Kuniyoshi K. The effect of temperature on the flower bud differentiation and development of *Lycoris radiata* Herb. [J]. Kagawa University, 1973, 24(2): 157-162.
- [4] 王 磊. 石蒜属植物花期调控技术及开花生理研究[D]. 南京:南京林业大学,2004:24-31.
- [5] 左雪枝. 不同光照和干湿温度下红花石蒜花期的比较[J]. 科技信息(学术研究), 2006(9): 388-389.
- [6] 王 燕, 张 义, 项任科, 等. 石蒜科植物的抗寒生理特性研究[J]. 湖北农业科学, 2006(6): 792-794.
- [7] 薛磊祺, 只艳玲, 王顺利, 等. 五种石蒜属植物的低温耐性研究[J]. 植物生理学报, 2015, 51(5): 721-728.
- [8] 毛志远, 张兆金, 周 坚. 基于生态位模型的石蒜适生区预测

贾汝龙,唐楠,唐道城. 覆盖及温度处理对卷丹百合珠芽根系发育及露地越冬的影响[J]. 江苏农业科学,2019,47(22):152-154.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.22.034

覆盖及温度处理对卷丹百合珠芽根系发育及露地越冬的影响

贾汝龙,唐楠,唐道城

(青海大学高原花卉研究中心/青海省园林植物与观赏园艺重点实验室,青海西宁 810016)

摘要:选用卷丹百合珠芽作为试验材料,进行不同覆盖方式和温度处理观测珠芽在青海省西宁市露地播种的根系发育和越冬效果。结果表明,5℃处理13周的珠芽秋季播种后第3周,麦草帘覆盖方式的珠芽根系发育最快,根长最长,极显著高于无纺布和遮阳网覆盖方式,但与CK(不覆盖)、黑色地膜覆盖方式差异不显著;5种覆盖方式下的珠芽生根数差异不显著;黑色地膜覆盖下的珠芽生根率最高,为53.34%,极显著高于遮阳网覆盖方式,与无纺布、麦草帘、CK覆盖方式差异不显著。播种后第5周,麦草帘处理与CK、黑色地膜、无纺布处理差异均不显著,只显著高于遮阳网处理;麦草帘覆盖方式下的珠芽生根数最多,极显著高于黑色地膜覆盖和CK,与无纺布和遮阳网覆盖差异不显著;除遮阳网处理外其余覆盖方式的珠芽生根率均达到50%以上,且差异不显著。不同覆盖方式下珠芽经历冬季后的冻伤率都十分严重,以麦草帘覆盖的冻伤率最低,为42.21%,极显著低于其他4种覆盖方式,由此说明珠芽5℃处理后在西宁地区露地秋播无论采用哪种覆盖方式均不能安全越冬。3种温度(5、10、15℃)处理13周后的珠芽露地无覆盖秋播,经历冬季后10℃处理下的珠芽冻伤率最低,为13.58%,极显著低于5、15℃处理,证明10℃低温处理珠芽可以作为西宁地区露地秋播的繁殖材料。

关键词:卷丹百合;珠芽;覆盖材料;温度处理;根系发育;冻伤率

中图分类号:S82.2⁺65.04 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2019)22-0152-03

卷丹百合(*Lilium lancifolium*)又名虎皮百合,为百合科百合属多年生球根类花卉,鳞茎卵圆形至扁球形,黄白色,地下

收稿日期:2018-08-31

基金项目:青海省重点研发与转化计划(编号:2018-NK-102);

2016年青海省“高端创新人才千人计划”。

作者简介:贾汝龙(1991—),男,甘肃白银人,硕士研究生,主要从事百合研究。E-mail:1879638459@qq.com。

通信作者:唐楠,博士,副教授,主要从事园林植物遗传育种研究。

E-mail:natasha_tn@hotmail.com。

[J]. 林业科技开发,2014,28(6):50-53.

[9]王婷. 4种石蒜属植物光合特性的研究[D]. 南京:南京林业大学,2014:17-26.

[10]李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2000.

[11]陈建勋,王晓峰. 植物生理学实验指导[M]. 广州:华南理工大学出版社,2002.

[12]赵世杰,史国安,董新纯. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业科技出版社,1998.

[13]李晓宇,杨成超,于雷,等. DPS软件在中缀12杨光响应曲线拟合中的应用[J]. 湖南林业科技,2015(3):85-89,100.

[14]Laisk A, Oja V. Dynamics of leaf photosynthesis: rapid-response measurements and their interpretations[J]. Photosynthetica, 1999, 37(3):476-476.

[15]史长丽,郭家选,严昌荣,等. 旱作春玉米冠层及叶片瞬态气体交换及水分利用效率日变化特征[J]. 农业工程学报,2007,23(1):24-31.

茎易生小鳞茎,地上茎多生珠芽,具有较高的观赏价值、食用价值和药用价值^[1-2]。百合繁殖主要为分球繁殖、鳞片扦插繁殖、种子繁殖、珠芽繁殖^[3]这4种繁殖方式。分球繁殖是卷丹繁殖的一种重要手段,这种繁殖方式繁殖量少,并且容易携带病菌,从而导致品种退化。实生繁殖固然质量好,但结实率极低,生产周期长,并伴随较多的遗传变异和季节性供应等问题,仅能作为杂交育种的一种繁殖方式^[4]。目前,国内外广泛使用的是鳞片繁殖方式,鳞片通常会带有大量的真菌和细菌,虽具有较高的再生能力,但常会发生鳞片腐烂现象,降低

[16]边江. 番茄叶片动态光合的光响应特性研究[D]. 保定:河北农业大学,2011.

[17]毛志远. 红花石蒜的光合特性及适生区分布预测[D]. 南京:南京林业大学,2013:10-31.

[18]许大全. 光合作用效率[M]. 上海:上海科学技术出版社,2002:238.

[19]郝秀英,王卉,张萍,等. 温度对托里阿魏(*Ferula krylovii*)和骆驼蓬(*Peganum harmala*)的呼吸及光合作用的影响[J]. 中国沙漠,2015(4):912-916.

[20]潘瑞炽. 植物生理学[M]. 6版. 北京:高等教育出版社,2008:99-124.

[21]Crafts-Brandner S J, Salvucci M E. Sensitivity of photosynthesis in a C₄ plant, maize, to heat stress[J]. Plant Physiology, 2002, 129(4):1773-1780.

[22]王涛,田雪瑶,谢寅峰,等. 植物耐热性研究进展[J]. 云南农业大学学报,2013,28(5):719-726.

[23]张会玲. 高温胁迫对不同耐熟小麦品种光合作用的影响[D]. 泰安:山东农业大学,2015.