

## 铅胁迫对烟草生长及生理生化指标的影响

朱诗苗<sup>1</sup>, 宋杭霖<sup>2</sup>, 张丽<sup>1</sup>, 闫晶<sup>1</sup>, 石贤吉<sup>1</sup>, 闫寒<sup>1</sup>, 刘璐<sup>1</sup>, 李虎林<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>延边大学农学院, 吉林延吉133002

<sup>2</sup>延边农业科学院, 吉林龙井133400

**摘要:** 本试验以烟草(*Nicotiana tabacum*) ‘吉烟9号’为供试材料, 采用盆栽的方法, 探讨铅(Pb)胁迫对烟草生长和生理生化指标的影响。研究结果显示: 随着Pb胁迫浓度的升高, ‘吉烟9号’的叶长、叶宽、株高、茎围逐渐减小; 叶绿素(Chl)含量下降; 过氧化氢酶(CAT)与超氧化物歧化酶(SOD)活性先升后降; 过氧化物酶(POD)活性、丙二醛(MDA)含量、脯氨酸(Pro)含量逐渐上升; 烟碱含量降低; 淀粉含量先降后升; 总氮、蛋白质、总糖、还原糖含量先升后降; 可溶性糖含量在Pb胁迫浓度为150 mg·kg<sup>-1</sup>时最高。总体来说Pb胁迫浓度大于150 mg·kg<sup>-1</sup>条件不利于优质烟叶形成。

**关键词:** 铅; 烟草; 生长; 生理生化

烟草(*Nicotiana tabacum*)属于富集和转运重金属能力较强的经济作物, 铅(Pb)等剧毒污染物能以气溶胶或金属氧化物的形式, 通过主流烟气再经呼吸道进入人体(赵爽等2012), 累积到一定程度对人体造成严重伤害。由于重金属具有不能被微生物降解、难被植物吸收利用、在土壤中难于移动等特征, 使其在污染土壤中化学行为的研究受到了国内外学者的重视(张浩等2013)。

Pb由于在环境中的持久性, 被认为是最重要的重金属污染物之一(Wu等2016)。Pb并不是植物生长所必需的元素, 但毒害作用大且容易被植物利用(严重玲等1997)。Pb在植物体内主要是沉淀作用, 以盐类形式沉淀在细胞壁上(李荣春2000), 从而给植物造成危害。已有研究报道, 高浓度Pb对烟草种子萌发造成负面影响(王树会和许美玲2006), 对烟草生长和生理活性抑制作用十分明显(刘优熊等2010), 但Pb对烟草生理生化指标和品质方面的研究则少见。本文就Pb胁迫对烟草生长和生理生化指标的影响进行探讨, 为预测、评价、防控烟草的重金属污染提供理论依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 供试材料与处理方法

供试材料为烟草(*Nicotiana tabacum* L.)品种‘吉烟9号’, 于2015年3月13日播种, 5月8日移栽到花盆中, 每盆装干土15 kg, 施用烟草专用复合肥(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=8:10:23)作基肥。移栽后40 d以模拟污灌方式一次性施入醋酸铅溶液, 设置4个处理, Pb浓度分别为50 mg·kg<sup>-1</sup> (Pb50)、100 mg·kg<sup>-1</sup>

(Pb100)、150 mg·kg<sup>-1</sup> (Pb150)、300 mg·kg<sup>-1</sup> (Pb300); 每个处理3次重复, 对照(CK)浇灌清水。盆栽管理如同规范的大田管理。

#### 1.2 测定项目

模拟污灌后40 d, 测定烟株的最大叶长、最大叶宽、株高、茎围和叶片数。

处理结束后, 每10 d取一次鲜样, 共取6次。叶绿素(chlorophyll, Chl)的测定用叶绿素仪进行; 过氧化氢酶(catalase, CAT)和超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)活性的测定参照张宪政(1994)的方法; 过氧化物酶(peroxidase, POD)活性以及丙二醛(malondialdehyde, MDA)和游离脯氨酸(proline, Pro)含量的测定参照邹奇(2000)的方法; 可溶性糖(soluble sugar)含量的测定参照汤绍虎和罗充(2012)的方法。

烟叶烘烤后, 分上、中、下3个部位测定总氮、烟碱(nicotine)、蛋白质(protein)、总糖、还原糖(reducing sugar)、淀粉(starch)含量, 参照王瑞新(2003)的方法。

#### 1.3 数据处理

采用Excel 2010和SPSS 17.0软件进行数据的统计分析。

### 2 实验结果

#### 2.1 Pb胁迫对烟草生长的影响

Pb胁迫下, 各处理的烟草株高和叶长均与对

收稿 2017-08-21 修定 2018-01-04

\* 通讯作者(lhlsym@163.com)。

照(CK)间存在极显著差异,除叶片数以外的各项指标随Pb浓度的升高逐渐降低,且叶长和株高与对照相比显著减少,说明重金属Pb胁迫抑制烟草生长(表1)。

## 2.2 Pb胁迫对烟草生理指标的影响

叶绿素是光合作用的主要色素,其含量与植物的光合作用密切相关,是反映植物生理状态的重要指标(王通明等2015)。叶绿素含量随Pb处理浓度的增大呈逐渐降低趋势,处理后30 d, Pb胁迫浓度为300 mg·kg<sup>-1</sup>处理的叶绿素含量降幅最大,达到23.14%。说明重金属Pb胁迫对烟草叶片中叶绿素含量造成一定的负面影响(图1)。

CAT、SOD和POD都是生物防御体系中的保护酶(李璇等2013)。如图2~4所示,随着Pb胁迫程度的增加,CAT活性呈降低趋势,Pb胁迫浓度为50 mg·kg<sup>-1</sup>处理的CAT活性最高;SOD活性在低浓度Pb胁迫下会出现一定程度的升高,Pb胁迫浓度为150

mg·kg<sup>-1</sup>处理最高,随着胁迫浓度继续增加,超过了烟株本身对重金属胁迫的耐受能力,烟株体内酶系统遭到破坏,酶活性又呈现下降趋势;烟株叶片POD活性大体上随着胁迫浓度的上升而升高。

在植物衰老生理和抗性生理研究中MDA含量是一个常用指标(张波2014),脯氨酸则是细胞内重要的渗透调节物质(王艳青等2001)。Pb胁迫下,烟株叶片MDA和脯氨酸含量大体上都随着胁迫浓度的上升而升高,处理后40~60 d, Pb胁迫浓度为300 mg·kg<sup>-1</sup>处理的MDA含量与对照相比增幅较大(图5和6)。

Pb胁迫浓度为150 mg·kg<sup>-1</sup>处理的烟株叶片在处理50 d可溶性糖含量达到最高。正常情况下,烟株叶片内可溶性糖含量处于较低的水平,当受到低浓度Pb胁迫时,可溶性糖含量迅速增加,随着胁迫浓度继续加大,烟草受到损伤,可溶性糖含量减少(如图7)。

表1 模拟污灌40 d后烟草农艺性状调查

Table 1 Agronomic characters of tobacco at 40 days after sewage irrigation

处理	叶长/cm	叶宽/cm	株高/cm	茎围/cm	叶片数
对照	59.96±1.73 <sup>aA</sup>	25.44±0.00 <sup>aA</sup>	110.00±0.75 <sup>aA</sup>	7.80±0.06 <sup>aA</sup>	19.78±1.03 <sup>abA</sup>
Pb50	54.47±0.27 <sup>bB</sup>	22.73±1.89 <sup>aA</sup>	103.00±1.15 <sup>bB</sup>	7.33±0.19 <sup>aA</sup>	19.00±0.58 <sup>abA</sup>
Pb100	53.07±0.62 <sup>bcB</sup>	21.13±0.08 <sup>aA</sup>	97.67±0.77 <sup>cC</sup>	7.27±0.16 <sup>aA</sup>	20.33±0.19 <sup>aA</sup>
Pb150	52.27±0.16 <sup>bcB</sup>	21.07±1.73 <sup>aA</sup>	98.00±1.15 <sup>cC</sup>	7.13±0.08 <sup>aA</sup>	20.33±0.06 <sup>aA</sup>
Pb300	50.90±0.14 <sup>cB</sup>	22.20±1.25 <sup>aA</sup>	96.87±0.81 <sup>cC</sup>	7.00±1.04 <sup>aA</sup>	18.00±0.92 <sup>bA</sup>

同一指标数据用不同小写字母标识表示差异显著( $P<0.05$ ),用不同大写字母标识表示差异极显著( $P<0.01$ )。Pb50、Pb100、Pb150、Pb300分别代表50、100、150、300 mg·kg<sup>-1</sup>浓度的Pb胁迫。下表同。

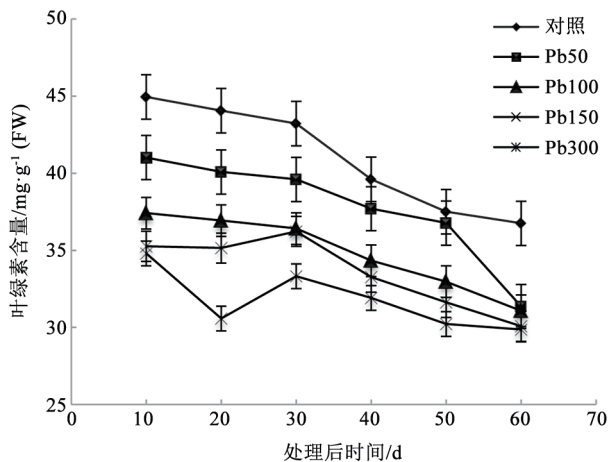


图1 Pb胁迫对烟草叶片中叶绿素含量的影响

Fig.1 Effect of Pb stress on chlorophyll content in tobacco leaves

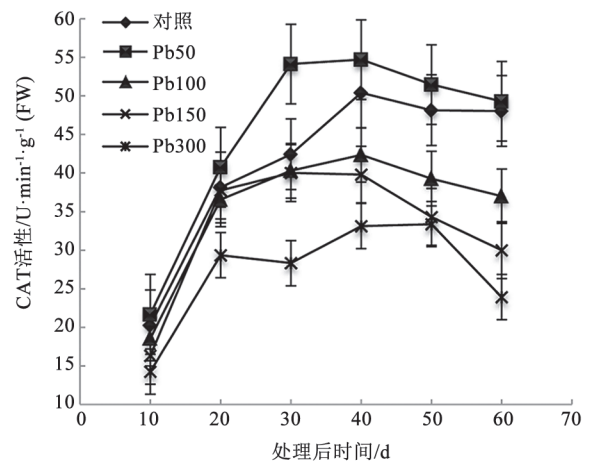


图2 Pb胁迫对烟草叶片中CAT活性的影响

Fig.2 Effect of Pb stress on CAT activity in tobacco leaves

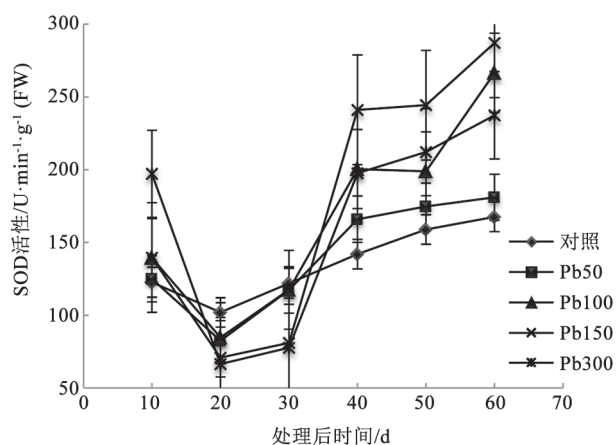


图3 Pb胁迫对烟草叶片中SOD活性的影响

Fig.3 Effect of Pb stress on SOD activity in tobacco leaves

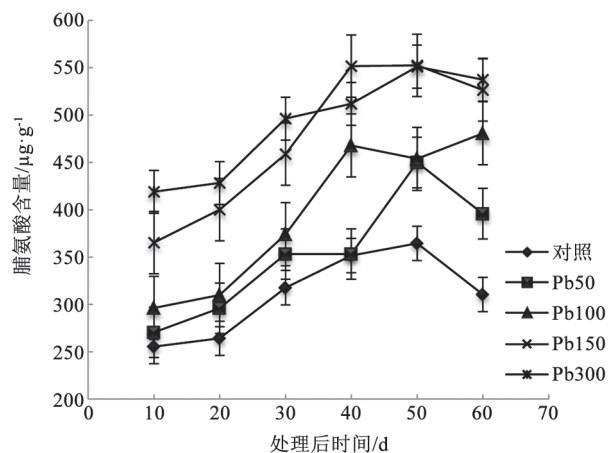


图6 Pb胁迫对烟草叶片中脯氨酸含量的影响

Fig.6 Effect of Pb stress on proline content in tobacco leaves

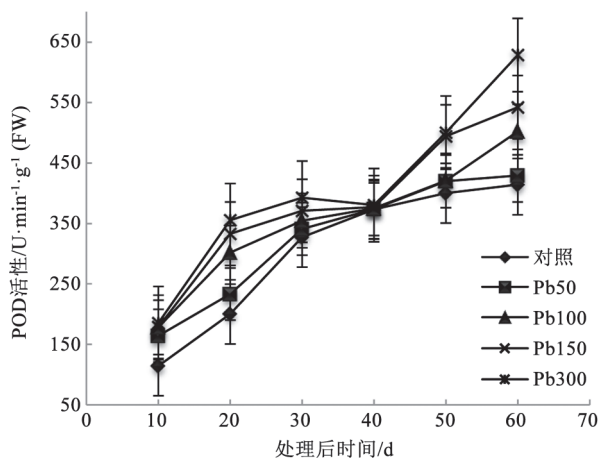


图4 Pb胁迫对烟草叶片中POD活性的影响

Fig.4 Effect of Pb stress on POD activity in tobacco leaves

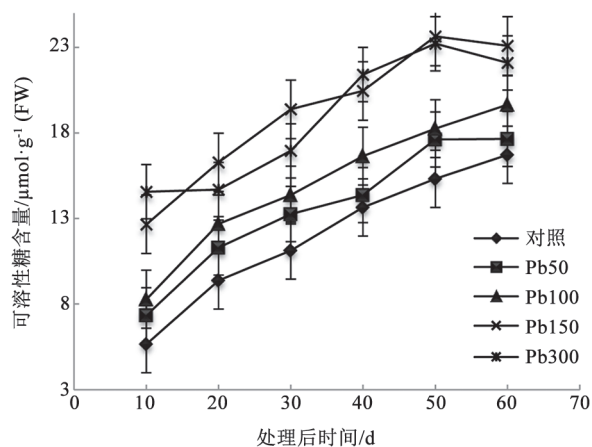


图7 Pb胁迫对烟草叶片中可溶性糖含量的影响

Fig.7 Effect of Pb stress on soluble sugar content in tobacco leaves

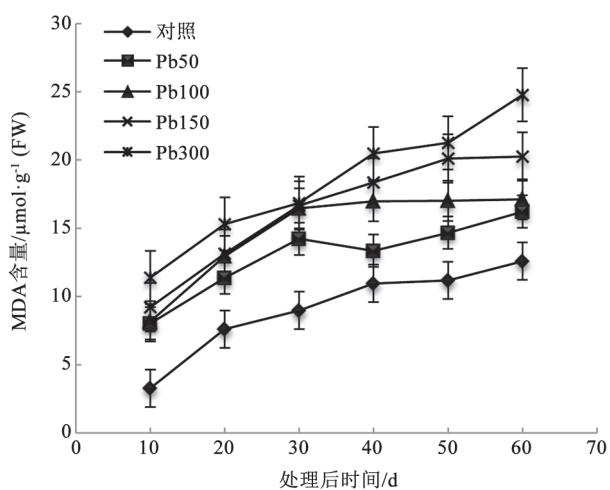


图5 Pb胁迫对烟草叶片中MDA含量的影响

Fig.5 Effect of Pb stress on MDA content in tobacco leaves

### 2.3 Pb胁迫对‘吉烟9号’各项生理指标的显著性分析

整体上来看, Pb胁迫的各个处理中, 叶绿素含量, CAT、POD、SOD活性以及MDA、可溶性糖、脯氨酸含量均存在显著差异(如表2)。其中对照叶绿素含量最高, 且随着Pb浓度升高呈逐渐下降趋势; CAT活性在Pb胁迫浓度为 $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 处理时最大; POD活性以及MDA、脯氨酸含量在Pb胁迫浓度为 $300 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 处理时最大; SOD活性和可溶性糖含量在Pb胁迫浓度为 $150 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 处理时最大。

### 2.4 Pb胁迫对烟草主要化学成分的影响

#### 2.4.1 对含氮化合物的影响

在Pb胁迫下, 各部位叶片以Pb胁迫浓度为 $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 处理的总氮含量最高, Pb胁迫浓度为 $300 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 处理的总氮含量最低; 烟碱含量为对照组

表2 Pb胁迫下烟草叶片各项生理指标

Table 2 Physiological indices for tobacco leaves under Pb stresses

处理	叶绿素含量/ mg·g <sup>-1</sup> (FW)	CAT活性/ U·min <sup>-1</sup> ·g <sup>-1</sup> (FW)	POD活性/ U·min <sup>-1</sup> ·g <sup>-1</sup> (FW)	SOD活性/ U·min <sup>-1</sup> ·g <sup>-1</sup> (FW)	MDA含量/ μmol·g <sup>-1</sup> (FW)	可溶性糖含量/ μmol·g <sup>-1</sup> (FW)	脯氨酸含量/ μg·g <sup>-1</sup>
对照	41.02±0.09 <sup>AA</sup>	41.24±0.23 <sup>BB</sup>	304.93±0.23 <sup>EE</sup>	135.88±0.57 <sup>EE</sup>	9.10±0.51 <sup>EE</sup>	11.97±0.06 <sup>EE</sup>	310.72±0.51 <sup>EE</sup>
Pb50	37.76±0.29 <sup>BB</sup>	45.34±0.13 <sup>AA</sup>	326.88±0.24 <sup>DD</sup>	141.12±0.09 <sup>DD</sup>	12.98±0.00 <sup>DD</sup>	13.59±0.12 <sup>DD</sup>	353.16±0.35 <sup>DD</sup>
Pb100	34.86±0.03 <sup>CC</sup>	35.67±0.25 <sup>CC</sup>	355.49±0.06 <sup>CC</sup>	167.92±0.17 <sup>BB</sup>	14.78±0.01 <sup>CC</sup>	14.98±0.17 <sup>CC</sup>	397.20±0.13 <sup>CC</sup>
Pb150	33.60±0.00 <sup>DD</sup>	33.03±0.02 <sup>DD</sup>	382.79±0.07 <sup>BB</sup>	177.38±0.19 <sup>AA</sup>	16.29±0.00 <sup>BB</sup>	19.25±0.04 <sup>AA</sup>	475.79±0.32 <sup>BB</sup>
Pb300	31.78±0.05 <sup>EE</sup>	27.06±0.69 <sup>EE</sup>	407.20±0.36 <sup>AA</sup>	164.72±0.18 <sup>CC</sup>	18.35±0.24 <sup>AA</sup>	18.82±0.08 <sup>BB</sup>	490.66±0.42 <sup>AA</sup>

最高,随着胁迫浓度上升呈逐渐下降的趋势;Pb胁迫浓度为100 mg·kg<sup>-1</sup>处理的蛋白质含量最高。说明Pb胁迫可抑制烟草叶片中烟碱的合成(图8~10)。

#### 2.4.2 对碳水化合物的影响

在Pb胁迫下,随胁迫浓度的递增总糖含量、还原糖含量整体上都呈先升后降的变化规律,在Pb胁迫浓度为150 mg·kg<sup>-1</sup>处理时最高;而淀粉含量整体上随处理浓度的递增均呈先降后升的变化规律,在150 mg·kg<sup>-1</sup>处理时最低(图11~13)。

#### 2.5 Pb胁迫下烟叶各项化学成分的显著性分析及比例变化

理想品质的烟叶要求氮碱比≤1,施木克值(总糖含量/蛋白质含量)在2~2.5之间(刘国顺2003)。从表3中可知,上部叶蛋白质含量在Pb胁迫浓度为100和300 mg·kg<sup>-1</sup>时与对照之间存在显著差异;各处理间还原糖含量差异极显著;总糖含量在Pb胁迫浓度≥100 mg·kg<sup>-1</sup>时与对照间存在极显著差异;

150 mg·kg<sup>-1</sup>处理时的淀粉含量与其余处理间存在极显著差异;糖碱比、氮碱比与施木克值在Pb胁迫浓度为150 mg·kg<sup>-1</sup>处理时最大。

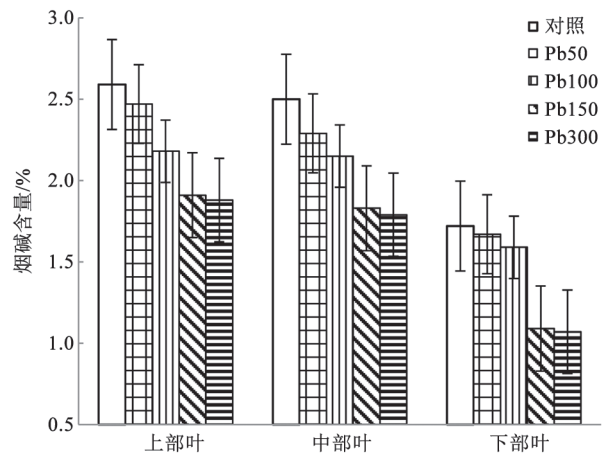


图9 Pb胁迫下烟草叶片中烟碱含量变化

Fig.9 Changes in nicotine content in tobacco leaves under Pb stresses

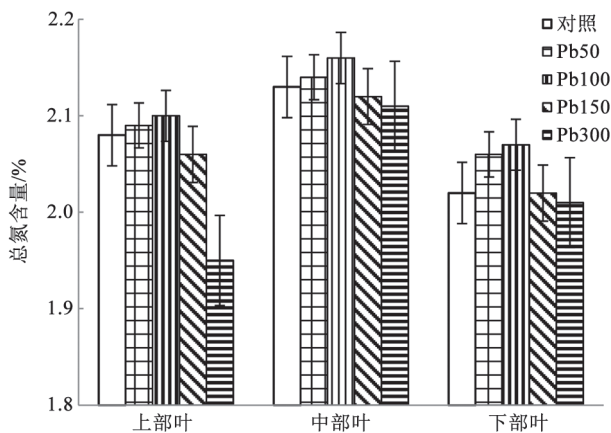


图8 Pb胁迫下烟草叶片中总氮含量变化

Fig.8 Changes in total nitrogen content in tobacco leaves under Pb stresses

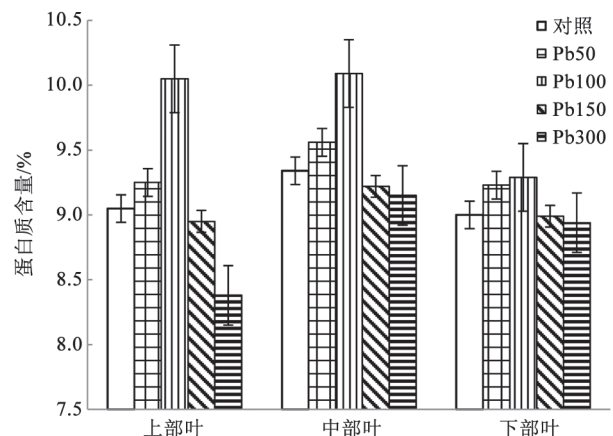


图10 Pb胁迫下烟草叶片中蛋白质含量变化

Fig.10 Changes in protein content in tobacco leaves under Pb stresses

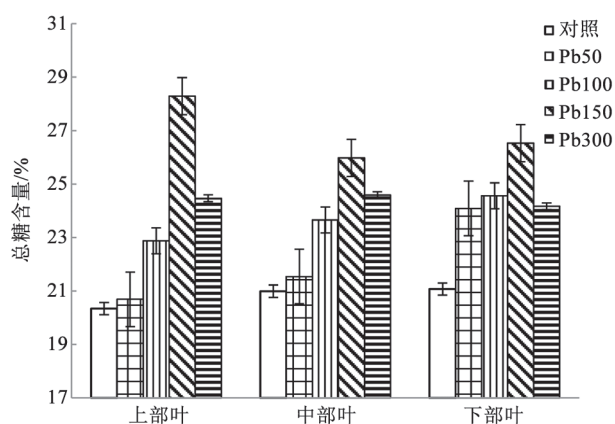


图11 Pb胁迫下烟草叶片中总糖含量变化

Fig. 11 Changes in total sugar content in tobacco leaves under Pb stresses

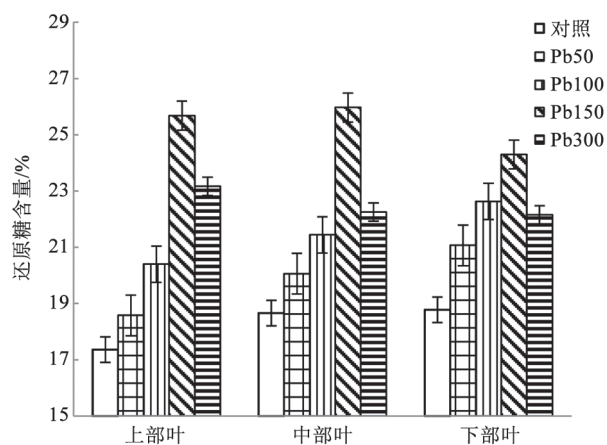


图12 Pb胁迫下烟草叶片中还原糖含量变化

Fig. 12 Changes in reducing sugar content in tobacco leaves under Pb stresses

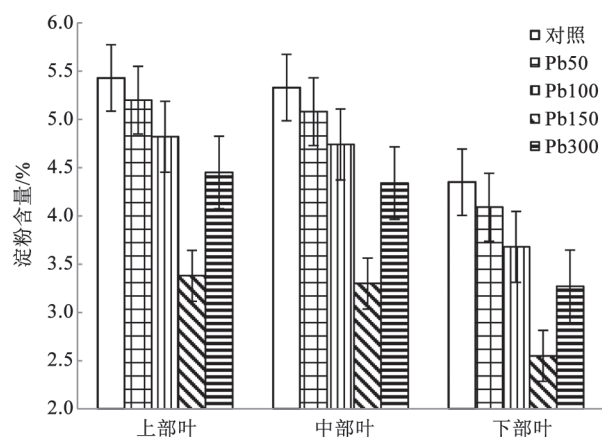


图13 Pb胁迫烟草叶片中淀粉含量

Fig. 13 Changes in starch content in tobacco leaves under Pb stresses

中部叶在Pb胁迫浓度为 $100 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 处理时,蛋白质含量与对照以及Pb胁迫浓度 $\geq 150 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 处理的结果存在显著差异;各处理的还原糖含量间存在极显著差异;总糖和淀粉含量在 $50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 处理时与对照差异不显著,其他处理与对照差异显著;糖碱比、氮碱比与施木克值在Pb胁迫浓度为 $0\sim 150 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 范围内整体上随胁迫浓度的升高逐渐增加。

下部叶在Pb胁迫浓度 $\geq 150 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,烟碱含量与对照间存在显著性差异;各处理的还原糖含量之间存在显著差异;各处理的总糖含量与对照之间均存在极显著差异;除 $50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 处理外,其余处理与对照以及各处理之间的淀粉含量均存在显著差异;糖碱比与施木克值在Pb胁迫浓度为 $150 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 处理时最大,氮碱比在Pb胁迫浓度为 $300 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 处理时最大。

### 3 讨论

烟草生长状况和生理生化性质的变动反映了其对重金属污染产生的影响。本试验表明Pb胁迫下,‘吉烟9号’的叶长、叶宽、株高、茎围均随胁迫浓度的升高逐渐下降。高浓度Pb可破坏叶绿素合成过程中叶绿素酸酯还原酶的活性,从而导致植物的叶绿素含量减少,影响光合作用。本试验的结果也恰恰说明了重金属Pd胁迫可以对烟草叶片中叶绿素含量造成负面影响,这与江行玉和赵可夫(2001)的研究结果一致。

植物在正常的生长发育时,体内活性氧的代谢是保持平衡状态的,而在Pb胁迫下,植物体内产生大量活性氧自由基,为了清除过多自由基,植物体内POD活性随之变化(严重玲等1997)。上述结果也说明了低浓度Pd胁迫使烟草SOD、POD、CAT活性上升,这是植物自身对胁迫的抗性表现,但Pb浓度超过了植物的耐受程度就会抑制酶活性,破坏酶系统,甚至造成植物死亡(王海龙和李小平2006)。MDA含量可以用来衡量植物膜脂过氧化程度(陈鹏2009),当植物受到重金属胁迫后,MDA大量生成,植物细胞受过氧化损伤加剧,本试验研究结果也证实了这一现象。

Pb污染降低烟叶光合作用,叶内不溶性糖和蛋白质的分解及运输受阻(张川东等2008)。本试验表明低浓度Pb胁迫下,可溶性糖含量和蛋白质

表3 Pb胁迫下烟草上、中、下部叶化学成分

Table 3 Chemical composition analysis of upper, middle and lower leaves of tobacco under Pb stresses

部位	处理	总氮含量/%	蛋白质含量/%	烟碱含量/%	还原糖含量/%	总糖含量/%	淀粉含量/%	糖碱比	氮碱比	施木克值
上部叶	对照	2.08 <sup>abA</sup>	9.05 <sup>bb</sup>	2.59 <sup>aA</sup>	17.36 <sup>eE</sup>	20.34 <sup>dD</sup>	5.43 <sup>aA</sup>	6.71	0.80	2.25
	Pb50	2.09 <sup>aA</sup>	9.25 <sup>bb</sup>	2.47 <sup>abA</sup>	18.58 <sup>dD</sup>	20.69 <sup>dD</sup>	5.20 <sup>abAB</sup>	7.51	0.85	2.24
	Pb100	2.10 <sup>aA</sup>	10.05 <sup>aA</sup>	2.18 <sup>bcAB</sup>	20.40 <sup>cC</sup>	22.88 <sup>cC</sup>	4.82 <sup>bcAB</sup>	9.38	0.97	2.28
	Pb150	2.06 <sup>abA</sup>	8.95 <sup>bb</sup>	1.91 <sup>cB</sup>	25.68 <sup>aA</sup>	28.29 <sup>aA</sup>	3.38 <sup>dC</sup>	13.43	1.08	3.16
	Pb300	1.95 <sup>bA</sup>	8.38 <sup>cC</sup>	1.88 <sup>cB</sup>	23.17 <sup>bb</sup>	24.47 <sup>bb</sup>	4.45 <sup>cB</sup>	12.31	1.03	2.92
中部叶	对照	2.13 <sup>aA</sup>	9.34 <sup>baB</sup>	2.50 <sup>aA</sup>	18.66 <sup>eE</sup>	20.99 <sup>dC</sup>	5.33 <sup>aA</sup>	7.47	0.85	2.25
	Pb50	2.14 <sup>aA</sup>	9.56 <sup>abAB</sup>	2.29 <sup>aA</sup>	20.06 <sup>dD</sup>	21.54 <sup>dC</sup>	5.08 <sup>abA</sup>	8.77	0.94	2.25
	Pb100	2.16 <sup>aA</sup>	10.09 <sup>aA</sup>	2.15 <sup>aA</sup>	21.44 <sup>cC</sup>	23.66 <sup>cB</sup>	4.74 <sup>bcAB</sup>	9.99	1.00	2.35
	Pb150	2.12 <sup>aA</sup>	9.22 <sup>bb</sup>	1.83 <sup>aA</sup>	25.97 <sup>aA</sup>	25.98 <sup>aA</sup>	3.30 <sup>dC</sup>	14.21	1.16	2.82
	Pb300	2.11 <sup>aA</sup>	9.15 <sup>bb</sup>	1.79 <sup>aA</sup>	22.25 <sup>bb</sup>	24.59 <sup>bb</sup>	4.34 <sup>cB</sup>	12.40	1.18	2.69
下部叶	对照	2.02 <sup>aA</sup>	9.00 <sup>aA</sup>	1.72 <sup>aA</sup>	18.78 <sup>eD</sup>	21.07 <sup>dC</sup>	4.35 <sup>aA</sup>	10.92	1.18	2.34
	Pb50	2.06 <sup>aA</sup>	9.23 <sup>aA</sup>	1.67 <sup>aA</sup>	21.07 <sup>dC</sup>	24.09 <sup>cB</sup>	4.09 <sup>abAB</sup>	12.64	1.23	2.61
	Pb100	2.07 <sup>aA</sup>	9.29 <sup>aA</sup>	1.59 <sup>abA</sup>	22.63 <sup>bb</sup>	24.56 <sup>bb</sup>	3.68 <sup>bBC</sup>	14.22	1.30	2.64
	Pb150	2.02 <sup>aA</sup>	8.99 <sup>aA</sup>	1.09 <sup>bA</sup>	24.30 <sup>aA</sup>	26.53 <sup>aA</sup>	2.55 <sup>dD</sup>	22.26	1.85	2.95
	Pb300	2.01 <sup>aA</sup>	8.94 <sup>aA</sup>	1.07 <sup>bA</sup>	22.15 <sup>cB</sup>	24.17 <sup>bcB</sup>	3.27 <sup>cC</sup>	20.70	1.88	2.70

含量增加,高浓度Pb则抑制二者生成。烟碱含量对烟叶品质有重要影响,含量过低则烟气香味不浓郁,过高则劲头过大(刘国顺2003)。本试验研究表明,Pb胁迫浓度 $\geq 100 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,烟碱含量显著低于对照。可能原因是烟株吸收大量重金属,根部合成烟碱能力下降,输送到茎叶部分的烟碱含量也随之减少。

施木克值是总糖含量和蛋白质含量之比,烟草叶片施木克值在2~2.5内值越高,说明烟草品质越好。本试验中,150和300  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的Pb胁迫的施木克值高于理想范围,且某些单项品质指标有变好的趋势,但就品质的协调性而言,均有下降,不利于烟叶品质的提高。

综上所述,当Pb胁迫浓度大于150  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,烟草生长受限,烟叶内在各化学成分比例失调,不利于优质烟叶的形成。

### 参考文献(References)

- Chen P (2009). Accumulation of Zn, Cd and Pb in tobacco plants and their effects on some physiological and biochemical indexes of tobacco. *Sci Technol Inf*, (25): 761–762 (in Chinese) [陈鹏(2009). Zn、Cd、Pb在烟株内的积累及对烟草某些生理生化指标的影响. *科技信息*, (25): 761–762]
- Jiang X, Zhao K (2001). Mechanism of heavy metal injury and resistance of plants. *Chin J Appl Environ Biol*, 7 (1): 92–99 (in Chinese with English abstract) [江行玉, 赵可夫(2001). 植物重金属伤害及其抗性机理. *应用与环境生物学报*, 7 (1): 92–99]
- Li RC (2000). Effects of cadmium and lead on physiological and ultra-structural features in tobacco leaves. *Acta Phytoecol Sin*, 24 (2): 238–242 (in Chinese with English abstract) [李荣春(2000). Cd、Pb及其复合污染对烤烟叶片生理生化及细胞亚显微结构的影响. *植物生态学报*, 24 (2): 238–242]
- Li X, Yue H, Wang S, et al (2013). Research of different effects on activity of plant antioxidant enzymes. *China J Chin Mater Med*, 38 (7): 973–978 (in Chinese with English abstract) [李璇, 岳红, 王升等(2013). 影响植物抗氧化酶活性的因素及其研究热点和现状. *中国中药杂志*, 38 (7): 973–978]
- Liu G (2003). *Tobacco Cultivation*. Beijing: China Agriculture Press (in Chinese) [刘国顺(2003). *烟草栽培学*. 北京: 中国农业出版社]
- Liu YX, Zhou YH, Wang D, et al (2010). Influences of lead polluting on tobacco growth and tobacco lead absorption. *Hunan Agr Sci*, (23): 67–69 (in Chinese with English abstract) [刘优熊, 周冀衡, 王东等(2010). 铅污染对烟草生长和铅吸收的影响. *湖南农业科学*, (23): 67–69]
- Tang S, Luo C (2012). *Experimental Course of Plant Physiology*. Chongqing: Southwest Normal University Press (in Chinese) [汤绍虎, 罗充(2012). *植物生理学实验教程*. 重庆: 西南师范大学出版社]
- Wang H, Li X (2006). The heavy metal effect on physiological and biochemical characteristics of tobacco. *J Chuxiong Norm Univ*, 21 (9): 39–45 (in Chinese with English abstract) [王海龙, 李小平(2006). 重金属污染对烟草生理生化和结构的影响. *楚雄师范学院学报*, 21 (9): 39–45]

- Wang R (2003). Tobacco Chemistry. Beijing: China Agriculture Press (in Chinese) [王瑞新(2003). 烟草化学. 北京: 中国农业出版社]
- Wang S, Xu M (2006). Effects of Pb stress on seed germination tobacco varieties. Seed, 25 (8): 27–29 (in Chinese with English abstract) [王树会, 许美玲(2006). 重金属铅胁迫对不同烟草品种种子发芽的影响. 种子, 25 (8): 27–29]
- Wang TM, Chen W, Pan WJ, et al (2015). Differences of leaf gas exchange traits chlorophyll fluorescence characteristics and chloroplast ultrastructure of *Nicotiana tabacum* L. K326 under organic fertilization and chemical fertilization. J Plant Nutr Fert, 21 (2): 517–526 (in Chinese with English abstract) [王通明, 陈伟, 潘文杰等(2015). 有机肥和化肥对烟叶气体交换、叶绿素荧光特性及叶绿体超微结构的影响. 植物营养与肥料学报, 21 (2): 517–526]
- Wang Y, Chen X, Li Y, et al (2001). The osmotic solute in plant resistance to adverse conditions and progress in relative genic engineering. J Beijing For Univ, 23 (4): 66–70 (in Chinese with English abstract) [王艳青, 陈雪梅, 李悦等(2001). 植物抗逆中的渗透调节物质及其转基因工程进展. 北京林业大学学报, 23 (4): 66–70]
- Wu Y, Wang Y, Du J, et al (2016). Effects of yttrium under lead stress on growth and physiological characteristics of *Microcystis aeruginosa*. J Rare Earths, 34 (7): 747–756
- Yan Z, Fu S, Fang C, et al (1997). Effects of Hg, Cd and their interaction on chlorophyll content and antioxidant enzyme systems in leaves of tobacco. Acta Phytoecol Sin, 21 (5): 468–473 (in Chinese with English abstract) [严重玲, 付舜珍, 方重华等(1997). Hg、Cd及其共同作用对烟草叶绿素含量及抗氧化酶系统的影响. 植物生态学报, 21 (5): 468–473]
- Zhang B (2014). Remediation mechanism and application of Pb-, Cr-, Zn- and Cd-tolerant plants (dissertation). Jiangmen: Wuyi University (in Chinese with English abstract) [张波(2014). 重金属Cr、Pb、Zn、Cd耐性植物修复机理及应用研究(学位论文). 江门: 五邑大学]
- Zhang CD, He TB, Lin CH (2008). Research progress in effects of some heavy metals on tobacco. Guizhou Agr Sci, 36 (6): 78–80 (in Chinese with English abstract) [张川东, 何腾兵, 林昌虎(2008). 几种重金属对烟草的影响研究进展. 贵州农业科学, 36 (6): 78–80]
- Zhang H, Lu N, Qian X, et al (2013). Effects of heavy metal stress on tobacco physiological characteristics and biomass. Guizhou Agr Sci, 41 (11): 25–29 (in Chinese with English abstract) [张浩, 陆宁, 钱晓刚等(2013). 重金属胁迫对烟草生理特性及其生物量的影响. 贵州农业科学, 41 (11): 25–29]
- Zhang X (1994). Experimental Techniques of Plant Physiology. Shenyang: Liaoning Science and Technology Press (in Chinese) [张宪政(1994). 植物生理学实验技术. 沈阳: 辽宁科学技术出版社]
- Zhao S, Xu ZC, Sun SG, et al (2012). Literature review on effects of heavy metals on tobacco physiological properties, growth and quality. J Gansu Agr Univ, 47 (2): 62–67 (in Chinese with English abstract) [赵爽, 许自成, 孙曙光等(2012). 重金属对烟草生长发育及品质影响的研究进展. 甘肃农业大学学报, 47 (2): 62–67]
- Zou Q (2000). Experimental Guidance of Plant Physiology. Beijing: China Agriculture Press (in Chinese) [邹琦(2000). 植物生理学实验指导. 北京: 中国农业出版社]

## Effect of lead stress on growth and physio-biochemical indices of tobacco

ZHU Shi-Miao<sup>1</sup>, SONG Hang-Lin<sup>2</sup>, ZHANG Li<sup>1</sup>, YAN Jing<sup>1</sup>, SHI Xian-Ji<sup>1</sup>, YAN Han<sup>1</sup>, LIU Lu<sup>1</sup>, LI Hu-Lin<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>*Agronomy College, Yanbian University, Yanji, Jilin 133002, China*

<sup>2</sup>*Yanbian Academy of Agricultural Sciences, Longjing, Jilin 133400, China*

**Abstract:** Effect of lead (Pb) stress on growth and physio-biochemical indices of tobacco (*Nicotiana tabacum*) was analyzed with 'Jiyan 9' using the method of potted plant. As lead concentration increasing, changes of each indices related to tobacco growth were as follows. The length and width of leaf, plant height and stem circumference were decreased. The content of chlorophyll increased gradually. The activities of catalase (CAT) and superoxide dismutase (SOD) increased at first and then decreased. The activity of peroxidase (POD) and the contents of malondialdehyde (MDA) and proline (Pro) increased gradually. The content of nicotine decreased. The content of starch decreased firstly and then increased. Total nitrogen, protein, total sugar and reducing sugar contents increased at first and then decreased. The content of soluble sugar was the highest under 150 mg·kg<sup>-1</sup> of lead concentration. Generally, it would not favor high quality tobacco under lead concentration over 150 mg·kg<sup>-1</sup>.

**Key words:** lead; tobacco; growth; physio-biochemistry

---

Received 2017-08-21 Accepted 2018-01-04

\*Corresponding author (lhlsym@163.com).