

多效唑对北美冬青‘冬红’盆栽苗 生长和光合特性的影响

黄 婧¹,周 鹏¹,李 飞¹,王雪洁²,张 敏^{1*}

(1. 江苏省林业科学研究院,江苏 南京 211153;2. 南京林业大学,江苏 南京 210037)

摘要:以北美冬青‘冬红’(*Ilex verticillata* ‘Winter Red’)为材料,研究了不同质量浓度多效唑喷施盆栽苗对其植株生长形态和光合特性的影响,以期探索多效唑对其株型的调控效果及适用质量浓度。结果显示,通过叶面喷施多效唑溶液,能够有效抑制植株株高,控制枝条生长,缩短节间距。随着多效唑质量浓度的增加,叶片叶绿素和类胡萝卜素含量显著增多。在低质量浓度(1 000—2 000 mg/L)处理时,叶片净光合速率、气孔导度、蒸腾速率呈显著上升,高质量浓度(4 000 mg/L)处理导致上述指标降至对照水平;低质量浓度(1 000 mg/L)处理,叶片最大净光合速率($P_{n, \max}$)和暗呼吸速率(R_d)显著增高,高质量浓度(4 000 mg/L)处理使其降至对照水平;低质量浓度(1 000—2 000 mg/L)多效唑处理,叶片光饱和点(P_{LSP})和光补偿点(P_{LCP})显著增高,而高质量浓度(3 000—4 000 mg/L)处理则显著下降至对照水平。随着多效唑质量浓度提高,植株矮化效果明显,光合能力和效率增强。低质量浓度(1 000—2 000 mg/L)多效唑处理能有效提高植物光合能力,过高质量浓度(4 000 mg/L)的多效唑处理会抑制植物光合能力。据此,认为采用叶面喷施 1 000—2 000 mg/L多效唑溶液是调控北美冬青‘冬红’植株形态、促进植株生长的适宜措施。

关键词:北美冬青;‘冬红’;多效唑;植株矮化;生长;光合

中图分类号:Q945.11;Q946.885.9;S792.99 **文献标志码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1001-7380.2023.02.002

Growth and photosynthetic characteristics of potted seedlings of *Ilex verticillata* ‘Winter Red’ by paclobutrazol

Huang Jing¹, Zhou Peng¹, Li Fei¹, Wang Xuejie², Zhang Min^{1*}

(1. Jiangsu Academy of Forestry, Nanjing 211153, China; 2. Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract: In order to explore the effects of the plant growth retardant paclobutrazol on the plant morphology of *Ilex verticillata* potted seedlings and its appropriate application concentrations, the test uses the *I. verticillata* variety ‘Winter Red’ as the test material. In this study, we analyzed the effects of different concentrations of paclobutrazol on plant growth, chlorophyll content and photosynthetic characteristics of potted seedlings. The results showed that the foliar spraying of paclobutrazol solution could effectively dwarfing plants, reduce branch growth and shorten nodal spacing. With the increase of paclobutrazol concentration, the content of chlorophyll a, chlorophyll b and carotenoid in leaves gradually increased. low concentration of paclobutrazol treatment (1 000—2 000 mg/L) could lead the leaf net photosynthetic rate, stomatal conductance and transpiration rate significant increased, while high concentration treatment (4 000 mg/L) may lead them decreased significantly to the control level. The maximum net photosynthetic rate ($P_{n, \max}$) and dark respiration rate (R_d) of leaves increased significantly at low concentration of paclobutrazol treatment (1 000 mg/L) and showed decreasing at high concentration treatment (4 000 mg/L). The leaf light saturation point (P_{LSP}) and light compensation point (P_{LCP}) were

收稿日期:2023-01-29;修回日期:2023-02-15

基金项目:农业农村部景观农业重点实验室开放基金“多效唑调控北美冬青盆栽株型效应及生理机制研究”(KF202102);江苏现代农业产业技术体系建设项目“江宁推广示范基地”(JATS[2022]423)

作者简介:黄 婧(1987—),女,江苏镇江人,副研究员,博士。研究方向:观赏植物繁育与种质创新。E-mail: 694286338@qq.com

* **通信作者:**张 敏(1980—),女,内蒙古乌海人,研究员。研究方向:观赏植物繁育与种质创新。E-mail: 29157510@qq.com

significantly increased at low paclobutrazol treatment (1 000—2 000 mg/L) and significantly decreased to the control level at high (3 000—4 000 mg/L) treatment. In conclusion, with the increase of paclobutrazol concentration, plant dwarfing effect was obvious, photosynthetic capacity and efficiency were enhanced. Low concentration (1 000—2 000 mg/L) of paclobutrazol treatment could effectively improve plant photosynthetic capacity, while too high concentration (4 000 mg/L) of paclobutrazol treatment would inhibit plant photosynthetic capacity. Accordingly, the use of foliar spray of 1 000—2 000 mg/L paclobutrazol solution is a suitable measure to regulate the plant morphology of *Ilex verticillata* ‘Winter Red’ to promote plant growth.

Key words: *Ilex verticillata*; ‘Winter Red’; Paclobutrazol; Plant dwarfing; Growth; Photosynthesis

北美冬青是著名的观果和切枝树种,其最显著的景观是枝头密集而亮丽的红果。目前国内北美冬青盆栽产品在栽培管理技术上还有欠缺,存在株型欠紧凑、果实不密集、挂果量少等问题。北美冬青新梢年生长量大,较多的2次枝、3次枝会造成树冠早期郁闭,花芽减少,严重影响株型和挂果情况。如果仅依靠人工整形修剪,会耗费大量人力物力,而且疏除枝条量过大可能影响植株正常生长,最终无法达到预期的盆栽苗观赏效果。

多效唑(Paclobutrazol)作为一种植物生长延缓剂,可以调节植物内源赤霉素合成代谢,具有矮化植株,延缓植物生长,提高植物抗逆能力等生理作用^[1],在大田农作物、果树、蔬菜等生产方面得到了广泛的应用^[2]。在大田作物中,多效唑的应用可以降低株高,缩短茎长、增加茎粗,增加叶片数量^[3],提高作物产量,减少作物倒伏情况^[4]。在盆栽植物中,应用多效唑可以有效改善植物株型,缩短节间长度从而控制枝条长度^[5],提高叶绿素含量,使植物叶色加深,增加植物光合作用,提高植株观赏品质^[6]。

目前有关北美冬青‘冬红’盆栽苗栽培管理中应用植物生长延缓剂的研究较少,本研究探讨施用不同浓度的多效唑对北美冬青品种‘冬红’盆栽苗的形态变化、叶绿素含量和光合特性的影响,以期得到适宜的多效唑施用质量浓度,为推广北美冬青矮化生产提供理论依据和数据支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于2022年春季在江苏省林业科学研究院内冬青基地进行。选择生长良好且长势一致的1年生北美冬青‘冬红’(*Ilex verticillata* ‘Winter Red’)苗木,移栽至控根盆中,容器规格为30 cm×25 cm,盆栽基质为营养土,每盆1株。施用的延缓剂为多效唑(15%可湿性粉剂,四川国光农化有限公司)。

1.2 处理方法

处理组共设4个多效唑质量浓度,分别为1 000 (PP1), 2 000 (PP2), 3 000 (PP3), 4 000 mg/L (PP4),另设清水处理(CK)做为对照组。每个处理20盆植株。

春季萌芽前,将冬青植株主干截至10—15 cm,当春季新萌发的枝条长至4—5 cm时,第1次施用多效唑,每间隔7 d再次施用,一共处理4次。采用叶面喷施处理的方法,喷施时间为当天16:00,选用压力式喷壶进行,每盆每次施药20 mL,每处理10盆,重复3次。

1.3 指标测定方法

1.3.1 生长指标测定 生长指标测定于喷施处理开始35 d之后,每组试验处理进行3次重复,每个重复随机选取5株长势良好的植株进行测定并计算平均值,该数值即为此处理组的数据。

株高采用卷尺测量植株盆栽的盆土水平面到植株最尖端的绝对高度,茎粗采用游标卡尺测量植株1/3处茎秆直径,新萌发枝条长度采用卷尺测量枝条顶叶叶柄着生处到枝条基部的长度,节间长度采用卷尺量取上节间到下节间长度,叶长和叶宽采用直尺量取叶片尖端到叶基部的距离为叶长、整个叶片的最宽处为叶宽。

1.3.2 光合色素含量测定 叶绿素测定采用乙醇浸提法,取新鲜叶片,称取0.1 g叶肉,剪碎混匀,放入10 mL棕色容量瓶中,用95%的乙醇溶液定容至10 mL,避光浸提24 h,直到叶片变白。吸取上清液,采用紫外分光光度仪测定波长665,649,470 nm处的吸光值,按照Arnon公式^[7]计算叶绿素a、叶绿素b和类胡萝卜素质量分数。

1.3.3 光合特征参数测量 采用Li-6400便携式光合仪,每组处理随机选取3株长势基本一致的冬青苗木作为观测株,每株选择3片叶位一致的成熟叶片,在晴天上午10:00—12:00进行净光合速率(P_n)、叶片胞间CO₂浓度(C_i)、气孔导度($Cond$)和

叶片蒸腾速率(Tr)的测量。

1.3.4 光响应曲线测定及光合参数计算 采用 Li-6400 便携式光合仪,每组处理随机选取 3 株长势基本一致的冬青苗木作为待测样本,每株选择 3 片叶位一致的成熟叶片。在晴天上午 08:00—12:00 进行叶片的净光合速率(P_n)对光强响应曲线的测定,并计算出与之相对应的光合参数。设定光合有效辐射(PAR)分别为 2 000,1 600,1 200,1 000,800,600,400,300,200,150,100,50,0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 对叶片进行测定。

光响应曲线拟合按非直角双曲线方程^[8-9]对光响应参数进行估算:

$$P_n = \frac{\alpha l + P_{n,\max} \sqrt{(\alpha l + P_{n,\max})^2 - 4\theta \alpha l P_{n,\max}}}{2\theta} - R_d$$

式中, P_n 为净光合速率 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]; θ 为光响应曲线的曲率; α 是光响应曲线的初始斜率; $P_{n,\max}$ 为最大净光合速率; R_d 为暗呼吸速率 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]; l 为光强 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]。光饱和点(LSP)是利用低光条件下 [$PAR \leq 200 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] 的 P_n 与 PAR 构建线性方程所得。

1.4 数据统计与分析

对测定或统计的各指标采用 SPSS 25.0 软件进行显著性检验,利用 Excel 2016 进行数据运算和图表处理。

2 结果与分析

2.1 多效唑处理对植株生长形态的影响

2.1.1 株高 从图 1,2 可以看出,与对照相比,不同质量浓度的多效唑喷施叶片处理均可显著地降低植株高度($P < 0.05$),不同处理间矮化效果差异不

显著。多效唑质量浓度为 1 000 mg/L 时,株高降低了 15.79%,多效唑质量浓度为 4 000 mg/L 时,株高降低了 20.42%,总体上看,多效唑处理冬青盆栽苗的矮化效果较好。

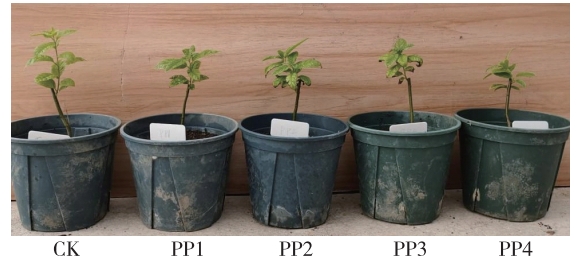


图 1 多效唑处理后北美冬青‘冬红’的植株高度变化

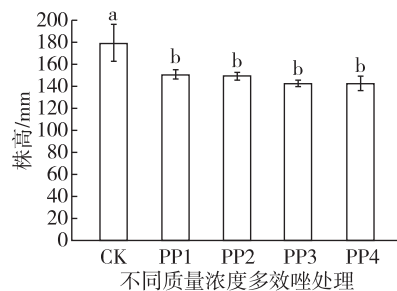


图 2 多效唑处理后北美冬青‘冬红’的株高

2.1.2 枝条生长 与对照相比,多效唑各处理都显著降低了枝条长度($P < 0.05$),不同质量浓度处理枝条长度最短是 40.87 mm,最长是 45.07 mm。与对照相比,多效唑处理下枝条的节间数量无显著差异,节间长度缩短了 25.67%—29.69%,4 000 mg/L 多效唑处理时枝条节间长度显著缩短($P < 0.05$)。就茎粗而言,多效唑处理均显著增加了茎粗度($P < 0.05$),茎粗增加 20.20%—26.06%。

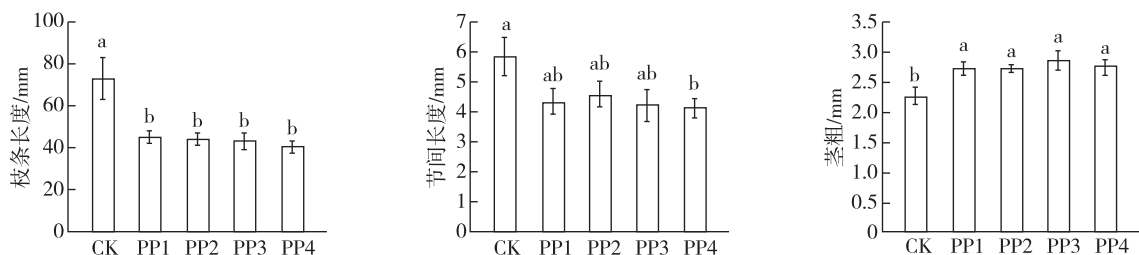


图 3 多效唑处理后北美冬青‘冬红’的枝条长度、节间长度和茎粗情况

2.1.3 叶片生长 图 4 显示,叶长、叶宽随着施用多效唑质量浓度的提高都呈下降现象,在质量浓度为 4 000 mg/L 时,叶长、叶宽显著减少($P < 0.05$),

相较于对照,分别减少了 39.09%,29.79%。多效唑处理对冬青叶片数量和叶长/宽比值无显著影响,说明多效唑处理不会改变叶片的形状。

2.2 多效唑处理对叶片光合色素含量的影响

由图5可以看出,多效唑处理有效提高了叶片叶绿素a和叶绿素b含量($P<0.05$),在3 000 mg/L处理时,叶绿素a和叶绿素b含量最高,相比对照分

别增加了51.79%,29.13%。2 000—4 000 mg/L多效唑处理有效提高了叶片类胡萝卜素含量($P<0.05$),在3 000 mg/L处理时,类胡萝卜素含量最高,与对照相比增加了35.16%。

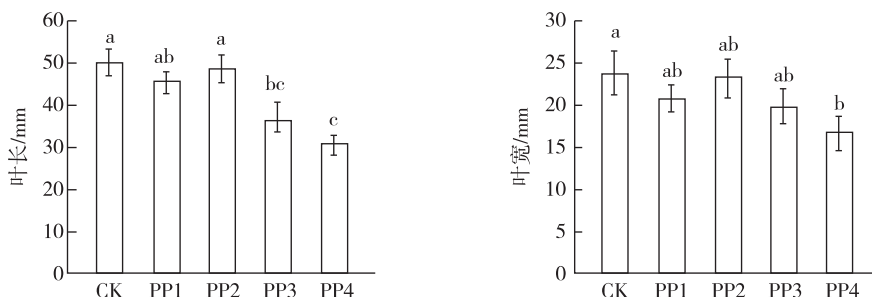


图4 多效唑处理后北美冬青‘冬红’的叶长和叶宽情况

2.3 多效唑处理对光合特性的影响

2.3.1 光合特征参数 不同质量浓度多效唑喷施处理对北美冬青‘冬红’光合特征的影响如图6所示,随着喷施的多效唑质量浓度增加,净光合速率 P_n 呈先上升后下降的趋势($P<0.05$),并在4 000 mg/L处理时显著下降,但仍然显著高于对照。多效唑处理使得叶片的气孔导度 $Cond$ 显著增加($P<0.05$),在

4 000 mg/L处理时降至对照水平。1 000—3 000 mg/L多效唑处理对叶片胞间 CO_2 浓度 C_i 无显著影响,4 000 mg/L处理会显著降低胞间 CO_2 浓度($P<0.05$)。叶片蒸腾速率 Tr 的变化情况与叶片的气孔导度趋势一致,随着多效唑质量浓度增加而先增加后降低($P<0.05$),并在4 000 mg/L处理时下降至对照水平。

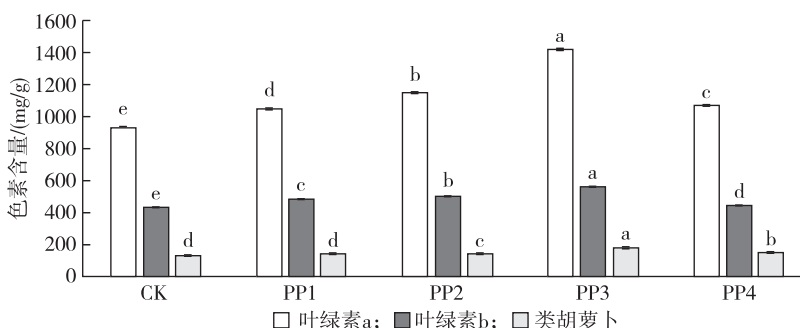


图5 多效唑处理后北美冬青‘冬红’叶片叶绿素和类胡萝卜素含量

2.3.2 光响应曲线及光合参数 由图7可知,1 000,2 000,3 000 mg/L多效唑处理时当 PAR 升高至约 $600 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时, P_n 增加缓慢并曲线趋于平稳。对照和4 000 mg/L多效唑处理时,当 PAR 升高至约 $250 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时, P_n 增加缓慢并曲线趋于平稳。叶片光合生理参数结果表明(见表1),不同质量浓度多效唑处理下的各项数据影响显著($P<0.05$)。最大净光合速率($P_{n, \text{max}}$)和暗呼吸速率(R_d)都是在1 000 mg/L多效唑处理时显著增高;光饱和点(P_{LSP})和光补偿点(P_{LCP})都是呈上升再显著下降的趋势,在1 000,2 000 mg/L处理时显著增高,增幅分别为235.8%和312.8%,在3 000,4 000 mg/L处理时显著下降,降幅分别为44.8%和75.4%。

3 讨论

多效唑对植物形态建成最重要的影响是降低植物株高。本试验发现,施用多效唑可以有效抑制北美冬青‘冬红’盆栽苗株高的生长,株高显著变矮,新生枝条长度显著变短,茎干显著变粗,说明施用多效唑可以有效抑制冬青苗纵向生长,使得株高降低、新萌发枝条变短,并能健壮植株的茎干。这与前人在百合^[10]、菊花^[11]等其他观赏植物盆栽苗上的试验结果一致。同时,多效唑不同质量浓度处理间无显著差异,喷施1 000 mg/L多效唑的植株株高降低了15.79%,说明施用低质量浓度(1 000 mg/L)多效唑即可成功实现‘冬红’盆栽矮化。

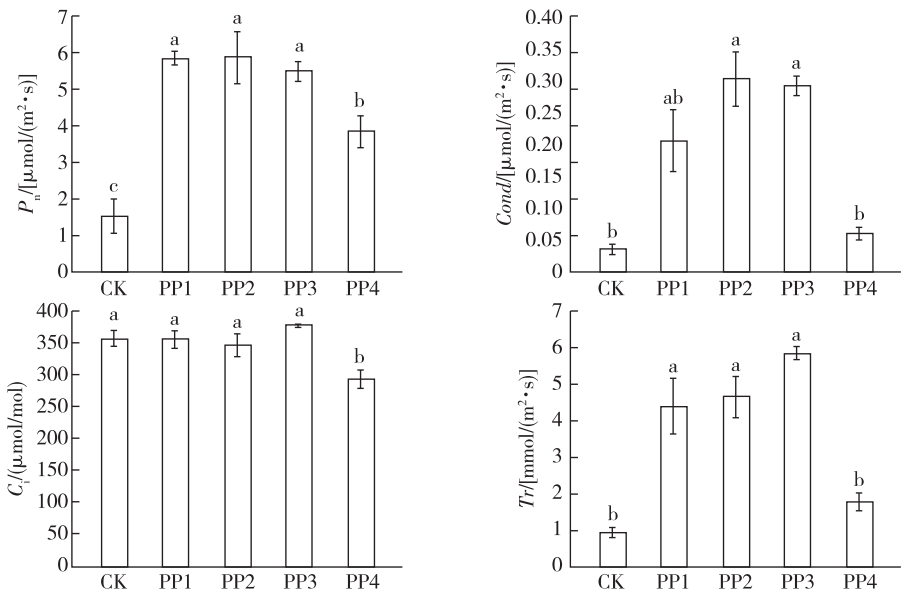


图 6 多效唑处理后北美冬青‘冬红’叶片光合特征参数

表 1 不同质量浓度多效唑处理后叶片光合生理参数的变化

参数	CK	PP1	PP2	PP3	PP4
表观量子效率 α	0.02±0.001	0.01±0.001	0.01±0.002	0.04±0.001	0.01±0.002
最大净光合速率 $P_{n,max}$ [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	2.58±0.013 c	6.27±0.021 a	4.59±0.048 b	3.58±0.077 b	1.80±0.065 c
暗呼吸速率 R_d [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	0.50±0.030 b	2.35±0.023 a	1.34±0.020 b	1.20±0.009 b	0.87±0.011 b
光饱和点 P_{LSP} [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	192.76±12.47 b	647.19±7.01 a	658.32±30.01 a	159.47±20.33 b	363.69±40.30 b
光补偿点 P_{LCP} [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	30.84±0.49 c	103.39±11.51 ab	147.41±12.05 a	39.36±7.20 c	65.14±8.77 bc
相关系数 R^2	0.40	0.96	0.98	0.88	0.91

注:表中数据为平均值±标准差;重复 9 次($n=9$);同行数据后不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

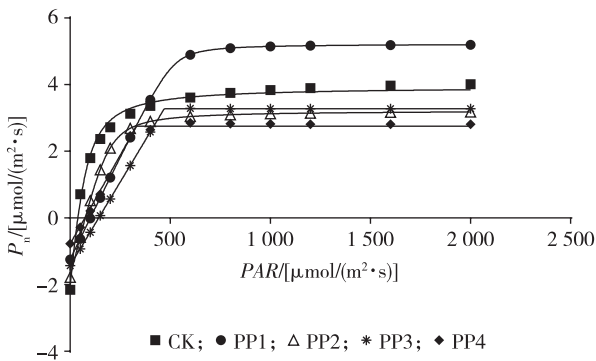


图 7 不同质量浓度多效唑处理后光合响应曲线变化

叶片是植物制造有机养料的重要器官,也是光合作用进行的主要场所,对植物的生长具有重要作用。随着施用多效唑质量浓度的提高,北美冬青的叶长、叶宽都逐渐变小,在质量浓度为 4 000 mg/L 时,叶长、叶宽会显著减少($P<0.05$)。说明施用高质量浓度多效唑会影响北美冬青叶片正常生长,而

施用低质量浓度多效唑对北美冬青叶片生长不会造成显著影响,同时不影响冬青盆栽苗观赏效果。

植物主要光合色素叶绿素 a、叶绿素 b 和类胡萝卜素含量对叶片光合性能具有重要影响^[12]。施用多效唑可以有效提高北美冬青‘冬红’叶片的叶绿素和类胡萝卜素含量,且随着多效唑质量浓度的增加呈先上升后略微下降的趋势,当施用 3 000 mg/L 多效唑时,叶绿素 a、b 和类胡萝卜素含量最高。说明多效唑可以有效提高植物叶绿素和类胡萝卜素的合成和累积,这与前人在其他植物的观察一致^[13-14]。但是过高质量浓度的多效唑对北美冬青‘冬红’叶片的叶绿素和类胡萝卜素的含量开始减少,说明高质量浓度多效唑可能导致光合色素合成的减少或者色素降解速率的增加,这代表着高质量浓度多效唑会加速叶片衰老^[15]。

适宜浓度的多效唑处理能够显著提高北美冬青‘冬红’叶片的净光合速率、增加气孔导度、提高

叶片蒸腾速率,当质量浓度增加到 4 000 mg/L 时,植物的光合特征参数显著下降至对照水平,胞间 CO_2 浓度降低。说明适宜质量浓度的多效唑能够有效促进北美冬青‘冬红’的光合能力,而过高质量浓度的多效唑有可能抑制植株的光合能力。

光响应曲线特征参数能够反映植物对光能利用特性以及适应性^[16]。本试验中,1 000 mg/L 多效唑处理后北美冬青的叶片最大净光合速率($P_{n, \max}$)和暗呼吸速率(R_d)显著提升,高于对照和其他处理组,说明施用低质量浓度的多效唑可以有效提高北美冬青苗的光合潜能;光饱和点(P_{LSP})和光补偿点(P_{LCP})在 1 000, 2 000 mg/L 多效唑处理时显著增高,在 3 000, 4 000 mg/L 多效唑处理时显著下降至对照水平,说明低质量浓度多效唑处理可以提高北美冬青苗对强光的适应性,而高质量浓度多效唑处理时北美冬青苗对弱光的适应性更强。

综合分析多效唑处理下的北美冬青‘冬红’盆栽苗的株高和枝条生长情况,及叶片生长和叶片光合特性,结果显示,随着多效唑质量浓度提高,植株矮化效果明显,叶片光合色素含量增多,光合能力和效率呈先增强后抑制的趋势。低质量浓度(1 000—2 000 mg/L)多效唑处理能有效抑制植株纵向生长,实现株型矮化,且不影响叶片观赏效果;过高质量浓度(4 000 mg/L)的多效唑处理会抑制北美冬青‘冬红’盆栽苗的叶片光能利用率,可能会对植株后期的生长发育产生不良影响。因此,采用叶面喷施 1 000—2 000 mg/L 多效唑溶液是调控北美冬青‘冬红’植株形态、促进植株生长的适宜措施。

参考文献:

- [1] DAVIS T D, STEFFENS G L, SANKHLA N. Triazole plant growth regulators [M]. JANICK J. Horticultural Reviews, Wiley Press, 1988.
- [2] 游 鸯, 汪 天. 多效唑作用及应用研究进展(综述)[J]. 亚热带植物科学, 2013, 42(4): 361-366.
- [3] PAL S, ZHAO J S, KHAN A, et al. Paclobutrazol induces tolerance in tomato to deficit irrigation through diversified effects on plant morphology, physiology and metabolism[J]. Scientific Reports, 2016(6), 39321.
- [4] 吴同斌, 庞爱军, 吴 睿, 等. 多效唑对水稻抗倒伏能力影响的研究[J]. 湖南农业科学, 2010(11): 64-65.
- [5] 王 萍, 杨秀莲, 王春君, 等. 两种植物生长延缓剂对盆栽日香桂的矮化效应[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2014, 38(S1): 30-34.
- [6] 孙敬爽, 汤志敏, 陶霞娟, 等. 多效唑对温室盆花月季生长及品质的影响[J]. 北方园艺, 2011(13): 88-90.
- [7] ARNON D I. Copper enzyme in isolated chloroplasts: polyphenol-oxidase in *Beta vulgaris* [J]. Plant Physiology, 1949, 24(1): 1-15.
- [8] THOMLEY J. Mathematical models in plant physiology: a quantitative approach to problems in plant and crop physiology [J]. Mathematical Models in Plant Physiology, 1976, 8: 318.
- [9] 叶子飘, 李进省. 光合作用对光响应的直角双曲线修正模型和非直角双曲线模型的对比研究[J]. 井冈山大学学报(自然科学版), 2010, 31(3): 38-44.
- [10] 郑 强. 百合矮化盆栽技术的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2018.
- [11] 贺茜莹. 比久和多效唑调控切花菊‘Mona Lisa Sunny’的株型的研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2018.
- [12] 覃 芳, 张俊杰, 史艳财, 等. 叶面喷施多效唑对金槐生长及生理的影响[J]. 湖北农业科学, 2021, 60(15): 96-100, 106.
- [13] 赵瑞荣, 白艳荣, 蒋亚莲. 两种植物生长延缓剂对盆栽大丽菊的矮化效应[J]. 黑龙江农业科学, 2022(4): 59-63.
- [14] 董运斋, 王四清. 生长延缓剂在观赏植物中应用的研究进展[J]. 北方园艺, 2004(6): 14-16.
- [15] GUO Y F, REN G D, ZHANG K W, et al. Leaf senescence: progression, regulation, and application[J]. Molecular Horticulture, 2021(1): 1-5. <https://molhort.biomedcentral.com/articles/10.1186/s43897-021-00006-9>.
- [16] 王妍方, 黄郑雯, 李仕杰, 等. 不同生境的木棉幼苗生长及光合特性[J]. 东北林业大学学报, 2023, 51(1): 6-10, 17.