

3种根瘤菌对干旱和盐胁迫条件下穿心莲种子萌发的影响^Δ

石志棉*, 杜勤#, 苏雨苗, 刘潇晗(广州中医药大学中药学院, 广州 510006)

中图分类号 R931.2 文献标志码 A 文章编号 1001-0408(2019)22-3104-05

DOI 10.6039/j.issn.1001-0408.2019.22.16

摘要 目的:研究费氏中华根瘤菌、放射型根瘤菌和田菁茎瘤固氮根瘤菌对干旱和盐胁迫条件下穿心莲种子萌发的影响。方法:采用聚乙二醇6000(以下简称“PEG”)和氯化钠(NaCl)浸种处理,分别建立穿心莲种子的干旱胁迫和盐胁迫模型。采用培养皿纸上发芽法,考察不同浓度PEG(0.05、0.10、0.15、0.20、0.25 g/mL)和NaCl(50、100、150、200 mmol/L)对穿心莲种子萌发指标(发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数)的影响;分别采用费氏中华根瘤菌、放射型根瘤菌和田菁茎瘤固氮根瘤菌对穿心莲种子进行预处理后,同法考察其在干旱胁迫或盐胁迫条件下的各项萌发指标。结果:选取0.15 g/mL PEG溶液和50 mmol/L NaCl溶液分别构建穿心莲种子干旱胁迫和盐胁迫模型。费氏中华根瘤菌预处理可显著提高干旱胁迫条件下穿心莲种子的各项萌发指标以及盐胁迫条件下的发芽指数和活力指数,但同时可显著降低盐胁迫条件下的发芽率和发芽指数($P < 0.05$);放射型根瘤菌处理可显著提高干旱胁迫条件下穿心莲种子各项萌发指标以及盐胁迫条件下的发芽势、发芽指数和活力指数($P < 0.05$);田菁茎瘤固氮根瘤菌预处理可显著提高干旱胁迫条件下穿心莲种子的发芽率、发芽指数和活力指数以及盐胁迫条件下的发芽率和发芽势($P < 0.05$)。结论:3种根瘤菌处理均可在不同程度上改善穿心莲种子在干旱或盐胁迫条件下的发芽能力。本研究可为干旱条件下穿心莲的种植和栽培,以及将滩涂地区作为穿心莲的种植地提供技术支持。

关键词 穿心莲;种子;萌芽;根瘤菌;干旱胁迫;盐胁迫

Effects of 3 Kinds of Rhizobia on Germination of *Andrographis paniculata* Seed under Drought and Salt Stress Condition

SHI Zhimian, DU Qin, SU Yumiao, LIU Xiaohan (School of Pharmaceutical Sciences, Guangzhou University of TCM, Guangzhou 510006, China)

- 乳链球菌的药效研究[J].生态科学,2015,34(3):26-30.
- [12] CHINTALURI AK, KOMARRAJU AL, CHINTALURI VK, et al. Comparative study of antimicrobial activity of essential oils of selected plants of Rutaceae and TLC bioautographic studies for detection of bioactive compounds [J]. *J Essent Oil Res*, 2015, 27(1):9-16.
- [13] MUSTAFA A, NESLIHAN S. Antimicrobial, DPPH scavenging and tyrosinase inhibitory activities of *Thymus vulgaris*, *Helichrysum arenarium* and *Rosa damascena* Mill. ethanol extracts by using TLC bioautography and chemical screening methods[J]. *J Liq Chromatogr Relat Technol*, 2019. DOI: 10.1080/10826076.2019.1591977.
- Δ基金项目:广东省科技计划项目(No.2015A030302070、2016A030303052);2018年省级中药资源普查项目(No.GZYKJS-2018-004)
- *硕士研究生。研究方向:药用植物与生物技术。E-mail: 877475487@qq.com
- #通信作者:教授,硕士生导师,博士。研究方向:药用植物与生物技术。电话:020-39356380。E-mail:duqin@gzucm.edu.cn
- [14] 陈瑞娟,毕金峰,陈芹芹,等.胡萝卜的营养功能、加工及其综合利用研究现状[J].食品与发酵工业,2013,39(10):201-206.
- [15] 许俊洁,卢金清,李肖爽,等.神农香菊挥发油体外抗氧化活性的谱效关系研究[J].药物分析杂志,2016,36(10):1823-1830.
- [16] 赵李宏,吴建梅,武凤兰.α-细辛脑近10年研究概述[J].中国中药杂志,2007,27(7):562-565.
- [17] YANG DP, WANG FS, ZHANG HD. Chemical constituents and antifungal activities of essential oil from leaves of *Phoebe faberi*[J]. *GUIHAIA*, 2000, 20(2):181-184.
- [18] HUA X, YANG Q, ZHANG W, et al. Antibacterial activity and mechanism of action of aspidinol against multi-drug-resistant methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* [J]. *Front Pharmacol*, 2018. DOI: 3389/fphar.2018.00619.
- [19] 王陈翔,林观祥,周子晔. GC-MS法测定山鸡椒叶中挥发油成分[J].中华中医药学刊,2011,29(8):1898-1899.
- (收稿日期:2018-11-29 修回日期:2019-09-27)
(编辑:段思怡)

ABSTRACT OBJECTIVE: To study the effects of *Sinorhizobium fredii*, *Rhizobium radiobacter* and *Azorhizobium caulinodans* on germination of *Andrographis paniculata* seed under drought and salt stress condition. METHODS: Drought and salt stress models of *A. paniculata* seed were established with PEG-6000 (called "PEG" for short) and NaCl respectively. The effects of different concentrations of PEG (0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25 g/mL) and NaCl (50, 100, 150, 200 mmol/L) on the germination indicators (germination rate, germination potential, germination index, vigor index) of *A. paniculata* seed were investigated by the method of germination on dish paper. The seeds were soaked with *S. fredii*, *R. radiobacter* and *A. caulinodans*, and then germination indicators were investigated under the condition of drought and salt stress. RESULTS: Drought and salt stress models of *A. paniculata* seed were established with 0.15 g/mL PEG solution and 50 mmol/L NaCl solution, respectively. *S. fredii* pretreatment could significantly improve all the germination indicators of *A. paniculata* seed under drought stress condition, as well as germination index and vigor index of it under salt stress condition, but significantly reduce germination rate and germination index of it under salt stress condition ($P < 0.05$). *R. radiobacter* treatment could significantly improve all the germination indicators of *A. paniculata* seed under drought stress condition, as well as germination potential, germination index and vigor index of it under salt stress condition ($P < 0.05$). *A. caulinodans* pretreatment could significantly improve germination rate, germination index and vigor index of *A. paniculata* seed under drought stress condition, as well as germination rate and germination potential of it under salt stress condition ($P < 0.05$). CONCLUSIONS: Three kinds of Rhizobia can improve germination ability of *A. paniculata* seed under drought or salt stress condition to different degrees. This research can provide technical support for planting and cultivation of *A. paniculata* under drought condition, and using saline-alkali soil as *A. paniculata* plantation area.

KEYWORDS *Andrographis paniculata*; Seed; Germination; Rhizobia; Drought stress; Salt stress

穿心莲来源于爵床科植物穿心莲[*Andrographis paniculata* (Burm. f.) Nees], 以地上部分入药; 其味苦, 性寒, 具有清热解毒、凉血、消肿等功效, 临床上用于治疗感冒发热、咽喉肿痛、口舌生疮、顿咳劳嗽、泄泻痢疾、热淋涩痛、痈肿疮疡、蛇虫咬伤等^[1]。穿心莲的临床应用范围广, 现代药理研究显示其在心血管系统疾病、呼吸系统疾病、胃肠道系统等疾病领域均有广泛的应用前景^[2-4]。穿心莲以种子繁殖, 其种子细小、表面有蜡质层, 种皮较坚硬、透性差, 需在温暖湿润的条件下才能萌发^[5]。

多种根瘤菌具有耐干旱和耐盐的特点^[6], 接种于植物后能显著提高后者的抗旱性^[7], 并可有效缓解盐碱胁迫对植物造成的伤害, 提高植物对盐碱的耐受力^[8-9]。本研究采用3种常用根瘤菌(费氏中华根瘤菌、放射型根瘤菌和田菁茎瘤固氮根瘤菌)浸种的方式, 在干旱和盐胁迫条件下考察其对穿心莲种子萌发的影响, 筛选出能提高穿心莲抗旱、抗盐特性的优良菌种, 为发掘优良的根瘤菌种质资源以及提高穿心莲种子在干旱、盐碱环境下的萌发能力提供实验依据。现将研究结果报道如下。

1 材料

1.1 仪器

THZ-100B型恒温培养摇床(上海一恒科学仪器有限公司); QF-PRX-160型智能人工气候箱(上海乔枫实业有限公司); GXX-9023MBE型电热鼓风干燥箱(上海博迅实业有限公司医疗设备厂); JJ300型电子天平(广州湘仪机电设备有限公司); Basic-Q15型纯水机(上海和泰仪器有限公司)。

1.2 试剂

次氯酸钠(广州化学试剂厂, 批号: 20170912); 乙醇

(分析纯, 广州化学试剂厂, 批号: 20180606); 聚乙二醇6000(PEG-6000, 天津市致远化学试剂有限公司, 批号: 20171034); 氯化钠(NaCl, 广州化学试剂厂, 批号: 20170803-2); 水为超纯水。

1.3 菌种

费氏中华根瘤菌(*Sinorhizobium fredii*, 编号: GIM1.227)、放射型根瘤菌(*Rhizobium radiobacter*, 编号: GIM1.757)购自广东省微生物保藏中心; 田菁茎瘤固氮根瘤菌(*Azorhizobium caulinodans*, 编号: ORS571)由西北农林科技大学刘华伟副教授提供。

1.4 种子

穿心莲种子产自广西省玉林市兴业县, 经广州中医药大学药用植物学教研室杜勤教授鉴定为爵床科植物穿心莲[*A. paniculata* (Burm. f.) Nees]的成熟种子。

2 方法

2.1 干旱胁迫模型的建立

选取籽粒饱满健壮、大小均匀的穿心莲种子, 以75%乙醇消毒30 s后, 以12%次氯酸钠溶液消毒12 min, 并以无菌水冲洗4~5次。参考车代弟等^[10]的研究方法, 分别以0.05、0.10、0.15、0.20、0.25 g/mL的PEG-6000(以下简称“PEG”)溶液为处理液浸泡穿心莲种子, 模拟干旱胁迫条件; 另设以无菌水为处理液浸泡的种子作为对照组。采用培养皿纸上发芽法萌发种子: 选用直径为9 cm的培养皿, 在培养皿底部放置2层纱布、1层滤纸, 按照不同的处理方法分组, 加入相应处理液6 mL使纱布和滤纸吸液至饱和, 在每个培养皿中整齐摆放50粒种子。将培养皿和种子一起称定质量, 然后

置于温度 28 ℃、湿度 60%、12 h 明/暗交替的人工气候箱中培养,每隔 12 h 加水至原质量。每隔 24 h 对萌芽的种子进行 1 次计数,直至连续 2 d 无新萌发种子为止。发芽试验结束后,以直尺测量种子的胚根和胚轴长度,并计算种子各项萌发指标(下同)^[11]:发芽率(%)=发芽试验结束时正常发芽的种子数/供试种子数×100%;发芽势(%)=3 d 后正常发芽的种子数/供试种子数×100%;发芽指数=浸种一定天数时的发芽数/相应的发芽天数;活力指数=发芽指数×(萌发胚根长度+胚轴长度)。上述试验重复 3 次。

2.2 盐胁迫模型的建立

选取籽粒饱满健壮、大小均匀的穿心莲种子,按“2.1”项下方法进行消毒和水洗。参考孙元新等^[12]的研究方法,分别以 50、100、150、200 mmol/L 的 NaCl 溶液为处理液浸泡穿心莲种子,以模拟盐胁迫条件;另设以无菌水为处理液浸泡的种子作为对照组。按“2.1”项下培养皿纸上发芽法,分别采用相应的处理液进行处理后进行种子发芽试验,并在试验结束后计算种子各项萌发指标。上述试验重复 3 次。

2.3 解除胁迫试验

采用解除胁迫试验考察不同根瘤菌对干旱胁迫、盐胁迫条件下穿心莲种子萌发的影响。选取籽粒饱满健壮、大小均匀的穿心莲种子,按“2.1”项下方法进行消毒和水洗。然后将供试种子按 250 粒/瓶分别置于无菌培养瓶中,共 4 瓶。取生长至对数期的费氏中华根瘤菌、放射型根瘤菌和田菁茎瘤固氮根瘤菌,用无菌水稀释制成 1.0×10^7 个/mL 的菌液后,分别按 20 mL/瓶加至上述 3 个培养瓶中,浸种 24 h;第 4 个培养瓶加入等量无菌水,同法处理,作为对照组。

以 0.15 g/mL 的 PEG 溶液和 50 mmol/L 的 NaCl 溶液为处理液(各处理液浓度根据“2.1”“2.2”项筛选结果设定),分别模拟干旱胁迫和盐胁迫条件;以无菌水作为对照组处理液。分别设置 PEG 对照组、NaCl 对照组、PEG+费氏中华根瘤菌组、PEG+放射型根瘤菌组、PEG+田菁茎瘤固氮根瘤菌组、NaCl+费氏中华根瘤菌组、NaCl+放射型根瘤菌组、NaCl+田菁茎瘤固氮根瘤菌组,按“2.1”项下培养皿纸上发芽法,加入相应处理液 6 mL 使纱布和滤纸吸液至饱和,在每个培养皿整齐摆放经不同根瘤菌或无菌水处理后的种子 50 粒,进行种子发芽试验,并在试验结束后计算种子各项萌发指标。上述试验重复 3 次。

2.4 统计学方法

采用 SPSS 22.0 软件对数据进行统计分析。计量资料如符合正态分布,采用 $\bar{x} \pm s$ 进行描述;不符合正态分布则采用 $M(P25, P75)$ 进行描述。符合正态分布且方差

齐性的数据采用单因素方差分析进行组间比较;不符合正态分布且方差齐性的数据采用非参数 Kruskal-Wallis H 检验进行组间比较。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

3 结果

3.1 干旱胁迫模型处理液浓度筛选结果

与对照组比较,采用 0.05~0.25 g/mL PEG 处理后,均可显著降低穿心莲种子的发芽率、发芽势和活力指数,0.10、0.20、0.25 g/mL PEG 处理可显著降低其发芽指数($P < 0.05$);其中,采用 0.20、0.25 g/mL PEG 处理后,穿心莲种子各项萌发指标降低幅度较大,详见表 1。综合考虑,造模溶液需适当影响但又不过度损害种子的萌发能力,故本研究选取 0.15 g/mL PEG 溶液来构建穿心莲种子干旱胁迫模型。

表 1 不同质量浓度 PEG 处理对穿心莲种子萌发指标的影响($n=3$)

Tab 1 Effects of different concentrations of PEG on germination indicators of *A. paniculata* seed ($n=3$)

组别	PEG 质量浓度, g/mL	发芽率[M(P25, P75)], %	发芽势[M(P25, P75)], %	发芽指数($\bar{x} \pm s$)	活力指数[M(P25, P75)], %
对照组		68.67(62.00, 72.00)	64.67(56.00, 69.00)	11.19 ± 1.23	45.54(40.40, 48.11)
干旱胁迫模型组	0.05	64.67(60.00, 67.00)*	55.33(50.00, 58.00)*	10.51 ± 0.94	35.42(33.05, 36.61)*
	0.10	61.33(60.00, 62.00)*	46.67(42.00, 49.00)*	9.53 ± 0.29*	25.79(21.53, 25.13)*
	0.15	68.00(68.00, 68.00)*	43.33(38.00, 46.00)*	10.14 ± 0.26	13.93(25.00, 26.19)*
	0.20	39.33(32.00, 43.00)*	13.33(10.00, 15.00)*	5.05 ± 0.89*	8.05(6.10, 9.02)*
	0.25	27.33(24.00, 29.00)*	4.67(4.00, 5.00)*	2.56 ± 0.25*	1.70(1.43, 1.83)*

注:与对照组比较, * $P < 0.05$

Note: vs. control group, * $P < 0.05$

3.2 盐胁迫模型处理液筛选结果

与对照组比较,不同浓度 NaCl 处理均可显著降低穿心莲种子的各项萌发指标($P < 0.05$);其中,采用 100~200 mmol/L NaCl 处理后,穿心莲种子各项萌发指标下降幅度较大,详见表 2。综合考虑,造模溶液需适当影响但又不过度损害种子的萌发能力,故本研究选取 50 mmol/L NaCl 溶液来构建穿心莲种子的盐胁迫模型。

表 2 不同浓度 NaCl 处理对穿心莲种子萌发指标的影响[M(P25, P75), $n=3$]

Tab 2 Effects of different concentrations of NaCl on germination indicators of *A. paniculata* seed [M(P25, P75), $n=3$]

组别	NaCl 浓度, mmol/L	发芽率, %	发芽势, %	发芽指数	活力指数
对照组		65.33(64.00, 66.00)	60.67(58.00, 62.00)	10.59(10.00, 10.76)	37.60(31.78, 40.51)
盐胁迫模型组	50	53.33(50.00, 55.00)*	48.00(40.00, 52.00)*	7.99(6.14, 8.92)*	11.49(9.01, 12.73)*
	100	30.00(22.00, 34.00)*	28.00(18.00, 33.00)*	4.84(3.31, 5.60)*	2.47(1.65, 2.88)*
	150	4.67(2.00, 6.00)*	3.33(2.00, 4.00)*	0.72(0.33, 0.92)*	0.09(0.02, 0.13)*
	200	0.00(0.00, 0.00)*	0.00(0.00, 0.00)*	0.00(0.00, 0.00)*	0.00(0.00, 0.00)*

注:与对照组比较, * $P < 0.05$

Note: vs. control group, * $P < 0.05$

3.3 不同根瘤菌对干旱胁迫条件下穿心莲种子萌发的影响

与 PEG 对照组比较, 费氏中华根瘤菌处理可显著提高干旱胁迫条件下穿心莲种子各项萌发指标 ($P < 0.05$), 使发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数分别提高了 46.02%、399.57%、69.09%、11.23%; 放射型根瘤菌处理可显著提高穿心莲种子各项萌发指标 ($P < 0.05$), 使发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数分别提高了 22.02%、14.13%、29.61%、25.20%; 田菁茎瘤固氮根瘤菌处理可显著提高穿心莲种子的发芽率、发芽指数和活力指数 ($P < 0.05$), 使上述指标分别提高了 28.02%、33.51%、28.64%, 而对其发芽势的影响无统计学意义 ($P > 0.05$), 详见表 3。

表 3 不同根瘤菌对干旱胁迫条件下穿心莲种子萌发指标的影响 ($n=3$)

Tab 3 Effects of different Rhizobia on germination indicators of *A. paniculata* seed under drought stress condition ($n=3$)

组别	发芽率($\bar{x} \pm s$), %	发芽势[M(P25, P75)], %	发芽指数($\bar{x} \pm s$)	活力指数[M(P25, P75)]
PEG 对照组	33.33 ± 1.15	4.67(2.00, 6.00)	3.85 ± 0.43	9.88(8.54, 10.55)
PEG+费氏中华根瘤菌组	48.67 ± 6.11*	23.33(22.00, 24.00)*	6.51 ± 0.79*	10.99(9.42, 11.78)*
PEG+放射型根瘤菌组	40.67 ± 5.03*	5.33(4.00, 6.00)*	4.99 ± 0.76*	12.37(1.77, 2.48)*
PEG+田菁茎瘤固氮根瘤菌组	42.67 ± 3.06*	4.67(4.00, 5.00)	5.14 ± 0.55*	12.71(5.16, 6.41)*

注: 与 PEG 对照组比较, * $P < 0.05$

Note: vs. PEG control group, * $P < 0.05$

3.4 不同根瘤菌对盐胁迫条件下穿心莲种子萌发的影响

与 NaCl 对照组比较, 费氏中华根瘤菌处理可显著提高盐胁迫条件下穿心莲种子的发芽指数和活力指数 ($P < 0.05$), 使两者分别提高了 63.07%、208.23%, 但同时可显著降低其发芽率和发芽指数 ($P < 0.05$), 使两者分别降低了 42.41%、21.44%; 放射型根瘤菌处理可显著提高盐胁迫条件下穿心莲种子的发芽势、发芽指数和活力指数 ($P < 0.05$), 使上述指标分别提高了 42.87%、67.97%、216.96%, 而对其发芽率的影响无统计学意义 ($P > 0.05$); 田菁茎瘤固氮根瘤菌处理可显著提高盐胁迫条件下穿心莲种子的发芽率和发芽势 ($P < 0.05$), 使两者分别提高了 36.36%、71.49%, 而对其发芽指数和活力指数的影响无统计学意义 ($P > 0.05$), 详见表 4。

4 讨论

广东地区年平均春旱时间长, 干旱发生率高^[13], 而穿心莲喜温暖、湿润、向阳, 且怕旱、怕寒, 其播种期为每年 3~5 月, 正处于广东的春旱时节^[14-15]。此外, 近年来人均耕地面积的减少和土地质量的下降, 使得土壤盐渍化严重^[16]。而广东省全省滩涂土壤面积约 844.7 万亩, 主要分布在静水海湾和河流入海处, 面积广阔, 具较大

表 4 不同根瘤菌对盐胁迫条件下穿心莲种子萌发指标的影响 ($n=3$)

Tab 4 Effects of different Rhizobia on germination indicators of *A. paniculata* seed under salt stress condition ($n=3$)

组别	发芽率[M(P25, P75)], %	发芽势[M(P25, P75)], %	发芽指数($\bar{x} \pm s$)	活力指数($\bar{x} \pm s$)
NaCl 对照组	22.00(20.00, 23.00)	9.33(6.00, 11.00)	3.06 ± 0.13	4.01 ± 0.34
NaCl+费氏中华根瘤菌组	12.67(12.00, 13.00)*	7.33(6.00, 8.00)*	4.99 ± 0.76*	12.36 ± 2.92*
NaCl+放射型根瘤菌组	22.00(18.00, 24.00)	13.33(10.00, 15.00)*	5.14 ± 0.55*	12.71 ± 0.86*
NaCl+田菁茎瘤固氮根瘤菌组	30.00(26.00, 32.00)*	16.00(12.00, 18.00)*	3.23 ± 0.59	4.03 ± 0.66

注: 与 NaCl 对照组比较, * $P < 0.05$

Note: vs. NaCl control group, * $P < 0.05$

的种植开拓潜力^[17]。因此, 开展穿心莲种子的抗干旱胁迫、抗盐胁迫对于该省发展穿心莲的播种、栽培和规模化生产具有重要的实践意义。

研究表明, 在农作物上接种根瘤菌可明显提其抗盐碱^[18-21]和抗干旱能力^[22-24]; 根瘤菌还能显著提高植物种子的出苗率和发芽率^[25-26]。本研究采用 3 种常用根瘤菌对穿心莲种子进行浸种处理, 结果显示, 费氏中华根瘤菌、放射型根瘤菌和田菁茎瘤固氮根瘤菌均可不同程度地提高穿心莲种子抗干旱和抗盐胁迫能力。在干旱胁迫条件下, 费氏中华根瘤菌和放射型根瘤菌浸种后, 种子发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数均较相应对照组显著提高; 田菁茎瘤固氮根瘤菌浸种后, 种子发芽率、发芽指数和活力指数均较相应对照组显著提高, 仅发芽势无显著差异。在盐胁迫条件下, 费氏中华根瘤菌浸种后, 种子的发芽指数和活力指数均较相应对照组显著提高, 但发芽率和发芽势均显著降低; 放射型根瘤菌浸种后, 种子的发芽势、发芽指数和活力指数均较相应对照组显著提高, 但发芽率无明显差异; 田菁茎瘤固氮根瘤菌浸种后, 种子的发芽率和发芽势均较相应对照组显著提高, 但发芽指数和活力指数无明显差异。

综上所述, 3 种根瘤菌处理均可在一定程度上提高穿心莲种子在干旱和抗盐胁迫条件下的萌发能力。本研究可为干旱条件下穿心莲的种植和栽培, 以及将滩涂地区作为穿心莲的种植地提供技术支持。但本研究结果也显示, 不同根瘤菌对不同胁迫条件下穿心莲种子各项萌发指标的改善效果有一定差异, 后续拟进一步考察不同根瘤菌抗干旱胁迫/盐胁迫效果的优劣, 或可考虑多种根瘤菌联合使用。

参考文献

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 一部[S]. 北京: 中国医药科技出版社, 2015: 268-269.
- [2] 单敏, 黄燕, 崔振泽. 静脉应用穿心莲内酯对急性支气管肺炎患儿体温平稳作用的研究[J]. 中国中西医结合儿科学, 2018, 10(2): 146-149.

- [3] 白强,颜利晶,李玲,等.穿心莲煎剂对变应性鼻炎大鼠 Th1/Th2 细胞调节的研究[J].中医药学报,2017,45(2):1-5.
- [4] 李静,何亮,杨俐萍,等.促凋亡蛋白 Bax 和自噬相关蛋白 LC3- II 参与穿心莲内酯对结肠癌细胞的抑制作用[J].肿瘤学杂志,2017,23(12):1085-1092.
- [5] 农训学.穿心莲种子繁殖方法[J].农村新技术,2007,4(4):8-9.
- [6] SORTY AM, MEENA KK, CHOUDHARY K, et al. Effect of plant growth promoting bacteria associated with halophytic weed (*Psoralea corylifolia* L.) on germination and seedling growth of wheat under saline conditions[J]. *Appl Biochem Biotechnol*, 2016, 180(5):872-882.
- [7] 段如雁,韦小丽,安常蓉,等.花榈木幼苗接种不同根瘤菌对中度干旱胁迫的生理响应[J].林业科学研究,2018,31(4):61-69.
- [8] 刘倩,高娅妮,柳旭,等.混合盐碱胁迫下接种丛枝菌根真菌和根瘤菌对紫花苜蓿生长的影响[J].生态学报,2018,38(17):6143-6155.
- [9] 张昆,康俊梅,龙瑞才,等.盐碱胁迫条件下中苜3号紫花苜蓿高效共生根瘤菌筛选[J].中国草地学报,2018,40(1):9-16.
- [10] 车代弟,赵海霞,吴晓凤,等.干旱与盐胁迫对二十五种花卉种子萌发影响的评价与花海植物筛选[J].北方园艺,2018(21):115-121.
- [11] 李玲.植物生理学模块实验指导[M].北京:科学出版社,2009:26-27.
- [12] 孙元新,闫恩维,胡伟,等. NaCl 和 PEG 胁迫对金花葵种子萌发的影响研究[J].中国林副特产,2018(1):47-50.
- [13] 张勇,王春林,罗晓玲,等.广东干旱害的气候成因及其防御对策[J].热带地理,2000,20(1):16-21.
- [14] 王振,周鹏,王章伟,等.不同播种期对穿心莲产量及质量的影响研究[J].江西中医药,2018,49(10):62-64.
- [15] 张敬君.穿心莲栽培管理技术[J].现代农业科技,2007(17):45.
- [16] 秦基皓,安振,张梦坤,等.黄河三角洲盐碱地不同复种模式产量和效益比较[J].山东农业科学,2019,51(8):34-37,45.
- [17] 刘腾辉,杨萍如.广东的海涂土壤[J].土壤学报,1990,27(4):427-437.
- [18] HAHM MS, SON JS, HWANG YJ, et al. Alleviation of salt stress in pepper (*Capsicum annum* L.) plants by plant growth-promoting Rhizobacteria[J]. *J Microbiol Biotechnol*, 2017, 27(10):1790-1797.
- [19] ZAMAN AM, SIFI B, ISSOUFOU M, et al. Salt tolerance of a common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar as affected by rhizobia[J]. *Symbiosis*, 2005, 40(1):17-22.
- [20] 祁娟,王婷,白小明,等.不同根瘤菌菌株对盐胁迫下甘农9号苜蓿生长及生理特性的影响[J].干旱地区农业研究,2018,36(3):168-175,183.
- [21] 张昆,康俊梅,龙瑞才,等.盐碱胁迫条件下中苜3号紫花苜蓿高效共生根瘤菌筛选[J].中国草地学报,2018,40(1):9-16.
- [22] 张攀,杨培志,王卫栋,等.干旱胁迫下根瘤菌共生紫花苜蓿抗旱生理变化研究[J].草地学报,2013,21(5):938-944.
- [23] 马海宾,康丽华,江业根,等.接种根瘤菌对厚荚相思水分胁迫的响应[J].中南林业科技大学学报,2009,29(4):74-78.
- [24] 孙超.茎瘤固氮根瘤菌 ORS 571 在小麦中的定殖及增强幼苗抗旱性研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2012.
- [25] COLO J, HAJNAL-JAFARI TI, DURIC S, et al. Plant growth promotion Rhizobacteria in onion production[J]. *Pol J Microbiol*, 2014, 63(1):83-88.
- [26] 李剑峰,杨鑫,张淑卿,等.种植物内生固氮菌对燕麦种子萌发及幼苗生长的效果[J].西南农业学报,2015,28(6):2465-2468.

(收稿日期:2019-06-15 修回日期:2019-09-30)

(编辑:段思怡)

《中国药房》杂志——中国科技论文统计源期刊, 欢迎投稿、订阅