

干旱胁迫下烯效唑对矮牵牛幼苗 水分状况和光合特性的影响

李宁毅 宋 妍 韩晓芳

(沈阳农业大学 园艺学院 辽宁 沈阳 110866)

摘要:采用盆栽控水的方法,研究了土壤含水量为40%~45%田间持水量和复水条件下,施用不同浓度烯效唑对矮牵牛幼苗水分状况和光合特性的影响。结果表明:在正常条件下,施加烯效唑不同程度的提高了矮牵牛幼苗的水分状况和光合能力。在干旱条件下,随着干旱时间的延长,各处理矮牵牛叶水势、叶片相对含水量、净光合速率、蒸腾速率、气孔导度均显著降低,叶绿素含量和水分利用效率表现出先升高后降低的趋势,而胞间CO₂浓度表现出先降低后升高的趋势,施加烯效唑可以延缓和降低干旱胁迫对矮牵牛幼苗水分含量及光合作用的抑制作用;复水处理后,施加烯效唑的各处理的矮牵牛水分含量及光合作用特性均显著高于对照,综合各指标得出质量浓度为30 mg/L的效果最好。

关键词:矮牵牛; 干旱胁迫; 烯效唑; 水分状况; 光合特性

中图分类号:S681.6 文献标志码:A 文章编号:1000-2286(2011)06-1062-05

Effects of Uniconazole on Water Status and Photosynthetic Parameters of Petunias Seedlings under Drought Stress

LI Ning-yi, SONG Yan, HAN Xiao-fang

(College of Horticulture, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

Abstract: Pot experiments were conducted to study the effect of application of different concentrations of uniconazole on water status and photosynthesis of petunia seedlings under the condition of drought with soil water content 40% to 45% of field maximum moisture capacity and rewatering. The results showed that: Under adequate water condition, applying uniconazole promoted the water status and photosynthetic parameters of petunia seedlings in different degrees. Under drought conditions, with the enhancement of drought stress, the leaf relative water content (RWC), leaf water potential, net photosynthetic rate (Pn), transpiration rate (Tr), and stomatal conductance (Gs) of all treatments decreased significantly, meanwhile the chlorophyll (Chl) and the water use efficiency (WUE) increased first and decreased afterwards, while the intercellular CO₂ concentration (Ci) increased after an initial decrease. Uniconazole application could delay and reduce the inhibition of water status and photosynthesis under drought stress. After rewatering treatment, the water status and photosynthesis in all treatments with application of uniconazole were significantly higher than those of the control. It can conclude that the promotion effect of 30 mg/L was higher than others.

Key words: *Petunia hybrida* Vilm.; drought stress; uniconazole; water status; photosynthetic parameters

收稿日期:2011-06-07 修回日期:2011-09-05

基金项目:辽宁省教育厅基金项目(L2010498)

作者简介:李宁毅(1958—),女,副教授,硕士,主要从事观赏植物栽培生理研究, E-mail: lnyaaa@163.com。

近年来,由于人口增加、森林面积减少及现代化工业发展对生态环境的破坏,干旱半干旱地区面积在逐渐的扩大^[1]。在干旱环境下,多数露地植物不能正常生长,使得其净化空气和美化环境的功能不能充分发挥。矮牵牛(*Petunia hybrida* Vilm.)为茄科矮牵牛属多年生草本花卉,常作一二年生栽培,由于它耐热、花色鲜艳、花期长而深受人们的喜爱,是当前露地绿化美化的主栽草花之一。因此,如何提高矮牵牛植株的抗旱性,对节水抗旱,保证其在干旱的环境中进行正常的生长,最大限度地发挥其美化环境的功能有着重要的现实意义。烯效唑(S_{3307})是一种用量少、效率高、无残留的植物生长延缓剂,在土壤中降解快,无“二次控制”作用,不污染环境,具有使作物矮壮、抗旱、抗寒,提高品质等作用^[2],有研究表明,适当浓度的 S_{3307} 能够提高黑麦草、半夏等的抗旱性^[3-4],同时也有研究表明在苗期施用适当浓度的 S_{3307} 能够改善矮牵牛成株的株型,提高其观赏价值^[5]。

在土壤缺水的情况下,植物往往表现叶片相对含水量、叶绿素含量降低,光合作用减弱^[6-8]。因此,在干旱胁迫下,植物的叶片相对含水量、叶绿素含量和光合生产力是鉴定植物耐旱能力的重要指标。目前施用 S_{3307} 在提高矮牵牛苗期的抗旱能力和相关机理方面的研究还未见报道,因此本试验以矮牵牛为试材,以 S_{3307} 为处理药剂,研究干旱胁迫下,经 S_{3307} 处理的矮牵牛苗期的水分和光合特性的变化,以期为提高矮牵牛的抗旱性,实现矮牵牛在较干旱地区的种植,极大程度的节约水资源,提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试材料为矮牵牛幻想系列 Miragemid Blue 品种。用 72 孔穴盘播种育苗,基质为 $m(\text{草炭}):m(\text{蛭石}):m(\text{珍珠岩})=2:1:1$ 。 S_{3307} 为 5% 的乳油,由浙江大业生化技术发展公司提供。

1.2 试验方法

于 2010 年 5 月 10 日在温室内播种,待幼苗有 3~4 片真叶完全展开时进行 S_{3307} 处理,设 T_0 (清水), T_1 (10 mg/L S_{3307}), T_2 (20 mg/L S_{3307}), T_3 (30 mg/L S_{3307}), T_4 (40 mg/L S_{3307}) 5 个处理。采用根部灌施的方法,用量为每穴 7 mL。待幼苗长至 5~6 片真叶完全展开时,各处理选生长整齐的壮苗移植于 15 cm × 13 cm(口径 × 高度)的营养钵中,每钵 1 株。供试土壤为 $m(\text{过筛园土}):m(\text{育苗基质})=1:1$,测得田间持水量为 34.37%,每钵土量为 1.2 kg,育苗期间采用常规水分管理,试验期间未施加肥料。

当幼苗有 7 至 8 片真叶完全展开时进行水分胁迫处理:维持土壤含水量为 40%~45% 田间持水量。每处理 3 次重复,每重复 15 盆。干旱胁迫时间为 18 d(6 月 5—22 日),每天用称重法对土壤含水量进行监控,补水。之后进行复水,使各处理的土壤含水量达到 80%~85% 田间持水量。分别在干旱处理的第 0、3、6、9、12、15、18、21 d(即复水后第 3 天)的同一时段对植株进行叶片水势、光合指标的测定,并采鲜叶样测定叶片相对含水量和叶绿素含量。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 叶片相对含水量(RWC)的测定 叶片测定采用饱和称重法^[9],选取各处理幼苗中上部形状完好、长势相近的成熟叶片,将其摘下后迅速称其鲜质量(M_f),用蒸馏水浸泡 6 h 后测定叶片饱和质量(M_t),105 °C 下杀青 30 min 后,在 80 °C 下烘干至恒量,测定叶片干质量(M_d)。

$$RWC = (M_f - M_d) / (M_t - M_d) \times 100\% \quad (1)$$

1.3.2 叶绿素含量(Chl)的测定 叶绿素含量采用丙酮乙醇混合液法^[10],分别于 663 nm、646 nm 测定 OD 值,计算叶绿素(Chl)含量。

1.3.3 叶片水势 采用 HR-33-T-R 微伏露点仪测定叶片水势。每次选取第 3 轮功能叶进行测定。

1.3.4 光合指标的测定 采用美国 LI-COR 公司的 LI-6400 型便携式光合测定系统,于晴朗无风的 09:00—11:00 测定充分展开的第 2 轮叶片的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间 CO_2 浓度(C_i)及蒸腾速率(T_r)等指标。每个指标测 3 个重复,取平均值。以 P_n / T_r 计算水分利用效率(WUE)。

1.4 数据处理

采用 DPS 统计分析软件对数据进行统计分析,用 Excel 2007 进行作图。

2 结果与分析

2.1 S_{3307} 处理对干旱胁迫下矮牵牛叶片水分状况的影响

2.1.1 叶片水势 随着干旱胁迫时间的延长,各处理的矮牵牛叶片水势均呈现降低的趋势,在复水后,

各处理水势均呈现升高趋势(图1)。胁迫的第0天,施用 S_{3307} 均不同程度的提高了矮牵牛的叶水势,升高幅度由大到小依次为 T_3 、 T_2 、 T_4 、 T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 之间差异不显著 ($P > 0.05$);在胁迫的第6天, T_0 、 T_1 、 T_2 的叶水势开始大幅下降,而 T_3 、 T_4 呈缓慢下降趋势;胁迫第18天,各处理的叶水势由大到小依次为 T_3 、 T_4 、 T_2 、 T_1 、 T_0 ($P < 0.05$);复水后,各处理叶水势均极显著提高 ($P < 0.01$);其中施用 S_{3307} 的处理浓度由低到高分别比 T_0 高 7.04%、13.61%、16.60% 和 12.02%。综合评价以 T_3 处理浓度在干旱及复水情况下对矮牵牛的叶水势效果最佳。

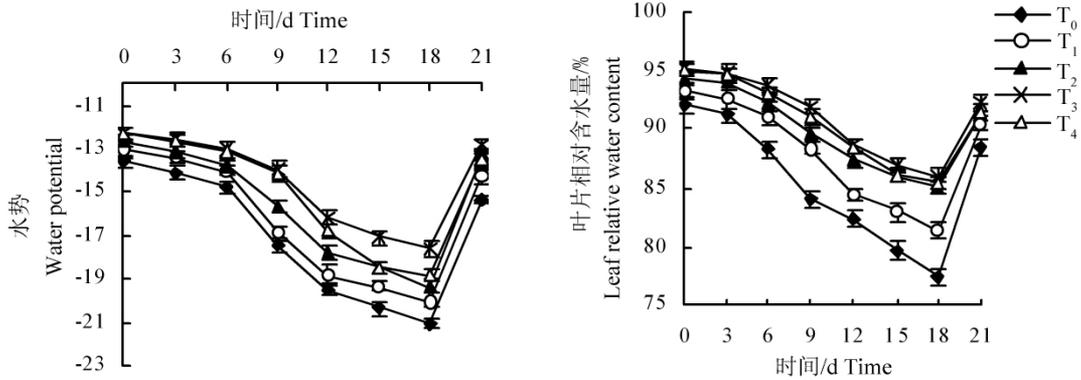


图 1 不同浓度的 S_{3307} 对干旱胁迫下矮牵牛叶片水分状况的影响

Fig. 1 Effect of different concentration of S_{3307} on leaf water status of petunia seedling under drought stress condition

2.1.2 叶片相对含水量 由图1可见,随着干旱时间的延长,各处理矮牵牛叶片 RWC 均降低,复水后,均呈现升高的趋势。与对照(T_0)相比,施用 S_{3307} 在一定程度上能够改善矮牵牛叶片水分状况,但是不同胁迫时间下施用不同浓度的 S_{3307} 的效果不同。其中,正常情况下(胁迫第0天),各施加 S_{3307} 处理的 RWC 均极显著高于 T_0 ($P < 0.01$),且升高幅度由大到小依次为: T_3 、 T_4 、 T_2 、 T_1 , T_3 与 T_4 差异不显著 ($P > 0.05$)。在胁迫处理的0~3 d内,施加 S_{3307} 的各处理无显著变化,而 T_0 显著下降 ($P < 0.05$)。在胁迫的第3天,各处理的 RWC 均显著下降,其中 T_3 、 T_4 下降较其他处理平缓。在胁迫的第18天,施用 S_{3307} 的处理浓度由低到高分别比 T_0 高 5.15%、9.83%、11.12% 和 10.33%。在复水后的第3天,各处理的 RWC 由大到小依次为 T_3 、 T_4 、 T_2 、 T_1 、 T_0 ,其中 T_2 与 T_4 差异不显著。由此综合评价各处理在干旱胁迫下的 RWC 由大到小依次为: T_3 、 T_4 、 T_2 、 T_1 、 T_0 。

2.2 S_{3307} 处理对干旱胁迫下矮牵牛叶片光合作用的影响

2.2.1 叶绿素含量 随着干旱胁迫时间的延长,各处理的矮牵牛幼苗的 Chl 含量均呈现先升高后降低的趋势,复水后,均出现升高的趋势(图2)。各个施加 S_{3307} 的处理的 Chl 含量均极显著的高于 T_0 ($P < 0.01$),但在不同的胁迫时间下,各处理对 Chl 含量的影响不同。具体表现为:在干旱胁迫的第0天, T_1 、 T_2 、 T_3 和 T_4 分别比 T_0 高出 11.52%、16.04%、19.59% 和 19.84%;各个处理的 Chl 含量出现大幅下降的时间分别是第6、9、9、12、12天;在胁迫的第18天,施用 S_{3307} 各处理的 Chl 含量分别比 T_0 高 30.13%、49.55%、68.71% 和 60.43%;在复水后的第3天,各施加 S_{3307} 处理的 Chl 含量分别比 T_0 高 14.18%、22.95%、36.76% 和 29.34%,且各处理之间差异显著。综合评价各处理在干旱胁迫下 Chl 的由大到小依次为: T_3 、 T_4 、 T_2 、 T_1 、 T_0 。

2.2.2 净光合速率 由图2可以看出,在干旱胁迫过程中,各处理的净光合速率均呈现下降趋势,复水后呈现升高趋势。在胁迫的前3 d,各处理的 P_n 均无显著变化,但随着干旱时间的延长,各处理的 P_n 均呈现大幅度的下降趋势;在胁迫的第9天, T_0 较其他处理降幅较大;胁迫的第18天,施用 S_{3307} 各处理的 P_n 分别比 T_0 高 6.69%、11.99%、19.50% 和 14.85%;在复水后的第3天,各处理的 P_n 由大到小依次为 T_3 、 T_2 、 T_4 、 T_1 、 T_0 。

2.2.3 蒸腾速率和气孔导度 随着干旱时间的延长,各处理矮牵牛叶片的 T_r 和 G_s 均显著下降,但是各处理在不同的干旱时间内下降的程度不同,复水后各处理的 T_r 和 G_s 均呈现上升趋势(图2)。在胁迫的第0天,施用 S_{3307} 的各处理均极显著提高了矮牵牛的 T_r 和 G_s ($P < 0.01$);胁迫的第6天, T_0 的 T_r 开始大幅度下降,而从第9天开始,施用烯效唑的各处理的 T_r 才开始大幅度下降;在胁迫的第18天,施

加 S_{3307} 各处理的 T_r 分别比 T_0 高 6.18%、11.24%、16.29% 和 12.92%; 复水后, 各处理的 T_r 由大到小依次为 T_3 、 T_2 、 T_4 、 T_1 、 T_0 。

从干旱胁迫的第 6 天开始, T_0 和 T_1 的 G_s 均大幅度下降, 而其他处理则从第 9 天开始大幅度下降; 在胁迫的第 18 天, 各处理的 G_s 由大到小依次为 T_3 、 T_4 、 T_2 、 T_1 、 T_0 ; 复水后, 施加 S_{3307} 各处理的 G_s 分别比 T_0 高出 4.58%、10.61%、13.32% 和 7.89%。综合各评价, 以 T_3 处理对于干旱胁迫下提高矮牵牛叶片的 T_r 和 G_s 的效果最佳。

2.2.4 胞间 CO_2 浓度 随着干旱胁迫时间的延长, 各处理的矮牵牛叶片 C_i 均呈现先下降后升高的趋势, 复水后均呈现下降趋势(图 2)。 T_0 处理在胁迫的第 9 天降至最低, T_1 、 T_2 、 T_4 均在胁迫的第 12 天降至最低点, 分别比 T_0 下降了 35.19%、37.78%、32.59%; 而 T_3 的 C_i 在胁迫的第 15 天降至最低点, 比 T_0 下降了 48.97%; 在干旱胁迫后期各处理的 C_i 均急剧升高, 胁迫的第 18 天, 各处理的 C_i 由大到小依次为: T_0 、 T_1 、 T_2 、 T_4 、 T_3 ; 复水后, 各处理的 C_i 呈下降趋势, 综合评价各处理在干旱胁迫下 C_i 的由大到小依次为: T_3 、 T_2 、 T_4 、 T_1 、 T_0 。

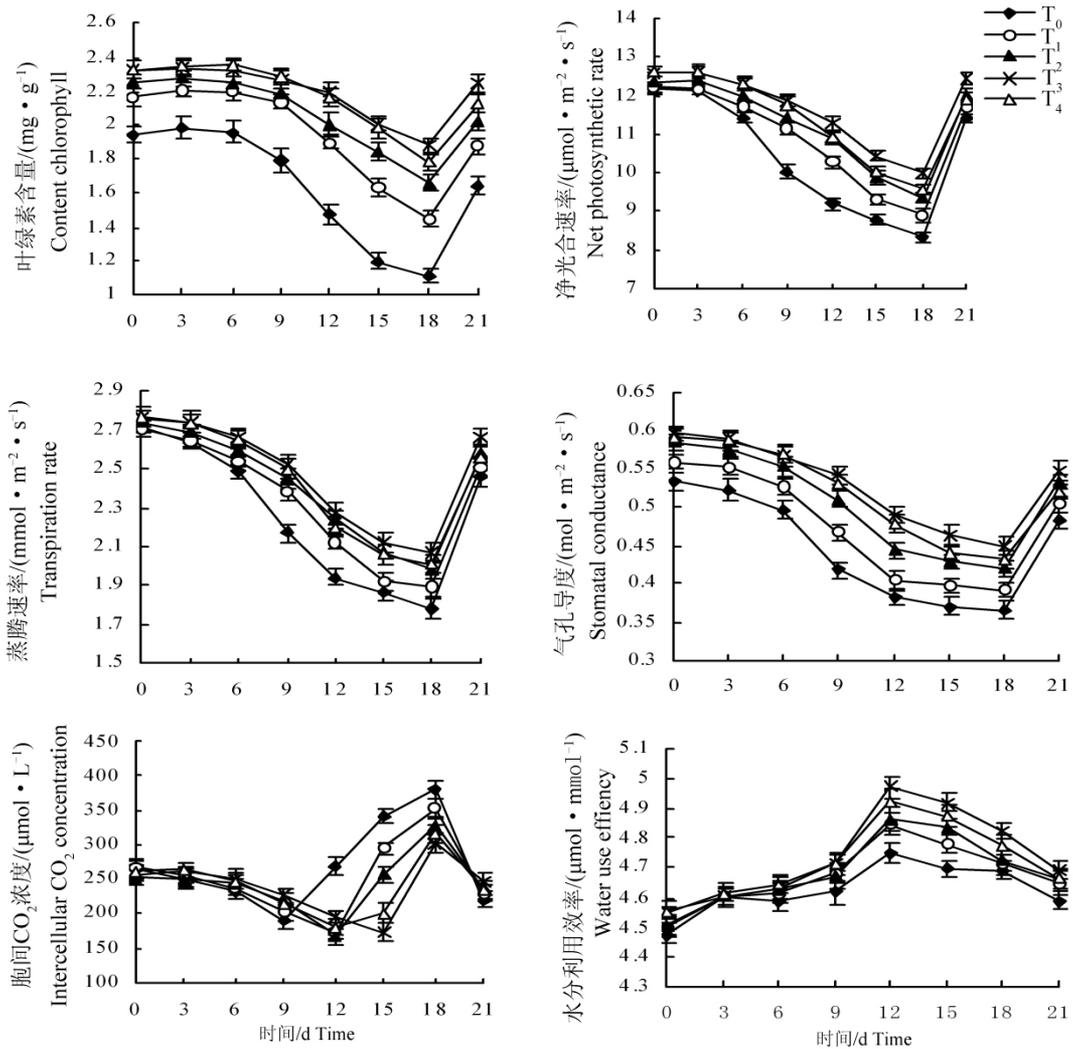


图 2 不同浓度 S_{3307} 对于干旱胁迫下矮牵牛幼苗光合作用的影响

Fig. 2 Effect of different concentration of S_{3307} on leaf Photosynthesis of petunia seedling under drought stress

2.2.5 水分利用效率 如图 2 随着干旱胁迫时间的延长, 各处理矮牵牛幼苗的 WUE 均呈现先上升后下降的趋势, 复水后, 各处理矮牵牛幼苗呈现下降趋势。在胁迫的当天, 施用 S_{3307} 的各处理均显著提高了矮牵牛的 WUE ($P > 0.05$), 在干旱胁迫的第 12 天, 各处理的 WUE 均升至最高, 由大到小依次为 T_3 、 T_4 、 T_2 、 T_1 、 T_0 ; 复水后, 施用 S_{3307} 各处理的水分利用效率分别比 T_0 高 1.30%、1.63%、2.28% 和 1.57%; 由此各处理在干旱胁迫及复水条件下 WUE 的表现为 $T_3 > T_2 \approx T_4 > T_1 > T_0$ 。

3 讨 论

植物的叶片相对含水量能够在一定程度上反映组织的抗脱水能力^[11-12] 较高的保水能力能够减小体内水分损失,以维持体内的水分平衡^[13] 较高的相对水分含量是植物对干旱的适应性选择^[14]。而叶水势是表示植株体内水分状况的一个较精确的指标,可以在很大程度上反映植物的受干旱状况^[15]。已有研究表明 适当浓度的 S_{3307} 可以提高黑麦草的 RWC 和叶水势^[3] 增加黑麦草的抗旱性。本试验结果发现 施用不同浓度的 S_{3307} 均能不同程度的提高矮牵牛幼苗的 RWC 和叶水势,其中以 30 mg/L 和 40 mg/L 的效果最佳,两者差异不显著;在干旱胁迫环境下,施加 S_{3307} 的矮牵牛幼苗对水分缺乏的反应较清水对照迟缓,并且能在干旱的环境中保持较高的 RWC 和叶水势,从而增加矮牵牛在干旱环境中的适应性,这可能是与 S_{3307} 显著提高矮牵牛的根冠比和根系活力,同时显著降低矮牵牛叶面积以及株高^[16] 有关,从而为根系的吸水能力提供了保障。在干旱胁迫下以浓度为 30 mg/L 的 S_{3307} 效果最佳。

水分是影响植物光合作用的重要因素,植物对水分亏缺或叶水势降低最早和最敏感的响应就是气孔关闭^[17]。在本试验中,矮牵牛幼苗在干旱胁迫 T_r 的降幅比 P_n 和 G_s 要大,说明 T_r 在干旱胁迫中比 P_n 和 G_s 对水分亏缺更加敏感,水分散失对气孔开度的依赖大于光合对气孔的依赖,其原因可能是气孔开度减小和根系可吸收水分减少,这也可能是矮牵牛适应干旱的一种重要机制。同时 P_n 、 G_s 与 C_i 在水分胁迫的前期都呈现下降的趋势,但是在水分胁迫的后期 P_n 和 G_s 下降与 C_i 的变化呈相反趋势,这与前人对苹果、紫藤的研究结果^[18-20] 相似。说明矮牵牛在水分胁迫过程中叶片 P_n 的下降是由于水分亏缺引起气孔部分关闭的结果,但随着胁迫时间的延长,影响了叶肉细胞的光合活性, P_n 的降低除与气孔因素有关外,非气孔因素逐渐起主导作用。

干旱胁迫引起植物水分亏缺,延缓、停止或破坏植物的正常生长,并通过抑制叶片伸展、影响或降低叶绿体光化学及生化活性等途径,使光合作用受到抑制,进一步影响植物的正常生长发育^[21]。本试验中,施加 S_{3307} 能够不同程度的提高矮牵牛幼苗叶绿素含量,进而促进光合作用,其中以浓度为 30 mg/L 和 40 mg/L 的效果最佳,两者差异不显著。在水分胁迫条件下,施加 S_{3307} 的矮牵牛幼苗对水分缺乏的反应较清水对照迟缓,这可能是与 S_{3307} 能够显著降低矮牵牛苗高减小叶面积^[16],以局部的损失来保证资源的有效利用有关。 WUE 反映了植物的水分利用水平和能量转化效率^[22],在干旱胁迫初期,矮牵牛幼苗的 WUE 逐渐升高,但是在干旱胁迫后期, WUE 大幅下降,可能是因为严重水分亏缺引起矮牵牛叶片光合器官受到不可逆伤害,光合细胞活性降低,气孔在水分利用效率中的调节作用减弱,净光合速率和蒸腾速率均下降到很低水平,此时非气孔限制成为降低光合作用能力的主导因素。经过 S_{3307} 处理,显著提高了矮牵牛幼苗在干旱环境下的 WUE ,由此可以不同程度上提高了矮牵牛在干旱环境中的光合特性,以缓解干旱胁迫对幼苗造成的伤害。

综上所述,对矮牵牛幼苗施用浓度为 30 mg/L 的 S_{3307} 不仅可以有效提高矮牵牛的水分状况和光合特性,还能有效地缓解干旱缺水情况对矮牵牛幼苗水分状况以及光合特性造成的伤害。复水后,也可以使矮牵牛叶片的水分状况和光合能力保持在较高的水平。

参考文献:

- [1] 陈阳,曾福礼. 黄瓜叶片光合电子传递对水分胁迫的响应[J]. 西北植物学报, 2001, 21(3): 456-461.
- [2] 徐自尚,王树勋,肖炳麟,等. 烯效唑的作用机理及应用效果[J]. 安徽农业科学, 2000, 28(3): 339-341.
- [3] 马艳华,宋瑜,张洪荣. 烯效唑对黑麦草抗旱生理特性的影响[J]. 草业科学, 2009, 26(5): 169-173.
- [4] 程仕明. 烯效唑对半夏珠芽期耐旱特性的影响[D]. 雅安: 四川农业大学, 2010.
- [5] 刘冰. S_{3307} 及 SA 对矮牵牛生长发育的调控作用及生理基础的研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2011.
- [6] 李吉跃. 植物耐旱性及其机理[J]. 北京林业大学学报, 1991, 13(3): 92-100.
- [7] 李忠诚,蔡强国,唐政洪,等. 作物生产力模型及其应用研究[J]. 应用生态学报, 2002, 13(9): 1174-1178.
- [8] Wallin G, Karlsson P E, Sellden G, et al. Impact of four years exposure to different levels of ozone, phosphorus and drought on chlorophyll, mineral nutrients, and stem volume of Norway spruce, *Picea abies* [J]. *Physiol Plant* 2002, 114(2): 192-206.

(下转第 1076 页)

的冷藏中前期,后期生理变化主要由低温条件做为主导影响因子替代^[15]。热水浴处理可以显著改善种球在冷藏中的各项生理指标。40℃的水浴热处理能有效抑制冷藏过程中前期的呼吸强度,改善氧化酶活性,降低膜透性,降低了冷藏前期淀粉酶活性,抑制淀粉的降解速率;种球的冷藏品质得到改善;可以在一定程度上延缓种球品质的下降。40℃热处理120 min可作为种球冷藏前的预处理技术加以应用。

参考文献:

- [1]刘雪凝,杨利平,马川.重复温汤处理对提高百合两品种耐热性的比较研究[J].河北农业大学学报,2010,33(2):5-8.
- [2]张丽华,车丽梅,李伟.不同杀螨剂对截形叶螨的毒力测定及田间药效试验[J].吉林农业科技学院学报,2011,20(1):10-11.
- [3]Con C G M. Hot-water treatment and cold storage to control the bulb mite *Rhizoglyphus robini* on lilies bulbs [J]. *Acta Hort*, 1992, 325: 797-804.
- [4]王祥宁,赵培飞,黎霞,等.种球热水除害设备研制及应用效果[J].安徽农业科学,2011,39(13):7680-7682.
- [5]刘雪凝,杨利平.热激锻炼对亚洲百合耐热性的诱导[J].东北林业大学学报,2011,39(5):64-66.
- [6]张桂.果蔬采后呼吸强度的测定方法[J].理化检验-化学分册,2005,41(8):596-597.
- [7]李合生,孙群.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000:164-169.
- [8]陈毓荃.生物化学实验方法和技术[M].北京:科学出版社,2002:83-174.
- [9]林植芳,李卫腰,林植珠,等.水稻叶片的衰老与超氧化物歧化酶活性及胰质过氧化作用的关系[J].植物学报,1984,28(6):608-615.
- [10]西北农生大学植物生理生化教研组.植物生理实验指导[M].西安:陕西科学技术出版社,1987.
- [11]黄作喜,丁忠贵.促进百合种球整齐发芽技术[J].林业科技开发,2001(6):13-14.
- [12]屠康,森本哲夫,桥本康.采后热处理对优化控制西红柿果实呼吸强度的影响[J].农业工程学报,2004,20(2):199-202.
- [13]陈碧华,罗庆熙,王广印,等.热激处理对甘蓝幼苗叶片细胞膜系统热稳定性的影响[J].华北农学报,2007,22(5):60-62.
- [14]师桂英,徐琼,贺新红,等.百合种球低温处理过程中抗氧化酶活性的变化及其与休眠解除的关系[J].中国农学通报,2010,26(7):156-165.
- [15]孙红梅,李天来,李云飞.不同贮藏温度下兰州百合种球淀粉代谢与萌发关系初探[J].园艺学报,2004,31(3):337-342.

(上接第1066页)

- [9]Gindaba J, Rozanov A, Negash L. Response of seedlings of two *Eucalyptus* and three deciduous tree species from *Ethiopia* to severe water stress [J]. *Forest Ecology and Management*, 2004, 201(1): 119-129.
- [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,2006:134-137.
- [11]李雪华,蒋得明,阿拉木萨,等.科尔沁沙地4种植物抗旱性的比较研究[J].应用生态学报,2002,13(11):1385-1388.
- [12]葛体达,隋方功,张金政,等.玉米根、叶质膜透性和叶片水分对土壤干旱胁迫的反应[J].西北植物学报,2005,25(3):507-512.
- [13]杨明,董怀军,杨文斌,等.四种沙生植物的水分生理生态特征及其在固沙造林中的意义[J].内蒙古林业科技,1994(2):4-7.
- [14]李向义,Thomas F M, Foetzi A, 等.自然状况下头状沙拐枣对水分条件变化的响应[J].植物生态学报,2003,27(4):516-521.
- [15]Chen L M, Zhang Z G, Yan J Y, et al. Effect of drought and rewatering on some physiological indexes of cotton leaves [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 1995, 10(4): 82-85.
- [16]李宁毅,刘冰,孙莉娟.烯效唑及水杨酸对矮牵牛穴盘苗生长及抗性生理指标的影响[J].上海农业学报,2010,26(4):64-68.
- [17]许大全.光合作用效率[M].上海:上海科学技术出版社,2002:43-44.
- [18]曹慧,许雪峰,韩振海,等.水分胁迫下抗旱性不同的两种苹果属植物光合特性的变化[J].园艺学报,2004,31(3):285-290.
- [19]王孝威,段艳红,曹慧,等.水分胁迫对短枝型果树光合作用的非气孔限制[J].西北植物学报,2003,23(9):1609-1613.
- [20]夏江宝,张光灿,刘刚,等.不同土壤水分条件下紫藤叶片生理参数的光响应[J].应用生态学报,2007,18(1):30-34.
- [21]Rodiyati A, Arisoelaningsih E, Isagi Y, et al. Responses of *Cyperus brevifolius* (Rottb.) HassK and *Cyperus kyllingia* Endl. to varying soil water availability [J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2005, 53(3): 259-269.
- [22]尹丽,胡庭兴,刘永安,等.干旱胁迫对不同施氮水平麻疯树幼苗光合特性及生长的影响[J].应用生态学报,2010,21(3):569-576.