

油菜素内酯对三个树种苗木抗旱性影响的综合评价

韩刚¹, 孙楠², 李凯荣^{3*}

(1. 西北农林科技大学林学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学科研处, 陕西 杨凌 712100;

3. 中国科学院 水利部 水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 采用盆栽控水模拟土壤干旱环境, 根系浸蘸和叶面喷施不同浓度的油菜素内酯(BR)溶液, 对黄土丘陵区3个主要造林树种沙棘(*Hippophae rhamnoides* L.)、山杏(*Prunus armeniaca* L. var. *ansu*)、紫穗槐(*Amorpha fruticosa* L.)苗木20项抗旱性指标进行了测定, 应用主成分分析法对3种苗木受油菜素内酯影响的抗旱性变化做了多指标的综合评价。实验结果显示当BR施用浓度在0.1~0.3 mg/L时, 对3种苗木抗旱性影响的有效值均高于对照, 其中能够有效提高3种苗木抗旱性的BR最佳施用浓度为0.2 mg/L。

关键词: 油菜素内酯; 沙棘; 山杏; 紫穗槐; 抗旱性; 主成分分析

中图分类号: S718.43 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2007)02-0092-07

油菜素内酯类(简称BRs)又被称为逆境条件下的缓冲剂^[1], 它对处于逆境条件下的植物具有显著的生理效应^[2~5]。大量研究表明干旱逆境下BRs能够提高植物渗透调节能力^[6~9], 增强植物抗氧化保护酶活性^[8, 10~12], 根系吸水性能, 稳定膜系统的结构功能^[13~15], 维持较高的能量代谢^[9, 16, 17], 促进正常的生理生化代谢, 从而增强植物的抗逆性。但是其中的绝大部分研究主要集中于农作物, 对于树木的研究开展的相对很少。

由于植物抗旱机理的多样性及内在复杂性, 要寻求一个通用的抗旱性指标是不现实的, 仅根据某几项指标判断其抗旱性差异也有一定的局限性, 甚至会得出错误的结论, 只有采用多指标的综合评价, 才能比较客观地反映植物的抗旱性^[18]。主成分分析就是一个合理的解决方法, 它将多个性状指标经正交变换转化为较少个数的综合指标, 而这些综合指标彼此不相关, 又能综合反映原来多个性状指标的主要信息, 即主成分, 并使前几个主成分体现原来变量绝大部分的变异, 从而对所收集的资料作全面的分析^[19~20]。

本研究用不同浓度的油菜素内酯(BR)对黄土丘陵区3个主要造林树种沙棘(*Hippophae rhamnoides* L.)、山杏(*Prunus armeniaca* L. var. *ansu*)、紫穗槐(*Amorpha fruticosa* L.)苗木进行蘸根和叶面喷施后, 采用盆栽控水模拟土壤干旱环境, 在测定其水分状况、光合特性、保护酶活性、质膜稳定性、渗透调节物质、生长及生物量等抗旱性指标的基础上,

应用主成分分析法对不同浓度油菜素内酯对3树种抗旱性的影响差异进行了综合评价, 以进一步从整体上揭示BR对3种苗木抗旱性的影响。

1 材料与方法

1.1 试验材料与处理

选用沙棘、山杏、紫穗槐2年生实生幼苗(购自陕西省延安地区吴旗县)进行盆栽控水试验, 各树种平均株高、地径依次分别为57.1 cm, 0.460 cm; 68.4 cm, 0.582 cm; 59.3 cm, 0.676 cm。每个树种选苗木大小基本一致, 统一标准修根, 经4种浓度0.1、0.2、0.3、0.4 mg/L的油菜素内酯溶液蘸根, 清水蘸根作为对照, 植入高27 cm, 上口径35 cm, 下口径22 cm的塑料桶中, 桶预先称重, 桶中装过筛原状土12.50 kg, 土壤为塋土, 装桶时测得土壤平均含水量为12.61%, 计算出每桶干土重11.10 kg。栽植后山杏和紫穗槐从距地面10 cm处截干, 沙棘不截。每树种植25桶, 每桶1株, 每5桶为1个处理, 共5个处理, 展叶期对应根系蘸根处理, 分别喷施油菜素内酯溶液及清水, 油菜素内酯0.1%可溶性粉剂由成都市朝阳生物激素研究所生产。配制时先用少量温水(50℃~60℃)稀释开, 再用清水配成所需浓度。溶液喷施时摇匀, 喷于树冠, 直到叶片滴水为宜。

盆栽桶置于防雨塑料棚内, 晴天揭开塑料膜正常照光, 雨天防雨。苗木栽植后充足浇水, 使之正常萌芽成活。至5月底开始用称重法控制土壤水分,

收稿日期: 2006-07-03

基金项目: 中科院“百人计划”项目(2004109); 国家重点实验室基金(10501-163)

作者简介: 韩刚(1972-), 男, 陕西三原人, 助理研究员, 在读博士, 主要从事旱区森林培育研究。

* 通讯作者: 李凯荣, 教授, E-mail: zxphg@nwsuaf.edu.cn。

当土壤水分降至 7%~8% 时,进行各项试验测定。

1.2 指标测定

1.2.1 生理指标的测定 以下指标的测定采集小枝或鲜叶进行。净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)用英国 PP-system 公司生产的 TPS-1 便携式光合测定仪进行活体叶片测定,水分利用效率(WUE)= P_n/T_r ;清晨叶水势及水分状况参数测定用压力室法^[21~22];叶片含水量、相对含水量及水分饱和和亏测定用烘干称重法^[21];叶绿素含量用丙酮乙醇等量混合液法测定^[21];细胞质膜相对透性用电解质外渗量法测定^[21];游离脯氨酸含量用磺基水杨酸法测定^[21];丙二醛及可溶性糖含量用 TBA(硫代巴比妥酸)法测定^[21];超氧化物歧化酶(SOD)活性用氮蓝四唑(NBT)光还原法测定^[21]。每个指标测定重复

3 次。

1.2.2 新梢生长动态观测 每个处理选择 3 株苗木,每株再选择具代表性分枝,进行新梢生长测定,从 6 月 15 日开始间隔半月用米尺和游标卡尺测定新梢长度和直径。

1.2.3 根系生长及生物量测定 试验结束后,冲盆进行根系测定,分别统计一级侧根数,主根长、主根粗。并对地上和地下部分烘干称重,计算总生物量及根茎比。

2 结果与分析

2.1 指标及测定结果

3 种苗木的各抗旱性指标及其测定结果见表 1、表 2 和表 3。

表 1 不同浓度 BR 处理下沙棘各抗旱性指标测定结果

Table 1 Results of drought resistant indexes for Hippophae rhamnoides L. under different BR concentrations

抗旱性指标 Drought resistant index	处理(BR 浓度) Treatment (BR concentration)(mg/L)				
	0	0.1	0.2	0.3	0.4
脯氨酸含量 Content of proline ($\mu\text{g/g}$)	53.5716	59.1980	61.1580	61.4964	54.4263
可溶性糖含量 Content of soluble sugar (mmol/g)	0.2372	0.2450	0.2435	0.2754	0.2746
组织含水量 Water content (%)	56.7800	57.9500	60.0300	60.0900	59.2600
水分饱和和亏 WSD (%)	69.2200	67.7600	58.5100	59.4900	59.0100
丙二醛含量 Content of MDA ($\mu\text{mol/g}$)	0.0187	0.0169	0.0172	0.0179	0.0179
质膜相对透性 Relative permeability of plasma membrane	0.1890	0.1500	0.1530	0.1740	0.1780
总叶绿素含量 Total chlorophyll content (mg/g)	0.7420	0.8875	0.9040	0.8450	0.7761
叶绿素 a/b 比值 Chlorophyll a/b	3.6273	3.9702	3.9433	3.8640	3.7594
总生物量 Total biomass (g)	31.7702	34.0430	38.8778	37.5923	34.6943
根茎比 Root-stem ratio	0.7611	1.0610	1.1122	1.0494	0.7633
新梢长增量 Length increment of new branch (cm)	1.7900	3.2600	2.2000	2.3400	1.8400
新梢径增量 Diameter increment of new branch (cm)	0.0760	0.0790	0.1050	0.0950	0.0960
主根长 Length of taproot (cm)	56.5000	89.3330	109.8330	103.6670	61.0330
一级侧根数 No. of primary side root	29.0000	30.3000	33.3000	30.7000	29.0000
水分利用效率 WUE ($\mu\text{mol/mol}$)	0.8964	1.4171	1.2598	1.2037	1.0952
日均蒸腾速率 Daily mean transpiration rate [$\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	3.7483	3.1200	2.6867	2.8439	3.3450
SOD 活性 Activity of SOD (U/g)	240.0000	263.2222	288.1481	274.8148	245.1852
膨压为零时渗透势 Ψ_{π}^0 (MPa)	-1.5500	-1.7600	-1.7600	-1.7400	-1.7700
膨压为零时渗透水相对含量 ROWC ⁰ (%)	86.0100	83.2000	86.5800	84.5600	83.0500
清晨叶水势 Leaf water potential in early morning (MPa)	-2.1567	-1.5900	-1.4533	-1.4267	-1.2633

2.2 主成分分析

主成分分析首先要对各参与分析的变量进行均值为 0, 标准差为 1 的标准化, 然后由样本相关矩阵出发, 计算性状相关矩阵特征根和特征向量及每个成分的贡献率和累积贡献率, 以累计贡献率达 85% 以上确定主成分个数。

从表 4 中可以看到, 各树种前 3 个成分的累积贡献率均超过了 85%, 表明前 3 个成分已经代表了全部指标绝大部分的综合信息。因此均选取前 3 个成分为各树种抗旱性影响分析的主成分, 从而简化了原观察系统。

表 2 不同浓度 BR 处理下山杏各抗旱性指标测定结果

Table 2 Results of drought resistant indexes for *Prunus armeniaca* L. var. *ansu* under different BR concentrations

抗旱性指标 Drought resistant index	处理(BR 浓度) Treatment (BR concentration)(mg/L)				
	0	0.1	0.2	0.3	0.4
脯氨酸含量 Content of proline ($\mu\text{g/g}$)	98.2234	186.2219	232.2981	241.1810	138.8037
可溶性糖含量 Content of soluble sugar (mmol/g)	0.3105	0.3226	0.3341	0.2850	0.2677
组织含水量 Water content (%)	67.6700	73.0100	69.6900	71.3200	69.1000
水分饱和和亏 WSD (%)	36.5200	31.2600	30.2500	29.8600	30.5100
丙二醛含量 Content of MDA ($\mu\text{mol/g}$)	0.0347	0.0312	0.0316	0.0305	0.0288
质膜相对透性 Relative permeability of plasma membrane	0.2730	0.2330	0.2380	0.2270	0.2050
总叶绿素含量 Total chlorophyll content (mg/g)	0.7317	0.8073	0.8234	0.8174	0.7557
叶绿素 a/b 比值 Chlorophyll a/b	2.2330	2.4333	2.3487	2.3197	2.2193
总生物量 Total biomass (g)	33.9545	45.3886	49.4993	41.0821	37.2954
根茎比 Root-stem ratio	1.6892	1.4957	1.4299	1.5176	1.3300
新梢长增量 Length increment of new branch (cm)	0.5700	0.6000	1.1000	0.7000	0.5700
新梢径增量 Diameter increment of new branch (cm)	0.0330	0.0470	0.0530	0.0400	0.0360
主根长 Length of taproot (cm)	48.5000	61.3330	63.0330	59.8330	49.0000
一级侧根数 No. of primary side root	14.7000	23.0000	22.7000	23.7000	15.3000
水分利用效率 WUE ($\mu\text{mol/mol}$)	3.9119	4.6004	3.9977	4.5406	4.1292
日均蒸腾速率 Daily mean transpiration rate [$\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	1.3267	1.5594	1.5261	1.5217	1.5217
SOD 活性 Activity of SOD (U/g)	57.1111	114.4444	209.6296	129.6296	115.5556
膨压为零时渗透势 Ψ_{π}^0 (MPa)	-2.3000	-2.5500	-2.2000	-2.4800	-2.2200
膨压为零时渗透水相对含量 ROWC ⁰ (%)	52.2600	28.5100	59.1500	43.3000	55.0800
清晨叶水势 Leaf water potential in early morning (MPa)	-2.9233	-2.4300	-1.8433	-2.0333	-1.7633

表 3 不同浓度 BR 处理下紫穗槐各抗旱性指标测定结果

Table 1 Results of drought resistant indexes for *Amorpha fruticosa* L. under different BR concentrations

抗旱性指标 Drought resistant index	处理(BR 浓度) Treatment (BR concentration)(mg/L)				
	0	0.1	0.2	0.3	0.4
脯氨酸含量 Content of proline ($\mu\text{g/g}$)	63.9698	61.4775	81.4801	67.7133	52.3390
可溶性糖含量 Content of soluble sugar (mmol/g)	0.2517	0.1997	0.2479	0.2357	0.1967
组织含水量 Water content (%)	64.3200	65.4800	61.4200	61.0800	64.5100
水分饱和和亏 WSD (%)	27.7200	16.3200	18.8100	18.8400	22.9300
丙二醛含量 Content of MDA ($\mu\text{mol/g}$)	0.0258	0.0207	0.0207	0.0200	0.0234
质膜相对透性 Relative permeability of plasma membrane	0.4160	0.3520	0.3550	0.3620	0.3890
总叶绿素含量 Total chlorophyll content (mg/g)	1.8683	2.0004	1.7387	1.7636	1.6771
叶绿素 a/b 比值 Chlorophyll a/b	2.7804	2.8218	2.8172	2.7485	2.6967
总生物量 Total biomass (g)	47.8449	48.0578	49.1594	49.7266	47.7007
根茎比 Root-stem ratio	3.6420	3.9665	3.9137	3.8723	3.8624
新梢长增量 Length increment of new branch (cm)	0.6300	2.2100	2.0300	3.4200	1.3700
新梢径增量 Diameter increment of new branch (cm)	0.0170	0.0410	0.0330	0.0370	0.0320
主根长 Length of taproot (cm)	113.8330	119.2000	126.5000	121.8000	104.5000
一级侧根数 No. of primary side root	33.3000	35.3000	36.0000	37.3000	32.7000
水分利用效率 WUE ($\mu\text{mol/mol}$)	4.7081	4.8009	5.3885	4.9722	4.1011
日均蒸腾速率 Daily mean transpiration rate [$\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	2.4989	2.6706	1.8833	2.2428	2.5056
SOD 活性 Activity of SOD (U/g)	211.8519	238.5185	254.0741	326.6667	224.4444
膨压为零时渗透势 Ψ_{π}^0 (MPa)	-1.6800	-2.0800	-2.0300	-1.8500	-1.9200
膨压为零时渗透水相对含量 ROWC ⁰ (%)	91.6200	87.9900	85.0100	94.1500	95.6400
清晨叶水势 Leaf water potential in early morning (MPa)	-0.6400	-0.5133	-0.4500	-0.5200	-0.4967

表4 3种苗木前4个成分的特征根及累积贡献率

Table 4 Initial eigenroots and cumulative contribution of former 4 components for seedlings of three tree species

树种 Tree species	成分号 No. of component	特征根 Initial eigenroot	贡献率(%) Contribution	累积贡献率(%) Cumulative contribution
沙棘 <i>Hippophae rhamnoides</i> L.	1	12.5922	62.9609	62.9609
	2	3.8944	19.4722	82.4330
	3	2.8327	14.1635	96.5965
	4	0.6807	3.4035	100.0000
山杏 <i>Prunus armeniaca</i> L. var. <i>ansu</i>	1	10.6044	53.0220	53.0220
	2	4.7088	23.5442	76.5662
	3	3.9584	19.7922	96.3584
	4	0.7283	3.6416	100.0000
紫穗槐 <i>Amorpha fruticosa</i> L.	1	10.3601	51.8006	51.8006
	2	4.7465	23.7327	75.5333
	3	3.2165	16.0824	91.6157
	4	1.6769	8.3843	100.0000

表5 3种苗木各主成分的特征向量

Table 5 Eigenvectors of principal components of seedlings of three tree species

抗旱性指标 Drought resistant index	沙棘 <i>Hippophae rhamnoides</i> L.			山杏 <i>Prunus armeniaca</i> L. var. <i>ansu</i>			紫穗槐 <i>Amorpha fruticosa</i> L.		
	第1 主成分	第2 主成分	第3 主成分	第1 主成分	第2 主成分	第3 主成分	第1 主成分	第2 主成分	第3 主成分
脯氨酸含量 Content of proline	0.0731	-0.0260	0.0630	0.0857	0.0028	0.0329	0.0676	0.1351	0.0717
可溶性糖含量 Content of soluble sugar	0.0145	0.1932	-0.1851	0.0258	0.1286	0.1723	0.0132	0.2083	0.0153
组织含水量 Water content	0.0625	0.1573	0.0018	0.0742	0.0845	-0.1164	-0.0630	-0.1187	0.1542
水分饱和亏 WSD	-0.0474	-0.2042	-0.0016	-0.0822	0.0932	0.0501	-0.0831	0.1036	-0.0337
丙二醛含量 Content of MDA	-0.0661	0.0992	0.1047	-0.0516	0.1415	0.1269	-0.0911	0.0625	0.0357
质膜相对透性 Relative permeability of plasma membrane	-0.0660	0.1213	0.0391	-0.0501	0.1435	0.1265	-0.0891	0.0785	-0.0293
总叶绿素含量 Total chlorophyll content	0.0747	-0.0855	0.0163	0.0907	0.0297	0.0326	0.0003	-0.0382	0.2403
叶绿素 a/b 比值 Chlorophyll a/b	0.0743	-0.0787	-0.0618	0.0736	0.1234	-0.0013	0.0463	0.0492	0.2606
总生物量 Total biomass	0.0702	0.0990	0.0915	0.0847	0.0221	0.0979	0.0799	0.0792	-0.1195
根茎比 Root-stem ratio	0.0723	-0.0817	0.0629	-0.0513	0.1630	0.0420	0.0713	-0.1374	0.0108
新梢长增 Length increment of new branch	0.0419	-0.1865	-0.1410	0.0526	-0.0325	0.2036	0.0798	-0.0376	-0.1215
新梢径增 Diameter increment of new branch	0.0533	0.1740	0.0648	0.0796	0.0277	0.1169	0.0699	-0.1432	-0.0246
主根长 Length of taproot	0.0740	-0.0204	0.0952	0.0860	0.0698	0.0582	0.0825	0.0864	0.0905
一级侧根数 No. of primary side root	0.0662	-0.0133	0.1838	0.0854	0.0742	0.0110	0.0884	0.0358	-0.0373
水分利用效率 WUE	0.0669	-0.1028	-0.1277	0.0572	0.0764	-0.1767	0.0748	0.1151	0.0983
日均蒸腾速率 Daily mean transpiration rate	-0.0778	-0.0327	-0.0437	0.0857	-0.0522	-0.0726	-0.0598	-0.1217	0.0638
SOD 活性 Activity of SOD	0.0740	-0.0037	0.1236	0.0747	-0.0694	0.1300	0.0688	0.0227	-0.1762
膨压为零时渗透势 Ψ_{π}^0	-0.0649	-0.0554	0.1789	-0.0315	-0.1502	0.1543	-0.0621	0.1300	-0.0951
膨压为零时渗透水相对含量 ROWC ⁰	0.0003	-0.0012	0.3520	-0.0311	-0.1443	0.1594	-0.0520	-0.0433	-0.2392
清晨叶水势 Leaf water potential in early morning	0.0551	0.1320	-0.1721	0.0589	-0.1651	-0.0026	0.0686	-0.0842	-0.0497

表 5 中各主成分的特征向量即各主成分表达式中的标准化原始变量的系数向量,它们代表了各变量对相应主成分作用的权数。可以看出对于沙棘第一主成分与水分饱和亏、丙二醛含量、质膜相对透性、日均蒸腾强度及膨压为零时的渗透势呈负相关,而与其它指标均呈正相关,与应用单指标进行抗旱性分析时的依据极为一致,因此它在综合全部变量反映信息的基础上,突出反映了 BR 处理对沙棘抗旱能力的影响,其主要综合了脯氨酸含量、叶绿素总量、叶绿素 a/b 比值、根茎比、主根长、日均蒸腾强度和 SOD 活性等的变异信息。第二主成分主要综合了水分饱和亏、组织含水量、可溶性糖、新梢长和径增及清晨叶水势的变异信息。第三主成分则主要反映了膨压为零时渗透水相对含量的信息。

对于山杏第一主成分主要综合了脯氨酸含量、水分饱和亏、组织含水量、叶绿素总量、总生物量、主根长、一级侧根、日均蒸腾等的变异信息,从这些指标的正负相关性来看,较为特异的是日均蒸腾强度呈正相关。第二主成分主要综合了丙二醛含量、质膜相对透性、根茎比、膨压为零时的渗透势及清晨叶

水势的变异信息。第三主成分则主要综合可溶性糖含量、新梢长增及水分利用效率的变异信息。

对于紫穗槐,第一主成分的主要综合信息包括水分饱和亏、丙二醛含量、质膜相对透性、主根长、一级侧根、总生物量、新梢长增及水分利用效率,这些指标与第一主成分的正负相关性,说明第一主成分在反映对抗旱性影响方面与各指标有较好的一致性。第二主成分主要综合了以下指标的变异信息,如可溶性糖含量、脯氨酸含量、根茎比、新梢径增、日均蒸腾强度、膨压为零时的渗透势等。第三主成分则主要综合了叶绿素总量、叶绿素 a/b 比值、膨压为零时的渗透水含量。

为了进一步选择对各树种抗旱性提高有效的 BR 处理浓度,可计算各树种不同处理浓度的主成分值,其值见表 6,并依据公式 $\sum_{i=1}^n \lambda_i v_{ij} / m$ 求出综合评价不同 BR 处理浓度有效性大小值,式中 λ_i 为第 i 个主成分的特征根, m 为原始变量个数等于 20, λ_i / m 即第 i 个主成分的方差贡献率, n 为确定的主成分数目等于 3, v_{ij} 为的 i 个主成分在第 j 个处理的主成分值。计算结果见表 7。

表 6 不同浓度 BR 处理下 3 种苗木主成分值

Table 6 Principal component values of seedlings of three tree species under different BR concentrations

处理(BR 浓度) Treatment (BR concentration) (mg/L)	沙棘 <i>Hippophae rhamnoides</i> L.			山杏 <i>Prunus armeniaca</i> L. var. <i>ansu</i>			紫穗槐 <i>Amorpha fruticosa</i> L.		
	第 1 主成分	第 2 主成分	第 3 主成分	第 1 主成分	第 2 主成分	第 3 主成分	第 1 主成分	第 2 主成分	第 3 主成分
0	1.5231	-0.3901	0.8462	-1.5916	0.6690	0.4512	-1.2338	1.1034	0.5104
0.1	0.3813	1.4752	-0.9371	0.6713	1.0677	-0.6932	0.3386	-1.1468	1.1602
0.2	1.0508	0.1136	1.1170	0.7885	-0.3510	1.5622	1.0036	0.7075	0.4099
0.3	0.5073	0.6262	0.0489	0.5051	0.1224	-0.6161	0.7674	0.2787	-1.2151
0.4	-0.4164	1.1254	1.0750	-0.3733	1.5081	-0.7042	-0.8758	-0.9428	-0.8654

表 7 不同浓度 BR 处理对 3 种苗木抗旱性影响的有效值

Table 7 Vital values of effect on drought resistance of seedlings of three tree species under different BR concentrations

处理(BR 浓度)(mg/L) Treatment (BR concentration)	沙棘 <i>Hippophae rhamnoides</i> L.	山杏 <i>Prunus armeniaca</i> L. var. <i>ansu</i>	紫穗槐 <i>Amorpha fruticosa</i> L.
0	-1.0349	-0.5971	-0.2951
0.1	-0.0472	0.4701	0.0898
0.2	0.6837	0.6446	0.7537
0.3	0.4414	0.1747	0.2682
0.4	-0.0430	-0.6924	-0.8166

由表 7 中数据可知,对于沙棘在提高苗木抗旱性方面几种处理浓度均较对照有效,其有效性排序为 0.2 > 0.3 > 0.4 > 0.1 mg/L。对山杏来说 0.1、0.2 和 0.3 mg/L 处理较对照有效,其排序为 0.2 >

0.1 > 0.3 mg/L, 0.4 mg/L 处理反而降低山杏苗木抗旱性,说明施用时浓度应控制在 0.1~0.3 mg/L。对于紫穗槐有效的几个 BR 浓度排序为 0.2 > 0.3 > 0.1 mg/L, 0.4 mg/L 处理和山杏一样对其抗旱性

起到的是反作用。

3 讨论

1) 采用盆栽控水模拟土壤干旱环境,根系浸蘸叶面喷施不同浓度的BR溶液,在对黄土丘陵区3个主要造林树种沙棘、山杏、紫穗槐苗木20项抗旱性指标进行测定的基础上,应用主成分分析法,以累计贡献率达85%以上确定3种苗木前3个成分为各树种抗旱性影响分析的主成分,简化了原观察系统。

2) 根据各主成分的特征向量,对不同浓度BR处理在3种苗木抗旱性方面的影响分别进行了综合评价,从整体上揭示了油菜素内酯对3种苗木抗旱性的影响。综合沙棘各主成分方差贡献率及特征向量可知,BR对沙棘抗旱性的提高,主要是通过提高脯氨酸含量、叶绿素含量尤其是叶绿素a含量,降低蒸腾,有效提高水分利用效率,促进根系生长,增加吸水 and 保水及改变SOD活性来实现。综合山杏分析结果来看,BR处理使山杏根系极为发达,提高了从土壤中的吸水能力,供给地上部利用,从而促进上部蒸腾增强,抵御细胞膜受到伤害,此外脯氨酸含量及叶绿素总量也都保持在较高水平。综合来看BR对紫穗槐抗旱性的影响主要体现在以下几个方面:促进根系生长,进而影响苗木整株生长;增加渗透调节物质含量,提高苗木的渗透调节能力;降低苗木蒸腾的同时,有效提高了水分利用效率。

3) 通过计算各树种苗木不同BR处理浓度的重要主成分值及有效性综合评分,对各树种不同浓度油菜素内酯处理提高抗旱能力的有效性进行了排序,沙棘为 $0.2 > 0.3 > 0.4 > 0.1 \text{ mg/L}$,山杏为 $0.2 > 0.1 > 0.3 \text{ mg/L}$,紫穗槐为 $0.2 > 0.3 > 0.1 > \text{mg/L}$ 。由此可见,对3种苗木而言,最佳施用浓度为 0.2 mg/L 。

参考文献:

[1] Adma G, Marquardt V. Brassioides[J]. Phytochemistry, 1986, 25, 1787-1799.
[2] 朱广廉. 油菜素甾醇类植物激素的研究进展[J]. 植物生理学通

讯, 1992, 28, 317-322.

- [3] 赵毓橘. 油菜素内酯研究进展[J]. 植物学通报, 1995, 12, 30-34.
[4] 李凯荣, 樊金栓. 新型植物激素——油菜素内酯类在农林上的应用研究进展[J]. 干旱地区农业研究, 1998, 16(4), 104-109.
[5] 王红红, 李凯荣, 侯华伟. 油菜素内酯提高植物抗逆性的研究进展[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(3), 213-218.
[6] Li Kairong. The effect of $24\text{-epibrassinolide}$ on water stress of eucalyptus nitens seedling. Journal of Northwest Forestry College [J]. 1998, 13(3), 1-8.
[7] 李凯荣, 张胜利, 李晓军. 天然油菜素内酯对核桃叶片水分和光合速率的影响[J]. 园艺学报, 2003, 30(6), 715-718.
[8] 王廷芹, 杨暹. 油菜素内酯对青花菜叶片中几种酶和产量的影响[J]. 中国蔬菜, 2002, (5), 15-17.
[9] 王乃江, 赵忠, 李鹏, 等. 天然芸苔素内酯对大扁杏光合作用和抗旱性的影响[J]. 水土保持研究, 2000, 7(1), 89-91.
[10] 邹华文. 表高油菜素内酯浸种对提高玉米幼苗抗旱性的影响[J]. 湖北农学院学报, 2002, 22(1), 40-43.
[11] 吴少华. BR和KT对草莓抗旱性的影响[J]. 福建农业学报, 2001, 16(2), 56-58.
[12] 董登峰, 江立庚, 聂呈荣, 等. Ts303和PDJ对花生幼苗抗旱能力的影响[J]. 花生学报, 2002, 31(3), 29-32.
[13] 邹华文, 陈凤玉, 郝建军, 等. 表高油菜素内酯浸种对玉米幼苗某些生理特性的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2001, 32(6), 452-454.
[14] 郭本森, 徐信光. 表油菜素内酯对大麦旗叶生理特性及粒重的影响[J]. 科技通报, 1996, 12(4), 220-223.
[15] 郝建军, 康宗利, 刘立岗, 等. BR与S3307复合剂对黄瓜生理指标和产量的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2002, 33(5), 335-337.
[16] 丁锦新, 马国瑞, 黄素青, 等. 表油菜素内酯对黄瓜的生理效应[J]. 浙江农业大学学报, 1995, 21(6), 615-621.
[17] 沈秀瑛, 戴俊英, 胡安畅, 等. 油菜素内酯对玉米耐旱性的生理效应[J]. 沈阳农业大学学报, 1990, 21(3), 191-195.
[18] 王海珍, 梁宗锁. 黄土高原乡土树种抗旱生理指标的主成分分析[J]. 塔里木农垦大学学报, 2004, 16(1), 13-15.
[19] 卢纹岱. SPSS for Windows 统计分析[M]. 北京: 电子工业出版社, 2002.
[20] 袁志发, 周静芋. 实验设计与分析[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
[21] 高俊凤. 植物生理学实验技术[M]. 北京: 世界出版社, 1999.
[22] 陈由强, 叶冰莹, 朱锦懋. PV曲线技术比较三种木本植物的水分状况[J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 1999, 15(4), 71-75.

Comprehensive evaluation of effect of brassinolide on drought resistance of seedlings of three tree species

HAN Gang¹, SUN Nan², LI Kai-tong^{3*}

(1. College of Forestry, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Division of Sci-Res, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

3. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, the Chinese Academy of Sciences, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract: Twenty indexes for drought-resistance were measured under simulating soil drought by using potted-seedlings to controlling soil water and dipping roots and spraying leaves of seedlings of *Hippophae rhamnoides* L., *Prunus armeniaca* L. var. *ansu* and *Amorpha fruticosa* L. with brassinolide of different concentrations. Based on that the effect of brassinolide on drought resistance of seedlings of three tree species was comprehensively evaluated by using principal component analysis. The results showed that with concentration between 0.1~0.3 mg/L the values of effect of brassinolide on drought resistance of seedlings of three tree species were higher than that of untreated. The best brassinolide concentration was 0.2 mg/L for effectually increasing drought resistance of seedling of the three tree species.

Keywords: brassinolide; *Hippophae rhamnoides* L.; *Prunus armeniaca* L. var. *ansu*; *Amorpha fruticosa* L.; drought resistance; principal component analysis