



闫秋洁,王宏秀,李元芳,等.不同钝化剂对镉污染下涪城麦冬叶片生理特性的影响[J].黑龙江农业科学,2021(6):104-109.

不同钝化剂对镉污染下涪城麦冬叶片生理特性的影响

闫秋洁¹,王宏秀¹,李元芳¹,杨艳¹,何如帜²

(1.绵阳师范学院生命科学与技术学院,四川绵阳621000;2.甘肃普瑞拓生态农业科技有限公司,甘肃山丹734100)

摘要:为探讨不同钝化剂对镉污染下涪城麦冬的缓解作用,以涪城麦冬为材料,采用盆栽法,设置镉污染土壤中(镉含量 $1.19\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)混施秸秆生物炭(Br)、粉煤灰(Fh)、汉白玉(Ar)、硅藻土(Dm)和菌渣(Me)的5个处理,以不添加任何钝化剂的当地镉污染土壤作为对照,观察钝化剂对涪城麦冬叶片生长状况的影响,并检测叶片细胞中叶绿素含量、丙二醛含量、保护酶活性、可溶性蛋白和可溶性糖含量。结果表明:用钝化剂秸秆生物炭处理的麦冬叶片生长更好,其叶绿素、可溶性蛋白、可溶性糖含量均比对照有不同程度的提高,秸秆生物炭能显著提高麦冬叶片细胞的过氧化氢酶(CAT)活性,但超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化物酶(POD)活性并未受到影响。除菌渣外,其他4种钝化剂均能缓解丙二醛(MDA)含量在镉污染下的增加。说明施加秸秆生物炭有效提高了镉污染下麦冬叶片细胞的抗氧化能力,缓解了镉污染对麦冬叶片细胞带来的伤害。

关键词:涪城麦冬;钝化剂;镉污染;叶绿素;丙二醛;保护酶活性

沿阶草属的麦冬 [*Ophiopogon japonicus* (Linn. f.) Ker-Gawl.] 适合生长在海拔 2 000 m 以下的草丛、树林、小溪或园林等环境中。涪城是中药材麦冬的道地产地,占全国麦冬总产量的 60% 以上。因其具有生长周期短、品质高等特点,在麦冬市场上地位较高。但生产中,大量化肥和农药的使用,使更多重金属镉离子通过土壤进入麦冬体内,降低了麦冬的品质,甚至会随着食物链,危害人的身体健康。因此,如何缓解镉污染对涪城麦冬的不良影响,降低涪城麦冬的镉含量成为提高麦冬品质和产量的重要问题。

镉对麦冬叶片和根部的可溶性总糖和总黄酮有明显的抑制作用^[1]。麦冬受一定的镉胁迫后体内自由基增多,同时将激发麦冬体内 SOD、POD、CAT 等保护酶清除自由基,促进麦冬的防御能力。但镉胁迫浓度过高会导致麦冬体内保护酶系统受到伤害,从而影响麦冬的正常生长^[1]。

钝化剂可以缓解重金属污染,促进植物的正常生长。目前,常用的钝化剂有生物炭、汉白玉、

粉煤灰、硅藻土、菌渣等^[2-4]。经钝化剂处理重金属污染的土壤后,土壤 pH 升高,有效镉的含量显著降低^[5]。其中,生物炭不但能使土壤肥力增强,还能提高土壤对重金属离子的吸附能力,与重金属离子螯合,使之生成有机结合态,降低重金属的有效性^[6]。

因此,本研究选择汉白玉、硅藻土、生物炭、粉煤灰和菌渣 5 种钝化剂施入培养麦冬的镉污染土壤中,分析不同钝化剂对镉污染下涪城麦冬叶片叶绿素、可溶性蛋白、可溶性糖和丙二醛含量的影响,并通过麦冬叶片细胞 SOD、POD、CAT 酶活性变化来探究不同钝化剂对镉污染下的涪城麦冬的影响,找出缓解麦冬镉污染的最适钝化剂,为麦冬的实际生产提供理论基础和指导依据。

1 材料与方法

1.1 材料

麦冬苗(直立性麦冬)均采摘自绵阳市三台县争胜乡木鱼村某农田上形态一致、大小均一、水肥管理安全一致的上季老苗,苗样全 Cd 含量 $0.12\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。试验土壤取自绵阳市三台县涪城麦冬产区永明镇某村农田 0~20 cm 的农田土壤,经测试土壤 pH 为 5.94, Cd 浓度为 $1.19\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。试验选用汉白玉、硅藻土、秸秆生物炭、粉煤灰和菌渣 5 种钝化剂处理麦冬,不同钝化材料基本性质详见表 1。

收稿日期:2021-03-29

基金项目:四川省科技计划应用基础研究(2018JY0329);绵阳师范学院科研启动项目(QD2017A003)。

第一作者:闫秋洁(1980—),女,博士,副教授,从事植物遗传与分子生物学研究。E-mail:veronica008@163.com。

通信作者:何如帜(1977—),男,学士,高级农艺师,从事植物生态育种研究。E-mail:heruzhi615@163.com。

表 1 钝化剂基本性质

材料	产地	pH	C/%	N/%	P/%	K/%	Cd/(mg·kg ⁻¹)	粒径/mm
汉白玉	四川 雅安	8.54	-	-	-	-	0.07	0.15
秸秆生物炭	四川 绵阳	9.20	52.18	0.87	0.24	2.41	0.28	0.15
粉煤灰	四川 成都	10.86	-	-	-	-	0.17	0.15
菌渣	四川 绵阳	7.34	36.59	1.49	1.02	0.94	0.32	2
硅藻土	四川 米易	6.62	-	-	-	-	0.18	0.15

1.2 方法

1.2.1 试验设计 将产区原土中杂质筛除后风干,称取 2.5 kg 风干土置于培养盆(容积约为 3 L)中,拌入适量百菌清杀菌,混合均匀,放置平衡 7 d。之后将汉白玉(Ar)、粉煤灰(Fh)、硅藻土(Dm)、秸秆生物炭(Br)和菌渣(Me)研细过百目筛,均按照土壤干重的 5%添加,混合均匀;以不添加任何钝化材料为空白对照(CK),Cd 污染程度种植区土壤共计 6 个处理组,每个处理组设置 3 个重复,随机排列。最后,按照尿素(CH₄N₂O) 0.551 g·kg⁻¹、过磷酸钙-水合物[(Ca(H₂PO₄)₂·H₂O,GR99%) 0.496 g·kg⁻¹和氯化钾(KCl,GR85%)180 g·kg⁻¹加入底肥。

在同一农田采集栽培方式、水肥管理完全一致生长良好的麦冬种苗,保留 5~6 片苗基叶,齐茎基部剪去地下部分(保护苗心),地上部分统一修剪枝叶至 10~12 cm,选择大小一致的根作为种苗备用。混合土壤平衡 7 d 后将麦冬种苗插入盆中,每盆扦插 3 棵分蘖繁殖,控制苗间距10 cm。培养过程中按照大田常规栽培管理步骤进行浇水,浇水量以田间持水量的 80%左右为主。90 d 后测定每组麦冬叶片的各项指标,对比不同钝化剂的作用效果。

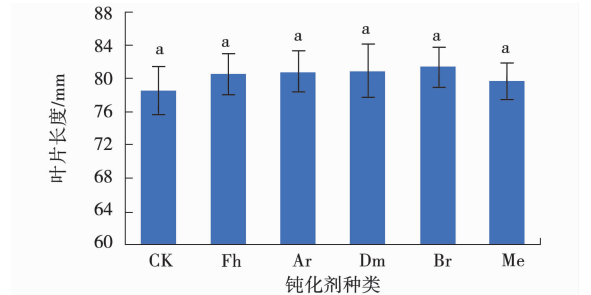
1.2.2 测定项目及方法 直接法测量叶长,丙酮法测定叶绿素含量,考马斯亮蓝法测定可溶性蛋白含量(蛋白质含量标准曲线公式: $y=0.1295x-0.0418$, $R^2=0.9980$),蒽酮法测定可溶性糖含量(葡萄糖含量标准曲线公式: $y=0.1659x+0.0219$, $R^2=0.9971$),TCA 法测定丙二醛含量,氮蓝四唑法测定超氧化物歧化酶(SOD)活性,愈创木酚法测定过氧化物酶(POD)活性,比色法测定过氧化氢酶(CAT)活性。

1.2.3 数据分析 用 SPSS 16.0 软件进行统计分析,采用 One-way ANOVA 单因素方差分析和 Duncan 氏法多重比较(显著性水平设为 0.05 和 0.01),并用 Excel 2013 作图。

2 结果与分析

2.1 不同钝化剂对镉胁迫下麦冬叶片生长的影响

使用了钝化剂的各处理组中,麦冬叶片的平均长度都较 CK 组有所增加,但均无显著性差异($P>0.05$)。其中钝化剂 Br 组的麦冬叶片平均长度最长,比 CK 组长 3.62%,而 Fh 组、Ar 组以及 Dm 组的麦冬叶片平均长度相差不大,Me 组明显短于其余 4 组的叶片平均长度,比 Br 组短了 2%左右(图 1)。



注:相同小写字母表示处理间差异不显著($P>0.05$),下同。

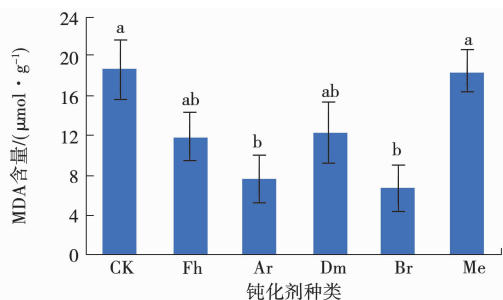
图 1 不同钝化剂对镉胁迫下麦冬叶片生长的影响

2.2 不同钝化剂对镉胁迫下麦冬叶片细胞丙二醛含量的影响

由图 2 可知,CK 组与采用 Me 钝化剂处理组麦冬叶片细胞中 MDA 的含量相比差异不显著($P>0.05$);CK 组与 Ar 处理组、Br 处理组之间差异显著($P<0.05$),而 Ar 组与 Br 组之间差异不显著($P>0.05$),麦冬叶片细胞中的 MDA 的含量都降低了,表明 5 个处理均能缓解麦冬的镉胁迫,Br 钝化剂的效果最好。

2.3 不同钝化剂对镉胁迫下麦冬叶片叶绿素含量的影响

2.3.1 叶绿素 a 含量 除 Me 处理组的叶绿素 a 含量与 CK 组没有什么差别以外,其余各钝化剂处理组的叶绿素 a 含量均较为明显地高于 CK 组,但都没有显著性差异($P>0.05$),其中 Br 处理组的叶绿素 a 含量最高(图 3A)。



注：不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)，不同大写字母表示处理间差异极显著 ($P < 0.01$)，下同。

图2 不同钝化剂对镉胁迫下麦冬叶片细胞丙二醛含量的影响

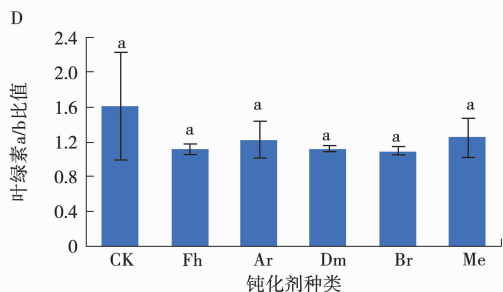
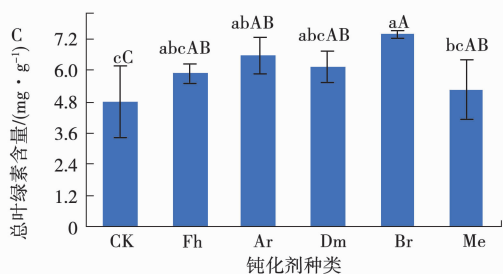
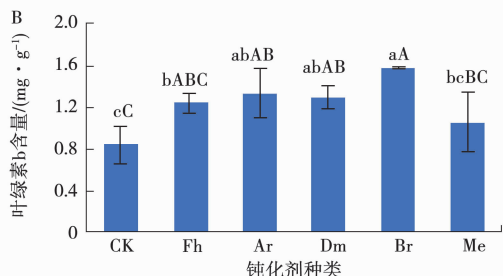
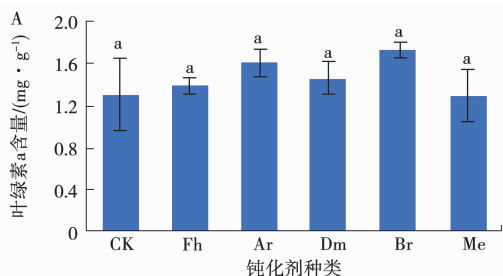


图3 不同钝化剂对镉胁迫下麦冬叶片细胞叶绿素含量的影响

2.3.2 叶绿素b含量 各钝化剂处理组的叶绿素b含量均较CK有明显提高，提高最多的是Br

组，Me组提高最少（图3B）。Fh、Ar、Dm、Br处理组的叶绿素b含量均与CK组存在显著性差异 ($P < 0.05$)。而且Ar、Dm以及Br与CK还存在极显著差异 ($P < 0.01$)，Br与Me之间也存在极显著差异 ($P < 0.01$)。

2.3.3 总叶绿素含量 根据叶绿素a和b含量的变化，相比CK组，各钝化剂处理组的总叶绿素均有明显的提高（图3C）。其中Br组的总叶绿素最高，且与CK组存在极显著性差异 ($P < 0.01$)，Ar组次之，与CK组之间也存在极显著性差异 ($P < 0.01$)，Fh组、Dm组以及Me组相比CK组的总叶绿素含量虽然有较为明显的提高，但差异不显著 ($P > 0.05$)。

2.3.4 叶绿素a/b 5个钝化剂处理组的叶绿素a/b都低于CK组，其中Br组的叶绿素a/b的比值最低，Me组最高，但钝化剂处理组和CK组之间均无显著性差异 ($P > 0.05$)。无论是CK组还是钝化剂处理组，其叶绿素a/b的比值都大于1（图3D）。因此，各种钝化剂的处理差异不能由叶绿素a/b的比值显示。

2.4 不同钝化剂对镉胁迫下麦冬叶片可溶性蛋白和可溶性糖含量的影响

2.4.1 可溶性蛋白含量 各钝化剂处理都可以提高镉污染下麦冬叶片可溶性蛋白的含量，对麦冬镉污染损害都有着缓解作用（图4A）。钝化剂Br处理组的可溶性蛋白含量最高，且与CK组存在显著性差异 ($P < 0.05$)，其余各处理组中，Dm组和Me组的可溶性蛋白含量相比CK组提升的也较为明显，但并无显著性差异 ($P > 0.05$)，而Ar组和Fh组的可溶性蛋白含量与CK组相差不大，也没有显著性差异 ($P > 0.05$)。

2.4.2 可溶性糖含量 由图4B可知，使用钝化剂的各组麦冬可溶性糖含量均较CK有不同程度的提高，但均无显著性差异 ($P > 0.05$)。其中Br组的可溶性蛋白含量最高，比CK增加了35.38%。

2.5 不同钝化剂对镉胁迫下麦冬叶片细胞酶活性的影响

2.5.1 SOD活性 不同钝化剂处理镉污染下的麦冬后，CK与5个处理组麦冬叶片细胞SOD酶活性差异均不显著 ($P > 0.05$)；采用Br钝化剂缓解镉污染的处理组与Fh组差异显著 ($P < 0.05$)，与其他4个组差异不显著 ($P > 0.05$)；Fh组与CK、Ar、Dm、Me这4组差异不显著 ($P > 0.05$)。由此可知，施加钝化剂对麦冬叶片细胞SOD酶活性没有影响。但是相对而言，施加钝化剂Br后麦冬叶片细胞的SOD酶活性最高（图5A）。

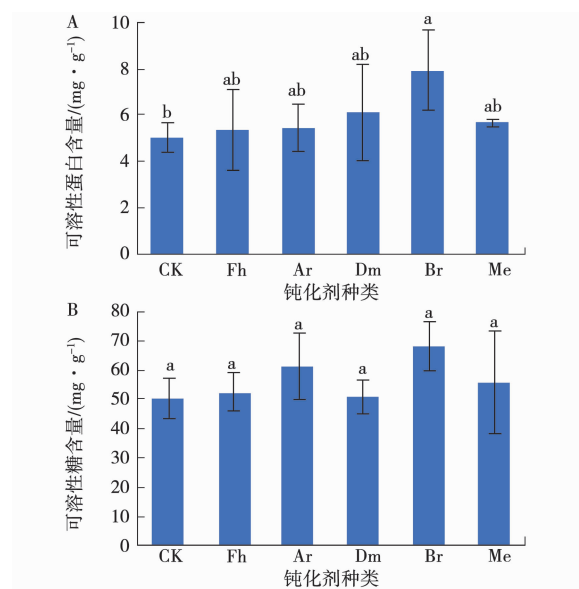


图4 不同钝化剂对镉胁迫下麦冬叶片可溶性蛋白和可溶性糖含量的影响

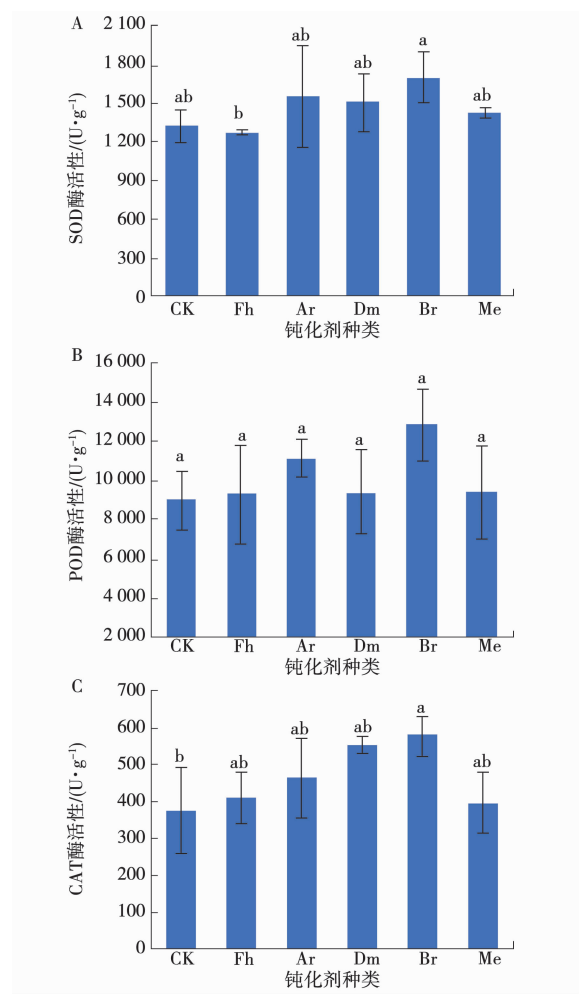


图5 不同钝化剂对镉胁迫下麦冬叶片细胞酶活性的影响

2.5.2 POD 活性 CK 组与 5 种钝化剂处理镉污染下的麦冬叶片细胞中的 POD 酶活性差异不显著($P>0.05$),5 种钝化剂处理组之间的 POD 酶活性差异也不显著($P>0.05$)。根据麦冬叶片细胞的 POD 酶活性的变化,可以发现加入 Br 钝化剂处理后,POD 的酶活性最高,比 CK 组高了 42.4%(图 5B)。

2.5.3 CAT 活性 不同钝化剂处理镉污染下的麦冬后,CK 组与 Ar、Fh、Dm、Me 4 种钝化剂处理组差异不显著($P>0.05$)(图 5C);CK 处理组与采用 Br 钝化剂缓解镉污染的处理组差异显著($P<0.05$),Br 处理组与其他 4 个组差异不显著($P>0.05$)。由此得出,Br 这种钝化剂缓解镉污染下麦冬叶片细胞的 CAT 酶活性最高,说明在同一镉浓度的污染下,Br 对麦冬的生长影响最大,缓解能力最强。

3 讨论

镉是植物体的非必需元素,当被植物根部吸收后,转运到地上部分,累积到一定浓度会使植物体受到危害^[7]。镉污染影响植物的生长发育,降低植物的产量,当镉浓度大于 20 mg·L⁻¹时多年生黑麦草幼芽的鲜质量和芽质量均受到抑制^[8]。而钝化剂能显著增加镉污染下玉米的株高和生物量^[9],尤其是生物炭能显著促进印度芥菜的生长^[10]。本试验也发现秸秆生物炭(Br)能较好地促进镉污染下麦冬叶片的生长。

镉污染会导致植物叶绿素含量降低,叶绿素含量会直接影响光合作用的强弱从而影响植物的生长发育^[11]。当镉含量为 16 mg·kg⁻¹时,番茄叶绿素 a 的含量降低了 0.96 mg·kg⁻¹,叶绿素 b 的含量降低了 2.31 mg·kg⁻¹^[12]。但钝化剂的使用可以提高植物叶绿素的含量,从而缓解镉污染对植物的危害^[13]。在镉含量为 3 mg·kg⁻¹的土壤中使用生物炭,玉米叶片的叶绿素 a 含量比 CK 组增加了 8.5%,叶绿素 b 含量增加了 15.6%^[14]。本试验中,与 CK 组相比各钝化剂处理组的叶绿素含量均有明显的提高,且叶绿素 b 含量明显比叶绿素 a 含量提升的多,故各组中叶绿素 a/b 的比值有所降低,其中 Br 组的叶绿素含量最高,叶绿素 a/b 的比值最低,这可能是由于植物光合色素的合成离不开 Mg 和 N 元素^[15],而生物炭能为植物提供 N、Mg、P 等矿质元素^[13],从而促进光合色素的合成,且麦冬是阴生植物,弱光中以蓝紫光为主的散光比重增加,而叶绿素 b 主要吸收蓝

紫光^[16],增加叶绿素 b 含量能够更好地吸收光能,从而有利于光合作用的进行。

植物在逆境下可通过调节自身渗透压来抵抗逆境对植物的危害,可溶性蛋白和可溶性糖是植物体内重要的渗透调节剂以及营养物质。可溶性蛋白在植物体内的含量的多少可以直接反映镉污染对植物危害的强弱,可溶性糖的含量可以反映碳水化合物的转运情况以及植物在逆境中的生理状况^[7]。相比正常植株,受到镉污染的植物其可溶性糖含量低^[17],但使用钝化剂后植物的可溶性糖含量又会得到提高^[4]。研究发现,3%和5%的生物炭能显著增加镉污染下小白菜的可溶性糖含量^[18],钝化剂能显著提高镉污染下植物的可溶性蛋白含量,且在酸性土壤下秸秆生物炭的效果优良^[19]。本试验结果表明,钝化剂对镉污染下麦冬叶片的可溶性蛋白含量和可溶性糖含量有提升作用,其中钝化剂 Br 对镉污染下麦冬的缓解作用最强。钝化剂处理后麦冬叶片可溶性蛋白含量上升可能是因为蛋白质的合成离不开氮元素以及酶的促进,而镉元素会抑制植物根部对氮的固定,破坏胞内酶的结构^[20],使得蛋白质合成受阻。钝化剂可以通过吸附、沉淀、氧化还原、离子交换等一系列反应降低土壤中的有效镉的含量^[21],从而减少植物对镉的吸收,缓解镉元素对植物的抑制作用。可溶性糖升高的原因可能是麦冬叶片叶绿素含量升高使得光合作用增强,光合作用的产物增多,而可溶性糖又是光合作用的主要产物,故其含量上升。

植物体在镉污染下容易加强叶片的膜脂过氧化产生 MDA,提高植物细胞膜通透性^[22]。玉米体内的 MDA 含量在镉污染下增加了^[23],当加入钝化剂后能够有效地缓解镉污染对植物的伤害,降低 MDA 的含量。本试验结果显示,在同一浓度的镉污染下,经过 Ar、Br 两种钝化剂处理后,麦冬叶片细胞 MDA 的含量显著降低,说明施加 Ar 和 Br 能够有效抑制麦冬叶片细胞 MDA 的累积,缓解麦冬受镉污染伤害的程度,这与前人的研究一致。

镉污染会使植物体内 O_2^- 和 H_2O_2 等活性氧产生,活性氧累积到一定程度会导致植物的氧化污染^[24],从而激活植物体内大量的抗氧化系统保护酶。SOD、POD 和 CAT 作为植物体内重要的活性氧清除工具,当植物体处于逆境污染环境时,可调控抗氧化酶系统的酶活性来缓解逆境对其造成的伤害^[25]。本试验表明,Br 钝化剂能够有效

地清除麦冬叶片细胞中的活性氧自由基,增强植物的抗逆性,这与生物炭能显著提高小麦和玉米过氧化氢酶活性^[26],施加生物炭有效缓解穿心莲的连作障碍促进其保护酶活性的研究结果一致^[27]。SOD 能催化植物体内超氧阴离子自由基生成 H_2O_2 和 O_2^- ,减小细胞膜的伤害,而 POD 则可进一步清除 H_2O_2 ;当植物在逆境环境中经钝化剂的修复可增强 SOD 和 POD 酶的活性^[28];但是在本研究中,经不同钝化剂处理后的麦冬叶片细胞的 SOD、POD 酶活性与 CK 组相比并没有显著的变化,这可能是由于施加钝化剂的含量较少,从而未引起叶片细胞内的 SOD 和 POD 酶活性发生明显改变。

4 结论与展望

本试验表明,不同的钝化剂对镉污染下的麦冬都有不同程度的缓解作用,其中秸秆生物炭对促进麦冬叶片生长的效果最好,且能最大程度提升麦冬叶片的叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量,以及可溶性蛋白和可溶性糖含量,有效地提高植物抗氧化系统中 CAT 的酶活性,降低植物叶片细胞中 MDA 的含量。这在一定程度上缓解了镉污染对麦冬叶片细胞的伤害,增强了麦冬对镉污染的抵抗能力,维持了麦冬的正常生长。因此,秸秆生物炭是 5 种钝化剂中缓解镉污染对麦冬产生生理影响的最适钝化剂。

生物炭能够吸附、固定重金属,降低重金属对植物的危害,被广泛用于土壤改良领域^[27]。本试验结果表明秸秆生物炭能缓解镉污染对麦冬产生生理影响,但生物炭对缓解麦冬镉污染的具体机理还有待于深入研究。

参考文献:

- [1] 蒋翠文. 麦冬、鱼腥草、蛇莓中镉的积累分布情况及影响的研究[D]. 南宁:广西大学,2015.
- [2] 杜彩艳,木霖,王红华,等. 不同钝化剂及其组合对玉米(*Zea mays*)生长和吸收 Pb Cd As Zn 影响研究[J]. 农业环境科学学报,2016,35(8):1515-1522.
- [3] 茹淑华,耿暖,徐万强,等. 有机-无机复合钝化剂对污染土壤中 Cd 和 Pb 有效性的影响[J]. 河北农业科学,2017,21(1):85-90.
- [4] 谢霁. Cd 污染土壤钝化材料的筛选及钝化效应研究[D]. 成都:四川农业大学,2016.
- [5] 朱丹妹,刘岩,张丽,等. 6 种钝化剂对糙米镉含量及镉在水稻中的转移和富集的影响[J]. 中国农学通报,2017,33(35):94-100.
- [6] 杜彩艳,段宗颜,曾民,等. 田间条件下不同组钝化剂对玉米(*Zea mays*)吸收 Cd、As 和 Pb 影响研究[J]. 生态环境学报,2015,24(10):1731-1738.

- [7] 吕金平,张诗雯,李涛,等. 无机三价砷对黄花水龙无菌苗生理生化特性的影响[J]. 水生生物学报, 2020, 44(2): 445-452.
- [8] 张媛媛,李加米,李晓平,等. 多年生黑麦草种子萌发及幼苗生长对镉胁迫的响应研究[J]. 乡村科技, 2018(28): 90-91.
- [9] 悦飞雪,李继伟,王艳芳,等. 施用秸秆生物炭和鸡粪对镉胁迫下玉米生长及镉吸收的影响[J]. 农业环境科学学报, 2018, 37(10): 2118-2126.
- [10] JIN H P, CHOPPALA G K, BOLAN N S, et al. Biochar reduces the bioavailability and phytotoxicity of heavy metals[J]. Plant Soil, 2011, 348(1/2): 439-451.
- [11] 吴中红. 镉污染对烤烟生理特性的影响[D]. 郑州: 河南农业大学, 2008.
- [12] 赖秋羽,魏树和,代惠萍,等. 番茄光合荧光特性及其镉吸收对土壤镉污染的响应[J]. 中国环境科学, 2019, 39(11): 4737-4742.
- [13] 杨文浩,李佩,周碧青,等. 生物炭缓解污染土壤中植物的重金属胁迫研究进展[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2019, 48(6): 695-705.
- [14] 李继伟,悦飞雪,王艳芳,等. 施用生物炭和 AM 真菌对镉胁迫下玉米生长和生理生化指标的影响[J]. 草业学报, 2018, 27(5): 120-129.
- [15] 王平荣,张帆涛,高家旭,等. 高等植物叶绿素生物合成的研究进展[J]. 西北植物学报, 2009, 29(3): 629-636.
- [16] 郭春爱. 低叶绿素 b 对水稻光合机构及其热稳定性的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2007.
- [17] 段瑞军,吴朝波,王蕾,等. 镉胁迫对海雀稗脯氨酸、可溶性糖和叶绿素含量及氮、磷、钾吸收的影响[J]. 江苏农业学报, 2016, 32(2): 357-361.
- [18] 高凤. 生物炭对小白菜品质及重金属镉积累的影响[D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2019.
- [19] 王嘉佳,唐中华. 可溶性糖对植物生长发育调控作用的研究进展[J]. 植物学研究, 2014(3): 71-76.
- [20] 夏汉平. 土壤-植物系统中的镉研究进展[J]. 应用与环境生物学报, 1997(3): 289-298.
- [21] 孙翠平,李彦,张英鹏,等. 农田重金属钝化剂研究进展[J]. 山东农业科学, 2016, 48(8): 147-153.
- [22] 逢洪波,张雨欣,刘宁,等. 镉污染对欧洲千里光幼苗生理生化指标的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2015, 46(4): 492-496.
- [23] 李继伟,悦飞雪,王艳芳,等. 施用生物炭和 AM 真菌对镉污染下玉米生长和生理生化指标的影响[J]. 草业学报, 2018, 27(5): 120-129.
- [24] 田丹,任艳芳,王艳玲,等. 镉污染对生菜种子萌发及幼苗抗氧化酶系统的影响[J]. 北方园艺, 2018(2): 15-21.
- [25] 夏雪姣,菅明阳,韩玉翠,等. 镉污染对小麦形态发育及生理代谢的影响[J]. 农业生物技术学报, 2018, 26(9): 1494-1503.
- [26] 陈心想,耿增超,王森,等. 施用生物炭后壤土土壤微生物及酶活性变化特征[J]. 农业环境科学学报, 2014, 33(4): 751-758.
- [27] 李珍,陈义三,陈荣珠,等. 生物炭对连作穿心莲生长的影响[J]. 福建热作科技, 2019, 44(4): 21-24, 27.
- [28] 陈彦芳,曹柳,马建华,等. 土壤重金属复合酶污染钝化修复对活性的影响[J]. 河南大学学报(自然科学版), 2020, 50(1): 1-10.

Effects of Different Passivating Agents on Leaf Physiological Characteristics of Fucheng *Ophiopogon japonicus* Under Cadmium Pollution

YAN Qiu-jie¹, WANG Hong-xiu¹, LI Yuan-fang¹, YANG Yan¹, HE Ru-zhi²

(1. Life Science and Technology College, Mianyang Teachers' College, Mianyang 621000, China; 2. Gansu PRT Ecological Agriculture Limited Company, Shandan 734100, China)

Abstract: In order to explore the mitigation effects of different passivating agents on Fucheng *Ophiopogon japonicus* cadmium pollution, method of pot planting Fucheng *Ophiopogon japonicus* were used. Polluted soils were mixed with straw biochar in the selected farmland soil (Br), fly ash (Fh), white marble (Ar), diatomaceous earth (Dm) and mushroom residue (Me) as experimental groups, and local polluted soil without adding any passivation agent as a control group for planting it. The effect of passivating agent on the leaf growth of Fucheng *Ophiopogon japonicus* were observed and the content of chlorophyll, malonaldehyde(MDA) content, protective enzyme activity, soluble protein and soluble sugar content were determined. The results showed that the leaf length, which treated with straw biochar, was longer than that of the control group. The catalase(CAT) activity of *Ophiopogon japonicus* leaf cells was significantly increased by straw biochar. However, the activities of superoxide dismutase (SOD) and peroxidase (POD) of *Ophiopogon japonicus* leaf cells treated with passivating agent were not increased. Except for the bacterial residue, the other four passivating agents could alleviate the increase of MDA content under cadmium pollution. Treated with the straw biochar increased the antioxidant level of *Ophiopogon japonicus* leaves, mitigated the harm of cadmium pollution to Fucheng *Ophiopogon japonicus*.

Keywords: Fucheng *Ophiopogon japonicus*; passivating agent; cadmium pollution; chlorophyll; malonaldehyde; protective enzyme activity