

覃勇荣,赵贞涛,刘旭辉,等. 重金属胁迫对不同种源任豆种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(12):156-162.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.12.025

重金属胁迫对不同种源任豆种子萌发及幼苗生长的影响

覃勇荣, 赵贞涛, 刘旭辉, 范金成, 廖康全

(河池学院化学与生物工程学院, 广西宜州 546300)

摘要: 为了比较不同种源任豆种子萌发及其幼苗生长对重金属胁迫抗性的差异, 选择广西宜州怀远(HY)、平果(PG)、云南昆明(YN)3个不同来源的任豆种子, 研究不同浓度 Zn^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Cd^{2+} 胁迫对任豆种子的萌发特性及其幼苗生长的影响, 测定了任豆种子的发芽势、发芽率、发芽指数、胚芽长度、胚根长度、株高, 应用模糊数学的隶属函数法, 对不同来源任豆种子萌发过程中的重金属耐性进行综合评价。结果表明: (1) 任豆种子对不同重金属离子胁迫的耐性有较明显差异, 其大小排序为 $\text{Zn}^{2+} > \text{Pb}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Cd}^{2+}$, 任豆种子萌发过程中 Cd^{2+} 、 Cu^{2+} 的毒性明显大于 Pb^{2+} 、 Zn^{2+} ; (2) 不同重金属离子对任豆幼苗生长的抑制作用随其浓度的增大而明显增强, 且重金属对任豆胚根生长的抑制作用更为明显, 任豆幼苗对不同重金属的耐性强弱排序为 $\text{Zn}^{2+} > \text{Pb}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Cd}^{2+}$; (3) 不同种源任豆幼苗对铬、铜、铅、锌4种重金属耐性的强弱排序分别为 $\text{PG} > \text{YN} > \text{HY}$ 、 $\text{YN} > \text{PG} > \text{HY}$ 、 $\text{PG} > \text{HY} > \text{YN}$ 、 $\text{HY} > \text{YN} > \text{PG}$; 综合考虑各种重金属的影响, 不同种源任豆幼苗对重金属耐性强弱排序为 $\text{PG} > \text{YN} > \text{HY}$ 。尽管不同种源任豆种子的萌发及其幼苗对重金属的耐性有一定的差异, 但均可以作为土壤重金属污染的修复材料使用。

关键词: 不同种源; 任豆种子; 重金属胁迫; 萌发特性; 幼苗; 重金属耐性

中图分类号: X173; Q945.78 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2022)12-0156-07

任豆是中国特有的单种属植物, 主要分布在我国南方的石灰岩地带, 其根系发达, 生长迅速, 耐旱性强, 生态经济效益较高^[1], 因而被广泛应用于岩溶地区造林绿化和石漠化治理等环境修复工程之中。近年来, 随着我国区域经济的快速发展, 生态环境也受到一定程度的破坏, 污染问题日渐突

出^[2], 环境治理是亟需解决的问题。在土壤重金属污染治理的诸多方法中, 植物修复是一种成本低廉且应用广泛的技术方法, 而优良先锋物种的选用则是植物修复的重要基础^[3]。为了探讨利用任豆树种进行土壤重金属污染植物修复的可行性, 笔者曾对重金属胁迫背景下任豆种子萌发及其幼苗抗氧化酶活性进行过一些试验^[4-6], 发现任豆幼苗对不同重金属元素的耐性具有明显差异, 其大小排序为 $\text{Zn}^{2+} > \text{Pb}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Cd}^{2+}$ 。黄银珊也对任豆种子的萌发特性和储藏生理进行了研究, 测定了任豆种子的发芽率、发芽势、发芽指数以及 POD、SOD、CAT 活性等生理生化指标^[7]。高菲菲研究了不同浓度 Pb^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Cd^{2+} 胁迫对沙打旺、紫花苜蓿、红三叶种子萌发、幼苗生长及重金属富集能力的影响^[2], 环境治理是亟需解决的问题。在土壤重金属污染治理的诸多方法中, 植物修复是一种成本低廉且应用广泛的技术方法, 而优良先锋物种的选用则是植物修复的重要基础^[3]。为了探讨利用任豆树种进行土壤重金属污染植物修复的可行性, 笔者曾对重金属胁迫背景下任豆种子萌发及其幼苗抗氧化酶活性进行过一些试验^[4-6], 发现任豆幼苗对不同重金属元素的耐性具有明显差异, 其大小排序为 $\text{Zn}^{2+} > \text{Pb}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Cd}^{2+}$ 。黄银珊也对任豆种子的萌发特性和储藏生理进行了研究, 测定了任豆种子的发芽率、发芽势、发芽指数以及 POD、SOD、CAT 活性等生理生化指标^[7]。高菲菲研究了不同浓度 Pb^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Cd^{2+} 胁迫对沙打旺、紫花苜蓿、红三叶种子萌发、幼苗生长及重金属富集能力的影响

收稿日期: 2021-08-12

基金项目: 广西自然科学基金(编号: 桂科自 0832273); 河池学院硕士专业学位建设基金(编号: 2016HJA007); 河池学院高层次人才科研启动费项目(编号: XJ2018GKQ016); 河池学院重点实验室项目(编号: 校政发[2016]91号); 广西大学生创新创业计划(编号: 201810605084)。

作者简介: 覃勇荣(1963—), 男, 广西贵港人, 硕士, 教授, 从事岩溶地区石漠化综合治理与生态恢复研究。E-mail: hcxqyr@126.com。

[15] Pedmale U V, Huang S S C, Zander M, et al. Cryptochromes interact directly with PIFs to control plant growth in limiting blue light[J]. Cell, 2016, 164(1/2): 233-245.

[16] Sullivan S, Hart J E, Rasch P, et al. Phytochrome a mediates blue-light enhancement of second-positive phototropism in *Arabidopsis* [J]. Frontiers in Plant Science, 2016, 7(775): 290.

[17] Liu B B, Yang Z H, Gomez A, et al. Signaling mechanisms of plant cryptochromes in *Arabidopsis thaliana* [J]. Journal of Plant

Research, 2016, 129(2): 137-148.

[18] 魏胜利, 王家保, 李春保. 蓝光和红光对菊花生长和开花的影响[J]. 园艺学报, 1998, 25(2): 100-101.

[19] Fornara F, de Montaigu A, Coupland G. SnapShot: control of flowering in *Arabidopsis* [J]. Cell, 2010, 141(3): 550-550.e2.

[20] Chen A, Li C X, Hu W, et al. PHYTOCHROME C plays a major role in the acceleration of wheat flowering under long-day photoperiod [J]. PNAS, 2014, 111(28): 10037-10044.

响^[8]。此外,陈俊任等以毛竹种子为供试材料,研究了不同重金属胁迫对毛竹种子萌发的影响,结果表明: Pb^{2+} 、 Cd^{2+} 对毛竹种子的发芽率、发芽势、发芽指数有抑制作用,低浓度的 Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 对其发芽势、发芽率、发芽指数等有促进作用,而高浓度 Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 则具有显著抑制作用^[9]。

河池地处桂西北,被誉为中国有色金属之乡,土壤重金属污染是当地矿区和冶炼厂周边区域普遍存在的问题^[2]。本研究采用人工模拟方法,根据不同种源任豆种子在重金属胁迫条件下的萌发情况及其幼苗生长对重金属抗性(耐受性)的差异,筛选优良的任豆种源,以便为土壤重金属的植物修复提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为任豆种子,分别来自广西河池市宜州区怀远镇、广西平果县、云南省昆明市,相应标记为HY、PG、YN。其中,HY种子为2018年1月在野外采集,PG种子为2017年12月从广西平果县任豆销售商网购,YN种子为2018年1月从云南昆明美地苗木育种有限公司网购。3种不同来源的任豆种子均保存于4℃冰箱中备用。

1.2 试验方法

任豆种子的净度、百粒质量、千粒质量及含水量测定,均采用《林木种子检验规程》(GB 2772—1999)中的方法进行^[10]。

1.2.1 种子形状的测定 为了减少因选种不当而造成低发芽率问题,试验之前,按照常规方法筛选不同来源的任豆种子,去除不饱满、畸形、破损或被虫蛀的种子,使种子的净度达到96%,外形完好率达到99.5%以上。将不同来源的任豆种子放在操作台上,然后分别随机抽取纯净种子30粒,使用游标卡尺测量每粒种子的长度、宽度、厚度(种子最厚处),要求精确到0.01 mm。任豆种子百粒质量、千粒质量的具体测量方法见参考文献[11]。

1.2.2 种子含水量的测定 任豆种子含水量的测定采用低温烘干法^[12]。

1.2.3 重金属溶液配制和金属离子浓度的设置 重金属离子浓度依据《土壤环境质量标准》(GB 15618—2008)3级土壤环境标准量进行配制^[8-13],其中4种离子的供源分别为 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 、 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$,以上试剂均为分析

纯。浓度梯度分别为 Cu^{2+} (50、100、150、200 mg/L); Cd^{2+} (25、50、100、150 mg/L); Pb^{2+} (300、600、800、1 000 mg/L); Zn^{2+} (400、800、1 000、1 500 mg/L)。用去离子水设置对照组处理。

1.2.4 种子预处理 用TTC法测定不同来源任豆种子的活力,根据测定的种子活力,选取种子活力达95%以上的任豆种子进行试验^[8]。将不同来源的任豆种子放入不同烧杯中,用初始温度为80~90℃的蒸馏水浸种,以蒸馏水刚好淹过种子的一半为宜;待冷却后,重复上述方法3次;最后用去离子水浸种24 h,使种子充分吸水膨胀。

1.2.5 种子的发芽试验 吸胀后的任豆种子经前期消毒处理,再进行人工模拟重金属胁迫试验^[13]。取直径为9 cm的培养皿,皿内以双层滤纸为发芽床,每皿均匀放入20粒充分吸胀的任豆种子。将配好的重金属溶液置于培养皿中,每皿3 mL,每个处理重复3次。采用光照培养箱变温模式培养^[14],模拟自然生长环境,即光/暗比12 h/12 h,30℃/25℃,湿度80%,发芽试验共6 d。为了保证每个处理组重金属离子的浓度不变,每24 h定期更换相应处理液1次,对照组则更换去离子水。以胚芽长度达到种子一半作为种子发芽的判断标准,每24 h统计1次,并做好种子萌发的相关记录。发芽试验结束后,经过后期处理^[12],用游标卡尺测量任豆幼苗相关指标。

1.3 测量指标及方法

1.3.1 测量指标 发芽率和发芽势是种子活力的重要指标^[15],可用常规方法进行检测,根据检测结果计算其相对发芽势和相对发芽率。随机选取5粒饱满的任豆种子,发芽试验结束后用镊子轻轻将萌发种子取出,用数显游标卡尺(精度0.1 mm)测量其幼苗的胚根、胚芽长度、株高;重金属胁迫的第3天,统计种子的发芽势;重金属胁迫的第6天,统计种子的发芽率^[16]。所有处理均重复3次。

1.3.2 测量方法 发芽率=前6 d内供试种子的发芽数/供试种子数×100%,发芽势=前3 d内供试种子的发芽数/供试种子数×100%,发芽指数 $GI = \sum (G_t/D_t)$ (G_t 为 t 时间的发芽种子数, D_t 为相应的发芽天数),相对发芽势=前3 d内供试种子的发芽势/对照组的发芽势×100%^[16];相对发芽率=前6 d内供试种子的发芽率/对照组的发芽率×100%,相对胚根长=处理组胚根长/对照组胚根长×100%,相对胚芽长=处理组胚芽长/对照组胚芽长×100%^[17]。

1.3.3 种子对重金属胁迫耐性的综合评价 任豆种子萌发过程中对镉、铜、铅、锌 4 种重金属的耐性,用隶属函数法进行综合评价。在不同重金属浓度下的具体隶属函数值 $X(\mu) = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$, X 为参试任豆种源某一指标的测定值, X_{\max} 、 X_{\min} 分别为所有种源中该指标的最大值、最小值,把每一指标在 4 种重金属不同浓度下的隶属值累加求平均值,最后把各份不同种源任豆种子的各项指标隶属函数值累加求平均值。根据各种源平均隶属函数值大小,确定其萌发期对 4 种重金属的耐受性,隶属函数值越大,耐受性越强^[14,18-19]。

1.3.4 数据分析 每个试验均重复 3 次,结果取平均值。数据处理用 Excel 2013 和 SPSS 24.0 进行,用 *LSD* 法进行差异性显著检验,绘图用 Origin 2018

软件进行。

2 结果与分析

2.1 不同种源任豆种子的比较

表 1 为不同种源任豆种子的基本参数,可见,除了百粒质量,不同种源任豆种子的长度、宽度、厚度、净度、含水量、千粒质量均有一定的差异。

2.2 不同浓度重金属胁迫对任豆种子发芽势的影响

由表 2 可知,不同种源任豆种子对重金属胁迫的反应有一定的差异。除个别情况外,不同浓度重金属胁迫对任豆种子发芽势的影响均有显著或极显著差异;低浓度的重金属离子对任豆种子发芽势略有促进作用;随着浓度的增大,重金属离子对任豆种子发芽势的抑制作用明显增强。

表 1 不同种源任豆种子的基本参数比较

种源	长度 (mm)	宽度 (mm)	厚度 (mm)	净度 (%)	百粒质量 (g)	千粒质量 (g)	含水量 (%)
HY	5.77 ± 0.21 ab	5.11 ± 0.39 a	1.99 ± 0.15 a	96.14 ± 0.47 b	4.56 ± 0.05 a	47.51 ± 0.43 a	6.50 ± 0.17 b
PG	5.69 ± 0.34 b	4.95 ± 0.28 b	1.86 ± 0.19 b	96.80 ± 0.34 b	4.46 ± 0.11 a	46.71 ± 0.04 b	6.63 ± 0.07 b
YN	5.89 ± 0.37 a	4.98 ± 0.32 b	2.05 ± 0.19 a	98.85 ± 0.68 a	4.51 ± 0.10 a	47.35 ± 0.58 a	10.29 ± 0.20 a

注:同列各组数据中,不同小写字母表示显著差异 ($P < 0.05$),不同大写字母表示极显著差异 ($P < 0.01$)。表 2、表 3、表 4 同。

表 2 不同浓度重金属胁迫对不同种源任豆种子发芽势的影响

重金属处理	浓度 (mg/L)	任豆发芽势 (%)		
		HY	PG	YN
Cd ²⁺	0	92 ± 0.08 aA	93 ± 0.06 a	92 ± 0.03 aA
	25	88 ± 0.06 aA	88 ± 0.03 ab	88 ± 0.08 aA
	50	85 ± 0.10 aA	85 ± 0.01 ab	88 ± 0.08 aA
	100	65 ± 0.03 bB	68 ± 0.25 ab	65 ± 0.05 bB
	150	35 ± 0.05 cC	60 ± 0.18 b	53 ± 0.06 cB
Cu ²⁺	0	53 ± 0.24 a	90 ± 0.05 aA	85 ± 0.13 aA
	50	57 ± 0.13 a	73 ± 0.08 bB	90 ± 0.00 aA
	100	48 ± 0.08 b	52 ± 0.01 cC	83 ± 0.10 aA
	150	47 ± 0.13 b	93 ± 0.03 aA	58 ± 0.10 bB
	200	32 ± 0.06 c	40 ± 0.09 dD	33 ± 0.08 cC
Pb ²⁺	0	97 ± 0.06 a	98 ± 0.03 a	97 ± 0.06 a
	300	90 ± 0.09 a	97 ± 0.03 a	97 ± 0.06 a
	600	70 ± 0.30 c	98 ± 0.03 a	95 ± 0.00 a
	800	93 ± 0.08 a	95 ± 0.05 a	95 ± 0.00 a
	1 000	87 ± 0.08 b	97 ± 0.03 a	100 ± 0.00 a
Zn ²⁺	0	93 ± 0.03 aA	95 ± 0.05 a	87 ± 0.03 bB
	400	97 ± 0.05 aA	87 ± 0.14 b	98 ± 0.03 aA
	800	72 ± 0.03 bB	70 ± 0.15 c	80 ± 0.13 cC
	1 000	65 ± 0.00 cB	48 ± 0.15 d	82 ± 0.13 cC
	1 500	35 ± 0.00 dC	47 ± 0.38 d	53 ± 0.06 dD

2.3 不同浓度重金属胁迫对任豆种子发芽率的影响

由表 3 可见,重金属胁迫对任豆种子发芽率的影响效果没有对发芽势影响的效果明显,除了高浓

度的 Zn²⁺ (>1 000 mg/L)胁迫外,其余各种不同处理的重金属离子胁迫对不同种源任豆种子发芽率的影响差异并不明显。

2.4 不同浓度重金属胁迫对任豆种子发芽指数的影响

由表 4 可知,总体来说,在相同重金属离子胁迫情况下,随着重金属离子浓度的增大,不同种源任豆种子的发芽指数均呈下降的趋势,降低的幅度因种源不同而有一定的差异。但个别试验也出现了一些反常现象,即与低浓度重金属离子胁迫的任豆种子发芽指数相比,后者反而有所提高,其原因有待进一步分析。

2.5 不同浓度重金属胁迫对任豆幼苗胚根生长的影响

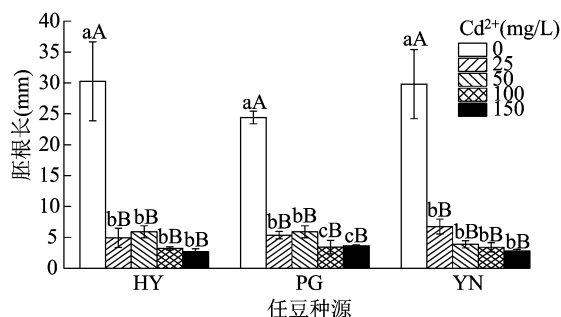
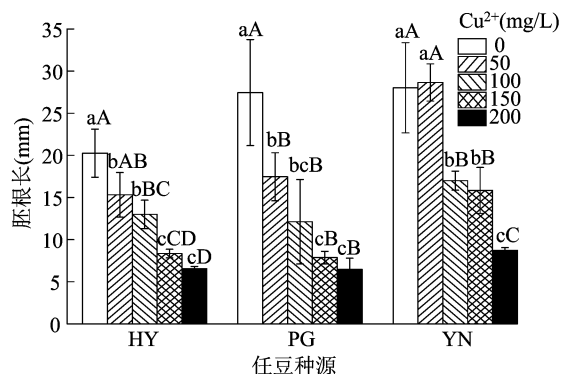
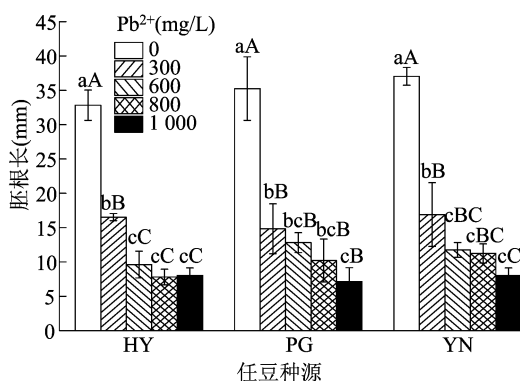
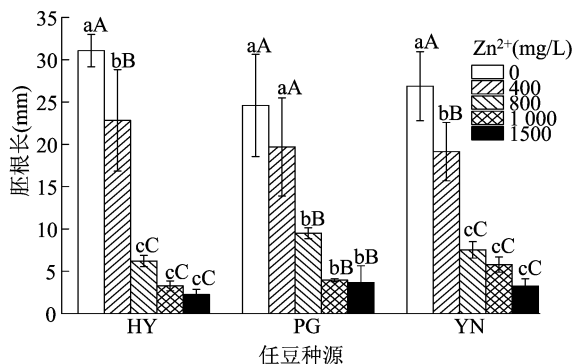
由图 1 至图 4 可知,重金属离子对任豆幼苗胚根生长有一定的抑制作用,不同种源的任豆幼苗受影响的程度和结果有一定的差异;与对照组相比,不同种源任豆幼苗的胚根长度均有明显缩短,且差异显著 ($P < 0.05$);低浓度的重金属离子可能对任豆胚根生长有一定的促进作用,但随着重金属离子浓度的增大,其对任豆胚根生长的抑制作用明显增强。总的来说,在重金属的胁迫下,任豆胚根生长呈下降的趋势。

表 3 不同重金属胁迫对不同种源任豆种子发芽率的影响

重金属处理	浓度 (mg/L)	任豆发芽率 (%)		
		HY	PG	YN
Cd ²⁺	0	100 ± 0.00aA	100 ± 0.00aA	93 ± 0.03a
	25	100 ± 0.00aA	95 ± 0.00bcAB	97 ± 0.03a
	50	98 ± 0.03aA	98 ± 0.03abAB	93 ± 0.06a
	100	98 ± 0.03aA	97 ± 0.03abcAB	95 ± 0.09a
	150	87 ± 0.08bB	93 ± 0.03cC	92 ± 0.08a
Cu ²⁺	0	95 ± 0.09a	98 ± 0.03a	93 ± 0.08a
	50	95 ± 0.09a	100 ± 0.00a	100 ± 0.00a
	100	88 ± 0.08a	95 ± 0.05a	100 ± 0.00a
	150	93 ± 0.03a	98 ± 0.03a	93 ± 0.06a
	200	90 ± 0.09a	95 ± 0.05a	93 ± 0.06a
Pb ²⁺	0	100 ± 0.00a	100 ± 0.00a	97 ± 0.06a
	300	100 ± 0.00a	98 ± 0.03a	100 ± 0.00a
	600	97 ± 0.06a	100 ± 0.00a	97 ± 0.03a
	800	97 ± 0.06a	98 ± 0.03a	97 ± 0.03a
	1 000	97 ± 0.03a	100 ± 0.00a	100 ± 0.00a
Zn ²⁺	0	98 ± 0.03aA	98 ± 0.03a	90 ± 0.00bB
	400	100 ± 0.00aA	98 ± 0.03a	98 ± 0.03aA
	800	98 ± 0.03aA	97 ± 0.06a	98 ± 0.03aA
	1 000	93 ± 0.12aA	85 ± 0.09ab	98 ± 0.03aA
	1 500	73 ± 0.03bB	77 ± 0.19b	35 ± 0.00cC

表 4 不同重金属胁迫对不同种源任豆种子发芽指数的影响

重金属处理	浓度 (mg/L)	任豆发芽指数		
		HY	PG	YN
Cd ²⁺	0	25.62 ± 1.88aA	24.90 ± 0.74aA	25.46 ± 0.32aA
	25	20.97 ± 1.47bB	21.04 ± 1.78bAB	25.03 ± 1.72aA
	50	21.29 ± 1.28bB	21.29 ± 1.28bAB	20.58 ± 0.50bB
	100	15.46 ± 2.83cC	17.36 ± 2.17cC	17.82 ± 2.16cBC
	150	12.22 ± 1.09cC	16.26 ± 3.01cC	15.38 ± 0.54dC
Cu ²⁺	0	16.37 ± 3.06aA	21.13 ± 1.24aA	20.43 ± 1.33aA
	50	16.99 ± 1.80aA	18.52 ± 1.02bAB	17.66 ± 3.33aAB
	100	14.40 ± 0.47ab	16.51 ± 1.53bcBC	19.06 ± 1.95aA
	150	14.61 ± 1.33ab	16.21 ± 0.95bcBC	17.07 ± 1.73aAB
	200	11.86 ± 1.53b	15.30 ± 0.97cC	13.30 ± 1.07bB
Pb ²⁺	0	27.94 ± 1.78a	28.56 ± 0.42a	29.37 ± 2.32ab
	300	25.60 ± 0.98ab	27.76 ± 1.11ab	28.69 ± 1.13b
	600	19.67 ± 7.01b	27.83 ± 1.26ab	32.01 ± 1.77ab
	800	23.40 ± 1.08ab	26.38 ± 0.86ab	32.09 ± 2.23ab
	1 000	23.82 ± 0.58ab	26.01 ± 1.76b	33.00 ± 2.29a
Zn ²⁺	0	25.44 ± 1.17aA	24.71 ± 0.69aA	24.71 ± 2.22aAB
	400	23.32 ± 0.78aA	20.84 ± 2.20aAB	26.91 ± 0.32aA
	800	18.59 ± 0.97bB	18.09 ± 2.68bcAB	21.81 ± 2.13bB
	1 000	16.38 ± 0.82bB	13.99 ± 2.03bcB	20.66 ± 1.27bB
	1 500	9.39 ± 3.37cC	12.37 ± 6.39cB	11.91 ± 0.55cC

图 1 Cd²⁺胁迫对不同种源任豆幼苗胚根生长的影响图 2 Cu²⁺胁迫对不同种源任豆幼苗胚根生长的影响图 3 Pb²⁺胁迫对不同种源任豆幼苗胚根生长的影响图 4 Zn²⁺胁迫对不同种源任豆幼苗胚根生长的影响

2.6 不同浓度重金属胁迫对任豆幼苗胚芽生长的影响

与任豆幼苗胚根生长的情况相似,不同重金属

胁迫对任豆幼苗胚芽生长也有明显的影响,具体见图 5 至图 8。尽管低浓度的 Cu^{2+} 对部分不同种源任豆幼苗胚芽生长有促进作用,部分任豆幼苗胚芽生长对 Cu^{2+} 、 Pb^{2+} 胁迫的反应也不太敏感,但总的来说,随着重金属离子浓度的增加,任豆幼苗胚芽的生长均受到不同程度的抑制。

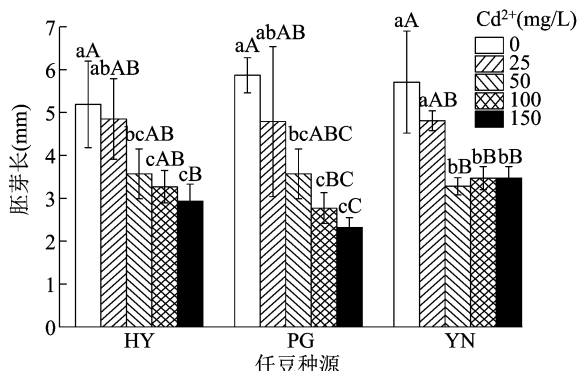


图5 Cd^{2+} 胁迫对不同种源任豆幼苗胚芽生长的影响

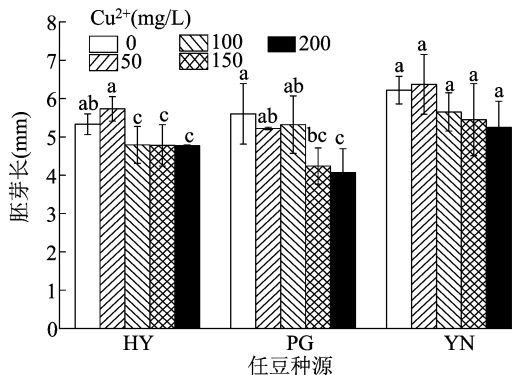


图6 Cu^{2+} 胁迫对不同种源任豆幼苗胚芽生长的影响

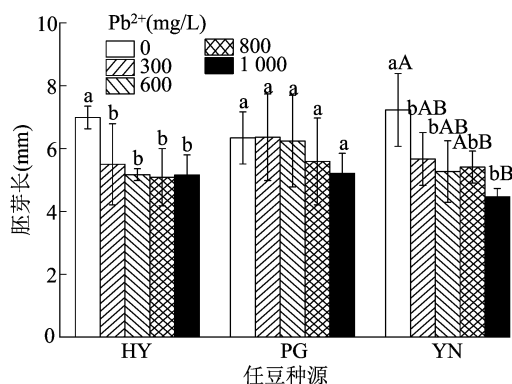


图7 Pb^{2+} 胁迫对不同种源任豆幼苗胚芽生长的影响

2.7 不同浓度重金属胁迫对任豆幼苗株高的影响

由图 9 至图 12 可知,不同重金属胁迫对任豆幼苗株高的影响不同,同一重金属对不同种源任豆幼苗株高的影响也有差异;与对照处理组相比,低浓度的部分重金属 (Cd^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Zn^{2+}) 对部分种源 (PG、YN) 的任豆幼苗株高略有促进作用,但差异并不显著;总的来说,无论是何种重金属胁迫,随着其

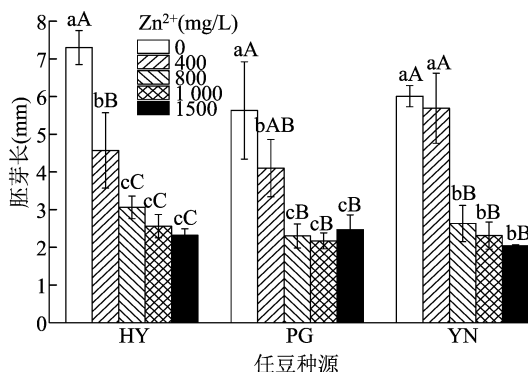


图8 Zn^{2+} 胁迫对不同种源任豆幼苗胚芽生长的影响

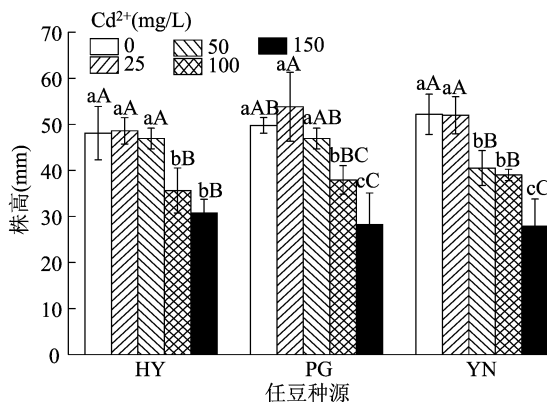


图9 Cd^{2+} 胁迫对不同种源任豆幼苗株高的影响

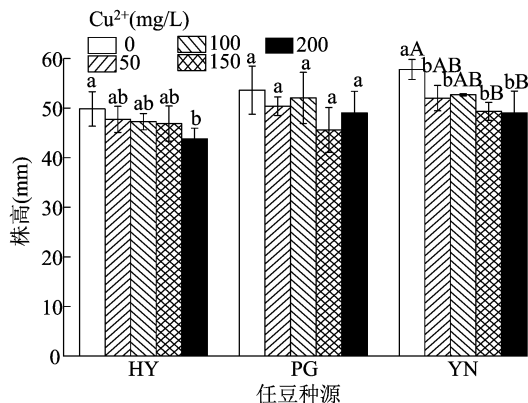


图10 Cu^{2+} 胁迫对不同种源任豆幼苗株高的影响

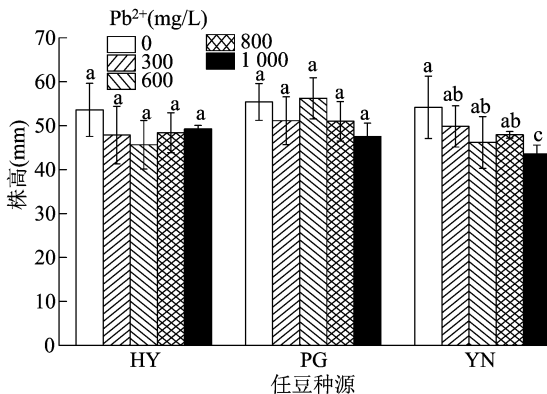


图11 Pb^{2+} 胁迫对不同种源任豆幼苗株高的影响

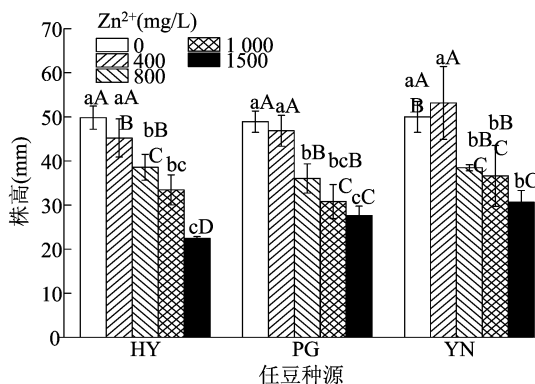


图12 Zn²⁺胁迫对不同种源任豆幼苗株高的影响

浓度的增大,所有任豆幼苗的株高均呈下降的趋势,其中 Cd²⁺、Zn²⁺胁迫处理的效果更为明显。

2.8 不同种源任豆对重金属耐性的综合评价

对重金属胁迫条件下不同种源任豆种子的发芽指数耐受性、胚根耐受性、胚芽耐受性、株高耐受性进行隶属函数值计算,可得其种子萌发期及幼苗期对不同重金属胁迫的隶属函数总平均值^[14,18],结果见表5至表8。可以初步确定,不同种源任豆幼苗对镉、铜、铅、锌的耐受性强弱排序为 PG > YN > HY、YN > PG > HY、PG > HY > YN、HY > YN > PG。

表5 不同种源任豆种子萌发期及幼苗期对镉的耐性隶属函数值及综合评价

种源	隶属函数值				平均隶属函数值	排序
	发芽指数耐受性	胚根耐受性	胚芽耐受性	株高耐受性		
HY	0.425 8	0.468 9	0.433 1	0.560 7	0.472 1	3
PG	0.594 0	0.561 8	0.445 5	0.489 1	0.522 6	1
YN	0.549 9	0.493 2	0.479 8	0.554 9	0.518 5	2

表6 不同种源任豆种子萌发期及幼苗期对铜的耐性隶属函数值及综合评价

种源	隶属函数值				平均隶属函数值	排序
	发芽指数耐受性	胚根耐受性	胚芽耐受性	株高耐受性		
HY	0.502 4	0.449 4	0.306 8	0.482 4	0.435 2	3
PG	0.455 6	0.494 0	0.498 2	0.598 4	0.511 6	2
YN	0.532 9	0.435 6	0.528 9	0.582 5	0.520 0	1

如果综合考虑各种重金属的影响,即将表5至表8中相同种源任豆的平均隶属函数值相加后取平均值,便可得到不同种源任豆对重金属耐性的总平均值,其结果分别为 PG(0.502 7) > YN(0.499 5) > HY(0.471 1)。也就是说,相对而言,来自广西平果

表7 不同种源任豆种子萌发期及幼苗期对铅的耐性隶属函数值及综合评价

种源	隶属函数值				平均隶属函数值	排序
	发芽指数耐受性	胚根耐受性	胚芽耐受性	株高耐受性		
HY	0.496 7	0.454 0	0.522 7	0.469 5	0.485 7	2
PG	0.503 3	0.505 9	0.474 4	0.483 1	0.491 7	1
YN	0.418 7	0.465 3	0.476 4	0.516 5	0.469 2	3

表8 不同种源任豆种子萌发期及幼苗期对锌的耐性隶属函数值及综合评价

种源	隶属函数值				平均隶属函数值	排序
	发芽指数耐受性	胚根耐受性	胚芽耐受性	株高耐受性		
HY	0.481 6	0.523 6	0.498 5	0.462 2	0.491 5	1
PG	0.455 4	0.467 5	0.542 3	0.475 0	0.485 0	3
YN	0.557 9	0.498 6	0.454 5	0.450 2	0.490 3	2

的任豆幼苗对重金属的耐性最强,云南种源次之,广西宜州怀远种源最差。

3 讨论

本试验在人工模拟重金属离子胁迫时,随着 Cd²⁺、Cu²⁺、Pb²⁺、Zn²⁺ 浓度的增加,不同种源任豆种子的发芽势、发芽率、发芽指数均呈下降的趋势;重金属离子浓度越高,其对任豆种子萌发的抑制作用就越明显。究其原因,可能是因为种子萌发是植物生长的关键时期,也是植物对环境因子影响的敏感期^[12,20-21]。重金属胁迫对种子萌发具有一定的影响,且随着重金属离子浓度的增大,其对种子萌发的抑制作用就越明显,该结果与前人的相关研究结果^[19]一致。

随着重金属离子浓度的增大,大部分任豆幼苗的胚根长度、胚芽长度、株高都小于对照组,且差异显著。从试验结果可知,重金属离子对胚根的抑制作用比胚芽更加明显,该结果与马敏等的相关研究结果^[20]相似。这可能是因为任豆种子萌发时,胚根最先萌动突破种皮,最先受到重金属离子的胁迫,重金属对其作用的时间既比胚芽早,也比胚芽长,因此,重金属对其影响更为严重^[22]。在种子萌发的过程中,胚根生长受到抑制后,其根毛的吸收作用必定受到一定的影响,从而影响胚芽和植株的生长。在重金属胁迫下,任豆幼苗的胚芽长度、胚根长度、株高均呈下降的趋势,其中胚根长度的下降更为明显。

据报道,在种子萌发过程中,胚芽的生长仅与细胞伸长有关,而胚根的生长除了与细胞伸长有关外,还与细胞分裂有关^[23];高浓度的 Cu^{2+} 抑制细胞的分裂,所以能够抑制种子胚根的生长;高浓度的 Pb^{2+} 抑制种子胚根和胚芽的生长,可能与 Pb^{2+} 对种子中脱氢酶活性的影响有关^[24]。从本研究的结果来看,不同种源任豆种子萌发及其幼苗生长对重金属的耐性都有明显差异,其大小排序为 $\text{Zn}^{2+} > \text{Pb}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Cd}^{2+}$,与本人前期的相关研究结果^[3-5]一致。但不同重金属离子的生态毒理及作用机制等诸多问题还有待进一步研究^[16]。

林玮等报道,不同种源任豆种子的表型性状有极显著差异,具有明显的地理区域性,并将之分为多个不同的类群^[25];唐文秀等对广西任豆主要分布区 23 个不同种源任豆种子的萌发及幼苗生长特性进行了比较研究,发现不同种源任豆种子的发芽率、发芽势、株高、地径等生理指标具有明显差异^[26]。本研究选择了广西宜州怀远、平果,以及云南昆明 3 个不同种源的任豆种子进行试验研究,所得结果也与以上研究相似。

4 结论

根据以上试验结果及分析讨论,可以初步得到以下结论:(1)任豆种子对不同重金属离子胁迫的耐性有较明显的差异,其大小排序为 $\text{Zn}^{2+} > \text{Pb}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Cd}^{2+}$,在任豆种子萌发过程中, Cd^{2+} 、 Cu^{2+} 的毒性明显大于 Pb^{2+} 、 Zn^{2+} 。(2)不同重金属离子对任豆幼苗生长的抑制作用随其浓度的增大而明显增强,且重金属对任豆胚根生长的抑制作用更为明显,任豆幼苗对不同重金属的耐性强弱排序为 $\text{Zn}^{2+} > \text{Pb}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Cd}^{2+}$ 。(3)应用隶属函数法对不同种源任豆幼苗的重金属耐性进行综合评价,其对铬、铜、铅、锌 4 种重金属耐性的强弱排序分别为 $\text{PG} > \text{YN} > \text{HY}$ 、 $\text{YN} > \text{PG} > \text{HY}$ 、 $\text{PG} > \text{HY} > \text{YN}$ 、 $\text{HY} > \text{YN} > \text{PG}$;综合考虑各种重金属的影响,不同种源任豆幼苗对重金属耐性强弱排序为 $\text{PG} > \text{YN} > \text{HY}$ 。(4)尽管不同种源任豆种子及其幼苗对重金属的耐性有一定的差异,但均可作为土壤重金属污染修复的材料使用。

参考文献:

[1]朱积余,廖培来. 广西名优经济树种[M]. 北京:中国林业出版社,2006.

- [2]刘旭辉,覃勇荣,黄振球,等. 河池市矿产资源可持续利用与生态环境保护[J]. 河池学院学报,2013,33(2):1-6.
- [3]覃勇荣,陈燕师,刘旭辉,等. 土壤重金属污染背景下的任豆修复试验[J]. 农业环境科学学报,2010,29(2):282-287.
- [4]覃勇荣,汤丰瑜,严海杰,等. 重金属胁迫对任豆种子萌发及幼苗抗氧化酶活性的影响[J]. 种子,2017,36(10):31-36.
- [5]覃勇荣,盘芳丽,吴达伟,等. 重金属胁迫背景下的任豆幼苗抗性生理试验[J]. 河池学院学报,2015,35(2):1-8.
- [6]覃勇荣,覃艳花,严 军,等. EDTA 对桑树和任豆幼苗吸收重金属 Pb 的影响[J]. 南方农业学报,2011,42(2):168-172.
- [7]黄银珊. 乡土树种米老排、任豆种子萌发特性与贮藏生理研究[D]. 南宁:广西大学,2012.
- [8]高菲菲. Cu、Zn、Cd、Pb 对三种豆科植物生长的影响及其吸附性能的研究[D]. 沈阳:东北大学,2008.
- [9]陈俊任,柳 丹,吴家森,等. 重金属胁迫对毛竹种子萌发及其富集效应的影响[J]. 生态学报,2014,34(22):6501-6509.
- [10]李平衡,王 权,任 海. 马占相思人工林生态系统的碳格局及其动态模拟[J]. 热带亚热带植物学报,2009,17(5):494-501.
- [11]林 玮,周 鹏,周祥斌,等. 任豆种源种子性状地理变异研究[J]. 华南农业大学学报,2016,37(4):69-74.
- [12]李淑娴,吴 雷,李运红,等. 低恒温烘干法测定种子含水量条件的研究[J]. 种子,2011,30(5):72-74.
- [13]陈 伟,张苗苗,宋阳阳,等. 重金属胁迫对 4 种草坪草种子萌发的影响[J]. 草地学报,2013,21(3):556-563.
- [14]罗 艳,李裕冬,罗晓波,等. 重金属镉对 4 种林木种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 四川林业科技,2018,39(2):7-12.
- [15]陈 伟. 重金属胁迫对草坪草生长发育及生理特性的影响[D]. 兰州:甘肃农业大学,2014.
- [16]欧 丽,刘足根,方红亚,等. Cd 对野苘蒿种子发芽的影响[J]. 生态毒理学报,2011,6(4):441-444.
- [17]赵玉文,郑 雨,段少荣,等. 重金属胁迫对青藏高原 2 种牧草种子发芽及生长的影响[J]. 黑龙江畜牧兽医,2019(5):104-109.
- [18]鱼小军,张建文,潘涛涛,等. 铜、镉、铅对 7 种豆科牧草种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 草地学报,2015,23(4):793-803.
- [19]张亚娟,王 倩,龙瑜菡,等. 不同大麻品种种子萌发期耐重金属铜胁迫能力评价[J]. 中国麻业科学,2018,40(4):183-191.
- [20]马 敏,龚惠红,邓 泓. 重金属对 8 种园林植物种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 中国农学通报,2012,28(22):206-211.
- [21]王丹丹,李 娟. 镉胁迫下不同改良剂对水稻种子萌发的影响[J]. 江苏农业学报,2021,37(4):823-830.
- [22]高 扬,辛树权,何锦冰,等. 铜对大蒜根尖细胞有丝分裂影响的研究[J]. 北方园艺,2008(6):12-14.
- [23]刘登义,王友保. Cu、As 对作物种子萌发和幼苗生长影响的研究[J]. 应用生态学报,2002,13(2):179-182.
- [24]刘明美,李建农,沈益新. Pb^{2+} 污染对多花黑麦草种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 草业科学,2007,24(1):52-54.
- [25]林 玮,周 鹏,周祥斌,等. 任豆种源种子性状地理变异研究[J]. 华南农业大学学报,2016,37(4):69-74.
- [26]唐文秀,盘 波,隗红燕,等. 广西不同种源任豆种子萌发和幼苗生长特性的对比研究[J]. 种子,2019,38(12):93-98.