

文章编号: 1671-9352(2024)01-0139-12 DOI: 10.6040/j.issn.1671-9352.0.2023.116

NaCl胁迫下大毒滑锈伞菌对金银花生长及生理特性的响应

慕德宇¹, 李楠¹, 王涛^{2*}, 刘瑾¹, 慕宗昭³, 张靖川⁴

(1. 山东建筑大学风景园林植物研究所, 山东 济南 251010; 2. 威海市城市管理综合服务中心, 山东 威海 264200; 3. 山东省林业外资与工程项目管理站, 山东 济南 251014; 4. 乳山市自然资源局林业产业发展中心, 山东 威海 264200)

摘要:以金银花(*Lonicera japonica*)和大毒滑锈伞菌(*Hebeloma crustuliniforme*)为材料,采用0、60、90、120 mmol/L共4个NaCl浓度的盐胁迫处理,研究了NaCl胁迫下植株根系的大毒滑锈伞菌定殖规律,探明了大毒滑锈伞菌对金银花盆栽苗生长及生理特性的作用机制。结果表明,随着盐浓度的升高,接菌组的脯氨酸含量比对照组的分别高35.98%、141.28%、71.66%、8.79%,且在90、120 mmol/L盐浓度下,大毒滑锈伞菌提高了金银花植株的耐盐性。经相关性和双因素方差分析发现,新梢生长量、分枝增长数与生物量呈显著正相关,脯氨酸与分枝增长数呈极显著负相关。盐胁迫下接种大毒滑锈伞菌能显著降低宿主苗高生长量和显著提高宿主脯氨酸含量,使金银花幼苗通过大量积累脯氨酸来抵御盐分胁迫。

关键词:大毒滑锈伞菌;金银花;菌根真菌;生理特性;耐盐性

中图分类号:S793.9 文献标志码:A

引用格式:慕德宇,李楠,王涛,等.NaCl胁迫下大毒滑锈伞菌对金银花生长及生理特性的响应[J].山东大学学报(理学版),2024,59(1):139-150.

Growth and physiological mechanism study of *H. crustuliniforme* and *Lonicera japonica* symbiotic relationship under salt tolerance

MU Deyu¹, LI Nan¹, WANG Tao^{2*}, LIU Jin¹, MU Zongzhao³, ZHANG Jingchuan⁴

(1. Institute of Ornamental Plants, Shandong Jianzhu University, Jinan 251010, Shandong, China; 2. Weihai City Management Comprehensive Service Center, Weihai 264200, Shandong, China; 3. Shandong Forestry Foreign Investment and Engineering Project Management Station, Jinan 251014, Shandong, China; 4. Forestry Industry Development Center of Rushan Natural Resources Bureau, Weihai 264200, Shandong, China)

Abstract: *Lonicera japonica* and *Hebeloma crustuliniforme* were used as materials in this study. 0, 60, 90 and 120 mmol/L NaCl salt treatments were taken out to study the rule of *H. crustuliniforme* colonization in plant roots and analyze the mechanism of *H. crustuliniforme* on the growth and physiological characteristics of *L. japonica* seedlings. The results showed that with the increase in salt concentration, the proline content in the inoculated group plants was 35.98%, 141.28%, 71.66% and 8.79% higher than that of the control group, respectively. Under the treatment of 90 and 120 mmol/L salt concentration, the salt tolerance of *L. japonica* plants was improved by the *H. crustuliniforme*. The results of correlation and two-way ANOVA indicated that new shoot growth and the number of branch growth were positively correlated with the biomass, and proline showed a highly significant negative correlation with the number of branch growth. *H. crustuliniforme* could significantly reduce the host seedling height growth and increase the host proline content significantly. The inoculation with *H. crustuliniforme* treatment could increase the proline accumulation of *L. japonica* seedlings to resist salt adversity under salt stress.

Key words: *Hebeloma crustuliniforme*; *Lonicera japonica*; mycorrhizal fungi; physiological characteristics; salt resistance

收稿日期:2023-03-23; 网络出版时间:2023-10-10 15:15:40

网络出版地址:https://link.cnki.net/urlid/37.1389.N.20231008.1733.002

基金项目:山东省农业科技资金(林业科技创新)项目(2019LY005)

第一作者简介:慕德宇(1987—),男,副教授,博士,研究方向为林木遗传育种、植物逆境生理、菌根微生物。E-mail:mudeyu@yeah.net

*通信作者简介:王涛(1966—),男,高级工程师,研究方向为景观绿化、森林培育方面工作。E-mail:whaiwangtao@163.com

0 引言

全球大约有 9.5 亿 hm^2 的土壤受到盐渍化的威胁,随着全球气候的改变,土壤盐碱化频率、持续时间及严重程度都在不断增加,严重影响了人类的生存和社会经济的可持续发展,引起了国内外学者的普遍关注^[1-3]。盐碱地已成为制约我国农业生产、林业发展的重要因素^[4]。盐碱是制约植物生长、分布和生存的主要环境因素之一^[5],盐胁迫会导致土壤渗透势降低、离子失衡,打乱植物的生理过程,抑制植物的生长,甚至会导致植物的死亡^[6]。虽然随着时代的进步与科技的发展,盐碱地在技术改良方面取得了很多成果,但仍存在诸如地域、资源、成本等因素的制约,因此挖掘植物耐盐潜能,采用无污染的生物耐盐途径,提高植物的耐盐能力,是提高盐碱地经济、生态和社会效益的有效措施^[7]。

金银花(*Lonicera japonica*)的藤、叶、花皆可入药,有较高药用价值^[8],其水土保持和观赏价值也很高,是一种极具开发潜能的植物,但在种植过程中易受到成活率低、连作障碍、盐碱胁迫、病虫害等影响,产量和品质逐年下降^[9]。常尚连等^[10]研究金银花的耐盐性得出了金银花在生长过程中对盐胁迫非常敏感,当盐体积分数超过 0.4%时金银花植株的生长就会受到一定抑制,当盐体积分数超过 0.8%时金银花植株受害症状明显。金银花根系能与菌根真菌形成良好的共生关系,经过不断演化,其形态结构已经产生了明显的生态适应性^[11];金银花与菌根共生体抗逆性的研究表明,菌根真菌能够在干旱和干湿交替条件下促进金银花的根系生长,在干旱条件下的促进作用更加显著^[12];Jiang 等^[13]的研究表明,金银花与菌根真菌的共生体能够缓解土壤中的金属镉对植株的危害。

大毒滑锈伞菌(*Hebeloma crustuliniforme*)可与松、杉、杨、柳、榆等植物共生形成菌根真菌^[14-16]。Siemens 等^[15]的研究表明,大毒滑锈伞菌能够促进美洲山杨(*Populus tremuloides*)幼苗氮素同化;Onwuchekwa 等^[16]的研究表明,大毒滑锈伞菌能够提高针叶树幼苗的耐盐性和吸水性;Nguyen 等^[17]对盐胁迫条件下黑云杉(*Picea mariana*)、白云杉(*Picea glauca*)、短叶松(*Pinus banksiana*)植株幼苗与大毒滑锈伞菌根真菌共生体进行了研究,结果表明,与 Na_2SO_4 相比,NaCl 对植株的总体危害更大,且大毒滑锈伞菌根真菌在 NaCl 胁迫下对木本植物抵御逆境具有有益影响;Bois 等^[18]研究了温室栽培条件下大毒滑锈伞菌、绒粘盖牛肝菌(*Suillus tomentosus*)、双色蜡膜菌(*Laccaria bicolor*)对白云杉、短叶松(*Pinus bankiana*)幼苗在 NaCl 胁迫条件下的影响,研究表明,接种了大毒滑锈伞菌的短叶松幼苗对高盐胁迫的耐受性最强,且接种外生菌根真菌促进了植株生长,减少了过量盐分对植株的负面影响。

本研究采用 1 年生金银花扦插苗与大毒滑锈伞菌建立共生关系,研究在 NaCl 胁迫下大毒滑锈伞菌对金银花的促生和抗逆境作用,探讨分析金银花生长和生理生化指标变化的成因,探明金银花与大毒滑锈伞菌共生关系建立后的耐盐机理,为盐碱地金银花的开发利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 金银花

选取生长良好,长势均一、健康的 1 年生金银花扦插无菌苗(试验前,株高修剪至 30 cm)为试验材料,种苗来源于山东圣豪植物科技有限公司邹平苗圃基地。

1.1.2 基质

将用于盆栽的泥炭土和珍珠岩基质(采购于丹麦品氏托普泥炭公司)置于 121 $^{\circ}\text{C}$ 的高压灭菌锅内灭菌 1 h,重复 2 次,然后再将 3 份泥炭土与 1 份珍珠岩混合装入规格为 100 mm \times 70 mm \times 85 mm 的聚苯乙烯塑料花盆中,每盆装土 250 g。

1.1.3 大毒滑锈伞菌

大毒滑锈伞菌来源于加拿大阿尔伯塔大学植物生理实验室,由山东建筑大学风景园林实验室制备、扩繁和保存。

1.2 研究方法

1.2.1 实验设计

采用双因素(NaCl、*Hebeloma crustuliniforme*)随机实验设计方法进行研究。因素一为NaCl处理组,其盐溶液梯度为0、60、90、120 mmol/L。因素二为大毒滑锈伞菌处理组,分别为不接种大毒滑锈伞菌的对照组(CK)和接种大毒滑锈伞菌的接菌组(H);每个处理小组2株植物,每小组重复3次,实验共需金银花苗48株,详见表1。

1.2.2 金银花养护

金银花盆栽苗按照设计盐分浓度处理置于相应的托盘中,在条件可控的室内培养。实验期间定期轮换调整各花盆的摆放位置,光照时间为14 h/d,昼夜温度20~25℃,相对湿度为(50±10)%;每周施肥1次(施可得园艺有限公司美乐棵浓缩营养液),按说明配置并使用;通过空调调温、喷水等措施调节温度和湿度^[19]。

1.2.3 菌种的制备与接种

将大毒滑锈伞菌固体培养基切成1.0 cm×1.0 cm×0.5 cm的小块,装入500 mL不加琼脂的液体MMN培养基(modified melin-norkrans medium)内,每瓶装15块,在摇床上摇7~10 d(150 r/min);然后将菌体滤出放入破壁机中打碎,用纯净水稀释至1 L,于盐胁迫前将20 mL菌液沿金银花植物根系注入土壤中,共进行2次,间隔期9~14 d;对照组不接种大毒滑锈伞。

1.2.4 侵染率镜检

用蒸馏水冲洗根系去除土壤杂质,将根系切成1 cm的根段并溶解在体积分数10%的KOH溶液中,并置于60℃的水浴锅中加热20 min,经蒸馏水冲洗后用墨水在50℃条件下染色15 min。每株植株选取10个根段于显微镜载玻片上观察菌根定殖的数量及检测菌根侵染情况^[20]。利用式(1)计算每株金银花根部大毒滑锈伞菌的侵染率。

$$R(\%) = (S/N) \times 100, \quad (1)$$

式中: R 表示侵染率, S 表示镜检有大毒滑锈伞菌的根段数, N 表示总镜检的根段数。

1.2.5 盐胁迫处理

按照实验设计的NaCl盐溶液梯度(0、60、90、120 mmol/L),采用浇灌施盐法,每7 d浇1次,每盆浇0.2 L相应的盐溶液(盐溶液渗漏至托盘为止);对照组以同样的方式浇0.2 L自来水。为了防止盐分过度积累影响试验效果,每10 d对所有试验苗用自来水透洗1次。

1.2.6 各指标参数的测定方法

1.2.6.1 生长指标

于2022年4月3日开始,利用规格为2 m的钢卷尺(精确到0.05 cm)测量金银花苗高生长量(土壤表面至最长枝生长的长度)与新梢生长量,至2022年5月22日结束,每7 d测量1次。

$$H_{GH} = H_2 - H_1, \quad (2)$$

式中: H_{GH} 表示生长量, H_2 表示试验结束时植物高度, H_1 表示植物初始高度。

1.2.6.2 生物量

采收金银花,将根系土壤洗净后分离根与茎,分别称重每株植物地上部和地下部的鲜质量;然后将其分别放入纸袋,置于105℃烘30 min后,再在80℃下烘72 h,再分别称重地上部和地下部的干质量^[21]。

1.2.6.3 叶绿素含量

在实验的每个处理组,随机选取3株金银花用于测定叶片叶绿素含量。按照二甲基亚砜(DMSO)高温提取、80%丙酮稀释的两步快速浸提法^[22]提取样本的叶绿素,分别记录波长为663.6 nm和646.6 nm处的吸光值,计算公式如下:

$$C_a = 12.27A_{663.6} - 2.52A_{646.6}, \quad (3)$$

$$C_b = 20.10A_{646.6} - 4.92A_{663.6}, \quad (4)$$

$$C_T = C_a + C_b = 7.35A_{663.6} + 17.58A_{646.6}, \quad (5)$$

表1 试验处理设计

Table 1 Experimental design

浓度/(mmol·L ⁻¹)	对照组/株	接菌组/株	合计/株
0	6	6	12
60	6	6	12
90	6	6	12
120	6	6	12
合计	24	24	48

式中, C_a 为叶绿素 a 的体积分数(mg/L), C_b 为叶绿素 b 的体积分数(mg/L), C_T 为总叶绿素的体积分数(mg/L), A_{663} 为波长 663.6 nm 处的吸光值, $A_{646.6}$ 为波长 646.6 nm 处的吸光值。

1.2.6.4 相对含水量

采用加热烘干法^[23], 在实验的每个处理组随机选取 3 株金银花用于测定叶片相对含水量, 计算公式如下:

$$R_{wc} = (W_f - W_d) / (W_t - W_d) \times 100\%, \quad (6)$$

式中, R_{wc} 为叶片相对含水量, W_f 为鲜质量, W_t 为饱和质量, W_d 为干质量。

1.2.6.5 脯氨酸含量

采用茚三酮显色法^[23], 在实验的每个处理组随机选取 3 株金银花用于测定植物体内游离脯氨酸的含量, 计算公式如下:

$$C_{proline} = m \times V / W \times A, \quad (7)$$

式中, $C_{proline}$ 为脯氨酸含量($\mu\text{g/g}$), m 为提取液中脯氨酸质量, V 为提取液总体积, W 为样品质量, A 为测定时所吸取样品的体积。

1.2.6.6 可溶性蛋白含量

按照考马斯亮蓝染色法^[23], 在实验的每个处理组随机选取 3 株植物叶片用于测定植物体内可溶性蛋白含量, 计算公式如下:

$$C_{protein} = CV_T / 1\ 000V_S W_F, \quad (8)$$

式中, $C_{protein}$ 为样品中蛋白质的含量(mg/g), C 为可溶性蛋白的浓度(通过标准曲线获得), V_T 为提取液总体积, V_S 为测定时加入样品的体积, W_F 为样品鲜质量。

1.3 数据处理

采用 Excel 2014 进行数据整理。用 SPSS 22.0 统计分析软件对金银花植株的根系定殖情况、生长指标、生物量、地上部和地下部干质量及鲜质量、叶片叶绿素含量、叶片相对含水量、叶片脯氨酸含量、叶片可溶性蛋白含量、叶片超氧化物歧化酶含量等数据进行单因素和多因素方差分析以及相关分析;用 Sigmaplot 14.0 软件对数据进行绘图。

2 结果与分析

2.1 大毒滑锈伞与金银花扦插苗共生体系的建立

图 1 为金银花接种大毒滑锈伞菌 30 d, 再经 56 d 盐胁迫处理后, 大毒滑锈伞菌在金银花植株根系的定殖图片。图 1(a) 为未进行盐胁迫时在 640 倍显微镜下观察到的大毒滑锈伞菌, 结果表明, 大毒滑锈伞菌根真菌已在金银花根系内成功定殖, 且分布密集, 数量多, 已成功进入金银花根系内并有效定殖, 证明 1 年生金银花扦插苗与大毒滑锈伞菌在无盐胁迫下建立了有效的共生体系; 图 1(b) — (e) 分别为盐胁迫实验后各盐浓度梯度胁迫下金银花根系在 160 倍显微镜下观察到的大毒滑锈伞菌, 结果表明, 金银花在各浓度盐胁迫下均与大毒滑锈伞建立了共生关系。

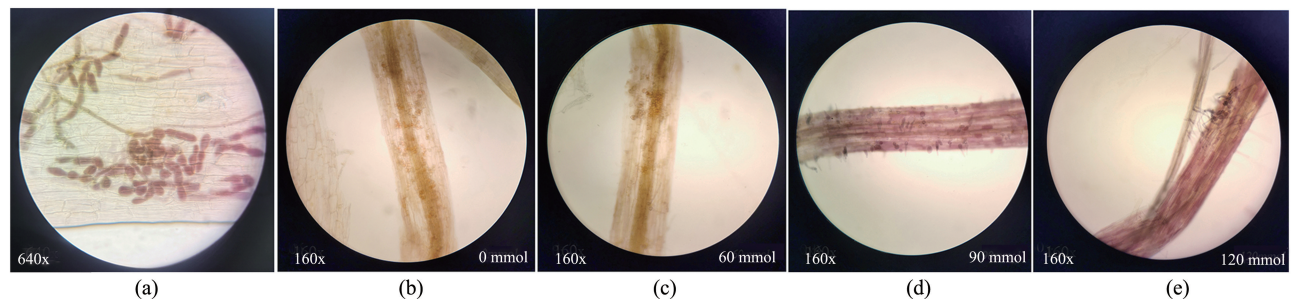


图 1 大毒滑锈伞菌在金银花扦插苗根系定殖

Fig.1 *Hebeloma crustuliniforme* colonizes in the root system of *Lonicera japonica*

表 2 为接种 86 d 后大毒滑锈伞菌在金银花根系的侵染率分析表。由表 2 可知, 大毒滑锈伞菌在各个盐浓度处理的根部侵染率在 56.1% ~ 74.7% 之间; 60 mmol/L 盐浓度处理的侵染率最高, 达 (70.0 ± 4.7)%;

120 mmol/L 盐浓度处理的侵染率最低,为(63.3±7.2)%;各组之间差异不显著。由 60、90、120 mmol/L 盐浓度处理的金银花侵染率分别比 0 mmol/L 的高 4.95%、0.00%、-5.10%,随着盐分浓度的升高,大毒滑锈伞菌在金银花根系的侵染率呈现先升高后下降的趋势。

表 2 大毒滑锈伞菌在金银花植株根系上的侵染率分析表

Table 2 Intensity of colonization by *Hebeloma crustuliniforme* on *Lonicera japonica* cuttings

编号	处理浓度/(mmol/L)	侵染率平均值/%
1	0	66.7±7.2
2	60	70.0±4.7
3	90	66.7±2.7
4	120	63.3±7.2

2.2 大毒滑锈伞对金银花扦插苗生物量影响

经 56 d 的 NaCl 盐胁迫处理后,通过测量金银花植株地上部和地下部的鲜质量与干质量生物量数据,得到盐胁迫下金银花生物量变化趋势柱状图(图 2)。

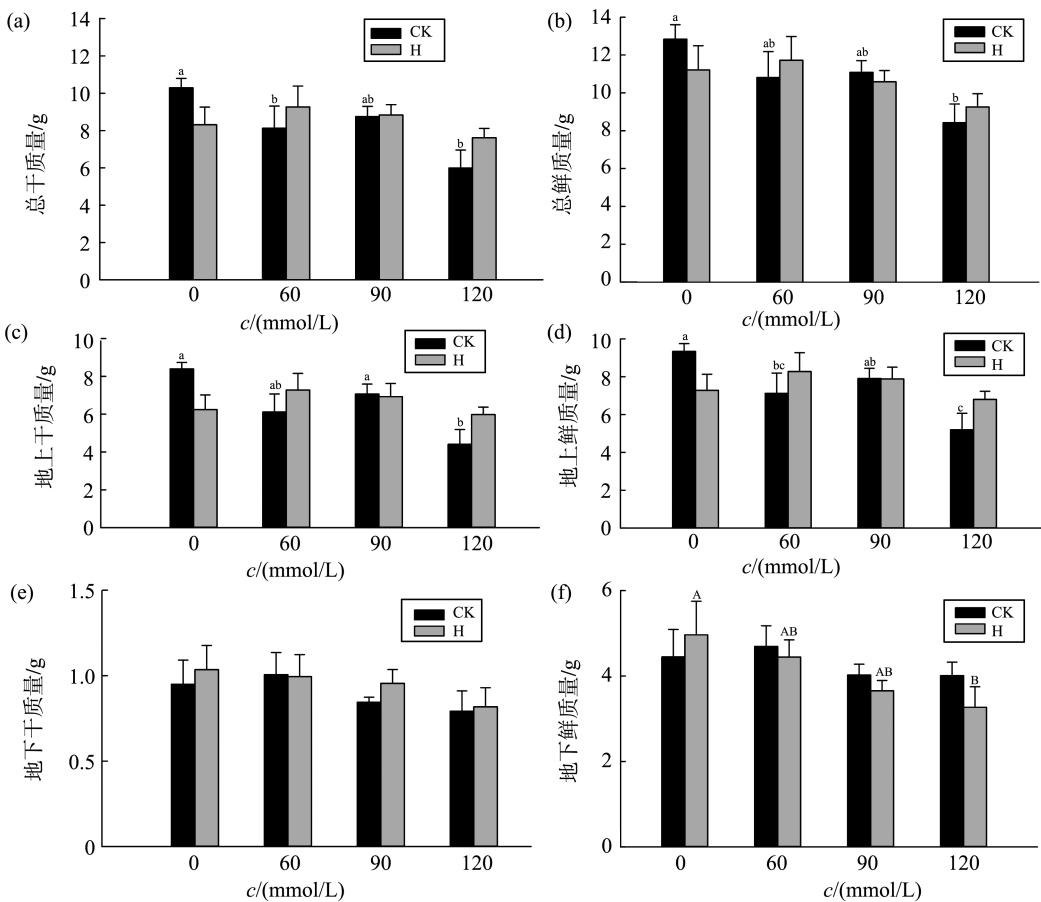


图 2 金银花扦插苗干质量和鲜质量变化趋势柱状图

注:通过 Duncan 多重比较,各指标均值上不同字母表示差异性显著($P < 0.05$)。

Fig.2 Dry weight and fresh weight of *Lonicera japonica*

Note: By Duncan's multiple comparisons, different upper or lower case letters on the means of each indicator indicate significant differences ($P < 0.05$).

接种大毒滑锈伞菌的金银花在 60、90、120 mmol/L 盐浓度处理的总干质量分别比 0 mmol/L 的高 11.47%、6.27%和-8.38%(图(a)),总鲜质量分别比 0 mmol/L 的低-4.59%、5.59%和 17.46%(图(b))。0、60、90、120 mmol/L 盐分浓度处理的接菌组与相同盐浓度处理条件下的对照组相比,接菌组的金银花总干质量分别比对照组的高-19.19%、14.06%、0.97%、27.11%(图(a)),接菌组的金银花总鲜质量分别比对照组的低 12.68%、-8.48%、4.54%、-9.89%(图(b))。

接种大毒滑锈伞菌的金银花在 60、90、120 mmol/L 盐浓度处理的地上干质量分别比 0 mmol/L 的高 16.56%、10.93%和-4.19%(图(c)),地上鲜质量分别比 0 mmol/L 的高 13.65%、8.27%和-6.58%(图 d),地

下干质量分别比 0 mmol/L 的低 3.86%、7.79% 和 21.04% (图(e)), 地下鲜质量分别比 0 mmol/L 的低 10.46%、26.37% 和 34.17% (图(f))。随着 NaCl 浓度处理的增高, 对照组金银花总干质量、总鲜质量、地上干质量、地上鲜质量呈现先降低后升高再降低的波动变化趋势, 地下干质量和地下鲜质量呈现先升高后降低的趋势; 接菌的金银花总干质量、总鲜质量、地上干质量、地上鲜质量呈现先升高后降低的趋势, 地下干质量和地下鲜质量呈现逐渐降低的趋势。

2.3 大毒滑锈伞菌对金银花扦插苗生长量影响

2.3.1 苗高生长量

56 d 盐胁迫实验后, 测量并算出金银花植株苗高增长量, 得到盐胁迫处理后金银花扦插苗生长变化趋势柱状图(图3)。

由图3可知, 相同盐浓度处理条件下, 0、60、90、120 mmol/L 盐处理的金银花苗高生长量, 接菌组分别比对照组低 80.00%、62.22%、52.94% 和 22.22%。在 60、90、120 mmol/L 盐胁迫处理条件下, 接菌组的金银花苗高生长量的分别比 0 mmol/L 的高 -43.33%、33.33% 和 16.67%, 对照组的金银花苗高生长量分别比 0 mmol/L 的低 70.00%、43.33% 和 70.00%。

综上, 对照组金银花植株苗高增长量均大于接菌组植株。随着 NaCl 浓度的升高, 对照组的植株与接菌组的植株苗高生长量均呈现先降低后升高再降低的波动变化趋势。

2.3.2 新梢生长量

图4为56d盐胁迫处理后金银花扦插苗新梢生长量变化趋势柱状图。由图4可以看出, 相同浓度盐分处理条件下, 0、60、90、120 mmol/L 盐分胁迫处理的金银花新梢生长量, 接菌组分别比对照组高 -59.02%、52.81%、201.79% 和 247.92%; 在 60、90、120 mmol/L 盐分胁迫处理条件下, 接菌组金银花新梢生长量分别比 0 mmol/L 的高 172%、238% 和 234%, 对照组金银花新梢生长量分别比 0 mmol/L 的低 27.05%、54.10% 和 60.66%。

综上, 在 60、90、120 mmol/L 盐胁迫处理条件下, 接菌组的金银花新梢生长量均大于对照组。随着 NaCl 浓度的升高, 对照组的植株新梢生长量呈现逐渐降低的趋势; 接种组的植株新梢生长量呈现逐步升高的趋势。

2.3.3 分枝增长数

通过 56 d 盐胁迫试验后测得金银花植株分枝增长数, 再经方差分析获得金银花扦插苗分枝增长数量变化趋势柱状图(图5)。

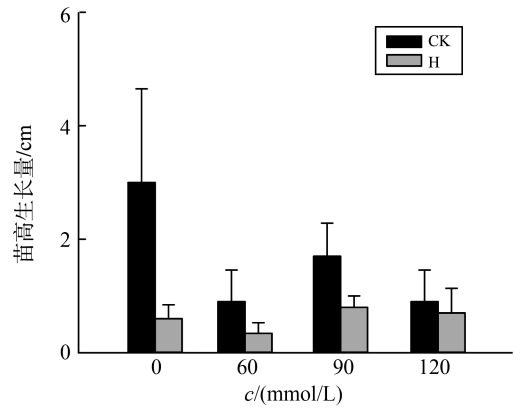


图3 盐胁迫处理后各组植株苗高生长量变化趋势图
Fig.3 Hight growth of seedlings in each group after salt stress treatment

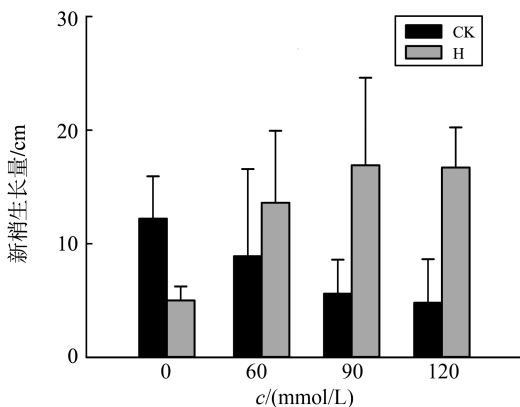


图4 盐胁迫处理后金银花扦插苗新梢生长量变化趋势图
Fig.4 Growth of *Lonicera japonica* new shoots after salt stress treatment

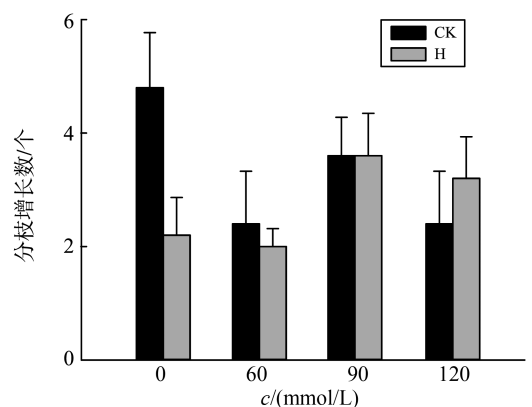


图5 盐胁迫处理后金银花扦插苗分枝增长数变化趋势图
Fig.5 Branch growth of *Lonicera japonica* after salt stress treatment

由图 5 可知,相同浓度盐分处理条件下,经 0、60、90、120 mmol/L 盐胁迫处理的金银花分枝增长数,接菌组分别比对照组降低 54.17%、16.67%、0.00%和-33.33%;在 60、90、120 mmol/L 盐分胁迫处理条件下,接菌组分枝增长数分别比 0 mmol/L 高-9.09%、63.64%和 45.45%,对照组分别比 0 mmol/L 低 50.00%、25.00%和 50.00%。

综上,随着 NaCl 浓度的升高,接菌组与对照组金银花扦插苗分枝增长数均呈现先下降后升高再下降的波动变化趋势。

2.3.4 金银花各项生长指标响应的综合评价

将盐胁迫处理试验后的金银花植株各项生长数据整合后,通过双因素方差分析得到不同盐胁迫条件下接种大毒滑锈伞对金银花各项生长指标影响的平均值平方表,详见表 3。

由表 3 可知,大毒滑锈伞菌显著影响了金银花的苗高增长量($P<0.05$),盐胁迫对金银花的总鲜质量、总干质量、地上鲜质量、地上干质量有显著影响($P<0.05$),大毒滑锈伞菌和盐胁迫的交互作用显著影响了金银花的新梢生长量和地上部分的鲜质量。

表 3 盐胁迫下大毒滑锈伞对金银花生长指标响应的双因素方差分析平均值平方表
Table 3 Two-way ANOVA analysis of the response of *Hebeloma crustuliniforme* growth indexes of *Lonicera japonica* under salt stress

处理	苗高增长量	新梢生长量	分枝增长数	总鲜质量	总干质量	地下鲜质量	地上鲜质量	地下干质量	地上干重
接菌	10.302*	381.306	3.025	0.091	0.482	0.441	0.132	0.027	0.279
盐胁迫	2.772	23.156	4.292	18.534*	12.004*	2.783	8.809*	0.084	10.322*
接菌+盐胁迫	2.336	456.740*	5.292	3.666	6.385	0.701	7.005*	0.008	6.687

注: * $P<0.05$ 水平下,差异性显著。

2.4 盐胁迫下大毒滑锈伞 *Hebeloma* 菌对金银花扦插苗理化指标的响应

2.4.1 叶绿素含量

通过测定金银花植株叶片内叶绿素含量,得到盐胁迫处理后的叶片叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素含量变化趋势柱状图(图 6)。

由图 6 可知,相同浓度盐分处理条件下,经 0、60、90、120 mmol/L 盐胁迫处理的金银花,接菌组与对照组相比,叶绿素 a 含量低 18.97%、1.43%、4.46%和-6.61%(图(a)),叶绿素 b 含量低 24.77%、-0.71%、6.62%和-24.38%(图(b)),总叶绿素含量低 20.38%、0.88%、4.79%和-11.02%(图(c))。60、90、120 mmol/L 盐胁迫处理条件下,接菌组金银花叶绿素 a 含量分别比 0 mmol/L 的高 15.76%、33.13%和 37.93%(图(a)),叶绿素 b 含量分别比 0 mmol/L 的高 36.75%、36.61%和 77.78%(图(b)),总叶绿素含量分别比 0 mmol/L 的高 20.59%、33.93%和 47.10%(图(c))。60、90、120 mmol/L 盐胁迫处理条件下,对照组金银花叶绿素 a 含量分别比 0 mmol/L 的高-4.84%、12.91%和 4.83%(图(a)),叶绿素 b 含量分别比 0 mmol/L 的高 2.16%、10.06%和 7.53%(图(b)),总叶绿素含量分别比 0 mmol/L 的高-3.14%、12.21%和 5.49%(图(c))。

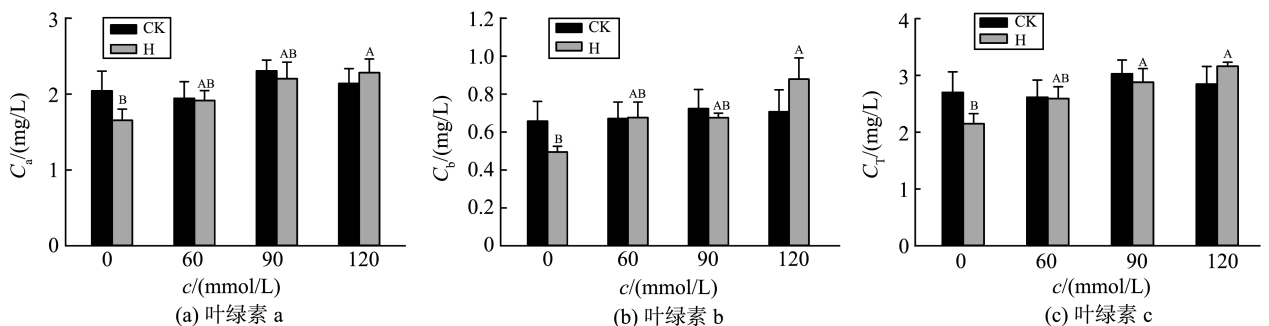


图 6 金银花扦插苗叶绿素含量变化趋势柱状图
Fig.6 Leaf chlorophyll concentrations of *Lonicera japonica*

总之,随着 NaCl 浓度的升高,对照组的植株叶绿素 a 和总叶绿素含量呈现先下降后升高再下降的波动变化趋势,叶绿素 b 含量呈现先升高后下降的变化趋势;接菌组的植株叶绿素 a 和总叶绿素含量呈现逐步升高的趋势,叶绿素 b 呈现先升高后降低再升高的变化趋势。

2.4.2 叶片相对含水量

通过测定金银花植株叶片相对含水量,并经方差分析得到盐胁迫处理 56 d 后金银花扦插苗叶片相对含水量变化趋势柱状图(图 7)。

由图 7 可知,相同浓度盐分处理条件下,经 0、60、90、120 mmol/L 盐胁迫处理的金银花叶片相对含水量,接菌组分别比对照组低 0.69%、-8.12%、2.91% 和 4.11%;在 60、90、120 mmol/L 盐胁迫处理条件下,接菌组金银花叶片相对含水量分别比 0 mmol/L 的低 1.88%、9.13% 和 11.70%,对照组分别比 0 mmol/L 的低 9.87%、7.05% 和 8.55%。

综上,金银花扦插苗随着盐浓度的升高,接菌组金银花叶片相对含水量呈现逐渐下降趋势,对照组金银花叶片相对含水量呈现先降低后升高再降低的波动变化趋势;在 120 mmol/L 盐胁迫下,接菌组与对照组之间存在显著性差异。

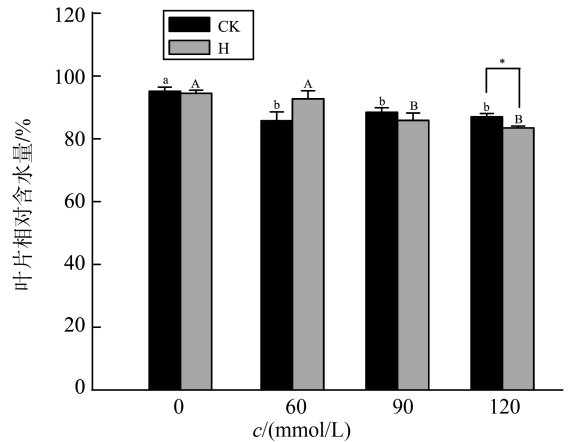


图 7 金银花扦插苗叶片相对含水量变化趋势柱状图
Fig.7 Leaf relative water content of *Lonicera japonica*

2.4.3 脯氨酸含量

通过测定金银花植株叶片脯氨酸含量,得到盐胁迫处理 56 d 后金银花扦插苗叶片脯氨酸含量变化趋势折线图(图 8)。

由图 8 可知,相同浓度盐分处理条件下,经 0、60、90、120 mmol/L 盐胁迫处理的金银花脯氨酸含量,接菌组分别比对照组高 35.98%、141.28%、71.66% 和 8.79%;在 60、90、120 mmol/L 盐胁迫处理条件下,接菌组金银花脯氨酸含量分别比 0 mmol/L 的升高 120.62%、105.06% 和 140.86%,对照组分别比 0 mmol/L 的高 24.34%、62.43% 和 201.06%。

综上,接菌组的植株在相同浓度盐胁迫下脯氨酸含量均高于对照组。随着 NaCl 浓度的升高,对照组的植株脯氨酸含量呈现逐渐升高的趋势,接菌组的植株呈现先升高后降低再升高的趋势。

2.4.4 可溶性蛋白含量

将金银花植株叶片可溶性蛋白含量数据经双因素方差分析,得到金银花扦插苗叶片可溶性蛋白含量变化趋势图(图 9)。

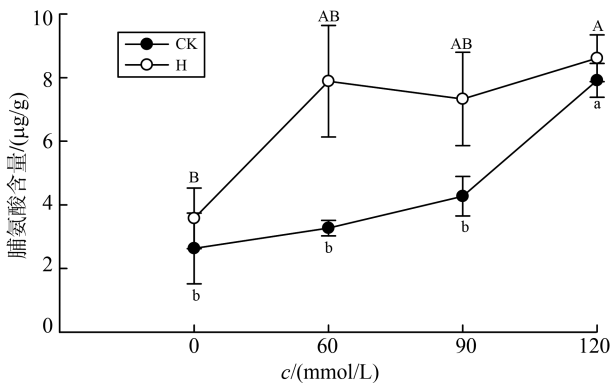


图 8 金银花扦插苗脯氨酸含量变化趋势图
Fig.8 Leaf proline content of *Lonicera japonica*

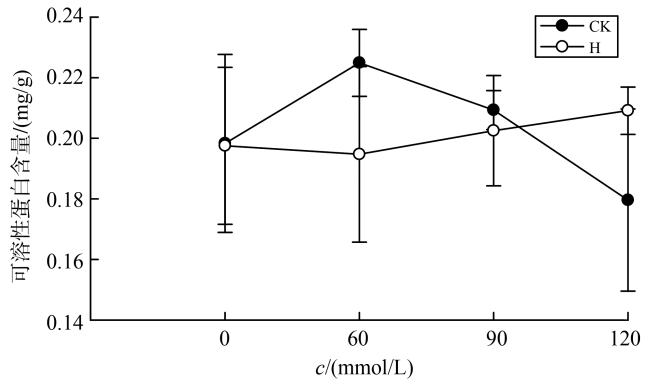


图 9 金银花扦插苗可溶性蛋白含量变化趋势图
Fig.9 Leaf soluble protein content of *Lonicera japonica*

由图 9 可以看出,相同浓度盐分处理条件下,经 0、60、90、120 mmol/L 盐胁迫处理的金银花可溶性蛋白含量,接菌组分别比对照组低 0.42%、13.41%、3.21% 和 -16.46%;在 60、90、120 mmol/L 盐胁迫处理条件下,接菌组金银花可溶性蛋白含量分别比 0 mmol/L 的高 -1.40%、2.55% 和 5.90%,对照组分别比 0 mmol/L 的高 13.39%、5.50% 和 -9.45%。

综上,随着盐浓度的升高,对照组植株可溶性蛋白含量呈现先增加后降低趋势,接菌组植株可溶性蛋白含量呈现先降低后升高趋势。

2.4.5 金银花各项理化指标响应的综合评价

将金银花各项生理指标数值汇总整理,经计算得到不同盐胁迫条件下接种大毒滑锈伞菌对金银花各项理化指标影响的双因素方差分析平均值平方表,见表 4。

表 4 NaCl 盐胁迫下大毒滑锈伞对金银花生理指标响应的双因素方差分析平均值平方表
Table 4 Two-way ANOVA analysis of the response of *Hebeloma crustuliniforme* to physiological indexes of *Lonicera japonica* under NaCl salt stress

处理	叶绿素 a	叶绿素 b	叶绿素	相对含水量	脯氨酸含量	可溶性蛋白含量
接菌	0.053	0.000	0.063	0.001	32.581 **	2.493E-05
盐胁迫	0.245	0.048	0.468	10.273 **	26.689 **	0.000
接菌+盐胁迫	0.073	0.029	0.191	3.405 *	5.180	0.001

注: * $P<0.05$ 水平下差异性显著, ** $P<0.01$ 水平下差异性显著。

由表 4 可知,接种大毒滑锈伞菌的处理极显著地影响了金银花脯氨酸含量,盐胁迫对金银花叶片相对含水量、脯氨酸含量的影响差异极显著,大毒滑锈伞菌和盐浓度交互作用显著影响了金银花的叶片相对含水量。

2.5 盐胁迫下大毒滑锈伞菌对金银花扦插苗各项指标间的相关性分析

通过对金银花植株各单项指标数据的分析,并不能确定在盐胁迫条件下大毒滑锈伞菌与金银花扦插苗各项指标之间是否存在相关以及之间的相关程度,因此有必要对金银花扦插苗各项指标间的相关性进行准确的分析。将金银花各项生长指标、生理生化指标的相关数据进行整合处理,运用 Pearson 双变量相关性分析,得到盐胁迫对金银花扦插苗生长指标及生理指标影响的相关性分析值表,见表 5。

表 5 NaCl 盐胁迫下大毒滑锈伞菌对金银花扦插苗生长指标及理化指标影响的相关性分析表
Table 5 Correlation analysis of the effects of *Hebeloma crustuliniforme* on the growth indexes and physicochemical indexes of *Hebeloma japonica* under NaCl salt stress

指标	苗高生长量	新梢生长量	分枝增长数	总鲜质量	总干质量	地下鲜质量	地上鲜质量	地下干质量	地上干质量	叶绿素 a 含量	叶绿素 b 含量	总叶绿素含量	相对含水量	脯氨酸含量	可溶性蛋白含量
苗高生长量	1														
新梢生长量	0.153	1													
分枝增长数	-0.048	-0.182	1												
总鲜质量	0.104	0.277	0.305	1											
总干质量	0.155	0.342 *	0.325 *	0.959 **	1										
地下鲜质量	-0.071	0.024	0.148	0.704 **	0.489 **	1									
地上鲜质量	0.183	0.355 *	0.316 *	0.898 **	0.977 **	0.320 *	1								
地下干质量	-0.015	0.143	0.212	0.746 **	0.635 **	0.875 **	0.453 **	1							
地上干质量	0.169	0.350 **	0.323 *	0.936 **	0.995 **	0.413 **	0.993 **	0.554 **	1						
叶绿素 a 含量	0.408 *	0.168	0.101	-0.329	-0.280	-0.285	-0.290	-0.138	-0.286	1					
叶绿素 b 含量	0.168	0.237	0.007	-0.187	-0.126	-0.276	-0.076	-0.218	-0.104	0.677 **	1				
总叶绿素含量	0.358	0.218	0.076	-0.306	-0.249	-0.304	-0.239	-0.176	-0.246	0.967 **	0.841 **	1			
叶片相对含水量	0.096	-0.391	0.299	0.318	0.250	0.326	0.240	0.177	0.247	-0.336	-0.356	-0.369	1		
脯氨酸含量	-0.157	0.297	-0.527 **	-0.381	-0.328	-0.352	-0.318	-0.227	-0.326	0.119	0.292	0.188	-0.409 *	1	
可溶性蛋白	-0.314	0.049	-0.245	0.048	0.060	0.072	0.019	0.154	0.042	-0.060	-0.214	-0.117	-0.228	-0.094	1

注: * $P<0.05$ 水平下显著相关; ** $P<0.01$ 水平下极显著相关。

由表 5 得知,苗高生长量与叶绿素 a 含量呈显著正相关($P<0.05$);新梢生长量与总干质量、地上鲜质量呈显著正相关($P<0.05$),与地上干质量呈极显著正相关($P<0.01$);分枝增长数与总干质量、地上鲜质量、地上干质量呈显著正相关($P<0.05$),与脯氨酸呈极显著负相关($P<0.01$);总鲜质量与总干质量、地下鲜质量、地上鲜质量、地下干质量、地上干质量呈极显著正相关($P<0.01$);总干质量与地下鲜质量、地上鲜质量、地下干质量、地上干质量呈极显著正相关($P<0.01$);地下鲜质量与地上鲜质量呈显著正相关($P<0.05$),与地下干质量、地上干质量呈极显著正相关($P<0.01$);地上鲜质量与地下干质量、地上干质量呈极显著正相关($P<0.01$);地下干质量与地上干质量呈极显著正相关($P<0.01$);叶绿素 a 含量与叶绿素 b、总叶绿素含量呈极显著正相关($P<0.01$);叶绿素 b 含量与总叶绿素含量呈极显著正相关($P<0.01$);叶片相对含水量与脯氨酸含

量呈显著负相关($P < 0.05$)。

3 讨论

生长是体现植株适应胁迫的重要指标。菌根真菌与宿主植物共生后,是否一定对植物有促生和抗逆作用,不同的学者研究的结论各不相同。Bois 等^[18]的研究表明,接种外生菌根真菌促进了植物的生长。Thomson 等^[24]的研究表明,外生菌根真菌对植物的生长没有影响;而 Eltrop 等^[25]的研究表明,外生菌根真菌能够使植物的生长速率降低;Tinker 等^[26]的研究表明,外生菌根真菌的生长不利于植物的生长;Correa 等^[27]的研究表明,外生菌根真菌对不同年龄植株和不同初始营养状态植株在植物生长方面的影响不同,因此,外生菌根真菌对不同植物及不同生长条件的植物有不同影响。本研究表明,NaCl 盐胁迫下 *Hebeloma crustuliniforme* 菌抑制了金银花植株的苗高生长,但对新梢生长有一定促进作用,表明 *Hebeloma crustuliniforme* 菌的接种对金银花的生长有影响。

生物量的积累是适应逆境的重要体现方式,生物量是植物耐盐性的重要指标之一,不同外生菌根真菌对植物生物量的影响不同。Bois 等^[18]的研究指出,*Hebeloma crustuliniforme* 菌在短叶松上的定殖显示出较低的生物量变化,*Hebeloma crustuliniforme* 菌在 200 mmol/L 盐浓度下增强了加拿大短叶松的抗性。本研究双因素分析(表 3)表明,盐胁迫显著影响了金银花的总鲜质量、总干质量、地上鲜质量、地上干质量,盐胁迫和大毒滑锈伞菌的交互作用显著影响了金银花植株的地上鲜质量,说明在高浓度 NaCl 胁迫条件下,接种大毒滑锈伞菌对金银花生物量具有一定促进作用。

叶绿素是植物响应盐胁迫的重要光合指标,在盐胁迫过程中会分解,进而导致无色代谢产物的积累^[28]。研究表明,外生菌根真菌能提高植物的光合能力。Wen 等^[29]的研究表明,外生菌根真菌的接种能够显著提升盐胁迫下柞柳幼苗的叶绿素 a 含量;Shi 等^[30]的研究显示,盐胁迫下外生菌根真菌能够减少光补偿点并显著提高植物叶绿素含量来使黑松适应弱光环境,说明外生菌根真菌可以提高黑松在弱光下的竞争力。本研究中,大毒滑锈伞菌在金银花上的定殖对叶绿素含量无显著影响,在盐浓度 120 mmol/L 时,接种大毒滑锈伞菌的金银花较未接种的积累了更多的叶绿素,原因可能是金银花耐盐性较强。

渗透调节物质是研究植物盐胁迫的重要生理指标,脯氨酸被认为是许多植物受到盐胁迫或干旱胁迫时明显积累的渗透调节物质^[31]。许卉等^[32]在盐胁迫对金银花生理生化影响的研究中指出,脯氨酸可以作为衡量金银花耐盐能力的重要指标。温祝桂等^[33]的研究表明,与非菌根化幼苗相比,接种外生菌根真菌的黑松体内脯氨酸含量更高。本研究中,随着 NaCl 胁迫的增加,不接菌的金银花植株体内脯氨酸含量逐渐升高,与许卉的结论相似;接种大毒滑锈伞菌的金银花植株在 60~120 mmol/L 盐胁迫浓度条件下植株的脯氨酸含量高于对照组,表明大毒滑锈伞菌通过提高金银花体内脯氨酸含量来抵御 NaCl 的胁迫。

4 结论

大毒滑锈伞菌在金银花根系中的定殖降低了植株苗高生长量,但在盐胁迫环境下增加了新梢生长量,说明大毒滑锈伞菌能够通过降低苗高生长量来促进植株新梢的生长,尤其在 90~120 mmol/L 盐浓度处理下,大毒滑锈伞菌提高了金银花植株的耐盐性。

通过对金银花群体各项指标间的相关性分析发现,3 个生长指标中的新梢生长量、分枝增长数与生物量指标呈现显著正相关;脯氨酸与分枝增长数呈极显著负相关,与叶片相对含水量呈显著负相关。

通过双因素方差分析表明,盐胁迫处理条件下,与未接种处理相比,接种大毒滑锈伞菌根真菌能够显著提高金银花幼苗的脯氨酸含量,从而提高金银花耐盐性。

参考文献:

[1] 张建锋,张旭东,周金星,等.世界盐碱地资源及其改良利用的基本措施[J].水土保持研究,2005,21(6):32-34.

ZHANG Jianfeng, ZHANG Xudong, ZHOU Jinxing, et al. World resources of saline soil and main amelioration measures[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2005, 21(6):32-34.

- [2] 李建国,濮励杰,朱明,等.土壤盐渍化研究现状及未来研究热点[J].地理学报,2012,67(9):1233-1245.
LI Jianguo, PU Lijie, ZHU Ming, et al. The present situation and hot issues in the salt-affected soil research[J]. Acta Geographica Sinica, 2012, 67(9):1233-1245.
- [3] 李彬,王志春,孙志高,等.中国盐碱地资源与可持续利用研究[J].干旱地区农业研究,2005,23(2):154-158.
LI Bin, WANG Zhichun, SUN Zhigao, et al. Resources and sustainable resource exploitation of salinized land in China[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2005, 23(2):154-158.
- [4] 杨劲松.中国盐渍土研究的发展历程与展望[J].土壤学报,2008,61(5):837-845.
YANG Jinsong. Development and prospect of the research on salt-affected soils in China[J]. Acta Pedologica Sinica, 2008, 61(5):837-845.
- [5] 王宝山,赵可夫,邹琦.作物耐盐机理研究进展及提高作物抗盐性的对策[J].植物学通报,1997,15(S1):26-31.
WANG Baoshan, ZHAO Kefu, ZOU Qi. Advances in mechanism of crop salt tolerance and strategies for raising crop salt tolerance[J]. Chinese Bulletin of Botany, 1997, 15(S1):26-31.
- [6] 王隼珍,刘倩,高娅妮,等.植物对盐碱胁迫的响应机制研究进展[J].生态学报,2017,37(16):5565-5577.
WANG Quanzhen, LIU Qian, GAO Yani, et al. Review on the mechanism of the response to salinity-alkalinity stress in plants[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(16):5565-5577.
- [7] 王东明,贾媛,崔继哲.盐胁迫对植物的影响及植物盐适应性研究进展[J].中国农学通报,2009,25(4):124-128.
WANG Dongming, JIA Yuan, CUI Jizhe. Advances in research on effects of salt stress on plant and adaptive mechanism of the plant to salinity[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25(4):124-128.
- [8] 彭莎,霍晓乾,霍梦琪,等.基于系统中药学的金银花清热解毒功效标志物研究[J].中国中药杂志,2020,45(14):3275-3281.
PENG Sha, HUO Xiaoqian, HUO Mengqi, et al. Study on efficacy marker of heat-clearing and detoxifying effect of *Lonicera Japonica* based on systematic traditional Chinese medicine[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2020, 45(14):3275-3281.
- [9] 肖美凤,刘文龙,周晋,等.金银花和山银花的研究现状及质量控制的关键问题[J].中草药,2018,49(20):4905-4911.
XIAO Meifeng, LIU Wenlong, ZHOU Jin, et al. Research status of *Lonicera japonica* and *Lonicera hypoglauca* and its key issues for quality control[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2018, 49(20):4905-4911.
- [10] 常尚连,申苗,张立宾,等.黄河三角洲地区金银花的耐盐性[J].北方园艺,2016(20):162-164.
CHANG Shanglian, SHEN Miao, ZHANG Libin, et al. Salt tolerance of *Lonicerae japonicae* in the Yellow River Delta[J]. Northern Horticulture, 2016(20):162-164.
- [11] 张翔鹤.金银花根围AM真菌时空分布及其与碳氮关系研究[D].保定:河北大学,2012.
ZHANG Xianghe. Research of AM fungal distribution and the relationship with soil carbon and nitrogen in the rhizosphere of *Lonicera japonica*[D]. Baoding: Hebei University, 2012.
- [12] 刘锦春,马晔,陶建平,等.丛枝菌根真菌对西南岩溶地区干旱及干湿交替下金银花根系生长的影响[J].北京林业大学学报,2015,37(10):110-116.
LIU Jinchun, MA Hua, TAO Jianping, et al. Effects of AM fungus on root growth of *Lonicera japonica* under alternate dry and wet conditions in karst regions of southwestern China[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2015, 37(10):110-116.
- [13] JIANG Qiuyun, ZHUO Feng, LONG Shihui, et al. Can arbuscular mycorrhizal fungi reduce Cd uptake and alleviate Cd toxicity of *Lonicera japonica* grown in Cd-added soils? [J]. Scientific Reports, 2016, 6(1):1-9.
- [14] EBERHARDT U, BEKER H, VESTERHOLT J. Decrypting the *Hebeloma crustuliniforme* complex: european species of *Hebeloma* section *Denudata* subsect *Denudata* (Agaricales)[J]. Persoonia, 2015, 35(1):101-147.
- [15] SIEMENS J A, ZWIAZEK J J. Root hydraulic properties and growth of balsam poplar (*Populus balsamifera*) mycorrhizal with *Hebeloma crustuliniforme* and *Wilcoxina mikolae* var. *mikolae*[J]. Mycorrhiza, 2008, 18(8):393-401.
- [16] ONWUCHEKWA N E, ZWIAZEK J J, QUORESHI A, et al. Growth of mycorrhizal jack pine (*Pinus banksiana*) and white spruce (*Picea glauca*) seedlings planted in oil sands reclaimed areas[J]. Mycorrhiza, 2014, 24(6):431-441.
- [17] NGUYEN H, CALVO P M, ZWIAZEK J J. Gas exchange and growth responses of ectomycorrhizal *Picea mariana*, *Picea glauca*, and *Pinus banksiana* seedlings to NaCl and Na₂SO₄[J]. Plant Biology (Stuttgart, Germany), 2006, 8(5):646-652.
- [18] BOIS G, BIGRAS F J, BERTRAND A, et al. Ectomycorrhizal fungi affect the physiological responses of *Picea glauca* and *Pinus banksiana* seedlings exposed to a NaCl gradient[J]. Tree Physiology, 2006, 26(9):1185-1196.
- [19] MU Deyu, CHEN Ding. Developing a salinity tolerance indicator for tree varieties at challenging sites and urban forests based on inferences of physiological responses: an example of *Ulmus pumila*[J]. Trees, 2021, 36(2):593-607.

- [20] 补春兰,晏梅静,董廷发,等.接种丛枝菌根真菌对不别同性别合栽模式下桑树生物量、光合及侵染率的影响[J].植物生理学报,2022,58(11):2181-2190.
BU Chunlan, YAN Meijing, DONG Yanfa, et al. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) on biomass, photosynthetic characteristics and infection rate of mulberry (*Morus alba*) in different combination groups [J]. Plant Physiology Journal, 2022, 58(11):2181-2190.
- [21] 祁琳,曹帮华,刘炜,等.盐胁迫对刺槐幼苗生长、 ^{15}N 和 ^{13}C 分配利用特性的影响[J].山东大学学报(理学版),2022,57(3):10-19.
QI Lin, CAO Banghua, LIU Yi, et al. Effect of salt stress on seedlings growth, utilization and distribution characteristics of ^{15}N and ^{13}C in *Robinia pseudoacacia* [J]. Journal of Shandong University (Natural Science), 2022, 57(3):10-19.
- [22] 邱念伟,王修顺,杨发斌,等.叶绿素的快速提取与精密测定[J].植物学报,2016,51(5):667-678.
QIU Nianwei, WANG Xiushun, YANG Fabin, et al. Fast extraction and precise determination of chlorophyll [J]. Chinese Bulletin of Botany, 2016, 51(5):667-678.
- [23] 张治安,陈展宇.植物生理学实验技术[M].长春:吉林大学出版社,2008:22-195.
ZHANG Zhian, CHEN Zhanyu. Experimental techniques in plant physiology [M]. Changchun: Jilin University Press, 2008: 22-195.
- [24] THOMSON B D, GROVE T S, MALAJCZUK N, et al. The effectiveness of ectomycorrhizal fungi in increasing the growth of *Eucalyptus globulus* Labill. relation to root colonization and hyphal development in soil [J]. New Phytologist, 1994, 126(3):517-524.
- [25] ELTROP L, MARSCHNER H. Growth and mineral nutrition of non-mycorrhizal and mycorrhizal Norway spruce (*Picea abies*) seedlings grown in semi-hydroponic sand culture [J]. New Phytologist, 1996, 133(3):479-486.
- [26] TINKER P B, DURALL D M, JONES M D. Carbon use efficiency in mycorrhizas: theory and sample calculations [J]. Phytol, 1994, 128(1):115-122.
- [27] CORREA A, STRASSER R J, MARTINS-LOUCAO M A. Are mycorrhiza always beneficial? [J]. Plant and Soil, 2006, 279(12):65-73.
- [28] 马祥,贾志峰,刘勇.盐胁迫下燕麦光合及叶绿素代谢变化研究[J].青海畜牧兽医杂志,2021,51(3):7-14.
MA Xiang, JIA Zhifeng, LIU Yong. Study on photosynthesis and chlorophyll metabolism of *Avena sativa* L. under salt stress [J]. Chinese Qinghai Journal of Animal and Veterinary Sciences, 2021, 51(3):7-14.
- [29] WEN Zhugui, XING Jinchun, LIU Chong, et al. The effects of ectomycorrhizal inoculation on survival and growth of *Pinus thunbergii* seedlings planted in saline soil [J]. Symbiosis, 2022, 86(1):71-80.
- [30] SHI Liang, WANG Jie, LIU Binhao, et al. Ectomycorrhizal fungi reduce the light compensation point and promote carbon fixation of *Pinus thunbergii* seedlings to adapt to shade environments [J]. Mycorrhiza, 2017, 27(8):823-830.
- [31] LERNER H R. Adaptation to salinity at the plant cell level [J]. Plant Soil, 1985, 89(13):3-14.
- [32] 许卉,赵丽萍.盐胁迫对金银花生理生化的影响[J].湖北林业科技,2007,36(1):9-12.
XU Hui, ZHAO Liping. Effects of salt stress on physiology and biochemistry of *Lonicera japonica* [J]. Hubei Forestry Science and Technology, 2007, 36(1):9-12.
- [33] 温祝桂,朱小梅,刘冲,等.两株外生菌根真菌对盐渍土壤中黑松幼苗生长的影响[J].中南林业科技大学学报,2019,39(4):22-27.
WEN Zhugui, ZHU Xiaomei, LIU Chong, et al. Effects of two ectomycorrhizal fungi on growth of *Pinus thunbergii* seedlings planted in saline soil [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2019, 39(4):22-27.

(编辑:于善清)