

两种表面活性剂对镉胁迫下龙葵生理特性的影响

陈文志¹, 邬梦晔², 罗巧², 潘远智²

(1. 雅安职业技术学院, 四川 雅安 625000; 2. 四川农业大学 风景园林学院, 四川 成都 611130)

摘 要:以镉污染土壤为试材,以龙葵为研究对象,采用盆栽试验,分别研究了不同浓度鼠李糖脂和皂角苷对镉(Cd)胁迫下龙葵(*Solanum nigrum* L.)生物量、株高和生理指标的影响。结果表明:在镉胁迫下,随着鼠李糖脂和皂角苷浓度的增加,龙葵的株高、生物量、叶绿素 a (chl a)、叶绿素 b (chl b)、总叶绿素含量、过氧化物酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)活性以及可溶性蛋白质含量呈现先增高后降低的趋势,游离脯氨酸、丙二醛(MDA)含量升高,而可溶性糖含量则呈现降低的趋势。在单独施加鼠李糖脂的条件下,较低浓度鼠李糖脂(0.25、0.50 g·L⁻¹)能够提高龙葵植株的株高和生物量,缓解重金属 Cd 对龙葵的毒害,并在鼠李糖脂浓度为 0.50 g·L⁻¹时,缓解毒害的作用最为明显;而高浓度鼠李糖脂(5.00、7.50 g·L⁻¹)则会加剧对龙葵的毒害。而单独施加皂角苷则在处理浓度≤5.00 g·L⁻¹时促进龙葵的生长,尤以皂角苷浓度为 5.00 g·L⁻¹时的效果最好,但效果并不显著;当皂角苷浓度为 7.50 g·L⁻¹时,则会抑制龙葵的生长。综合来看,鼠李糖脂的处理效果优于皂角苷。

关键词:镉胁迫;鼠李糖脂;皂角苷;龙葵;生长

中图分类号:S 668.9 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)11-0001-07

随着工农业的发展,重金属的大量释放严重污染了土壤。镉(Cd)是自然界中污染范围和生物毒性较大的一种重金属,与其它植物非必需元素相比,具有很强的从土壤向植物迁移的能力^[1],研究表明,Cd在土壤中的积累对植物的危害很大,表现为生长缓慢、植株矮小、褪绿等中毒症状,其细胞的膜透性、光合代谢、呼吸代谢、酶代谢、遗传效应发生改变,生物量下降^[2-5]。而且它能够被植物吸收进入食物链,进而对人类的健康产生危害^[6-7]。

对于重金属污染土壤,植物修复是一种绿色、廉价、被人们所广泛认可的有效治理措施。龙葵(*Solanum nigrum* L.)属茄科(Solanaceae)茄属(*Solanum*)的一种具有镉超积累特性的植物,因其生长条件要求低、生长快、生物量较大、抗逆性强等优势,使其能够应用于重金属污染土壤的修复中^[8-12]。

有研究发现,随着土壤中 Cd 浓度的增加,龙葵生物量降低较多^[13],这一不足严重限制了其对高浓度 Cd 污染土壤的修复。因此采用化学修复与生物修复相结合的化学强化植物修复便应运而生^[14]。研究表明,生物表面活性剂鼠李糖脂、皂角苷能使小花南芥生物量增加,并能促进植物对重金属的吸收和富集^[15]。然而关于生物表面活性剂鼠李糖脂、皂角苷对镉胁迫下龙葵生长及生理生化指标的影响尚鲜见相关报道,鉴于此,该研究利用盆栽模拟试验,通过研究镉胁迫下单独施加不同浓度鼠李糖脂和皂角苷对龙葵生长和生理生化指标的影响,以期在生物表面活性剂调控下重金属污染土壤的植物修复提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

种植土由发酵土、园土按照 3:1 的比例配成。试验园土周围无污染源,是重金属未污染区的土壤,取其表土(0~20 cm),将采回的园土和准备好的发酵土先自然风干、捣碎、剔除杂物,再过 5 mm 筛,然后用多菌灵粉剂给种植土消毒。消毒后静置数天。将土装入带托盘的塑料盆(高 40 cm,直径 25 cm)中,

第一作者简介:陈文志(1979-),男,硕士,讲师,研究方向为园林植物。E-mail:28089428@qq.com.

责任作者:潘远智(1968-),男,教授,博士生导师,现主要从事园林植物培育与应用等研究工作。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31670622)。

收稿日期:2017-02-28

每盆装土 5.0 kg。同时测定土壤的基本理化性质(表 1)。

供试龙葵种子由乐山中天易泰商贸有限公司提

供。鼠李糖脂和皂角苷均为市售,生产厂家分别是四川三森生物科技有限公司生产和合肥博美生物科技有限责任公司。

表 1

土壤基本理化性质

Table 1

Physical and chemical properties of soil

pH	有机质含量 Organic matter content /(g · kg ⁻¹)	全氮含量 Total N content /(g · kg ⁻¹)	全 P 含量 Total P content /(g · kg ⁻¹)	全 K 含量 Total K content /(g · kg ⁻¹)	总 Cd 含量 Total Cd content /(mg · kg ⁻¹)
6.5	45.83	1.21	0.87	9.75	0.27

1.2 试验方法

将盆土浇清水至田间持水量的 60% 左右。平衡 1 周后进行土壤 Cd 胁迫处理,处理时先把 CdCl₂ · 2.5H₂O(以纯 Cd 计)用去离子水配成水溶液加入盆土中,使土壤中 Cd 含量为 50 mg · kg⁻¹(以干土质量计算纯 Cd 含量),充分混匀,平衡 30 d 后待用。为防止处理液淋溶渗漏损失,在盆下放置塑料托盘并及时将渗漏液倒回盆中。

挑选饱满的龙葵种子经 0.5% NaClO 消毒 20 min 之后,播种于经消毒的砂盘。待幼苗长出 4 片真叶时,挑选长势一致的植株移栽至土壤镉浓度为 50 mg · kg⁻¹的盆土中,每盆 3 株,随机排列于苗圃大棚中。1 个月后进行表面活性剂处理。所用的 2 种表面活性剂分别为阴离子型生物表面活性剂鼠李糖脂和天然的非离子型皂角苷,表面活性剂处理浓度参考王吉秀等^[15]的试验分别设 5 个处理:0(CK)、0.25、0.50、5.00、7.50 g · L⁻¹。每处理 3 次重复。表面活性剂按所需剂量用去离子水配成相应溶液浇灌土壤,对照用等量的去离子水浇灌。表面活性剂处理 15 d 后采样,进行各项指标测定。

设置表面活性剂的不同质量浓度处理,鼠李糖脂:S1(0.25 g · L⁻¹)、S2(0.50 g · L⁻¹)、S3(5.00 g · L⁻¹)、S4(7.50 g · L⁻¹);皂角苷:Z1(0.25 g · L⁻¹)、Z2(0.50 g · L⁻¹)、Z3(5.00 g · L⁻¹)、Z4(7.50 g · L⁻¹)。

1.3 项目测定

收获的植物样品先用自来水冲洗,后用去离子水浸泡,再用吸水纸吸干植株表面的水分,分地下部和地上部 2 个部位,105 °C 下杀青 30 min,70 °C 下烘干至恒重,计算各部位的生物量。植株株高采用常规方法测定。叶绿素含量参照张治安等^[16]的方法测定;可溶性糖和丙二醛(MDA)含量参照李合生^[17]与郝再彬等^[18]的方法测定;可溶性蛋白质含量采用考马斯亮蓝 G-250 比色法测定^[19];游离脯氨酸含量参照谭亮萍^[20]的方法测定;超氧化物歧化酶(SOD)活性参照 GIANNOPOLITIS 等^[21]的方法测定;过氧化

物酶(POD)活性参照张志良等^[22]的方法测定。所有样品测定均重复 3 次。

1.4 数据分析

采用 Microsoft Excel 2003 软件进行处理作图,应用 SPSS 17.0 软件进行数据统计分析和差异显著性比较。

2 结果与分析

2.1 镉胁迫下表面活性剂对龙葵生长的影响

由表 2 可以看出,单独施加鼠李糖脂和皂角苷处理对龙葵株高、地下部和地上部生物量与对照相比均呈现先增加后减少的趋势。在鼠李糖脂处理浓度为 0.50 g · L⁻¹时,龙葵的株高、地下部和地上部分的生物量与对照相比增加了 10.81%、8.59%、11.36%(*P* < 0.05)。而当鼠李糖脂处理浓度高于 0.50 g · L⁻¹时,龙葵的株高、地下部和地上部分的生物量开始降低,在鼠李糖脂浓度为 7.50 g · L⁻¹时,与对照相比,龙葵的株高、地下部和地上部分的生物量下降了 15.68%、9.20%、16.93%(*P* < 0.05)。而单独施加皂角苷时,龙葵的株高、地下部和地上部分的生物量则在皂角苷处理浓度为 5.00 g · L⁻¹时达到最大值,分别比对照增加了 6.98%、7.36%、4.35%;但浓度为 7.50 g · L⁻¹的皂角苷却使龙葵的株高、地下部和地上部分的生物量降低了 3.14%、3.68%、0.35%。

2.2 镉胁迫下表面活性剂对龙葵叶绿素含量的影响

由图 1 可知,与 CK 相比,在 Cd 胁迫下龙葵叶片的叶绿素 a、叶绿素 b 以及总叶绿素含量随着表面活性剂浓度的增加呈现先升高后降低的趋势,叶绿素 a/b 的比值则随着表面活性剂浓度的增加而表现出先降低后升高的趋势。单独施加鼠李糖脂和皂角苷均在浓度为 0.50 g · L⁻¹时叶绿素 a、叶绿素 b 以及总叶绿素含量达到最大值,分别比对照增加了 7.35%、8.60%、7.79%、0.40%、8.94%、3.37%;当鼠李糖脂浓度大于 0.50 g · L⁻¹时,叶绿素 a、叶绿素 b

表 2 不同处理条件下龙葵的株高及干质量

Table 2 Dry weight and plant height of *S. nigrum* L. under different treatment

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	生物量 Biomass/g	
		地下部 Underground part	地上部 Overground part
CK	47.83±3.19b	1.63±0.04b	17.25±0.36b
S1	50.33±3.14ab	1.71±0.03a	17.76±0.23b
S2	53.00±2.37a	1.77±0.04a	19.21±0.50a
S3	47.67±2.58b	1.61±0.33b	15.09±0.44c
S4	40.33±4.08c	1.48±0.07c	14.33±0.41d
Z1	48.00±2.83ab	1.66±0.05ab	17.59±0.40ab
Z2	49.50±2.66ab	1.72±0.02ab	17.91±0.28a
Z3	51.17±2.64a	1.75±0.07a	18.00±0.19a
Z4	46.33±1.51b	1.57±0.10c	17.19±0.22b

注:表中数据为平均值±标准差($n=3$),同列中不同字母表示在相同镉胁迫下不同表面活性剂处理之间差异显著($P<0.05$),下同。

Note: Data in table represent the mean±SD ($n=3$), different letters in the same column mean significant differences ($P<0.05$) in different dosage of surfactant treatments under the same cadmium stress. The same below.

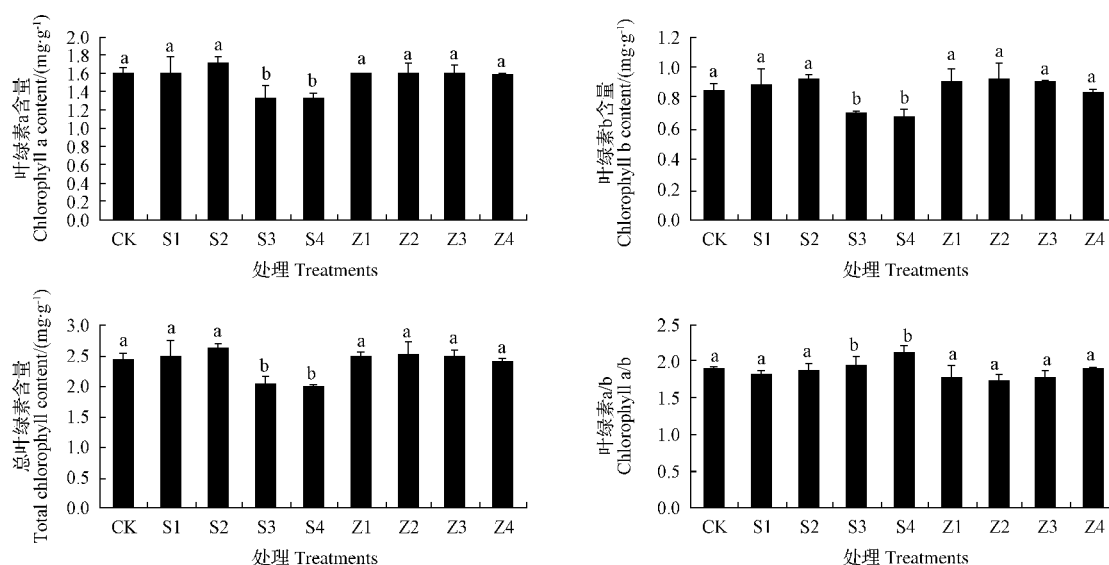


图 1 表面活性剂对 Cd 胁迫下龙葵叶片叶绿素含量的影响

Fig. 1 Effects of surfactant on chlorophyll content in leaves of *S. nigrum* L. under cadmium stress

以及总叶绿素含量出现下降的趋势,并在鼠李糖脂浓度为 $7.50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时达到最小值,分别比对照降低了 16.53%、20.70%、17.98%;而单独施加皂角苷在浓度为 $5.00 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时叶绿素 a、叶绿素 b 以及总叶绿素含量有所下降,但仍高于对照组,分别比对照增加了 7.35%、8.60%、7.79%;在皂角苷浓度为 $7.50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,叶绿素含量急剧下降,低于对照值。叶绿素 a/b 的比值则在表面活性剂浓度为 $7.50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时达到最大值。

2.3 镉胁迫下表面活性剂对龙葵叶片中渗透性调节物含量的影响

由图 2 可知,游离脯氨酸含量随着表面活性剂浓度的增加呈上升趋势。在鼠李糖脂浓度为 $0.50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时游离脯氨酸含量就开始显著增加,

并在鼠李糖脂浓度为 $7.50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时达到最大值,比对照增加了 36.8% ($P<0.01$)。皂角苷也在浓度为 $7.50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时游离脯氨酸含量达到最大值,比对照增加了 10.01% ($P<0.01$)。

由图 3 可以看出,可溶性蛋白质含量随着表面活性剂浓度的增加呈现先升后降的趋势。在鼠李糖脂为 $0.25 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时可溶性蛋白质含量达到最大值,比对照高 7.42%,但差异不显著,当鼠李糖脂浓度增加到 $0.50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,可溶性蛋白质含量有所降低,但都高于对照组。随着鼠李糖脂浓度的增加,可溶性蛋白质含量逐渐降低,当鼠李糖脂浓度为 $7.50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,此时可溶性蛋白质含量显著降低 ($P<0.05$),低于对照 25.88%。而皂角苷浓度为 $5.00 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时可溶性蛋白质含量达到最大值,比对

照高 17.10%, 但差异不显著, 随着皂角苷浓度的增加, 可溶性蛋白质含量开始显著降低, 比对照降低了 12.54%。

由图 4 可知, 龙葵叶片中的可溶性糖含量随着鼠李糖脂浓度的增加而减少, 各处理中可溶性糖含量与对照相比, 分别减少了 19.47%~55.48%, 除处理 S1 差异不显著外 ($P>0.05$), 其余各处理差异达显著水平 ($P<0.05$)。随着鼠李糖脂浓度的增加, 龙葵叶片中的可溶性糖含量大幅下降。而单独进行皂角苷处理时, 龙葵叶片中的可溶性糖含量随着皂角苷浓度的增加呈先增加后减少的趋势, 在皂角苷处理浓度为 $0.25 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 龙葵体内的可溶性糖含量比对照增加了 8.77%, 差异不显著。当皂角苷浓度大于 $0.25 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 可溶性糖含量与对照相比, 分别减少了 15.47%~39.07%。

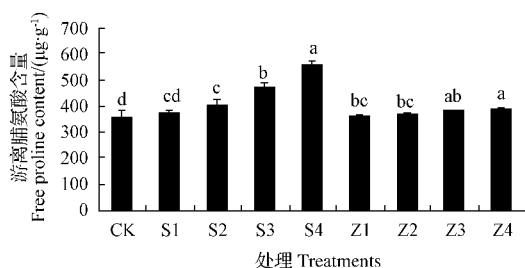


图 2 表面活性剂对 Cd 胁迫下龙葵叶片游离脯氨酸含量的影响

Fig. 2 Effects of surfactant on free proline content of *S. nigrum* L. leaves under cadmium stress

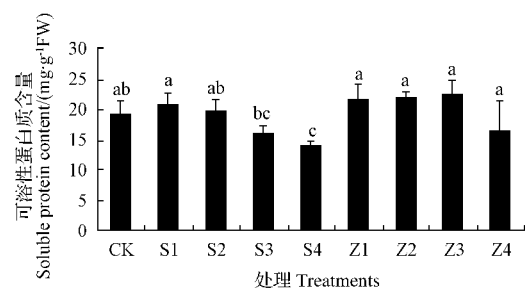


图 3 表面活性剂对 Cd 胁迫下龙葵叶片可溶性蛋白质含量的影响

Fig. 3 Effects of surfactant on soluble protein content of *S. nigrum* L. leaves under cadmium stress

2.4 镉胁迫下表面活性剂对龙葵叶片丙二醛(MDA)含量的影响

从图 5 可以看出, 与对照相比, 表面活性剂处理后, 龙葵叶片中的 MDA 含量呈上升趋势。该试验中 MDA 含量在鼠李糖脂浓度为 $0.50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时开始显著增加 ($P<0.05$), 当鼠李糖脂浓度继续增加时,

MDA 含量则呈极显著增加, 并在鼠李糖脂浓度为 $7.50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时达到最大值, 比对照增加了 59.35%, 差异达显著水平 ($P<0.05$)。单独施加皂角苷进行处理后, 龙葵植株体内的 MDA 含量较对照变化并不显著, 在皂角苷浓度为 $7.50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时 MDA 含量达到最大值, 比对照增加了 33.82%, 但差异不显著。

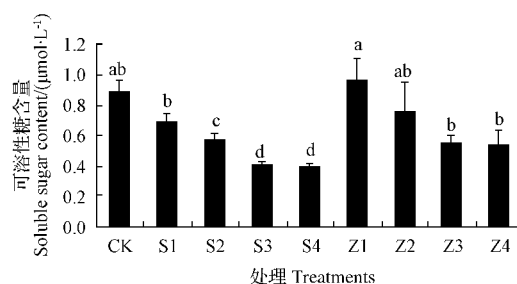


图 4 表面活性剂对 Cd 胁迫下龙葵叶片可溶性糖含量的影响

Fig. 4 Effects of surfactant on soluble sugar content of *S. nigrum* L. leaves under cadmium stress

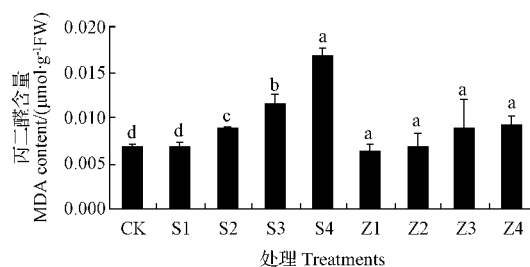


图 5 表面活性剂对 Cd 胁迫下龙葵叶片丙二醛含量的影响

Fig. 5 Effects of surfactant on MDA content of *S. nigrum* L. leaves under cadmium stress

2.5 镉胁迫下表面活性剂对龙葵叶片中抗氧化酶(SOD, POD)活性的影响

由图 6、7 可知, 随着表面活性剂浓度的增加, 龙葵叶片中 SOD、POD 活性均呈先升高后降低的趋势。当鼠李糖脂浓度为 $0.25 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, SOD 活性呈显著上升 ($P<0.05$), POD 活性也呈上升趋势 ($P<0.05$), 均达到最大值, 比对照组上升了 11.55%、10.24%。当鼠李糖脂浓度为 $0.50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, SOD 活性开始下降, 但并无显著差异 ($P>0.05$), 并且 SOD 活性高于对照组, 而 POD 则在此浓度下显著下降 ($P<0.05$), 并且低于对照组。在鼠李糖脂浓度为 $7.50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 处, SOD、POD 活性达到最小值, 比对照降低了 25.32%、42.56% ($P<0.05$)。

由图 6、7 还可知, 龙葵叶片中 SOD、POD 活性其峰值均出现在皂角苷浓度为 $0.50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 处, 分别

比对照增加了 5.91%、1.17%。随着皂角苷浓度的增加, SOD、POD 活性开始降低。在皂角苷浓度为 $5.00 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, SOD 活性比处理 S2 降低了 2.80%, 但仍高于对照组 2.95%, 差异不显著; POD 活性在此浓度下也高于对照组 0.29%。在皂角苷浓度为 $7.50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, SOD、POD 活性达到最小值, 分别高于对照 1.05%、1.14%。

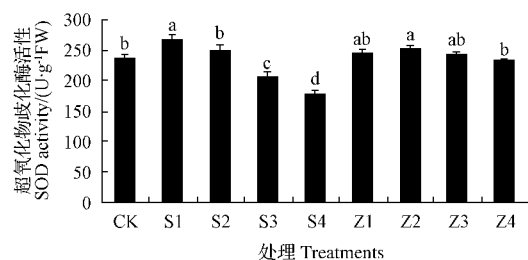


图6 表面活性剂对 Cd 胁迫下龙葵叶片 SOD 活性的影响

Fig. 6 Effects of surfactant on SOD activity of *S. nigrum* L. leaves under cadmium stress

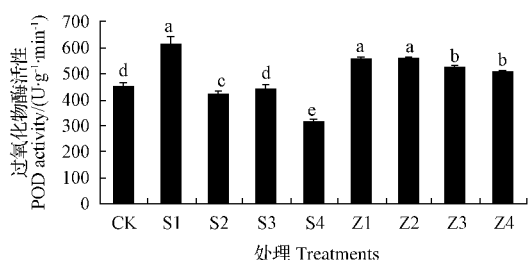


图7 表面活性剂对 Cd 胁迫下龙葵叶片 POD 活性的影响

Fig. 7 Effects of surfactant on POD activity of *S. nigrum* L. leaves under cadmium stress

3 讨论与结论

叶绿素是植物进行光合作用的物质基础, 其含量不但是衡量叶片衰老的重要指标, 也是反映各种环境胁迫对植物伤害程度的主要指标^[23-24]。该试验的结果表明, 在 Cd 胁迫下, 随着生物表面活性剂鼠李糖脂、皂角苷浓度的增加, 叶绿素 a、叶绿素 b 以及总叶绿素含量呈现先增加后降低的趋势, 这与章芹等^[25] 研究结果一致。单独施加鼠李糖脂浓度 $\leq 0.50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 和单独施加皂角苷浓度 $\leq 5.00 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 使龙葵叶片的叶绿素含量升高, 其变化与此浓度下龙葵的株高及生物量升高一致; 这可能是一开始生物表面活性剂加速了植物体的生理生化活动, 产生大量代谢产物同金属离子络合以解毒, 是植物的一种适应能力。而当鼠李糖脂浓度大于 $0.50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、

皂角苷浓度大于 $5.00 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 龙葵的叶绿素 a、叶绿素 b 以及总叶绿素含量低于对照组, 导致叶绿素含量下降的原因可能是植物体内吸收了过量的 Cd^{2+} 导致大量元素的缺乏, 叶绿素合成减少, 从而使植物失绿, 生长受阻, 也可能是 Cd^{2+} 使叶绿素酶活性增加导致叶绿素分解加快, 其含量则减少^[25]。而叶绿素 a/b 的比值随着生物表面活性剂浓度的增加而表现出先降低后上升的趋势, 说明一开始叶绿素 a 较叶绿素 b 更容易受到毒害, 但当生物表面活性剂浓度过高时, 叶绿素 a/b 的比值呈上升趋势, 说明此时叶绿素 b 受到的毒害较叶绿素 a 更为严重。从株高、生物量及叶绿素含量看, 表面活性剂对镉胁迫下龙葵的处理效果为鼠李糖脂 > 皂角苷。

MDA 在胁迫环境下的积累是植物对逆境的一种质膜应激反应^[26], 并且 MDA 积累越多, 表明活性氧、自由基等含量越高^[27]。而植物可通过体内保护酶系统清除或减少逆境胁迫所产生的活性氧, 避免其对组织细胞的伤害, 从而表现氧化胁迫的抗性^[28]。SOD、POD 是细胞中清除自由基的重要保护酶, 逆境条件下, 其活性的提高, 表明保护能力增强, 使植物具有一定的适应和抵御伤害的能力^[29]。该试验中, 随着生物表面活性剂浓度的增加, MDA 含量则呈现持续升高的趋势, 表明随着表面活性剂浓度的增加, 龙葵叶片中存在一种自由基的产生和伤害机制, 自由基累积加剧了脂膜过氧化, 使膜的结构和功能遭到破坏。在较低浓度的表面活性剂 ($\leq 0.50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$) 处理下, 龙葵叶片中的抗氧化防御系统产生了适应性诱导反应, 其 SOD 活性和 POD 活性均表现为升高, 一定程度上减轻了自由基对膜的伤害, 因而 MDA 含量与对照相比无显著差异; 而 SOD 活性和 POD 活性这种防御作用是有限的, 随着表面活性剂浓度的升高, 龙葵叶片中的 SOD 活性和 POD 活性降低, 而 MDA 含量则呈极显著增加。说明此时龙葵的抗氧化酶系统功能紊乱, 清除活性氧的能力减弱, 引起细胞结构损伤和生理代谢紊乱。该试验结果表明, 单独施加鼠李糖脂较单独施加皂角苷对龙葵体内的 MDA 含量、SOD 活性和 POD 活性变化显著, 说明鼠李糖脂处理后的效果优于皂角苷。

同时龙葵叶片中的渗透调节物质游离脯氨酸含量也明显升高, 并且单独施加鼠李糖脂较单独施加皂角苷对龙葵叶片中的游离脯氨酸含量效果更为显著, 而脯氨酸的积累可能是龙葵对膜脂过氧化作用的一种保护性适应。可溶性蛋白质为另一种重

要的细胞内渗透调节物质,当植物受到胁迫时,可通过提高可溶性蛋白质浓度来保护细胞免受伤害,维持正常的生理代谢^[29]。该试验中,可溶性蛋白质含量随着表面活性剂浓度的增加呈现先升后降的趋势,并且鼠李糖脂处理后的变化较皂角苷明显。说明低浓度的鼠李糖脂、皂角苷能够促进龙葵体内可溶性蛋白质的增加,减轻毒害;而高浓度的鼠李糖脂、皂角苷则使龙葵体内可溶性蛋白质降低,并且明显低于对照组,说明高浓度表面活性剂使可溶性蛋白质合成受到抑制。可溶性糖是植物体内能量的储存者,也是植物合成其它有机物的起始物质,还是植物体内重要的渗透性调节物质^[30]。该试验中随着鼠李糖脂、皂角苷浓度的增加,龙葵叶片中的可溶性糖含量下降,并且鼠李糖脂对龙葵处理后可溶性糖含量下降幅度大于皂角苷处理。可溶性糖含量的下降可能是因为表面活性剂导致重金属的累积,破坏了植物的光合作用系统,造成了体内可溶性糖和蛋白质的分解以及运输受阻。从游离脯氨酸含量、可溶性蛋白质含量及可溶性糖含量看,表面活性剂对镉胁迫下龙葵的处理效果是鼠李糖脂>皂角苷。

综上所述,在Cd胁迫下,单独浇灌低浓度的鼠李糖脂(0.25、0.50 g·L⁻¹)能够提高龙葵的株高、生物量,缓解Cd对龙葵植株的毒害,并在鼠李糖脂浓度为0.50 g·L⁻¹时,缓解毒害的作用最为明显。而高浓度的鼠李糖脂(5.00、7.50 g·L⁻¹)处理,却使得龙葵的生长受到抑制,使龙葵叶片中的MDA、脯氨酸含量升高,叶绿素含量降低,可溶性蛋白质、可溶性糖含量及抗氧化酶(SOD、POD)活性降低,加剧对植物的毒害;而单独施加皂角苷处理后,龙葵的各项生理指标与单独施加鼠李糖脂时表现一致,并且皂角苷在处理浓度为5.00 g·L⁻¹效果最好,但变化并不显著;综合来看,鼠李糖脂的处理效果优于皂角苷。

参考文献

- [1] SATARUG S, BAKER J R, URBENJAPOL S, et al. A global perspective on cadmium pollution and toxicity in non-occupationally exposed population[J]. *Toxicology Letters*, 2003, 137: 65-83.
- [2] 秦丽, 祖艳群, 李元. Cd对超累积植物续断菊生长生理的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2010, 29(增刊): 48-52.
- [3] 方晓航, 曾晓雯, 于方明, 等. 镉胁迫对白菜生理特征及元素吸收的影响研究[J]. *农业环境科学学报*, 2006, 25(1): 25-29.
- [4] 刘建新. 镉胁迫下玉米幼苗生理生态的变化[J]. *生态学杂志*, 2005, 24(3): 265-268.
- [5] 陈志良, 莫大伦, 仇荣亮. 镉污染对生物有机体的危害及防止对策[J]. *环境保护科学*, 2001, 27(4): 37-39.
- [6] URAGUCHI S, KIYONO M, SAKAMOTO T, et al. Contributions of apoplasmic cadmium accumulation, antioxidative enzymes and induction of phytochelatin in cadmium tolerance of the cadmium-accumulating cultivar of black oat (*Avena strigosa* Schreb.) [J]. *Planta*, 2009, 230: 267-276.
- [7] WANG L, ZHOU Q X, DING L L, et al. Effect of cadmium toxicity on nitrogen metabolism in leaves of *Solanum nigrum* L. as a newly found cadmium hyperaccumulator[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2008, 154: 818-825.
- [8] 郭智, 原海燕, 奥岩松. 镉胁迫对龙葵幼苗光合特性和营养元素吸收的影响[J]. *生态环境学报*, 2009, 18(3): 824-829.
- [9] 唐秀梅, 龚春风, 周主贵, 等. 镉对龙葵(*Solanum nigrum* L.)根系形态及部分生理指标的影响[J]. *生态环境*, 2008, 17(4): 1462-1465.
- [10] 王林, 周启星, 孙约兵. 氮肥和钾肥强化龙葵修复镉污染土壤[J]. *中国环境科学*, 2008, 28(10): 915-920.
- [11] 杨传杰, 魏树和, 周启星, 等. 外源氨基酸对龙葵修复Cd-PAHs污染土壤的强化作用[J]. *生态学杂志*, 2009, 28(9): 1829-1834.
- [12] 魏树和, 周启星, 王新. 超积累植物龙葵及其对镉的富集特征[J]. *环境科学*, 2005, 26(3): 167-171.
- [13] SUN R L, ZHOU Q X, JIN C X. Cadmium accumulation in relation to organic acids in leaves of *Solanum nigrum* L. as a newly found cadmium hyperaccumulator[J]. *Plant and Soil*, 2006, 285: 125-134.
- [14] 石福贵, 郝秀珍, 周东美, 等. 鼠李糖脂与EDDS强化黑麦草修复重金属复合污染土壤[J]. *农业环境科学学报*, 2009, 28(9): 1818-1823.
- [15] 王吉秀, 祖艳群, 陈海燕, 等. 表面活性剂对小花南芥累积铅锌的促进作用[J]. *生态环境学报*, 2010, 19(8): 283-289.
- [16] 张治安, 陈展宇. 植物生理学实验技术[M]. 长春: 吉林农业大学出版社, 2008.
- [17] 李合生. 现代植物生理学[M]. 北京: 北京高等教育出版社, 2002.
- [18] 郝再彬, 苍晶, 徐仲. 植物生理学实验[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2004.
- [19] 熊庆娥. 植物生理学实验教程[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2003: 8.
- [20] 谭亮萍. OA活化有机无机复混肥对萝卜生长发育及生理生化的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.
- [21] GIANNOPOLITIS C N, RIES S K. Superoxide dismutase in higher plants[J]. *Plant Physiol*, 1977, 59: 309-314.
- [22] 张志良, 翟伟菁. 植物生理实验指导[M]. 北京: 北京高等教育出版社, 2004: 123-124.
- [23] 严重玲, 李瑞智, 钟章成. 模拟酸雨对绿豆、玉米生理生态特性的影响[J]. *应用生态学报*, 1995, 6(S1): 124-131.
- [24] 郭智, 王涛, 奥岩松. 镉对龙葵幼苗生长和生理指标的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2009, 28(4): 755-760.
- [25] 章芹, 薛建辉, 刘成刚. Cd²⁺与CTAB复合污染对枫香幼苗生长与生理生化特征的影响[J]. *生态学报*, 2011, 31(19): 5824-5831.
- [26] 陈开宁, 陈小峰, 陈伟民, 等. 不同基质对四种沉水植物生长的影响[J]. *应用生态学报*, 2006, 17(8): 1511-1516.
- [27] 刘周莉, 何兴元, 陈玮. 镉胁迫对金银花生理生态特征的影响[J]. *应用生态学报*, 2009, 20(1): 40-44.
- [28] LARA L, LUCA S. Copper toxicity in *Prunus cerasifera*: Growth and antioxidant enzymes responses of *in vitro* grown plants[J]. *Plant Science*, 2005, 168: 797-802.

[29] 曾秀存,许耀照,张芬琴. 两种基因型龙葵对镉胁迫的生理响应及镉吸收差异[J]. 农业环境科学学报,2012,31(5):885-890.

[30] 贾夏,周春娟,董岁明. 镉胁迫对小麦的影响及小麦对镉毒害响应的研究进展[J]. 麦类作物学报,2011,31(4):786-792.

Effects of Two Surfactants on Growth of *Solanum nigrum* L. Under Cadmium Stress

CHEN Wenzhi¹, WU Mengxi², LUO Qiao², PAN Yuanzhi²

(1. Ya'an Polytechnic College, Ya'an, Sichuan 625000; 2. Landscape Architecture College, Sichuan Agricultural University, Chengdu, Sichuan 611130)

Abstract: A series of pot experiment was conducted to study the effects of different rhamnolipids and saponins concentrations on biomass, plant height and some physiological and biochemical indexes of *Solanum nigrum* L. under cadmium stress. The results showed that compared with the control, with increasing of rhamnolipids and saponins concentrations, the plant height, biomass, chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, soluble protein contents and antioxidant enzymes (POD, SOD) activity were first increased and then dropped. While the free proline, malondialdehyde (MDA) contents increased. In addition, the soluble sugar content decreased to some extent. According to the change of these indexes, lower concentrations of rhamnolipid ($0.25 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, $0.50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$) could promote *Solanum nigrum* L. growth and partly mitigate the toxicity of Cd to *Solanum nigrum* L. plants, and the effect of the rhamnolipid of $0.50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ was most obvious. However, high concentrations of rhamnolipid ($5.00 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, $7.50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$) was harmful to *Solanum nigrum* L. While the saponins concentrations were less than or equal $5.00 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ could promote *Solanum nigrum* L. growth and partly mitigate the toxicity of Cd to *Solanum nigrum* L. plants, the best effect was achieved with $5.00 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, but the result was not notable. However, higher concentrations of saponins (more than $7.50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$) could inhibit the growth of *Solanum nigrum* L. In general, the effect was better than the saponin of rhamnolipid.

Keywords: cadmium stress; rhamnolipids; saponins; *Solanum nigrum* L.; growth

欢迎订阅 2017 年《北方园艺》

全国自然科学(中文)核心期刊

中国农业核心期刊

中国北方优秀期刊

2015、2016 年期刊数字影响力 100 强

美国化学文摘社(CAS)收录期刊

全国优秀农业期刊

黑龙江省优秀科技期刊

黑龙江省农家书屋推荐目录

本刊内容丰富、栏目新颖、技术实用、信息全面。涵盖园艺学的蔬菜、果树、瓜类、花卉等研究领域的新成果、新技术、新品种、新经验。欢迎全国各地科研院所人员、大专院校师生,各省、市、县、乡、镇农业技术推广人员、农民科技示范户等踊跃订阅。

邮发代号:14-150,半月刊、每月 15、30 日出版;单价:15.00 元,全年:360.00 元。

地址:黑龙江省哈尔滨市南岗区学府路 368 号《北方园艺》编辑部

电话:0451-86674276

信箱:bffybjb@163.com

邮编:150086

网址:www.haasep.cn