

重金属在不同温度和光照下对骆驼蓬种子萌发特征的影响

徐慧全¹, 王立¹, 冯宜明¹, 何明珠²

(1. 甘肃农业大学 林学院, 甘肃 兰州 730070;

2. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所 沙坡头沙漠试验研究站, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 应用正交试验设计研究了不同浓度的 Ni^{2+} , Cu^{2+} , Co^{2+} 和温度、光照组合下对骆驼蓬种子萌发特征的影响。结果表明, 低浓度的 Ni^{2+} , Cu^{2+} , Co^{2+} 混合溶液有利于提高骆驼蓬的发芽势、发芽率和发芽指数, 高浓度则表现出明显抑制性; 不管混合溶液中重金属离子浓度的高低, 都会不同程度地影响骆驼蓬幼苗生长, 但浓度较低时抑制不显著; 在 Ni^{2+} 浓度 5 mg/L, Cu^{2+} 浓度 800 mg/L, Co^{2+} 浓度 400 mg/L, 温度 25 °C, 光照 12 h 处理下骆驼蓬的种子萌发快, 发芽率相对较高; 在不同条件作用下, 骆驼蓬幼苗生长的最佳条件是 Ni^{2+} 浓度 100 mg/L, Cu^{2+} 浓度 100 mg/L, Co^{2+} 浓度 50 mg/L, 温度 25 °C, 光照 12 h。

关键词: 骆驼蓬; 种子萌发; 重金属; 温度; 光照

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)01-0033-05

中图分类号: Q945.78, X131.3

Effects of Heavy Metals on Seed Germination Characteristics of *Peganum Harmala* Under Different Temperatures and Illuminations

XU Hui-quan¹, WANG Li¹, FENG Yi-ming¹, HE Ming-zhu²

(1. College of Forestry, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China;

2. Shapotou Experimental Desert Research Station, Environmental and Engineering Research

Institute of Cold and Arid Regions, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, Gansu 730000, China)

Abstract: An orthogonal experiment was conducted to investigate the effects of different concentrations of Ni^{2+} , Cu^{2+} , and Co^{2+} , as well as different temperatures and light combinations, on seed germination features of *Peganum harmala* L and provide a basis for vegetation rehabilitation and ecological restoration in tail mining area. Results showed that low concentration of Ni^{2+} , Cu^{2+} , and Co^{2+} mixture solution was helpful to improve the *Peganum harmala* L germination potential, germination rate, and germination index and high concentration of the mixture solution showed significant inhibition. *Peganum harmala* L seedling growth was influenced by heavy metal ions concentration in the mixture solution in different extent, no matter the concentration was high or low. However, inhibiting effect of low concentration was not significant. In the treatment with 5 mg/L Ni^{2+} , 800 mg/L Cu^{2+} , 400 mg/L Co^{2+} , 25 °C temperature, and 12 h illumination, *Peganum harmala* L seeds germinated fast and germination rate was relatively high. Compared with different conditions, the optimum condition for *Peganum harmala* L seedling growth was found to be 100 mg/L Ni^{2+} , 100 mg/L Cu^{2+} , 50 mg/L Co^{2+} , 25 °C temperature, and 12 h illumination.

Keywords: *Peganum harmala* L; seed germination; heavy metal; temperature; illumination

随着工业的迅速发展和农业的现代化生产, 重金属污染已经成为当今世界特别关注的环境问题。我国仅因污灌受重金属污染的耕地面积近 2.00×10^7 hm^2 , 大约占耕地面积的 $1/5^{[1-2]}$ 。植物中积累的重金属可通过食物链最终进入人体, 给人类健康带来潜在

的危害^[3], 而且不容易治理。重金属污染土壤的物理修复和化学修复不仅成本高, 而且还会使土壤结构遭到破坏, 还有可能造成“二次污染”。植物修复是一种很有发展前途的治理重金属污染土壤的措施, 在不破坏土壤生态环境、保持土壤结构和微生物活性的情况

收稿日期: 2011-04-28

修回日期: 2011-05-20

资助项目: 中国科学院“西部之光”人才培养计划项目“金川公司镍铜尾矿库的生态修复技术研究”(90y054611)

作者简介: 徐慧全(1984—), 男(汉族), 山西省忻州市人, 在读硕士, 主要从事水土保持与荒漠化防治的研究。E-mail: daolvcha2008@163.com。

通信作者: 王立(1963—), 男(汉族), 甘肃省甘谷县人, 博士, 副教授, 主要从事水土保持、沙漠治理, 土地合理利用等方面的教学研究工作。E-mail: wangli@gsau.edu.cn。

下,通过植物根系直接将大量的重金属元素吸收,进而收获植物地上部分来修复被污染的土壤^[4]。

金昌市是我国著名的“镍都”,其镍矿储量丰富,是我国最大的生产基地,铜、钴等矿产储量居全国第 2 位^[5]。主要的重金属元素是 Ni, Co, Cu, 植物生长和生理生态学特征主要受到这 3 种重金属元素的影响。在 Ni, Cu, Co 中 Ni 是近年来被认为是植物生长的必需微量元素,微量的镍对植物的生长有明显的促进作用^[6],镍超过一定浓度就会对植物产生毒害^[16]。Cu 是植物生长的必需微量元素,铜的缺乏会减少质体蓝素和细胞色素氧化酶的合成,导致生长的抑制和光合作用、呼吸作用的降低^[7],铜过量会引起植物生长迟缓,萎黄和根的畸形^[8]。目前认为钴并非植物必需的微量元素,但钴可以改变植物体内营养物质的含量,还可以提高植物的抗逆境能力。对于钴过量的报道不是很多,近年来,一些研究者认为钴在土壤中过量会导致植物叶片发生缺铁性褪绿病,并出现白色坏死斑点,还可产生畸形变态枝和皮上长瘤,Wallance 等^[9]还指出钴与其他微量元素在过量情况下发生协同作用是很普遍的。

不论是植物的必需元素还是非必需元素,在植物体内超过一定量时,会使植物代谢过程发生紊乱,生长发育受阻,甚至导致植物死亡。而有些植物体内具有某些特定生理机制,使植物能生存于较高浓度含量的重金属中而不受损害,这种特性就是植物的耐受性^[10]。因此,在尾矿库或矿山修复的过程中筛选对重金属具有耐受性的植物具有重要的意义,本文选择的骆驼蓬是该区域的优势植物之一。骆驼蓬(*Peganum harmala* L)是蒺藜科(Zygophyllaceae)骆驼蓬属(*Peganum*)植物,多年生草本且茎多分枝,根长、大且深,覆盖度较好,固土作用强,分布于新疆、蒙古、中亚、西亚、伊朗、印度,地中海地区及非洲北部等干旱草地、沙地、盐碱地及阳坡山地,具有很强的抗旱性,适应性强,其植物体含有的骆驼蓬碱有较高的药用价值^[11-13]。

种子萌发和幼苗生长是植物对外界环境反应的开始,种子萌发时期的生长状况直接影响植物的生长和生物产量,因此研究重金属胁迫对种子萌发的影响显得尤为重要。研究表明,重金属铅对水稻、小麦、玉米的发芽率、幼苗生长、根的伸长都有抑制作用^[14-15]。本文研究了不同浓度的 Ni²⁺, Cu²⁺, Co²⁺ 混合溶液在不同温度和光照条件下对骆驼蓬种子萌发的影响,以此寻求其最佳水平组合,为骆驼蓬应用于尾矿区、土壤镍、铜、钴污染地区进行植被复垦和生态修复提供实验依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

供试的骆驼蓬种子于 2009 年 10 月采自沙坡头站试验地,采集后常温密封保存;使用人工气候箱(型号 QHX-400B5-III,上海新苗医疗器械制造有限公司)进行萌发试验。

重金属 Ni, Cu, Co 分别采用 Ni(NO₃)₂·6(H₂O), CuSO₄·5(H₂O), CoCl₂·6(H₂O) 配制,其浓度设置见表 1。试剂均为分析纯,试验用水均为去离子水。

表 1 骆驼蓬种子萌发各因素水平梯度

水平	Ni/ (mg·L ⁻¹)	Cu/ (mg·L ⁻¹)	Co/ (mg·L ⁻¹)	光照/ h	温度/ ℃
1	0	0	0	0	20
2	5	40	20	12	25
3	50	100	50	24	30
4	100	200	100	—	35
5	300	500	200	—	—
6	400	800	300	—	—
7	550	1 000	400	—	—

1.2 试验方法

选用混合水平正交表设置本试验,各因素及水平与表中编号随机对应,分别以 A, B, C, D, E 代表 Ni²⁺ 浓度、Cu²⁺ 浓度、Co²⁺ 浓度、光照和温度的处理因素;1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 分别表示 Ni²⁺ 浓度、Cu²⁺ 浓度、Co²⁺ 浓度 7 个水平,光照设 3 个水平,温度设 4 个水平,由此可得到 49 个试验处理组合(表 2)。

根据正交试验的设计,试验在 2010 年 3 月 15 日开始进行。挑选籽粒饱满大小一致的骆驼蓬种子放入培养皿中,用 1% 的 NaClO 溶液消毒 15 min 后,用去离子水冲洗 3 次后,用滤纸吸干种子表面水分,然后移至铺有 2 层滤纸的灭菌烘干培养皿(9 cm)中,每个培养皿中均匀地放入 50 粒种子,再按照正交试验设计表 2 要求加入配好的 Ni²⁺, Cu²⁺ 和 Co²⁺ 混合溶液,至滤纸饱和为止,对照加入去离子水,每处理 3 次重复。然后将各个处理置于相对湿度 75% 的恒温培养箱中,按要求进行培养。每日根据培养皿上的标记用称重法加相应处理的溶液恒重,使种子保持湿润状态。以胚芽长度大于 1 mm 作为发芽标准,在萌发第 4 d 计算其发芽势,第 10 d 计算发芽率、发芽指数,并用游标卡尺测量幼苗根长和苗高。

1.3 分析指标及数据处理

1.3.1 种子发芽率 指发芽种子数占供试种子的百分数,表示群体种子形成幼苗的潜势:

发芽率(%)=(发芽种子数/供试种子总数)×100%

1.3.2 种子发芽势 指发芽达到高峰时种子的发芽率:

发芽势(%)=(4 d 内供试种子发芽数/供试种子数)×100%

1.3.3 种子发芽指数 反应种子品质的重要参数。

发芽指数 = $\sum G_t / D_t$

式中: G_t —— t 时间内的发芽数; D_t ——相应的发芽天数。

1.3.4 数据处理 采用 SPSS 16.0 统计分析数据和 Microsoft Excel 2003 绘图。

表 2 骆驼蓬种子萌发正交试验方案

处理 编号	Ni ²⁺ / (mg·L ⁻¹)	Cu ²⁺ / (mg·L ⁻¹)	Co ²⁺ / (mg·L ⁻¹)	光照 时间/h	温度/ ℃	处理 编号	Ni ²⁺ / (mg·L ⁻¹)	Cu ²⁺ / (mg·L ⁻¹)	Co ²⁺ / (mg·L ⁻¹)	光照 时间/h	温度/ ℃
1	0	100	100	12	25	26	100	0	400	0	20
2	0	40	300	12	20	27	100	100	50	12	25
3	0	800	200	0	30	28	100	1 000	20	24	20
4	0	0	0	0	20	29	300	500	0	0	25
5	0	500	400	24	30	30	300	1 000	100	12	30
6	0	1 000	50	0	35	31	300	800	300	0	30
7	0	200	20	24	25	32	300	40	400	24	20
8	5	100	300	0	20	33	300	100	200	24	20
9	5	200	100	12	20	34	300	200	50	0	25
10	5	0	50	24	30	35	300	0	20	12	35
11	5	1 000	200	24	30	36	400	0	100	0	30
12	5	500	20	12	25	37	400	1 000	300	0	25
13	5	40	0	0	35	38	400	500	50	24	20
14	5	800	400	12	25	39	400	40	20	0	30
15	50	500	100	0	20	40	400	100	400	12	35
16	50	200	300	24	35	41	400	800	0	24	25
17	50	40	50	12	30	42	400	200	200	12	20
18	50	100	0	24	30	43	550	1 000	0	12	20
19	50	800	20	0	20	44	550	500	200	0	35
20	50	1 000	400	0	25	45	550	100	20	0	30
21	50	0	200	12	25	46	550	800	50	12	20
22	100	200	0	0	30	47	550	200	400	0	30
23	100	40	200	12	25	48	550	40	100	24	25
24	100	500	300	12	30	49	550	0	300	24	25
25	100	800	100	24	35						

2 结果与分析

2.1 不同组合对骆驼蓬种子发芽的影响

由表 3 可以看出,处理 14(A₂,B₅,C₇,D₂,E₂)骆驼蓬种子的发芽势、发芽率、发芽指数都比重金属离子浓度为 0 的处理 4(A₁,B₁,C₁,D₁,E₁)高,而且差异极显著($p < 0.01$);处理 25(A₄,B₅,C₄,D₃,E₄)骆驼蓬种子的发芽势、发芽率和发芽指数最低,与同水平处理相比差异性极显著($p < 0.01$)。在相同温度和光照条件下低浓度的 Ni²⁺,Cu²⁺,Co²⁺混合溶液有利于提高骆驼蓬的发芽势、发芽率和发芽指数;随着浓度的升高对发芽势、发芽率和发芽指数逐渐表现出抑制作用。

因此可以得出,在该试验中对骆驼蓬发芽势、发芽率和发芽指数的最优组合是 Ni²⁺ 浓度 5 mg/L,

Cu²⁺ 浓度 800 mg/L,Co²⁺ 浓度 400 mg/L,温度 25 ℃,光照 12 h。

2.2 不同组合处理对骆驼蓬苗高的影响

由图 1 可知不同组合处理对骆驼蓬苗高均有抑制,苗高最高的是处理 4(A₁,B₁,C₁,D₁,E₁),处理 9(A₂,B₄,C₄,D₂,E₁)、处理 23(A₄,B₂,C₅,D₂,E₂)和处理 27(A₄,B₃,C₃,D₂,E₂)与处理 4 相比对苗高略有减少,但差异不显著($p > 0.05$);对骆驼蓬苗高抑制最显著的是处理 43(A₇,B₇,C₁,D₂,E₁)。试验结果表明不管混合溶液中重金属离子浓度高或低,都会不同程度地对骆驼蓬苗高造成影响,组合处理重金属浓度较低时,对骆驼蓬苗高抑制不显著,组合处理浓度升高对骆驼蓬苗高表现出明显抑制作用。所以适合骆驼蓬幼苗生长的有处理 9(A₂,B₄,C₄,D₂,E₁)、处理 23(A₄,B₂,C₅,D₂,E₂)和处理 27(A₄,B₃,C₃,D₂,E₂)。

表 3 不同处理对骆驼蓬种子萌发的影响

处理	发芽势/%	发芽率/%	发芽指数	处理	发芽势/%	发芽率/%	发芽指数
1	20.67CDEFGHI	40.67BCDE	5.40CDE	26	39.33AB	52.00AB	5.88BCD
2	11.33DEFGHI	28.00CDEF	2.82EFGH	27	26.67BCDEF	38.67BCDEF	4.43CDEFG
3	16.00DEFGHI	28.00CDEF	2.99EFGH	28	5.33GHI	34.67BCDEF	3.16EFGH
4	32.00BCD	45.33BCD	5.10CDE	29	30.67BCD	39.33BCDEF	4.62CDEF
5	28.67BCD	40.00BCDE	4.59CDEF	30	22.00CDEFGH	26.67DEF	3.17EFGH
6	18.67CDEFGHI	22.00DEF	2.14FGHI	31	18.67CDEFGHI	32.67BCDEF	3.43DEFGH
7	26.67BCDEF	38.00BCDEF	4.22CDEFG	32	13.33DEFGHI	38.67BCDEF	3.89CDEFG
8	30.00BCD	35.33BCDEF	4.13CDEFG	33	18.67CDEFGHI	41.33BCDE	4.31CDEFG
9	30.67BCD	40.00BCDE	4.59CDEF	34	26.67BCDEF	29.33CDEF	3.60DEFGH
10	16.67CDEFGHI	28.67CDEF	3.21EFGH	35	24.67BCDEFG	36.00BCDEF	3.97CDEFG
11	20.67CDEFGHI	24.67DEF	2.94EFGH	36	7.33EFGHI	20.00EF	1.82GHI
12	29.33BCD	41.33BCDE	6.18BC	37	26.00BCDEF	34.00BCDEF	3.95CDEFG
13	14.67DEFGHI	18.00EF	1.74GHI	38	12.00DEFGHI	32.00BCDEF	3.19EFGH
14	40.00A	52.67A	7.98A	39	18.67CDEFGHI	26.00DEF	2.98EFGH
15	39.33AB	42.00BCDE	5.12CDE	40	26.00BCDEF	32.67BCDEF	3.81CDEFGH
16	6.00FGHI	15.33F	1.19HI	41	37.33ABC	41.33BCDE	5.04CDE
17	15.33DEFGHI	24.67DEF	2.73EFGH	42	4.67GHI	22.00DEF	2.05FGHI
18	28.67BCD	38.67BCDEF	4.37CDEFG	43	4.00HI	25.33DEF	2.16FGHI
19	26.67BCDEF	35.33BCDEF	3.97CDEFG	44	23.33BCDEFGH	27.33CDEF	2.67EFGH
20	26.00BCDEF	32.67BCDEF	3.79CDEFGH	45	20.00CDEFGHI	31.33CDEF	3.40DEFGH
21	30.67BCD	51.33ABC	7.28AB	46	5.33GHI	42.00BCDE	3.55DEFGH
22	11.33DEFGHI	20.67DEF	2.29FGHI	47	18.67CDEFGHI	28.67CDEF	3.11EFGH
23	21.33CDEFGH	28.67CDEF	3.33DEFGH	48	31.33BCD	40.67BCDE	4.68CDEF
24	12.00DEFGHI	19.33EF	2.20FGHI	49	28.00BCDE	29.33CDEF	3.63CDEFGH
25	0.67I	2.00G	0.15I				

注:大写字母表示差异极显著($p=0.01$),具有相同字母表示无显著差异,不同字母表示具有显著差异。

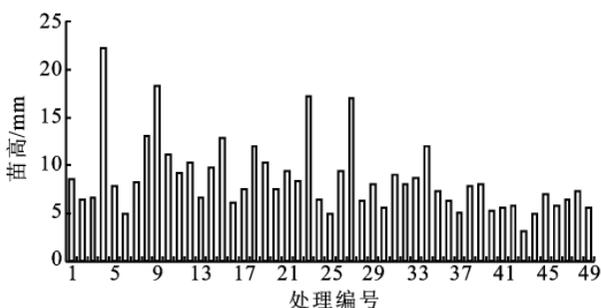


图 1 不同处理对骆驼蓬苗高的影响

照的组合为 Ni^{2+} 浓度 100 mg/L, Cu^{2+} 浓度 100 mg/L, Co^{2+} 浓度 50 mg/L, 温度 25 °C, 光照 12 h (图 2)。

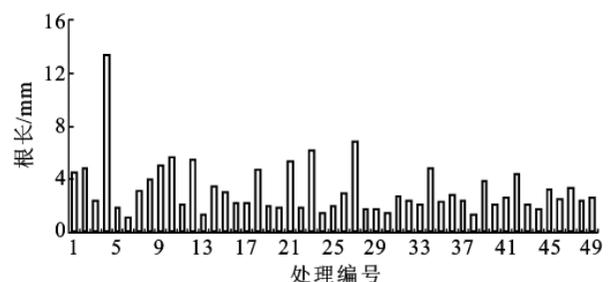


图 2 不同处理对骆驼蓬根长的影响

2.3 不同组合处理对骆驼蓬根长的影响

从试验结果可以看出对骆驼蓬根生长抑制最显著的是处理 6(A_1, B_7, C_3, D_1, E_4),对根长生长起到明显促进作用的是处理 4(A_1, B_1, C_1, D_1, E_1);处理 27(A_4, B_3, C_3, D_2, E_2)与处理 4 相比根长降低 6.6 mm,二者存在差异性但不显著($p>0.05$);由试验可知混合离子处理浓度较低时对骆驼蓬根长抑制较小,随着混合离子浓度增大表现出对骆驼蓬根生长的抑制作用增强,此时主根根系短粗、发黑、较僵硬、畸形呈块状。因此综合考虑可选的重金属离子浓度、温度和光

2.4 不同组合处理对骆驼蓬幼苗鲜重的影响

由图 3 可看出,处理 27(A_4, B_3, C_3, D_2, E_2)骆驼蓬鲜重值明显高于金属离子浓度为 0 的处理 4(A_1, B_1, C_1, D_1, E_1),差异性显著($p<0.05$);在处理 43(A_7, B_7, C_1, D_2, E_1)骆驼蓬鲜重值受到的抑制性极显著($p<0.01$)。试验结果表明,低浓度的混合离子组合处理对骆驼蓬幼苗生长有促进作用,幼苗生长旺盛,鲜重值明显增大。随着混合离子组合处理浓度的增加,幼苗逐渐枯黄,生长受到抑制,鲜重不断下降。

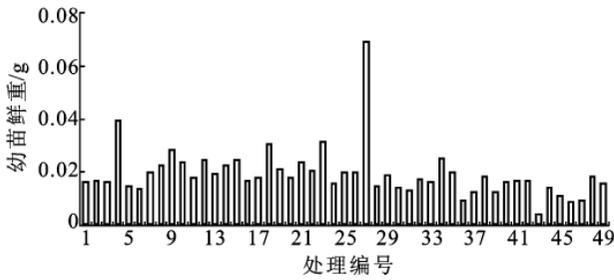


图 3 不同处理对骆驼蓬幼苗鲜重的影响

3 结论

通过正交设计研究不同浓度的 Ni^{2+} , Cu^{2+} , Co^{2+} , 及温度和光照的组合对骆驼蓬种子的发芽的影响, 结果表明在组合处理中混合离子浓度较低时, 有利于促进骆驼蓬发芽程度; 在组合处理中混合离子浓度较高时, 明显抑制骆驼蓬的发芽程度。对骆驼蓬萌发的最佳组合是处理 14 ($\text{A}_2, \text{B}_6, \text{C}_7, \text{D}_2, \text{E}_2$), 即 Ni^{2+} 浓度为 5 mg/L, Cu^{2+} 浓度为 800 mg/L, Co^{2+} 浓度为 400 mg/L, 光照时间为 12 h, 温度为 25 °C 时骆驼蓬的萌发程度最高。

低浓度的混合离子组合处理对骆驼蓬幼苗生长有促进作用, 随着组合处理中混合离子浓度的增加对骆驼蓬生长抑制作用越显著。

研究表明对骆驼蓬幼苗生长的最佳组合是处理 27 ($\text{A}_4, \text{B}_3, \text{C}_3, \text{D}_2, \text{E}_2$), 即 Ni^{2+} 浓度为 100 mg/L, Cu^{2+} 浓度为 100 mg/L, Co^{2+} 浓度为 50 mg/L, 光照时间为 12 h, 温度为 25 °C。骆驼蓬萌发及幼苗生长对重金属镍、铜、钴复合污染耐性较强, 随着复合重金属离子浓度的升高耐性逐渐减弱。有关骆驼蓬能够较好地生长在镍、铜、钴尾矿废弃地上的机理还需进一步深入研究。

[参 考 文 献]

- [1] 王凯荣. 我国农田镉污染现状及其治理利用对策[J]. 农业环境保护, 1997, 16(6): 274-278.
- [2] 王树会, 许美玲. 重金属铅胁迫对不同烟草品种种子发芽的影响[J]. 种子, 2006, 25(8): 27-29.
- [3] 周启星, 宋玉芳. 污染土壤修复原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 1-25.
- [4] 李景信, 孙国荣. 盐碱胁迫对苜蓿萌发种子呼吸代谢的影响[J]. 草业科学, 1993, 9(2): 24-26.
- [5] 廖晓勇, 陈同斌, 阎秀兰, 等. 金昌镍铜矿区植物的重金属含量特征与先锋植物筛选[J]. 自然资源学报, 2007, 22(3): 486-495.
- [6] 张西科, 张福锁, 李春俭. 植物生长必需的微量营养元素—镍[J]. 土壤, 1996, 6(4): 176-179.
- [7] Baorn-Ayala M, Smandlann G. Activities of Cu-containing proteins in Cu-depleted pea levae [J]. Physiol Plant., 1988, 72(4): 801-806.
- [8] Maria Drzakiewicz, Ewa skorzynska-Polit, Zbigniew Krupa. Copper-induced oxidative steress and antioxidant defence in *Arabidopsis thaliana* [J]. Biometals, 2004, 17(4): 379-387.
- [9] 陆宇. 豆科与禾本科牧草对土壤钴水平的形态与生理响应[D]. 北京: 中国农业科学院北京畜牧兽医研究所, 2008.
- [10] 王艳, 辛士刚, 马莲菊, 等. 翦股颖和高羊茅对铜、铅吸收及耐受性[J]. 应用生态学报, 2007, 18(3): 625-630.
- [11] 郭本兆. 骆驼蓬. 青海经济植物志[M]. 西宁: 青海人民出版社, 1987, 359-361.
- [12] 马骥, 王勋陵. 中国荒漠地区骆驼蓬属植物种类与分布[J]. 中国沙漠, 1998, 18(2): 131-136.
- [13] 王长虹, 刘军, 郑立明, 等. 不同产地骆驼蓬不同药用部位中生物碱的含量分析[J]. 中国药学杂志, 2002, 37(3): 212-215.
- [14] 苗明升, 朱圆圆, 曹明霞, 等. 重金属铅对玉米萌发和早期生长发育的影响[J]. 山东师范大学学报, 2003, 18(1): 82-84.
- [15] 陈振华, 张胜, 胡晋, 等. 铅污染对 3 个水稻品种种子活力的影响[J]. 中国水稻科学, 2005, 19(3): 269-272.
- [16] 鲁艳, 何明珠, 马全林, 等. 镍胁迫对 7 种旱生植物种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 种子, 2009, 28(6): 26-29.