

# 金山绣线菊在混合盐碱条件下胁迫因素与胁迫指标的相关性研究

姚 帅 男<sup>1</sup>, 刘 晓 东<sup>1</sup>, 郭 林<sup>1</sup>, 施 冰<sup>2</sup>

(1. 东北林业大学 黑龙江 哈尔滨 150040; 2. 哈尔滨市园林科研所, 黑龙江 哈尔滨 150040)

**摘 要:** 将中性盐 NaCl 和 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>、碱性盐 NaHCO<sub>3</sub> 和 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 按不同比例混合, 模拟出 24 种盐度、碱度各不相同的复杂盐碱条件, 并对金山绣线菊进行盐碱混合胁迫处理。测定其存活率等 8 项胁迫指标, 并分析各种胁迫因素与诸项胁迫指标间的相互关系。结果表明: 胁迫因素 pH 值、CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 对所有胁迫指标均表现出了极显著的相关性, 除可溶性蛋白、可溶性糖外, 其它 6 项胁迫指标均与盐浓度有显著的相关性。Na<sup>+</sup>、盐浓度与各项胁迫指标间的相关系数完全相同, 二者间的相关系数为 1, 该试验的盐胁迫中盐度可完全代表 Na<sup>+</sup>。

**关键词:** 混合盐碱胁迫; 金山绣线菊; 胁迫因素; 胁迫指标; 相关性  
**中图分类号:** S 681.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001—0009(2010)11—0087—03

金山绣线菊(*Spiraea bumalda* ‘Gold mound’)为我国新引进的优良彩色叶地被植物, 目前已在哈尔滨市引种成功, 由于其观赏价值高、适应性强, 是东北地区非常理想的彩叶树种, 据有关报道金山绣线菊具有一定的抗盐碱性<sup>[3-4]</sup>。该试验以金山绣线菊为材料, 通过人工模拟天然盐碱土壤条件, 对其在混合盐碱胁迫下的胁迫指标进行分析, 旨在探讨混合盐碱下金山绣线菊的生理适应特点, 为进一步扩大金山绣线菊适栽面积提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料及培养

试验以 1 a 生金山绣线菊植株作为研究对象, 由哈尔滨市园林科研所提供。用直径 18 cm 的紫砂花盆盛洗净的细河砂做基质进行砂培, 每 3 d 用 Hoagland 营养液浇灌 1 次, 每盆 500 mL, 2 个月后进行盐碱胁迫处理试验。

### 1.2 试验方法

根据黑龙江省西部盐碱地盐分组成, 选定 2 种中性盐 NaCl 和 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 和 2 种碱性盐 NaHCO<sub>3</sub> 和 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, 将 4 种盐按不同比例混合, 以碱性盐所占比例由小到大分为 4 组(见表 1), 每组内又设 6 个盐浓度梯度, 分别为 25、50、75、100、125、150 mmol/L, 从 A 到 D 组间碱性 pH

值依次递增, 从 1 到 6 组间的盐度依次递增。

**表 1 各处理组的盐分组成及其摩尔比**

处理组	盐分与摩尔比			
	NaCl	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	NaHCO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
A	1	1	0	0
B	1	9	9	1
C	1	1	1	1
D	9	1	1	9

选取长势一致的金山绣线菊幼株进行胁迫处理, 将植株分组, 1 组对照, 24 组进行胁迫, 共计 25 组, 每组 10 株, 3 次重复。胁迫处理于下午 16:00~19:00 进行, 对照组用营养液处理, 胁迫组用含有相应浓度混合盐溶液进行处理, 每盆用 500 mL 分 3 次浇灌, 使植株完全处于胁迫状态。每天处理 1 次, 为避免盐冲击效应<sup>[5]</sup> 处理第 1 天各处理组均以 25 mmol/L 为起始浓度, 以后采用每天递增 25 mmol/L 的方式提高盐浓度, 直至达到最大浓度 150 mmol/L(即 6 d 后), 继续再处理 3 d, 直至植株有胁迫致死, 在处理期间人工遮雨排除干扰。

### 1.3 测定方法

处理结束后于次日早 6 时按标号进行采样, 统计存活株数, 测定各项胁迫指标。用乙醇—丙酮混合液浸泡法测叶绿素含量<sup>[5]</sup>; 用酸性茚三酮法测定叶片中脯氨酸含量<sup>[6]</sup>; 用电导仪法测定叶片电解质外渗率<sup>[7]</sup>; 叶片含水量=含水量(%)=(FW-DW)/FW×100%<sup>[8]</sup>; 用硫代巴比妥酸法测定丙二醛的含量<sup>[9]</sup>; 用考马斯亮蓝 G-250 染色法测定可溶性蛋白含量<sup>[10]</sup>; 用蒽酮比色法测定可溶性糖的含量<sup>[6]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 胁迫因素

第一作者简介: 姚帅男(1982-), 女, 硕士, 助教, 研究方向为园林树木栽培与养护。  
通讯作者: 刘晓东(1963-), 男, 教授, 研究方向为园林树木栽培与养护。  
收稿日期: 2010—03—01

各处理液的总盐浓度及  $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$  等离子浓度均根据处理液的实际比例算出。各处

表 2 各处理的胁迫因素数据

处理组	胁迫因素						
	pH 值	盐浓度	$\text{Na}^+$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{HCO}_3^-$	$\text{CO}_3^{2-}$
A <sub>1</sub>	7.08	25	37.50	12.50	12.50	0.00	0.00
A <sub>2</sub>	7.11	50	75.00	25.00	25.00	0.00	0.00
A <sub>3</sub>	7.12	75	112.50	37.50	37.50	0.00	0.00
A <sub>4</sub>	7.13	100	150.00	50.00	50.00	0.00	0.00
A <sub>5</sub>	7.17	125	187.50	62.50	62.50	0.00	0.00
A <sub>6</sub>	7.18	150	225.00	75.00	75.00	0.00	0.00
B <sub>1</sub>	8.39	25	37.50	1.25	11.25	11.25	1.25
B <sub>2</sub>	8.46	50	75.00	2.50	22.50	22.50	2.50
B <sub>3</sub>	8.55	75	112.50	3.75	33.75	33.75	3.75
B <sub>4</sub>	8.62	100	150.00	5.00	45.00	45.00	5.00
B <sub>5</sub>	8.74	125	187.50	6.25	56.25	56.25	6.25
B <sub>6</sub>	8.79	150	225.00	7.50	67.50	67.50	7.50
C <sub>1</sub>	9.35	25	37.50	6.25	6.25	6.25	6.25
C <sub>2</sub>	9.39	50	75.00	12.50	12.50	12.50	12.50
C <sub>3</sub>	9.42	75	112.50	18.75	18.75	18.75	18.75
C <sub>4</sub>	9.50	100	150.00	25.00	25.00	25.00	25.00
C <sub>5</sub>	9.65	125	187.50	31.25	31.25	31.25	31.25
C <sub>6</sub>	9.78	150	225.00	37.50	37.50	37.50	37.50
D <sub>1</sub>	10.07	25	37.50	11.25	1.25	1.25	11.25
D <sub>2</sub>	10.18	50	75.00	22.50	2.50	2.50	22.50
D <sub>3</sub>	10.25	75	112.50	33.75	3.75	3.75	33.75
D <sub>4</sub>	10.32	100	150.00	45.00	5.00	5.00	45.00
D <sub>5</sub>	10.40	125	187.50	56.25	6.25	6.25	56.25
D <sub>6</sub>	10.45	150	225.00	67.50	7.50	7.50	67.50

表 3 各处理的胁迫指标数据

	存活率/ %	叶片含水量/ %	电解质外渗率/ %	叶绿素含量 / $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$	脯氨酸 / $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	丙二醛含量 / $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{FW}$	可溶性蛋白含量 / $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$	可溶性糖含量 / $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$
A <sub>1</sub>	1	0.8395	12.8911	0.8912	44.80	0.0092	6.2055	44.23
A <sub>2</sub>	1	0.8237	16.4802	0.9018	66.94	0.0109	6.3756	39.97
A <sub>3</sub>	1	0.8356	13.0324	0.8703	100.26	0.0102	6.9611	41.50
A <sub>4</sub>	1	0.7793	19.1473	0.8455	155.87	0.0123	6.8546	38.24
A <sub>5</sub>	1	0.7278	28.8763	0.8614	255.72	0.0173	7.0378	35.08
A <sub>6</sub>	1	0.7072	28.0641	0.8453	342.85	0.0203	7.2896	36.17
B <sub>1</sub>	1	0.8464	14.1207	0.8824	100.24	0.0095	5.9922	43.43
B <sub>2</sub>	1	0.7854	20.9679	0.9409	155.28	0.0118	6.0456	46.28
B <sub>3</sub>	1	0.7632	30.7829	0.8701	235.01	0.0120	6.4000	39.11
B <sub>4</sub>	1	0.7266	32.2042	0.8486	460.14	0.0160	6.3983	35.99
B <sub>5</sub>	1	0.6939	47.9921	0.8343	643.28	0.0189	6.3596	37.45
B <sub>6</sub>	0.8	0.6629	49.8691	0.7809	899.20	0.0222	6.4632	38.98
C <sub>1</sub>	1	0.8351	12.0918	0.8432	169.17	0.0110	5.6093	42.15
C <sub>2</sub>	1	0.7688	16.8998	0.8943	242.00	0.0137	5.7145	43.21
C <sub>3</sub>	1	0.7239	23.9586	0.7905	325.74	0.0155	6.0471	41.93
C <sub>4</sub>	0.9	0.6707	47.9051	0.7561	453.94	0.0165	5.8326	38.89
C <sub>5</sub>	0.8	0.5998	56.8714	0.7720	864.67	0.0195	5.7249	40.10
C <sub>6</sub>	0.5	0.5325	65.0316	0.7623	1742.90	0.0257	5.0216	45.87
D <sub>1</sub>	1	0.7923	16.2815	0.8314	251.77	0.0116	5.4967	38.91
D <sub>2</sub>	1	0.7020	22.5794	0.8122	438.60	0.0150	5.2958	41.96
D <sub>3</sub>	0.9	0.6422	42.6525	0.8006	717.88	0.0170	4.9315	38.47
D <sub>4</sub>	0.7	0.5760	49.9746	0.7078	923.96	0.0199	4.8872	40.75
D <sub>5</sub>	0.4	0.4044	71.9296	0.7094	1671.68	0.0281	4.2569	47.82
D <sub>6</sub>	0.3	0.3255	74.9702	0.5917	2152.93	0.0301	4.2135	55.34

理液的 pH 值用 pH S-3C 型数字 pH 计测出。以上述各值为胁迫因素 即 pH 值、盐浓度、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$  (见表 2)。

2.2 胁迫指标

植物的抗盐性是一种综合性状的表现,不同的植物具有不同抗盐机理和方式,就是同一植物的各发育阶段和不同器官对盐胁迫的反应也不一致,抗盐能力也有所区别,所以应当采用多种指标的综合。这样才能够较全面地评价植物抗盐能力的大小(见表 3)。

2.3 胁迫因素与各项胁迫指标间的相关性

为了明确各胁迫因素与不同胁迫指标间的关系,对二者进行相关性分析。结果列于表 4 中,查相关系数显著检验表可知,自由度  $n=24$  时,  $r_{0.05}=0.407$  (相关系数显著)、 $r_{0.01}=0.514$  (相关系数极显著)。结果表明,各因素与 8 项胁迫指标间的相关程度最大的是  $\text{CO}_3^{2-}$ 、pH 值,其次是盐浓度、 $\text{Na}^+$ ,而最小的是  $\text{HCO}_3^-$  与各项胁迫指标均不存在相关性,说明  $\text{HCO}_3^-$  对金山绣线菊在混合盐碱胁迫下的作用不明显,其致胁迫作用可以忽略。在  $\text{Cl}^-$  和 8 项胁迫指标间的相关系数中有 2 项达到极显著水平,4 项达到显著水平; $\text{SO}_4^{2-}$  也有 2 项达到极显著水平,所以  $\text{Cl}^-$  和  $\text{SO}_4^{2-}$  的作用也不可忽略。各项胁迫指标的最大相关因素都是  $\text{CO}_3^{2-}$ ,说明  $\text{CO}_3^{2-}$  对胁迫具有重要的决定性作用。从各因素之间的相关性来看(见表 5),该试验中盐浓度与  $\text{Na}^+$  完全正相关(相关系数为 1)。

表 4 胁迫因素与胁变指标间的相关系数

	pH 值	盐浓度	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>
存活率	-0.563 **	-0.584 **	-0.584 **	-0.498 *	0.206 <sup>NS</sup>	-0.082 <sup>NS</sup>	-0.899 * *
含水量(上)	-0.633 **	-0.709 **	-0.709 **	-0.566 * *	0.110 <sup>NS</sup>	-0.144 <sup>NS</sup>	-0.919 * *
膜透性	0.576 * *	0.782 * *	0.782 * *	0.423 *	0.045 <sup>NS</sup>	0.390 <sup>NS</sup>	0.822 * *
叶绿素	-0.673 * *	-0.590 * *	-0.590 * *	-0.510 *	0.212 <sup>NS</sup>	-0.076 <sup>NS</sup>	-0.902 * *
脯氨酸	0.624 * *	0.679 * *	0.679 * *	0.460 *	-0.109 <sup>NS</sup>	0.232 <sup>NS</sup>	0.883 * *
可溶性蛋白	-0.879 * *	-0.032 <sup>NS</sup>	-0.032 <sup>NS</sup>	-0.115 <sup>NS</sup>	0.746 * *	0.096 <sup>NS</sup>	-0.890 * *
可溶性糖	0.405 *	-0.005 <sup>NS</sup>	-0.005 <sup>NS</sup>	0.133 <sup>NS</sup>	-0.541 * *	-0.158 <sup>NS</sup>	0.614 * *
丙二醛	0.514 * *	0.840 * *	0.840 * *	0.577 * *	0.133 <sup>NS</sup>	0.278 <sup>NS</sup>	0.786 * *

注 NS=not significant(不相关),*r*<sub>0.05</sub> = 0.407, *r*<sub>0.01</sub> = 0.514 *n* = 24. \*在 0.05 水平显著相关, \* \*在 0.01 水平显著相关

表 5 各胁迫因素间的相关系数

	pH 值	盐浓度	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>
pH 值	1						
盐浓度	0.096	1					
Na <sup>+</sup>	0.096	1	1				
Cl <sup>-</sup>	-0.035	0.610 **	0.610 **	1			
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-0.605 * *	0.610 **	0.610 **	0.208	1		
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.147	0.419 * *	0.419 * *	0.464 *	0.443 *	1	
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	0.800 * *	0.419 * *	0.419 * *	0.443 *	-0.464 *	-0.04	1

3 结论

该试验通过对胁迫因素与胁变指标的相关性分析,可以得出,所有胁变指标均与 pH 值有显著的相关性,除可溶性糖以外,其它指标均表现出了与 pH 值极显著相关。其中,存活率、叶片含水量、叶绿素、可溶性蛋白、4 项胁变指标与 pH 值呈负相关;膜透性、脯氨酸、可溶性糖、丙二醛 4 项胁变指标与 pH 值呈正相关, pH 值即碱胁迫对金山绣线菊的影响显著。

胁变因素 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 对所有胁变指标均表现出了极显著的相关性,其中,存活率、叶片含水量、叶绿素、可溶性蛋白 4 项胁变指标与 pH 值呈负相关;膜透性、脯氨酸、可溶性糖、丙二醛 4 项胁变指标与 pH 值呈正相关,这与 pH 值和胁变指标间的相关性一致,表 4 也验证了这一点即 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 与 pH 值两胁迫因素间呈极显著的正相关。

除可溶性蛋白、可溶性糖外,其它 6 项胁变指标均与盐浓度有显著的相关性。其中存活率、叶片含水量、叶绿素 3 项胁变指标与盐浓度呈负相关,膜透性、脯氨酸、丙二醛 3 项胁变指标与盐浓度呈正相关。Na<sup>+</sup>、盐浓度与各项胁变指标间的相关系数完全相同,二者间的相关系数为 1,表明该试验的盐胁迫中盐度可完全代表 Na<sup>+</sup>。

参考文献

[1] 杨玉想.盐碱地区金山绣线菊的繁殖与栽培技术[J].河北林业科技 2005 12(6):51.

[2] 孙文元,李俊英,翟玉柱,等.彩叶花灌木绣线菊的引种与栽培[J].林业实用技术,2006(1):45-46.

[3] 陶晶.东北主要杨树抗盐机理及抗性品种选育的研究[D].哈尔滨:东北林业大学,2002.

[4] 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 2001.

[5] Zhao K F. The Resistance Physiology no Salt of Plant[M]. Beijing: China Science and Technology Press, 1993: 222-223.

Research on Correlation of Stress Factors and Strain Indexe  
in the Salt-alkali Mixed Stress of *Spiraea bumalda* ‘Gold mound’

YAO Shuai-nan<sup>1</sup>, LIU Xiao-dong<sup>1</sup>, GUO Lin<sup>1</sup>, SHI Bing<sup>2</sup>  
(1. Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang 150040; 2. Landscape Research Institute in Harbin, Harbin, Heilongjiang 150040)

**Abstract:** The *Spiraea bumalda* ‘Gold mound’ were stressed with 24 kinds of mixed salts composed of NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NaHCO<sub>3</sub> and Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> at various proportions and differed in salinity and alkalinity each other. Eight strain indexes such as survival rate were determined. The relationships among the all acting factors and strain indexes were statistically analyzed each by each. The results showed that every strain indexes were very significantly related with the pH value and CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>; Except the concent of soluble sugar and soluble protein, six strain indexes were significantly related with salt concentration. Na<sup>+</sup> like salt concentration has the same relationship with all the strain indexes. The correlation coefficient between them was 1, the salt concentration could instead of Na<sup>+</sup> in this experment.

**Key words:** salt-alkali mixed stress; *Spiraea bumalda* ‘Gold mound’; stress factors; strain indexe; correlation