

生物制剂对约书亚树幼苗成活及生理生化影响的综合评价

曲绍琪 满秀玲 段亮亮

(东北林业大学林学院)

摘要: 采用保水剂(处理 I)、生根粉(处理 II)、矮壮素(处理 III)与多效唑(处理 IV) 4 种生物制剂,研究了不同生物制剂对 2 年生沙漠植物约书亚树幼苗的成活、生长及生理生化指标的影响,并对其影响效益作出综合评价。结果表明:处理 I 及处理 II 均能显著提高约书亚树幼苗的成活率,分别高于对照 10.78% 及 5.43%,处理 III 及处理 IV 较对照的成活率分别降低了 15.78% 及 11.25%。处理 I 显著促进了幼苗生长并提高了约书亚树幼苗的光合生理指标、渗透调节物质含量、POD 酶及 CAT 酶活性。处理 II 对幼苗株型无显著影响,抗氧化酶活性及脯氨酸含量均显著高于对照。处理 III 使幼苗株高显著低于其他处理,并主要影响幼苗的游离脯氨酸含量及抗氧化酶活性指标。处理 IV 促进幼苗地径增粗和植株矮化,并影响植物的光合生理及 SOD 酶活性指标。利用主成分分析得出,约书亚树幼苗的株型及光合生理因子在综合评价中权重最大,为 68.11%;D 值的排序为:处理 I > 处理 IV > 处理 II > 对照 > 处理 III,说明保水剂为最佳生物制剂,显著提高了植物的成活率及生理生化指标,并能显著促进幼苗生长;其次为生根粉,通过影响渗透调节物质和抗氧化酶活性指标促使成活率显著提高;多效唑虽然对植物的影响效益较大,但其浓度可能不适宜植物成活,对其施用浓度需要进一步研究。

关键词: 生物制剂;约书亚树幼苗;生理生化指标;主成分分析

中图分类号: S718.43 文献标志码: A 文章编号: 1000-1522(2012)04-0067-06

QU Chao-qi; MAN Xiu-ling; DUAN Liang-liang. **Comprehensive evaluation on the effects of different biological agents on survival rate, growth, physiological and biochemical indexes of desert plant *Yucca brevifolia* seedlings.** *Journal of Beijing Forestry University* (2012) **34**(4) 67-72 [Ch, 23 ref.] College of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin, 150040, P. R. China.

Four biological agents, water retaining agent (T I), ABT (T II), CCC (T III) and PP333 (T IV), were applied to 2-year-old desert plant *Yucca brevifolia* seedlings to study the effect and function of these biological agents on survival rate, growth, physiological and biochemical indexes of it, and a comprehensive evaluation on their impact efficiency was drawn out. The results were as follows: T I and T II significantly increased the survival rates of seedlings, which were 10.78% and 5.43% higher than CK; but survival rates of T III and T IV were 15.78% and 11.25% lower than CK. T I significantly promoted the growth of *Y. brevifolia* seedlings and increased photosynthetic physiology indexes, content of osmoregulation substances, the activity of POD and CAT of *Y. brevifolia* seedlings. Compared with CK, T II made no significant changes on the growth index, but both antioxidant enzyme activity and proline content of T II were significantly higher. T III made the height of seedlings significantly lower than that of other treatments, and it mainly had effects on the free proline content and antioxidant enzyme activity indicators of the seedlings. T IV thickened the diameter and shortened the height of seedlings, and had an impact on photosynthetic and SOD activity. Through principal component analysis, plant type and photosynthetic physiological factor had the maximum weight in a comprehensive evaluation of *Y. brevifolia* seedlings, as 68.11%; D-value was in the sequence of T I > T IV > T II > CK > T III. It revealed that water retaining agent was the best biological agent, which had significantly increased the survival rates and physiological and biochemical indexes of *Y. brevifolia* seedlings, and notably promoted its growth at

收稿日期: 2011-12-23

基金项目: “948”国家林业局引进项目(2009-4-18)。

第一作者: 曲绍琪。主要研究方向: 荒漠化防治。电话: 13936348604 Email: quchaoqi@sina.com 地址: 150040 黑龙江省哈尔滨市和兴路 26 号东北林业大学林学院。

责任作者: 满秀玲, 教授, 博士生导师。主要研究方向: 水土保持与土地荒漠化防治。电话: 0458-82191379 Email: mannefu@163.com 地址: 同上。

本刊网址: <http://journal.bjfu.edu.cn>

the same time. Next to it was ABT3, which had significantly increased the survival rate by influencing the indicators of osmotic adjustment substances and antioxidant enzyme activities. Although PP333 had a greater impact on the survival rate of plants, its concentration might be unsuitable to its survival. Its concentration for application needs to be further studied.

Key words biological agents; *Yucca brevifolia* seedlings; physiological and biochemical indicators; principal component analysis

约书亚树 (*Yucca brevifolia*) 是百合科 (Liliaceae) 丝兰属的常绿乔木树种, 是典型的沙漠植物, 主要分布在美国加利福尼亚州、亚利桑那州、犹他州和内华达州, 其本身具有寿命长、耐干旱瘠薄、抗干扰能力强的特性^[1], 并具有一定的经济价值。如果能够将其成功引种到我国广大的干旱半干旱地区, 不仅能够加快我国西北地区的植被建设, 改善生态环境, 而且对这一地区的经济发展起到积极的作用。由于约书亚树原生于美国, 在我国还没有成熟的栽培技术, 借鉴国内对于干旱半干旱地区造林施用不同生物制剂以提高苗木成活率并促进苗木生长^[2-8]的研究结果, 本研究选择2年生约书亚树幼苗, 对其施用保水剂、生根粉、矮壮素等生长调节剂, 利用隶属函数及主成分分析对其成活、生长及生理生化指标进行综合评价; 根据对不同生物制剂的综合评价选出最佳的生物制剂, 为约书亚树在我国引种及大规模造林提供科学依据。

1 研究地概况与研究方法

1.1 试验地概况

试验地设在辽宁省章古台市的彰武县, 地处科尔沁沙地东南前缘。海拔为226.5 m, 属干燥亚湿润气候类型, 年平均降水量为450~500 mm, 年均蒸发量1300~1800 mm, 年平均气温6.2℃, 年平均风速3.8 m/s, ≥ 10 ℃年积温2800~3200℃, 历年最低气温-30.5℃, 无霜期154 d, 植物生长期(5℃以上)为180 d。土壤主要为风沙土, C、N、P等养分元素含量较低。代表性植物主要有, 小黄柳 (*Salix gordejvii*)、差巴戈蒿 (*Artemisia halodendron*)、拂子茅 (*Calamagrostis epigeios*)、山杏 (*Armeniaca sibirica*)、榆树 (*Ulmus pumila*) 等。

1.2 试验材料

选用温室大棚培育的2年生约书亚树幼苗, 幼苗生长状况一致, 平均株高15.62 cm, 平均地径1.37 cm; 选用4种生物制剂, 其中保水剂(高吸水性树脂)由化学制剂公司购买; 生根粉(ABT3号)从北京艾比蒂研究开发中心购买; 多效唑(PP333)为四川国光实业公司生产的15%可湿性粉剂; 矮壮素(CCC)是四川国光实业公司生产的50%水剂。

1.3 试验设计

于2011年5月初进行造林试验, 采用随机区组田间实验设计, 共设置5个处理, 每个处理3个重复, 每个处理栽植100株苗木。在造林初期采用人工浇水, 每周1次, 1个月以后依靠天然降水, 降雨较少时辅助人工浇水。具体处理如下: 保水剂与土混合(1:10)后均匀穴施于穴植苗根部, 穴深20~30 cm, 记为处理I; 生根粉配成50 mg/L溶液, 矮壮素配成10000倍液, 多效唑配成25 mg/L溶液, 分别对约书亚树幼苗根部采用慢慢处理2 h, 处理后马上栽种, 分别记为处理II、III和IV; 以清水处理作为对照, 记为CK。

1.4 指标测定方法

生长指标: 于2011年9月约书亚树生长季结束时, 测定田间苗木的株高、地径和叶长。

生理生化指标: 于2011年7月中旬用SPAD-502Plus型叶绿素仪在试验地测得供试苗木叶绿素; 同期选择3个晴朗天气的09:00—10:00用便携式光合仪(Li-Cor 6400) 2 cm×3 cm标准叶室测得供试苗木的净光合速率 P_n 、蒸腾速率 T_r 、气孔导度 G_s 以及胞间 CO_2 浓度 C_i 等光合指标, 水分利用效率($WUE, \mu mol/mmole$) = P_n/T_r ^[9]; 叶片相对含水量用烘干法测定^[10]; 游离脯氨酸采用酸性茚三酮显色法测定^[10]; 可溶性糖采用恩酮比色法测定^[10]; 过氧化氢酶活性采用碘量滴定法测定^[10]; 超氧化物歧化酶采用NBT光还原法测定^[10]; 过氧化物酶采用愈创木酚法测定^[11]。其中室内实验所需的供试材料来自于2011年7月正值约书亚树幼苗生长季剪取的功能叶, 放入-70℃的低温冰箱保存备用。

1.5 综合评价及数据处理

1.5.1 数据标准化

本实验测定了约书亚树幼苗生长、生理生化及成活等16项指标, 由于各指标所反应信息比重不同, 故对16项指标按比重法进行标准化处理, 标准化公式为

$$y_{ij} = x_{ij} \left(\sum_{j=1}^n x_{ij}^2 \right)^{-1/2} \quad (1)$$

式中: y_{ij} 表示标准化后数值, x_{ij} 表示第*i*个处理的第*j*个测定指标。用Excel 2003及SPSS17.0统计软件进行方差分析, 并用标准化值进行主成分分析, 再用隶属函数对5种生物制剂处理下的约书亚树幼

苗生长进行综合评价。

1.5.2 隶属函数法

应用 Fuzzy 数学中隶属函数法^[12-13]进行综合评判,其计算公式为

$$U(x_j) = (x_j - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min}) \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

式中: x_j 为第 j 个综合指标; x_{\min} 为第 j 个综合指标的最小值; x_{\max} 为第 j 个综合指标的最大值。

1.5.3 适应性量度值

各项综合指标的权重按如下公式^[14]计算:

$$r_j = p_j / \sum_{j=1}^n p_j \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

式中: r_j 为第 j 个综合指标在所有综合指标中的重要程度即权重; p_j 为第 j 个综合指标的贡献率。

各项综合指标的得分按如下公式^[15-16]计算:

$$D = \sum_{j=1}^n [U(x_j) \cdot r_j] \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

式中: D 为各综合指标的得分值,为不同生物制剂处理对约书亚树幼苗影响效益的大小。

2 结果与分析

2.1 生物制剂对约书亚树幼苗成活及生长形态指标的影响

由表 1 可知,不同处理之间苗木的成活率存在显著的差异,其中处理 I 的成活率显著 ($P < 0.05$) 高于处理 II、III、IV 及对照的成活率,分别高出 5.34%、26.55%、22.03% 及 10.78%; 此外,处理 I 的约书亚树幼苗株高、地径及平均叶长均高于处理 II、III、IV 及对照。表明保水剂处理使约书亚树幼苗的成活率显著升高,并有利于约书亚树幼苗的生长。处理 II 除成活率显著 ($P < 0.01$) 高于对照外,生长指标无显著差异。处理 III 的株高及成活率均显著 ($P < 0.05$) 低于对照,地径与平均叶长差异不显著。处理 IV 的株高与处理 II、III 及对照相比降低 11.33%、2.99% 及 16.65%,平均叶长也为最小值且显著低于对照;但其地径却较处理 II、III 及对照显著 ($P < 0.05$) 增高。表明多效唑处理下,约书亚树幼苗会出现植株矮小,地径显著增粗的形态特征。

表 1 不同生物制剂处理下约书亚树幼苗的成活率及生长形态指标

Tab. 1 Survival rate and growth morphology index of *Y. brevifolia* seedlings with different biological agents

处理编号	株高/cm	地径/cm	平均叶长/cm	成活率/%
I	20.53 ± 0.66aA	2.62 ± 0.27aA	15.87 ± 0.87aA	87.58 ± 1.20aA
II	18.68 ± 1.22bABC	1.99 ± 0.08bC	14.61 ± 0.52bAB	82.24 ± 0.74bB
III	17.37 ± 0.98cBC	2.18 ± 0.14bBC	13.45 ± 0.52cB	61.03 ± 1.00eE
IV	16.91 ± 0.68cC	2.47 ± 0.10aAB	13.11 ± 0.26cB	65.56 ± 1.07dD
CK	19.51 ± 0.59abAB	2.18 ± 0.09bBC	13.96 ± 0.77bcB	76.81 ± 0.45cC

注:表中数据为平均值 ± 标准差;同列不同小写字母表示差异达 0.05 显著水平,不同大写字母表示差异达 0.01 显著水平。下表同。

2.2 生物制剂对约书亚树幼苗水分含量及光合指标的影响

由表 2 可以看出:处理 I、II、III 及处理 IV 约书亚树幼苗叶绿素含量显著 ($P < 0.05$) 高于对照,分别增加 13.96%、8.95%、11.53% 及 12.34%。说明施加保水剂、生根粉、矮壮素及多效唑均促进约书亚树幼苗叶绿素含量的提高。处理 I 的叶片相对含水量显著 ($P < 0.05$) 低于其余 4 种处理;但其水分利用率却显著高于其他处理,说明保水剂提高了约书亚树幼苗的节水能力。作为沙漠植物,水分利用率是其耐旱能力的一项重要指标,保水剂通过调节植

物的节水能力提高约书亚树对外界环境的适应性,进而提高其成活率。处理 III 的叶片相对含水量最高,其水分利用率却较其他处理排序较后,较对照降低了 11.36%。经显著性分析,叶片相对含水量与水分利用率呈显著负相关 ($r = -0.686$);净光合速率及蒸腾速率的最高值均为处理 III,而最低值均为对照,分别高于对照 20.70% 及 33.76%。说明对约书亚树幼苗施用矮壮素,能提高其净光合速率和蒸腾速率。经显著性分析,胞间 CO_2 浓度与气孔导度呈显著正相关 ($r = 0.920$),与净光合速率呈显著负相关 ($r = -0.735$)。说明约书亚树幼苗通过气孔的

表 2 不同生物制剂处理下约书亚树幼苗的水分含量及光合指标

Tab. 2 Moisture content and photosynthetic index of *Y. brevifolia* seedlings with different biological agents

处理编号	叶绿素含量	叶片相对含水量/%	水分利用率/ ($mmol \cdot mol^{-1}$)	净光合速率/ ($\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)	蒸腾速率/ ($mmol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)	气孔导度/ ($mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)	胞间 CO_2 浓度/ ($\mu mol \cdot mol^{-1}$)
I	75.10 ± 0.30aA	73.12 ± 0.19cC	4.04 ± 0.13aA	14.50 ± 0.30abA	8.16 ± 0.08cC	0.28aA	257.00 ± 1.00bB
II	71.83 ± 0.25cC	77.16 ± 1.53bB	1.49 ± 0.03cC	13.23 ± 0.31cC	8.91 ± 0.05bB	0.27bB	256.33 ± 1.53bB
III	73.50 ± 0.44bB	80.48 ± 1.36aA	1.59 ± 0.03cC	14.97 ± 0.21aA	9.43 ± 0.07aA	0.23cC	227.33 ± 2.08cC
IV	74.03 ± 0.70bAB	75.40 ± 0.78bBC	1.79 ± 0.04bB	14.23 ± 0.25bB	7.93 ± 0.03dD	0.20dD	221.33 ± 1.53dD
CK	65.90 ± 0.46dD	76.05 ± 0.74bB	1.76 ± 0.06bB	12.40 ± 0.25dD	7.05 ± 0.10eE	0.27bB	270.00 ± 2.65aA

开闭限制 CO₂ 在叶绿体内的输送,进而影响植物幼苗的光合作用。

2.3 生物制剂对约书亚树幼苗渗透调节物质及抗氧化酶活性的影响

由表3可以看出处理I的可溶性糖含量与游离脯氨酸含量极显著 ($P < 0.01$) 高于处理II、III、IV及对照;表明施用保水剂显著提高了约书亚树幼苗的游离脯氨酸及可溶性糖含量。处理II的可溶性糖含量显著低于对照,但其游离脯氨酸含量显著高于对

照;表明施用生根粉后的约书亚树幼苗游离脯氨酸含量显著提高,较对照提高了9.36%。处理III渗透调节物质的变化规律与处理II相同,其可溶性糖含量极显著 ($P < 0.01$) 低于对照,仅为对照的57.42%;表明施用矮壮素后约书亚树幼苗的可溶性糖含量较对照有所降低。此外,脯氨酸含量的变化为处理I > 处理II > 处理III > 处理IV > CK,说明保水剂、生根粉、矮壮素及多效唑均能够增加约书亚树幼苗的游离脯氨酸含量。

表3 不同生物制剂处理下约书亚树幼苗的渗透调节物质及抗氧化酶活性

Tab. 3 Osmotic adjustment substances and antioxidant enzyme activities of *Y. brevifolia* seedlings with different biological agents

处理编号	可溶性糖 / (mg·g ⁻¹)	游离脯氨酸 / (mg·g ⁻¹)	SOD 酶活性 / (U·g ⁻¹ ·min ⁻¹)	POD 酶活性 / (U·g ⁻¹ ·min ⁻¹)	CAT 酶活性 / (mg·g ⁻¹ ·min ⁻¹)
I	383.90 ± 1.33aA	0.36 ± 0.01aA	3.01 ± 0.04dCD	32.93 ± 0.75aA	0.58 ± 0.03bB
II	198.01 ± 10.68dC	0.21 ± 0.00bB	3.88 ± 0.07aA	16.22 ± 0.20cC	0.45 ± 0.02cC
III	139.54 ± 7.15eD	0.17 ± 0.02cC	3.42 ± 0.03bB	17.63 ± 0.13bB	1.00 ± 0.03aA
IV	213.43 ± 6.37cC	0.14 ± 0.00dD	3.10 ± 0.03cC	13.27 ± 0.23eE	0.02 ± 0.00dD
CK	243.03 ± 6.72bB	0.13 ± 0.00dD	2.96 ± 0.06dD	15.21 ± 0.28dD	0.03 ± 0.00dD

超氧化歧化酶(SOD酶)、过氧化氢酶(CAT酶)及过氧化物酶(POD酶)是植物3种主要的抗氧化酶,相互配合、相互协调,通过对自由基的调节达到提高植物的抗逆性^[17],进而提高植物的成活率。由表3中得出,施用保水剂、生根粉、矮壮素及多效唑对约书亚树幼苗具有提高SOD酶活性的效应,较对照分别增加了1.58%、31.18%、15.79%及4.81%。其中处理II的SOD酶活性最高,极显著 ($P < 0.01$) 高于其他处理,说明施用生根粉后SOD酶活性最为活跃,以此增加植物的抗逆性。POD及CAT酶活性的最小值均为处理IV,较对照降低12.71%和47.60%。表明与对照相比,施用多效唑的约书亚树幼苗的POD酶及CAT酶的活性值有所降低,POD酶活性的最高值为处理I(32.93 U/(g·min)),CAT酶活性的最高值为处理III(1.00 mg/(g·min))。表明施用保水剂和矮壮素后,约书

亚树幼苗的POD酶活性及CAT酶最为活跃,这与SOD酶的变化规律存在差异。

2.4 主成分分析及综合评价

如果用单个指标来评价施用不同生物制剂对约书亚树幼苗的影响信息会重叠,很难做出客观准确的评价,故采用主成分分析法对不同生物制剂处理下约书亚树幼苗的成活生长及生理指标的影响进行综合评价。

利用式(1)对不同生物制剂处理各指标进行标准化处理,利用标准化指标进行主成分分析,分析结果列于表4,再根据式(2)、(3)和(4)计算出不同处理的综合指标所获得的隶属函数值 $U(x)$ 及综合指标得分值 D 值(见表5), D 值大小代表了不同处理下约书亚树幼苗的综合指标的得分,其值越大,表明该生物制剂对约书亚树幼苗的成活、生长及生理生化指标影响效益越大。

表4 各因子载荷矩阵及方差贡献率

Tab. 4 Factor load matrix and variance contribution rate

主成分	株高	地径	平均叶长	成活率	叶片相对含水量	叶绿素含量	可溶性糖	脯氨酸	SOD	POD
F_1	0.955	0.844	0.977	0.961	0.885	0.913	-0.965	-0.329	0.655	0.766
F_2	-0.146	0.231	0	-0.192	-0.053	0.214	0.151	0.897	-0.086	0.344
F_3	-0.133	0.181	-0.066	-0.160	0.449	0.334	0.176	0.187	0.452	-0.535
F_4	-0.083	-0.407	0.013	0.112	-0.071	-0.065	0.021	-0.174	0.594	-0.040
主成分	CAT	净光合速率	蒸腾速率	水分利用率	气孔导度	胞间CO ₂ 浓度	特征值	方差贡献率	累积贡献率	
F_1	-0.135	0.852	0.751	0.818	0.863	0.919	10.741	67.132	67.132	
F_2	0.671	0.384	0.389	0.318	-0.263	-0.380	2.176	13.602	80.734	
F_3	-0.544	0.308	0.347	-0.421	-0.386	-0.087	1.793	11.205	91.939	
F_4	0.480	-0.144	0.403	-0.214	0.138	-0.032	1.060	6.622	98.561	

注: F_i 表示第 i 个主成分, $i = 1, 2, 3, 4$ 。

表5 不同处理约书亚树的公因子得分、隶属函数以及综合指标得分值
Tab.5 Factor scores, membership functions and score values of the composite indicator
of *Y. brevifolia* seedlings with different biological agents

处理编号	F_1	F_2	F_3	F_4	U_1	U_2	U_3	U_4	D	名次
I	0.116	-0.087	0.054	-0.020	1.000	0	0	0	0.681	1
II	0.080	-0.073	0.088	-0.010	0.625	0.196	0.568	0.672	0.562	3
III	0.021	-0.014	0.114	-0.004	0	1.000	1.000	1.000	0.319	5
IV	0.078	-0.061	0.106	-0.017	0.607	0.353	0.875	0.187	0.574	2
CK	0.067	-0.071	0.085	-0.013	0.492	0.221	0.513	0.484	0.457	4
权重					0.681	0.138	0.114	0.067		

从表4可以看出:前4个主成分的总贡献率达到了98.561%,能够反映16个指标所能体现的信息^[18]。第1主成分的方差贡献率为67.132%,其中平均叶长、株高、及地径为约书亚树幼苗的形态特征,称为“株型因子”;光合速率、气孔导度、胞间二氧化碳浓度、叶绿素含量、水分利用率及叶片含水量为约书亚树幼苗的“光合生理因子”;还包括可溶性糖含量,负向指标。约书亚树幼苗通过自身株高、地径、叶长等“株型因子”的调控增加其自身对逆境环境的抵抗能力,如使地径增粗、株高增高,提高其抗逆性;也通过气孔的闭合调节植物体内CO₂的输送,使植物既能保证自身所需要的水分,又能获得自养所需要的CO₂,以提高净光合速率及水分利用率,达到更高的存活率。第2主成分中较大的因子载荷的指标为脯氨酸及CAT酶活性。第3主成分的主要指标为POD(-0.535)。决定第4主成分的指标为SOD及蒸腾速率。经主成分分析及隶属函数值计算得出D值的排序为:处理I>处理IV>处理II>CK>处理III,D值的大小表现为不同生物制剂处理对约书亚树幼苗影响效益的大小。处理I D值最大,说明施用保水剂对约书亚树幼苗的成活、生长及生理生化指标的影响效益最大,而施用矮壮素对其各指标的影响效益较小。此外,在主成分分析中第1成分的权重最高,占67.132%;说明约书亚树幼苗的株型及光合生理因子在综合评价中占主导作用,为生物制剂对约书亚树幼苗主要的影响因子,渗透调节因子及酶活性因子处于次要地位。

3 结论与讨论

高吸水性保水剂是一种吸水性及保水性都很高的高分子材料,施用保水剂可以显著减少土壤水分蒸发,提高土壤的持水能力^[19],提高植物的光合速率,降低植物的蒸腾速率^[20],进而提高苗木存活率^[21]。在造林时对约书亚树幼苗施用保水剂,显著提高了约书亚树的株高及叶长,增粗了地径,叶绿素含量也显著高于对照,并通过气孔的关闭提高植物自身的净光合速率,既满足植物的光合作用所需,又满足对植物的水分供给,从而显著提高了植物对水

分的利用率。水分利用率是评价植物耐旱能力的重要光合生理指标,说明保水剂提高了约书亚树幼苗的节水能力,增加其对水分的利用效益。保水剂还提高了约书亚树幼苗的可溶性糖及游离脯氨酸的含量,通过渗透调节物质的增加调节细胞内的膨压,以维持植物细胞正常活动代谢所需的水分;保水剂通过以上途径显著提高约书亚树幼苗的成活率,高于对照10.78%。

生根粉是一种高效的植物生长调节剂,在人工造林中已有应用,能起到提高造林成活率、促进苗木生长^[22]的作用。生根粉的使用显著($P < 0.05$)提高了约书亚树幼苗的成活率,高于对照5.43%,并显著提高了叶绿素的含量及光合速率^[23]。此外,生根粉使约书亚树幼苗的抗氧化酶(SOD酶、POD酶、CAT酶)活性显著提高,以此来减少植物在逆境条件下产生的自由基对膜系统的破坏作用,并显著提高了植物游离脯氨酸的含量。通过渗透调节增强植物对外界的适应性;说明生根粉主要影响约书亚树幼苗的光合速率、游离脯氨酸含量及抗氧化酶活性指标,以此提高植物的成活率,可作为日后造林的有效生物制剂。

矮壮素使约书亚树出现植株矮化的现象,大幅度提高植物的蒸腾速率,导致植物节水能力受到抑制,不利于植物在沙漠环境中成活及生长。多效唑对约书亚树幼苗的影响效益主要通过影响其株型、光合生理及SOD酶活性指标来实现。之所以出现成活率低于对照,可能由于多效唑施用浓度高限制了植物气孔的开闭,进而影响植物的光合作用,呼吸作用及蒸腾作用,从而影响植物的成活。要找出更适宜约书亚树幼苗成活的多效唑浓度,需要进一步探讨和研究。

通过分析得出,约书亚树幼苗施用保水剂为最佳的生物制剂,不仅提高幼苗的成活率,还显著促进了植物的生长,并通过光合生理、渗透调节及抗氧化酶活性的调节提高约书亚树幼苗对在沙漠环境中的抗逆性,为最佳的生物制剂。其次是生根粉处理,对约书亚树幼苗株型及光合生理因子影响不显著,但其显著提高了SOD酶、CAT酶及POD酶3种主要

的抗氧化酶的酶活性,并显著提高了植物体内游离脯氨酸的含量。通过抗氧化酶活性及渗透调节增强植物的抗逆性,使植物更好的适应干旱环境,显著提高约书亚树幼苗的成活率。在大规模造林中可采用保水剂和生根粉等造林措施以提高植物的成活率,更好的使约书亚树幼苗适应外界环境,增强植物的抗逆性,实现造林的最大效益。

参 考 文 献

- [1] SMITH S D, HARTSOCK T L, NOBEL P S. Ecophysiology of *Yucca brevifolia*, an arborescent monocot of the Mojave Desert[J]. *Oecologia*, 1983, 60: 10-17.
- [2] 朱教君,康宏樟,许美玲. 外生菌根真菌对科尔沁沙地樟子松人工林衰退的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(12): 2693-2698.
- [3] 张小龙,张洪,张香,等. 外生菌根菌剂对白皮松幼苗生长效应的研究[J]. 林业科学研究, 2005, 18(2): 133-136.
- [4] 罗志斌,马焕成,饶成兵. 保水剂及其在林业上的应用研究进展[J]. 林业科学研究, 2002, 15(5): 620-626.
- [5] 王斌瑞,贺康宁,史长青. 保水剂在造林绿化中的应用[J]. 中国水土保持, 2000(4): 22-24.
- [6] 刘戈飞,宋晓斌,徐永慧,等. GGR6 在南方红豆杉扦插育苗中的作用研究[J]. 林业科学研究, 2005, 18(6): 730-733.
- [7] 毛轶清,郑青松,陈健妙,等. 喷施多效唑提高麻疯树幼苗耐盐性的生理机制[J]. 生态学报, 2011, 31(15): 4334-4341.
- [8] 姜中珠,陈祥伟. 水杨酸对灌木幼苗抗旱性的影响[J]. 水土保持学报, 2004, 18(2): 166-185.
- [9] 高聚林,赵涛,王志刚,等. 高丹草水分利用效率与叶片生理特性的关系[J]. 作物学报, 2007, 33(3): 455-460.
- [10] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 15-16, 210-211, 211-214, 215-216, 228-231.
- [11] 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: 164-165.
- [12] 李松岗. 实用生物统计[M]. 北京: 北京大学出版社, 2002: 134-139.
- [13] 潘晓云,曹琴东,王根轩. 膜脂过氧化作为扁桃品种抗寒性鉴定指标研究[J]. 生态学报, 2002, 22(11): 1902-1911.
- [14] 谢志坚. 农业科学中的模糊数学方法[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1983: 99-193.
- [15] 王树刚,王振林,王平,等. 不同小麦品种对低温胁迫的反应及抗冻性评价[J]. 生态学报, 2011, 31(4): 1064-1072.
- [16] 李贵全,张海燕,季兰,等. 不同大豆品种抗旱性综合评价[J]. 应用生态学报, 2006, 17(12): 2408-2412.
- [17] GECHEV T, WILLEKENS H, MONTAGU M V, et al. Different responses of tobacco antioxidant enzymes to light and chilling stress[J]. *Journal of Plant Physiology* 2003, 160: 509-515.
- [18] 贺仲雄. 模糊数学及其应用[M]. 天津: 天津科学技术出版社, 1985: 67-70.
- [19] 孙进,徐阳春,沈其荣,等. 施用保水剂和稻草覆盖对作物和土壤的效应[J]. 应用生态学报, 2001, 12(5): 731-734.
- [20] 杨永辉,武继承,吴普特,等. 保水剂对小麦生长及生理特性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(3): 133-137.
- [21] 唐凤德,蔡天革,韩士杰,等. 生物制剂对沙地樟子松苗木成活生长及生理特征的影响[J]. 生态学报, 2009, 29(5): 2294-2303.
- [22] 韩恩贤,韩刚,薄颖生,等. ABT生根粉油松蘸根造林试验研究[J]. 西北林学院学报, 2004, 19(4): 59-60.
- [23] 陶世蓉,韩广清,王福青. ABT生根粉对花生根系活力及叶片光合性能的影响[J]. 中国油料作物学报, 2000, 22(2): 45-47.

(责任编辑 赵 勃)