

复合重金属胁迫下 5 种植物微观结构的变化

张云¹, 陈金发², 李海涛¹, 高容¹, 孙琪旗¹

(1. 西昌学院 资源与环境学院, 四川 西昌 615013; 2. 凉山彝族自治州林业和草原局, 四川 西昌 615000)

摘要:为探明植物在复合重金属胁迫下微观结构的变化, 采用徒手切片法, 对矿渣堆放地和自然地两种生境中的 5 种植物: 蓖麻、刺苋、鬼针草、空心莲子草和紫茎泽兰的茎叶解剖结构进行观察, 并测量其叶片厚度、气孔长度和宽度、叶脉厚度、叶脉突起度、茎表皮细胞长度和宽度、茎皮层厚度等指标。结果表明: 5 种植物的气孔宽度、叶脉厚度和叶脉突起度在两种生境中无显著差异; 除刺苋外, 矿渣地生境中的其他 4 种植物的气孔长度均明显大于自然地生境中的植物, 其中鬼针草的气孔长度变化最为明显; 与自然地植物相比, 矿渣地 5 种植物以较为细长的气孔器、较厚的茎皮层组织等特征来适应重金属环境。矿渣地生境对紫茎泽兰的影响较小。

关键词: 重金属; 复合污染; 植物; 矿渣地

中图分类号: X173 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-5500(2021)01-0033-08

DOI: 10.13817/j.cnki.cyyecp.2021.01.005

重金属污染的土壤的治理与修复是生态学与环境科学近年来研究的热点之一, 其中植物修复是目前研究最多的一种有潜力、低成本的绿色土壤污染修复技术。植物细胞的微观变化间接反映了植物的耐污力, 而较强的耐活力是修复备选植物的重要条件之一^[1]。长期生长在重金属污染土壤中的植物, 其体内各种生物结构会发生变化, 而内部结构的变化特点最能体现出植物对环境的适应能力或环境因子对植物造成的影响^[2]。近年来, 国内外对异质环境下植物解剖结构变化方面的研究报道较多。崔国文等^[3]发现在寒冷环境下, 植物的叶脉突起度和气孔密度会增大。孙琳旒等^[4]发现长期处在干旱条件中的植物茎会为了适应环境而产生相应的变化, 它们有较厚的皮层组织和排列紧密的细胞结构; 易诗明等^[5]在对蓖麻抵挡铅锌胁迫时的研究发现, 蓖麻根系外皮层也会有加厚并出现木

栓积累的现象。目前对生长在重金属污染土壤中的植物茎叶解剖特征变化的报道较少, 茎是植物输送养分和水分的器官, 叶片是与环境接触面积最大的器官, 两者对外界的环境变化较为敏感, 它们的解剖结构与植物对异质环境的适应性之间存在紧密关系^[6]。

本试验以某冶炼厂铜矿渣堆放地生长的 5 种常见植物为研究对象, 以自然背景土壤中相应的 5 种植物做对照, 对它们的茎叶进行显微观察, 探讨重金属对植物解剖结构的伤害特点以及植物对重金属的适应机理, 为选育耐重金属污染植物提供植物解剖学方面的参考。

1 材料和方法

1.1 试验材料

试验植物(experimental group, EG)与对照植物(control check, CK)分别采自于某冶炼厂铜矿渣堆放地和西昌学院周边, 时间为 2018 年 9 月。采集时选择生长状况良好的蓖麻、刺苋、鬼针草、空心莲子草和紫茎泽兰, 植物的基本情况见表 1, 土壤的重金属含量及理化性质见表 2。

1.2 试验方法

1.2.1 样品的处理 将两地采集的植物保湿带回实验室, 先用自来水将表面污垢洗干净, 再用去离子水漂

收稿日期: 2020-03-19; 修回日期: 2020-04-13

基金项目: 国家自然科学基金(E08042); 西昌学院“两高”项目基金(LGLZ201906)

作者简介: 张云(1988-), 女, 四川会理县人, 硕士, 讲师, 主要从事植物生态学方向研究。

E-mail: 511672848@qq.com

陈金发为通讯作者。

E-mail: 84536683@qq.com

表 1 试验所用材料的基本情况

Table1 Basic information of materials used in the test

序号	植物名称	拉丁文	科	属	简称
1	蓖麻	<i>Ricinus communis</i>	大戟科	蓖麻属	B
2	刺苋	<i>Amaranthus spinosus</i>	苋科	苋属	C
3	鬼针草	<i>Bidens plosa</i>	菊科	鬼针草属	G
4	空心莲子草	<i>Alternathera philoxeroides</i>	苋科	莲子草发属	K
5	紫茎泽兰	<i>Eupatorium adenophora</i>	菊科	泽兰属	Z

表 2 基质的重金属含量及理化性质

Table 2 Heavy metal content and physicochemical properties of matrix

土壤	重金属含量/(mg·kg ⁻¹)			pH 值	有机质含量/%
	Pb	Cu	Zn		
自然土	151.24	158.25	482.57	7.66	4.04
矿渣土	11893.75	6881.25	32995.25	7.78	4.5

洗 3 遍,做好标签放入 4℃冰箱冷藏备用。

1.2.2 叶片下表皮气孔结构的观察 采用徒手切片法,先在洁净的载玻片上加几滴蒸馏水,然后摘取植株顶部第三片成熟叶,用镊子轻微撕下叶片的下表皮放在载玻片的水滴上,等表皮完全展开后用盖玻片轻轻盖上,尽量不要有气泡^[7]。将制好的临时装片放在光学显微镜 CX31(40×)下观察并拍照记录结果,然后用 ToupView 软件测量气孔的长度和宽度,计算长宽比。每种植物至少做 3 次重复,结果以“平均值±标准差”的形式表示。

1.2.3 主叶脉横切面的观察 先在两片刀片间沾几滴清水,使两片刀片贴紧对齐。右手捏紧刀片,从叶片主脉一端缓慢地切向另一端,注意刀片不要来回切割,把切下的切片放在装有去离子水的干净养皿中。用镊子选取最薄的切片按 1.2.2 的方法在光学显微镜(10×)下观察其结构,测量及统计的指标有叶脉厚度、叶片厚度和叶脉突起度。叶脉突起度=叶脉厚度/叶片厚度。

1.2.4 茎解剖结构的观察 用 1.2.3 的方法切取植物第 3~6 位茎节制作成装片在光学显微镜(10×)下观察其结构,并测量统计茎表皮细胞大小和皮层厚度。

1.2.5 茎叶重金属含量的测定 分别取 1.2.1 中保存的 5 种植物的茎叶,先在 105℃的烘箱中杀青 5 min,然后在 70℃下烘至质量不变,用粉碎机粉碎并过 80 目筛。称取 0.2 g 左右粉碎样品放到消解罐中,精

确记录其质量,加入 5 mL 硝酸,用微波消解仪(上海屹尧,WX-4000)消解。等消解仪上显示的温度降到 80℃以下后,将消解罐取出并放在通风橱内。再加入 2 mL H₂O₂至浓烟冒尽,然后将其移到 50 mL 容量瓶并用去离子水定容。定容后的样品采用火焰原子吸收分光光度计(普析,TAS990)测定相应部位中铜、铅和锌含量。每个部位做 3 个平行样,所有数据以“平均值±标准差”表示。

1.3 数据分析

试验数据用 excel 进行整理,采用 SPSS 23.0 软件进行数据的统计分析。

2 结果与分析

2.1 植物茎叶重金属含量

对照植物的重金属含量均在正常含量^[8](Cu:5~30;Zn:10~100;Pb≤10;单位 mg/kg)范围内,满足对照试验要求。矿渣地的 5 种植物对于 3 种重金属的总富集量除空心莲子草外,均高于自然地的对应总富集量(图 1,图 2)。说明空心莲子草向茎叶转移重金属的能力较差,具有重金属的规避特征^[9]。

2.2 叶解剖结构特征比较

2.2.1 气孔结构 矿渣地植物与对照植物的叶表皮细胞形状无较大差异,蓖麻、刺苋、空心莲子草多为多边形,鬼针草、紫茎泽兰多为花瓣形(图 3)。

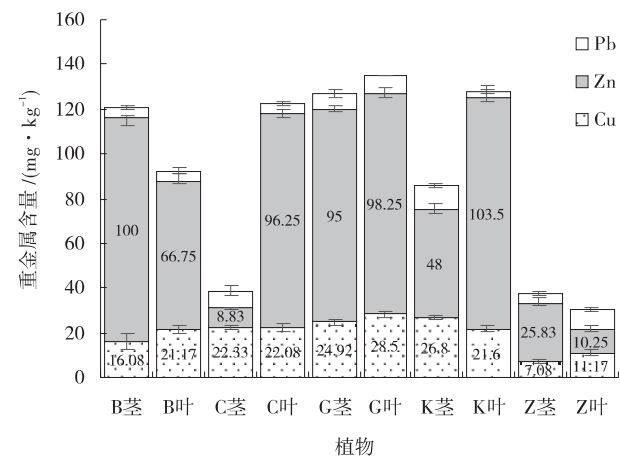


图 1 自然地植物茎叶重金属含量

Fig. 1 Heavy metals content in stems and leaves of natural plants

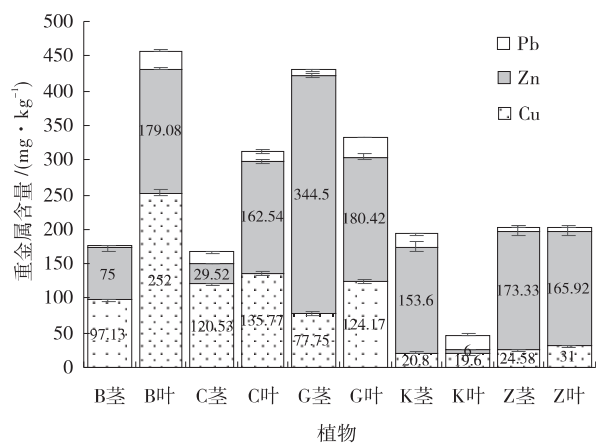


图 2 矿渣地植物茎叶重金属含量

Fig. 2 Heavy metals content in stems and leaves of slag field plants

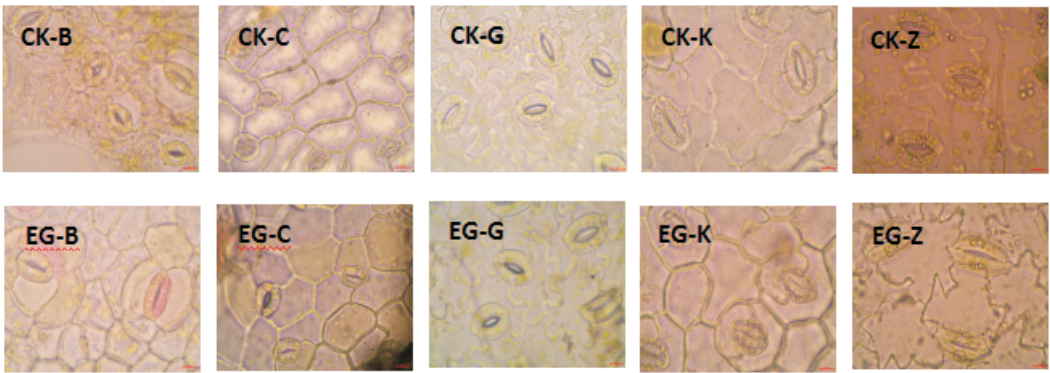


图 3 植物叶下表皮气孔结构

Fig. 3 Stomatal structure of lower epidermis of plant leaves

注:图片中所有符号表示含义见表 1,下同

5 种矿渣地植物的气孔开放度都相对较小。气孔宽度在两种生境中没有显著差异。气孔长宽比除刺苋外,其他 4 种植物均存在显著差异。除刺苋外的 4 种矿渣地植物气孔长度均显著大于自然地植物,其中鬼针草气孔长度的差异极显著(表 3)。

2.2.2 主叶脉结构 2 种生境下 5 种植物的主叶脉解剖结构没有差异(图 4)。表皮位于叶脉的最外层,表皮以内是大量的基本组织,基本组织的细胞较大。维管束呈半环形,木质部靠上方,韧皮部靠下方。

表 3 两种生境中植物叶片气孔特征比较

Table 3 Comparison of stomatal characteristics of plant leaves in two habitats				μm
植物	指标	CK	EG	
蓖麻	气孔长度	25.00±3.84 ^b	30.45±1.65 ^a	
	气孔宽度	18.64±2.41 ^c	18.27±1.31 ^c	
	气孔长宽比	1.39±0.03 ^b	1.67±0.05 ^a	
刺苋	气孔长度	18.70±1.89 ^c	19.69±2.05 ^c	
	气孔宽度	16.34±1.67 ^c	16.12±1.73 ^c	
	气孔长宽比	1.14±0.12 ^c	1.22±0.09 ^c	
鬼针草	气孔长度	25.91±1.31 ^B	30.43±1.29 ^A	
	气孔宽度	21.37±0.33 ^c	21.70±3.51 ^c	
	气孔长宽比	1.21±0.06 ^b	1.40±0.19 ^a	

续表 3

植物	指标	CK	EG
空心莲子草	气孔长度	34.04±0.87 ^b	30.63±1.91 ^a
	气孔宽度	21.39±1.45 ^c	21.67±0.49 ^c
	气孔长宽比	1.59±0.05 ^b	1.41±0.07 ^a
紫茎泽兰	气孔长度	33.30±2.82 ^b	38.28±1.53 ^a
	气孔宽度	24.42±0.40 ^c	24.65±2.58 ^c
	气孔长宽比	1.36±0.08 ^b	1.55±0.13 ^a

注:同行不同小写字母表示同一指标在两种生境差异显著($P<0.05$),不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$),下同

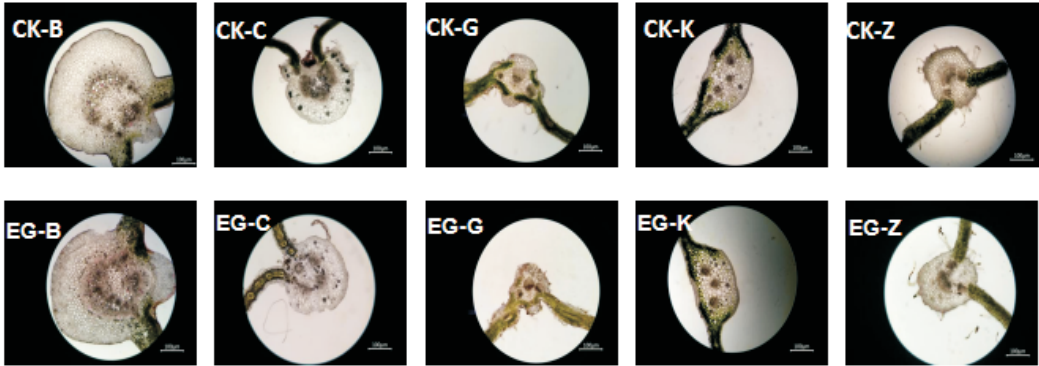


图 4 植物主叶脉横切结构

Fig. 4 Transverse structure of main leaf vein of plant

与对照植物相比,矿渣地植物的叶脉及叶片厚度无显著性差异。鬼针草主叶脉的突起度显著大于自然起度在 2 种生境中的差异不显著(表 4)。

表 4 植物主叶脉横切结构特征

Table 4 Characteristics of transverse structure of main leaf vein in plants μm

植物	指标	CK	EG
菵麻	叶脉厚度	549.87±4.46 ^c	553.05±7.21 ^c
	叶片厚度	122.79±1.22 ^c	120.56±0.70 ^c
	叶脉突起度	4.48±0.07 ^c	4.59±0.09 ^c
刺苋	叶脉厚度	293.27±3.61 ^c	331.94±54.90 ^c
	叶片厚度	48.09±1.81 ^c	54.73±4.70 ^c
	叶脉突起度	6.10±0.16 ^c	6.10±1.19 ^c
鬼针草	叶脉厚度	211.97±0.31 ^c	211.98±1.15 ^c
	叶片厚度	58.98±0.32 ^c	57.32±0.96 ^c
	叶脉突起度	3.59±0.02 ^b	3.70±0.05 ^a
空心莲子草	叶脉厚度	205.29±1.25 ^c	198.08±2.27 ^c
	叶片厚度	65.01±6.21 ^c	59.03±5.11 ^c
	叶脉突起度	3.18±0.30 ^c	3.38±0.25 ^c
紫茎泽兰	叶脉厚度	252.42±3.21 ^c	260.97±7.46 ^c
	叶片厚度	59.58±1.87 ^c	54.49±5.54 ^c
	叶脉突起度	4.22±0.08 ^c	4.82±0.52 ^c

2.3 茎解剖结构特征比较

2.3.1 表皮细胞 受重金属影响,矿渣地植物茎表皮的细胞呈长方形或不规则,大小不一,含叶绿体少(图 5)。除蓖麻外,其他 4 种植物茎表皮细胞宽度在 2 种

生境中无显著差异;除鬼针草和紫茎泽兰外,另外 3 种植物茎表皮细胞长度均显著小于对照。2 种生境下鬼针草与紫茎泽兰的皮层厚度无显著性差异,其余 3 种植物的皮层厚度均在 0.01 水平上差异显著(表 5)。

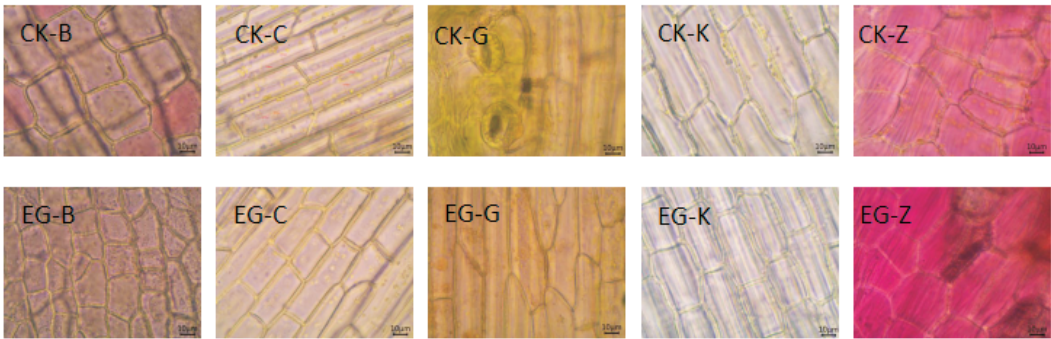


图 5 植物茎表皮细胞解剖结构

Fig. 5 Anatomical structure of plant stem epidermal cells

表 5 植物茎解剖结构

Table 5 Anatomical structure of plant stem system

		μm	
植物	指标	CK	EG
蓖麻	表皮细胞长	43.73±10.23 ^b	21.76±4.89 ^a
	表皮细胞宽	34.85±3.33 ^b	16.79±3.41 ^a
	皮层厚度	170.97±8.98 ^b	299.88±8.21 ^a
刺苋	表皮细胞长	63.74±9.73 ^b	42.36±11.91 ^a
	表皮细胞宽	15.71±2.33 ^c	16.25±0.93 ^c
	皮层厚度	63.04±5.67 ^b	88.91±8.59 ^a
鬼针草	表皮细胞长	61.15±15.17 ^c	44.84±7.56 ^c
	表皮细胞宽	19.11±2.74 ^c	16.62±1.42 ^c
	皮层厚度	48.64±14.29 ^c	56.00±8.51 ^c
空心莲子草	表皮细胞长	75.08±12.43 ^b	43.03±6.16 ^a
	表皮细胞宽	22.73±1.56 ^c	20.55±3.41 ^c
	皮层厚度	109.54±8.76 ^b	184.53±2.65 ^a
紫茎泽兰	表皮细胞长	41.88±7.00 ^c	39.68±7.50 ^c
	表皮细胞宽	22.33±8.08 ^c	25.99±7.48 ^c
	皮层厚度	55.93±4.67 ^c	63.55±3.96 ^c

2.3.2 茎横切结构 5 种矿渣地植物茎的横切面结构相似,都能明显的分辨出表皮、皮层和维管柱(图 6)。矿渣地植物茎的维管束与对照组差别大,发育受到了影响,皮层较厚(表 5)。

2.4 植物茎叶中重金属含量与解剖结构相关性分析

植物茎中铜的含量与叶片厚度呈极强正相关,叶中的铜与气孔宽度、表皮细胞宽呈极强负相关。植物茎中锌的含量与气孔宽度呈极强正相关,叶中的锌与气孔长度、气孔长宽比、表皮细胞长呈极强正相关。植

物茎中的铅与气孔长度呈极强负相关(表 6)。

与其他 4 种植物蓖麻、刺苋、空心莲子草、鬼针草相比,矿渣地生境对紫茎泽兰的影响相对较小,叶脉突起度、皮层厚度与自然地差异不显著。

3 讨论

植物通过调整内部结构来适应逆境,这种调节过程可以反映植物对环境变化的适应能力^[10]。茎有为植物体输送养料的作用,其组织构造对外界环境的反

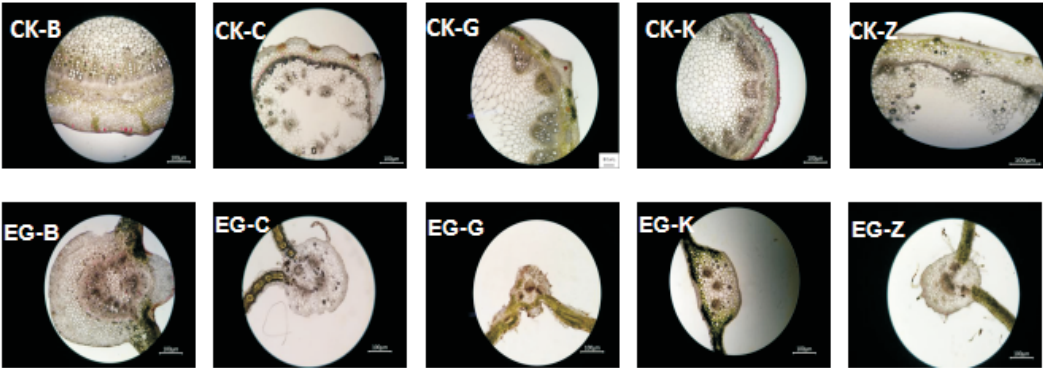


图 6 植物茎横切结构

Fig. 6 Transverse structure of plant stem

表 6 5 种植物茎叶中重金属含量与解剖结构相关性

Table 6 Correlation between heavy metal content and anatomical structure in stems and leaves of five plants

		气孔 长度	气孔 宽度	气孔长 宽比	叶脉 厚度	叶片 厚度	叶脉突 起度	表皮细 胞长	表皮细 胞宽	皮层 厚度
植物茎	铜	0.424	−0.792	0.575	0.699	0.852*	−0.638	−0.007	−0.387	0.125
	锌	0.085	0.906*	−0.062	−0.403	−0.359	0.326	0.359	0.551	−0.715
	铅	−0.833*	0.003	−0.772	0.498	0.443	−0.307	−0.481	0.497	−0.183
植物叶	铜	0.552	−0.827*	0.684	0.208	0.411	−0.538	−0.11	−0.833*	0.568
	锌	0.94*	−0.294	0.93*	0.322	0.195	0.337	0.845*	−0.072	−0.244
	铅	−0.135	−0.207	−0.058	−0.407	−0.013	−0.739	−0.737	−0.726	0.614

注:0.8~1.0 极强相关,0.6~0.8 强相关,0.4~0.6 中等程度相关,0.2~0.4 弱相关,0.0~0.2 极弱相关或无相关。* 为极强相关

应较为敏感,其变化反映了植物茎对环境条件的适应以及环境对茎造成的影响,也是植物整体对环境条件的适应的结果^[11]。本实验中,植物茎对重金属胁迫的反应主要表现为表皮细胞变小、皮层加厚。蓖麻、刺苋、空心莲子草的表皮细胞长度和皮层厚度在自然地和矿渣生境中均存在极显著差异。植物表面细胞变小、排列更紧密可能是由于重金属导致其生长变慢^[12]。

气孔保卫细胞是一种高度分化的细胞,它有复杂的信号转导机制,能够非常灵敏地感受各种生物和非生物刺激,并转化成胞内信号来控制气孔的大小,从而调节植物的生理状态^[13-14]。重金属胁迫下,5 种植物叶下表皮气孔长宽比增大,气孔开放程度减小,这是因为植物体内信号在进行传导的过程中受到了重金属离子的干扰或因重金属离子导致保卫细胞活性降低而使气孔形态和气孔运动发生了异常。植物体内外气体交换和进行蒸腾作用都要依靠气孔,气孔开放度的减小不利于气体交换,这种变化必定会影响植物呼吸作用和光合作用等重要生理过程,从而使植物的生长发育

也受到影响^[15-16]。而气孔长度增大,说明叶片在减少水分被蒸腾的同时,尽可能地维持较大的气体交换速率,以减少重金属对植物的迫害^[17]。叶脉突起度反映了叶片与叶脉所代表的同化组织和输导组织的相互协调、相互制约的关系,并且能够灵敏地对外界环境变化作出响应^[18]。从叶脉解剖结构来看,矿渣地植物与自然地植物的叶脉突起度差异并不明显,重金属并没有对植物叶脉造成重大损伤。

植物茎叶中的锌与气孔宽度、气孔长度、气孔长宽比呈极强正相关的研究结论与 SAIER^[19]的研究一致,显示表皮细胞的液泡化促进了 Zn^{2+} 的积累。较高浓度的铜离子会降低叶面气孔开度^[20],气孔宽度、表皮细胞宽与植物叶面中的铜含量呈极强负相关也说明了这一点。植物茎中的铅与叶片气孔长度呈极强负相关,可能是因为 Pb 在向上部转运过程中除部分被沿途输导组织固定外,其余部分会随着蒸腾流最终在叶片表层的气孔和水孔附近过量累积,从而造成了对气孔的影响^[21]。

4 结论

矿渣堆放地的 5 种植物为了适应环境胁迫,茎叶解剖结构与对照组相比均发生了相应的变化。与自然地生境中的植物相比,矿渣地 5 种植物以较为细长的气孔器、较厚的茎皮层组织等特征来适应重金属胁迫的环境。从 2 种生境的茎叶解剖结构差异性来看,矿渣地生境对紫茎泽兰的生长影响较小。

参考文献:

- [1] Chen J F, Nie Q S, Zhang Y, *et al.* Eco-physiological characteristics and livestock waste water cleaning effect of *Pistia Stratiotes* [J]. *Water Sci Technol*, 2014, 69 (12): 2510—2518.
- [2] 刘骥华,王慧慧,刘璐,等.铜、镉、铅对高羊茅种子萌发及幼苗生长的影响[J].*草原与草坪*,2019,39(4):10—18.
- [3] 崔国文,马春平.紫花苜蓿叶片形态结构及其与抗寒性的关系[J].*草地学报*,2016,15(1):70—75.
- [4] 孙琳旒,汤斌,高瑞馨,等.植物茎解剖结构对于旱缺水环境的响应及适应性[J].*林业勘查设计*,2016(2):43—46.
- [5] 易诗明.铅锌胁迫对蓖麻根系形态结构及元素吸收的影响[D].长沙:中南林业科技大学,2017.
- [6] 王毅.金属离子对气孔保卫细胞的毒性作用及其机理[D].太原:山西大学,2013.
- [7] 刘洁,宋婷,杨锁宁,等.膨珊瑚离体培养及形态解剖探究[J].*分子植物育种*,2017,17(1):226—232.
- [8] 陈英旭.土壤重金属的植物污染化学[M].北京:科学出版社,2008.
- [9] 李凤梅,杨胜香,曹建兵,等.湘西典型锰渣库主要优势植物种类及重金属耐性特征[J].*重庆师范大学学报(自然科学版)*,2017,34(4):113—119.
- [10] 谭艳秋,孙妹璟,董静云,等.植物细胞质膜离子通道研

究进展[J].*植物学报*,2019,54(1):105—121.

- [11] 付广义,邱亚群,宋博宇,等.东江湖铅锌矿渣堆场优势植物重金属富集特征[J].*中南林业科技大学学报*,2019,39(4):117—122.
- [12] 易心钰.蓖麻对铅锌胁迫的响应及其机制研究[D].长沙:中南林业科技大学,2018
- [13] 王蒙,王磊,陈曦,等.黑龙江绣线菊属植物叶表皮形态结构的研究[J].*植物研究*,2013,33(3):266—270.
- [14] 李波,刘骅峻.60Co- γ 射线辐射对苜蓿根茎叶显微结构的影响[J].*草地学报*,2018,26(3):727—732.
- [15] 陈顺钰,赵雅曼,李宗勋,等.Pb、Cd 和酸胁迫下枫香萌发种子的生理生化变化及其亚细胞结构[J].*农业环境科学学报*,2019,38(3):510—520.
- [16] 黄承石,潘珈瑶,王东,等.5 种润楠属植物叶表皮结构和滞尘能力研究[J].*河南科技大学学报(自然科学版)*,2019,40(2):76—79.
- [17] 孙永娣,巢建国,谷巍,等.汞胁迫对茅苍术光合特性及生理指标的影响[J].*南方农业学报*,2018,49(3):448—453.
- [18] 滕尧,李安定,郝自远,等.西番莲解剖结构特征及低温胁迫下叶片结构与抗寒性的关系[J].*浙江农业学报*,2018,30(11):1849—1858.
- [19] Saier M H J. A functional-Phylogenetic classification system for transmembrane solute transporters[J]. *Microbiol Mol Biol R*,2000,64(2):354—411.
- [20] 段德超,于明革,施积炎.植物对铅的吸收、转运、累积和解毒机制研究进展[J].*应用生态学报*,2014,25(1):287—296.
- [21] 李莉娟,仪慧兰.重金属对气孔保卫细胞功能和活性的影响[J].*山西大学学报(自然科学版)*,2018,41(3):157—162.

Variation on the microstructure of five plants under heavy metals stress

ZHANG Yun¹, CHENG Jin-fa², LI Hai-tao¹, GAO Rong¹, SUN Qi-qi

(1. College of Resource and Environment, Xichang College, Xichang 615013, China; 2. Forestry and Grsaaland Administration of Liangshan Yi Autonomous Prefecture, Xichang 61500, China)

Abstract: To investigate the changes of plant microstructure under the stress of complex heavy metals, the anatomical stem and leaf structure of five plants: *Ricinus communis*, *Amaranthus spinosus*, *Bidens plosa*, *Alternathera Mart Griseb* and *Eupatoriumadenophora Spreng* at slag stacking site and natural habitat was observed by

bare hand slicing method, and the leaf thickness, the stomatal length and width, the vein thickness and protruding degree, the length and width of stem epidermis cells, and the thickness of stem cortex were measured, and The results showed that there was no significant difference in stomatal width, vein thickness and protruding degree between the two habitats. Except for amaranth, the stomatal length of the other four plants in the slag field was significantly larger than that of natural plants, and the stomatal length of *Phaeodendron angustifolia* changed most obviously. Compared with natural plants, the five plants in the slag field adapted to heavy metal environment with relatively thinner stomatal apparatus and thicker stem cortex tissue. The habitat of slag field had little effect on *Eupatoriumadenophora* Spreng.

Key words: heavy metal; combined pollution; plant; slag field

(上接 32 页)

Effects of exogenous silicon on seed germination and seedling growth of *Elymus nutans* under NaCl stress

WU Zhao-lin¹, QI Juan¹, LIU Wen-hui², JIN Xin¹, YANG Hang¹,
SU Jing-long¹, LI Ming¹

(1. College of Pratacultural Science, Gansu Agricultural University/Key Laboratory of Grassland Ecosystem of Education Ministry/Sino-U. S. Centers for Grazingland Ecosystem Sustainability, Lanzhou 730070, China; 2. Qinghai Academy of Animal Science and Veterinary Medicine/Key Laboratory of Superior Forage Germplasm in Qinghai-Tibetan Plateau, Xining 810016, China)

Abstract: The effects of different concentrations of Si (0, 1.5, 2.0 and 2.5 mmol/L) on seed germination and seedling growth of wild *Elymus nutans* collected from alpine meadow were studied under the stress of different concentrations of NaCl (0, 40, 60 and 80 mmol/L) were studied with petri dish germination method. The results showed that NaCl stress significantly inhibited the seed germination and seedling growth, and the addition of exogenous silicon significantly reduced the inhibition effect of NaCl stress. When the salt concentration was 40 and 60 mmol/L, the germination percentage of seeds gradually increased with the increase of Si concentration and it reached the highest when Si concentration was 2.5 mmol/L, increased by 17.68% and 6.49% compared with NaCl stress control. The seedling height reached the highest when Si concentration was 2.0 mmol/L, and it was increased by 26.55% and 18.47% respectively compared with NaCl stress control. Under NaCl stress, the proline content was higher than control. Under Si addition treatment, the proline content was significantly reduced, indicating that Si addition could effectively reduce the stress effect of NaCl, but this effect varied with NaCl stress degree and Si concentration.

Key words: silicon addition; *Elymus nutans*; seed germination; NaCl stress