

重金属胁迫对草地早熟禾萌发、生长及光合特性的影响

尹 娟¹, 李 宁²

(1. 信阳农林学院 林学院, 河南 信阳 464000; 2. 河南职业技术学院 环境艺术工程系, 河南 郑州 450046)

摘 要:以草地早熟禾为研究材料,研究了不同浓度的重金属离子镉(Cd^{2+})、铜(Cu^{2+})和铅(Pb^{2+})对其种子萌发、幼苗生长及光合特性的影响。结果表明:低浓度的 Cd^{2+} ($10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)和 Cu^{2+} ($100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)处理时,对草地早熟禾种子萌发有一定的促进作用,发芽率分别达到了 96.2%和 94.2%,发芽指数分别为 9.8 和 9.7,均高于对照;当 Cd^{2+} 浓度高于 $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 Cu^{2+} 浓度高于 $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,种子发芽率和发芽指数均低于对照。当 Cu^{2+} 浓度低于 $200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,随着浓度的增大,幼苗的株高、总根长和地上生物量以及叶绿素含量和 F_v/F_m 值有一定的增加;当 Cu^{2+} 浓度高于 $200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,随着浓度的增大,则呈下降趋势。而随着 Pb^{2+} 浓度的增加,草地早熟禾种子的萌发、幼苗的生长及光合效率均逐渐下降,且低于对照。

关键词:草地早熟禾;重金属;萌发;生长;光合特性

中图分类号:S 543+.9 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)18-0061-04

重金属不仅不易随水淋溶,也不能被土壤微生物分解,相反却能通过生物富集作用在土壤环境中逐渐积累下来,甚至可能转化成毒性更大的甲基化合物,给植物的生长发育造成影响,严重时将威胁到农、牧业的生产安全及人类的生命和健康^[1-2]。镉(Cd)^[3]和铅(Pb)^[4-5]均不是植物生长所必需的营养元素,且对人类和植物有较严重的毒害作用。它们进入植物体后,通常会改变细胞膜透性,使植物的光合作用、呼吸作用及氮同化作用等受到抑制,导致植物体内的生理生化过程发生紊乱,植物生长发育受阻,严重时导致植株死亡。铜(Cu)是植物生长发育所必需的微量元素。因此一定浓度范围的 Cu 对植物不会产生明显的毒害作用,低浓度甚至还会促进

植物生长,但当浓度过高时也会对植物的生长发育产生影响,导致植物生长缓慢、生理代谢紊乱,严重时出现死亡^[6]。

草地早熟禾(*Poa pratensis* L.)属禾本科早熟禾属植物,广泛分布于北温带冷凉湿润地区,是一种多年生冷季型禾草,其叶形美观,具匍匐根状茎,既是一种牧草,也是一种优良的草坪草^[7]。该研究主要探讨了重金属离子 Cd^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Pb^{2+} 对草地早熟禾种子萌发、幼苗生长及光合特性的影响,为进一步研究草坪草对重金属胁迫的响应机制提供资料,也为城市绿化草坪草的选择提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于信阳农林学院,地理坐标为东经 $114^{\circ}06'$,北纬 $31^{\circ}125'$,年平均气温 $15.1 \sim 15.3^{\circ}\text{C}$,无霜期长,平均 $220 \sim 230 \text{ d}$;降雨丰沛,年均降雨量 $900 \sim 1\,400 \text{ mm}$ 。

第一作者简介:尹娟(1979-),女,硕士,讲师,现主要从事园林植物栽培选择与应用等研究工作。E-mail:yijuan9999@163.com.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31270664)。

收稿日期:2016-04-18

ornamental, to explore scientific peony cultivars comprehensive evaluation system, provided a reference for peony breeding and extension of new varieties. The results showed that among the 30 varieties of *Paeonia* papaveracea, there were 20 varieties and reference variety weight relation larger ($r > 0.618\,6$), had a good adaptability and ornamental. Among them, 'Zihai silverwave' with the weighted correlation degree of the reference variety was the largest ($r = 0.812\,2$), comprehensive characters was the best, the second was 'Red Hydrangea' ($r = 0.748\,8$) and 'Luminous cup' ($r = 0.729\,6$), and the 'Light capacitance' connection was the least ($r = 0.531\,7$). The evaluation results were consistent with the actual performance of the varieties. Using grey relational analysis method was scientific and feasible evaluation of *Paeonia* papaveracea.

Keywords: *Paeonia*; grey correlation analysis method; comprehensive evaluation

1.2 试验材料

供试草地早熟禾品种“午夜”种子购于克劳沃草业有限公司,供试金属离子有 $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 和 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 均为分析纯试剂。

1.3 试验方法

试验于 2015 年 4—8 月在信阳农林学院进行。设置 4 种重金属离子浓度,浓度梯度分别为: Cd^{2+} (10、50、100、150 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$); Pb^{2+} (200、500、1 000、1 500 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$); Cu^{2+} (100、200、400、600 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),重金属离子均以溶液形式加入到培养容器中,以加入相应的蒸馏水处理为对照(CK)。

萌发试验设计:选取籽粒饱满、大小均匀的供试种子,用 0.1% KMnO_4 溶液浸泡消毒 20 min,再用自来水冲洗至无红色为止,之后用蒸馏水冲洗 3~5 次,用滤纸吸干水分。将 100 粒草地早熟禾种子均匀放入铺有双层滤纸的培养皿中,并加入 3 mL 配好的重金属离子溶液,每个处理重复 5 次。利用光照培养箱变温模式进行培养,白天(光照)时间 16 h,温度为 28 $^{\circ}\text{C}$,光照强度为 10 000 lx,夜晚(黑暗)时间为 8 h,温度为 20 $^{\circ}\text{C}$,无光照,相对湿度保持在 50%~70%。每天定时补充蒸发水分,维持各处理浓度不变,记录 14 d 内的种子发芽数,并计算种子发芽率和发芽指数。

幼苗生长及光合试验设计:将处理过的种子均匀浅播于以蛭石为栽培基质的育苗盘中,每育苗盘按梯度定量浇灌 500 mL 重金属离子溶液(对照用蒸馏水代替)。当幼苗长出第 4 片叶时,每处理随机取 30 株,测定苗高、总根长、地上生物量。当幼苗长出第 4 片叶时测定叶绿素含量及 PSII 最大量子产量。

1.4 项目测定

发芽率(%)=各处理种子的发芽数/试样种子粒数 $\times 100$;发芽指数(GI)= $\sum(Gt/Dt)$ 。式中, Gt 为 t 时间的发芽数, Dt 为相应的发芽天数。

苗高和总根长采用游标卡尺测定;地上生物量的测定采用烘干法,随机收集 100 株幼苗地上部分样品,用蒸馏水冲洗干净并用滤纸吸干水分,测定样品的鲜样质量,然后将样品放在 55~60 $^{\circ}\text{C}$ 下烘干至恒重,每个处理重复 5 次。根据培养时 1 株 $\cdot\text{cm}^{-2}$ 将单位换算成 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ DW。

叶绿素含量的测定方法如下:取 0.1 g 叶片,将 5 mL 95%乙醇分 2 次加入研钵并研磨成白色匀浆,静置 3~5 min;将研磨液过滤至 25 mL 棕色容量瓶中,用乙醇定容至 25 mL。采用比色法,以 95%乙醇为空白,测定波长 665 nm 和 649 nm 的吸光值,根据公式计算叶绿素 a 和叶绿素 b 含量。

$\text{Chla} = 13.95A_{665} - 6.88A_{649}$; $\text{Chlb} = 24.96A_{649} - 7.32A_{665}$; $\text{Chla} + \text{Chlb} = 6.1A_{665} + 20.04A_{649}$ 。

叶绿素的荧光参数测定采用叶绿素荧光图像分析系统快速无接触的测定方法。每处理随机取 10 株幼苗,由软件控制并自动计算初始荧光(F_0)和最大荧光产量(F_m)参数,PSII 最大量子产量(F_v/F_m)由 $F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$ 公式计算得出。

1.5 数据分析

所有试验结果取 5 次重复的平均值进行分析,运用 Excel 整理分析数据,利用 SPSS 21.0 软件进行单因素方差分析处理间的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 重金属胁迫对草地早熟禾种子萌发的影响

一定浓度范围的重金属离子 Cd^{2+} 、 Pb^{2+} 和 Cu^{2+} 胁迫对草地早熟禾的种子萌发不会产生明显的毒害作用,但浓度过高超过承受范围会产生比较严重的抑制作用。从表 1 可以看出,随着 Cd^{2+} 、 Pb^{2+} 和 Cu^{2+} 处理浓度的增加,草地早熟禾种子的发芽率和发芽指数均呈明显的下降趋势。当 Cd^{2+} 浓度为 10 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 Cu^{2+} 浓度为 100 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,种子的发芽率分别达到了 96.2% 和 94.2%,发芽指数分别为 9.8 和 9.7,均高于对照处理;当 Cd^{2+} 浓度高于 10 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 Cu^{2+} 浓度高于 100 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,种子发芽率均低于对照。而随着 Pb^{2+} 浓度增加时,草地早熟禾种子的发芽率和发芽指数逐渐下降,且均低于对照。由此说明,低浓度的 Cd^{2+} 和 Cu^{2+} 处理对草地早熟禾种子萌发有一定的促进作用,而高浓度的 Cd^{2+} 和 Cu^{2+} 以及高于 200 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的 Pb^{2+} 处理对其种子萌发有显著的抑制作用。

表 1 不同浓度重金属胁迫对草地早熟禾种子萌发的影响

Table 1 Effect of different concentration of heavy metals on seed germination of *Poa pratensis* L.

重金属离子 Heavy metal ion	浓度 Concentration /($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	发芽率 Germination percentage /%	发芽指数 Germination index
Cd^{2+}	10	96.2 \pm 2.7a	9.8 \pm 0.3a
	50	78.6 \pm 4.2b	6.9 \pm 0.5b
	100	32.2 \pm 5.5d	2.7 \pm 0.2c
	150	10.8 \pm 2.9de	0.8 \pm 0.1d
	200	80.3 \pm 2.6b	7.0 \pm 0.6b
Pb^{2+}	500	61.7 \pm 3.9c	5.5 \pm 0.3bc
	1 000	11.2 \pm 4.0de	1.1 \pm 0.2d
	1 500	3.5 \pm 2.7e	0.6 \pm 0.3d
Cu^{2+}	100	94.2 \pm 3.4a	9.7 \pm 0.8a
	200	62.1 \pm 5.2c	5.9 \pm 0.5bc
	400	28.6 \pm 4.9d	2.7 \pm 0.6c
CK	600	2.4 \pm 3.7e	0.4 \pm 0.1d
	0	92.5 \pm 5.0a	9.5 \pm 0.4a

注:同一列中不同字母表示不同处理间的差异显著性($P < 0.05$),下同。

Note: Different letters in the same column indicate significant differences ($P < 0.05$), the same below.

2.2 重金属胁迫对草地早熟禾生长的影响

重金属胁迫对草地早熟禾幼苗生长的影响是最直接的,株高、根系及生物量等均会受到明显的抑制。由表2可以看出,当 Cd^{2+} 浓度为 $10\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,草地早熟禾幼苗的株高为 2.4 cm ,地上生物量为 $21.3\text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$,均高于对照处理,而总根长为 90.8 cm ,显著低于对照,说明根系是重金属离子最直接的吸收器官,受影响的程度远高于地上部分。随着 Cd^{2+} 和 Pb^{2+} 浓度的增加,株高、总根长和地上生物量呈下降趋势。而当 Cu^{2+} 浓度低于 $200\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,随着浓度的增大,幼苗的株高、总根长和地上生物量有一定的增加;当 Cu^{2+} 浓度高于 $200\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,随着浓度的增大,幼苗的株高、总根长和地上生物量则呈下降趋势。由此可见, Cd^{2+} 和 Pb^{2+} 对草地早熟禾幼苗的生长有抑制作用,而 Cu^{2+} 是植物生长必需的营养元素,所以低浓度处理对幼苗生长有一定的促进作用,高浓度处理则抑制作用较为明显。

表2 不同浓度重金属胁迫对草地早熟禾幼苗生长的影响

Table 2 Effect of different concentration of heavy metals on seedling growth of *Poa pratensis*

重金属离子	浓度	株高	总根长	地上生物量
Heavy metal	Concentration	Plant height	Total root	Above ground biomass
ion	$/(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$	$/\text{cm}$	length/cm	$/(\text{g}\cdot\text{m}^{-2})$
Cd^{2+}	10	$2.4\pm0.2\text{a}$	$90.8\pm2.3\text{b}$	$21.3\pm0.2\text{a}$
	50	$2.2\pm0.1\text{ab}$	$66.7\pm3.4\text{c}$	$15.8\pm0.3\text{b}$
	100	$1.7\pm0.1\text{c}$	$12.9\pm1.5\text{e}$	$13.5\pm0.2\text{c}$
	150	$1.4\pm0.3\text{cd}$	$11.0\pm1.1\text{e}$	$11.2\pm0.4\text{c}$
	200	$2.2\pm0.2\text{ab}$	$87.5\pm2.6\text{b}$	$17.3\pm0.3\text{ab}$
Pb^{2+}	500	$2.0\pm0.4\text{b}$	$77.8\pm0.9\text{bc}$	$15.6\pm0.1\text{b}$
	1 000	$1.8\pm0.1\text{c}$	$50.1\pm5.7\text{d}$	$10.9\pm0.1\text{cd}$
	1 500	$1.4\pm0.3\text{cd}$	$28.5\pm1.8\text{e}$	$8.7\pm0.3\text{d}$
Cu^{2+}	100	$2.1\pm0.4\text{ab}$	$57.4\pm0.6\text{cd}$	$16.0\pm0.2\text{b}$
	200	$2.3\pm0.2\text{ab}$	$68.9\pm1.0\text{c}$	$12.2\pm0.5\text{c}$
	400	$1.9\pm0.2\text{c}$	$24.0\pm3.5\text{e}$	$10.5\pm0.7\text{cd}$
	800	$1.2\pm0.5\text{d}$	$10.6\pm0.9\text{e}$	$8.7\pm0.6\text{d}$
CK	0	$2.3\pm0.4\text{ab}$	$97.4\pm7.3\text{a}$	$18.9\pm0.3\text{ab}$

2.3 重金属胁迫对草地早熟禾光合特性的影响

重金属胁迫会抑制叶绿素的合成,影响生物膜类脂的过氧化进程,阻碍氮素固定和ATP合成,最终导致植物的光合作用受到严重的影响。由表3可知,当 Cd^{2+} 浓度为 $10\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,草地早熟禾幼苗的叶绿素含量达到 $0.90\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$,显著高于对照处理,而 F_v/F_m 值为 0.71 ,低于对照。随着 Cd^{2+} 和 Pb^{2+} 浓度的增加,叶绿素含量和 F_v/F_m 值呈下降趋势。而当 Cu^{2+} 浓度低于 $200\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,随着浓度的增大,幼苗的叶绿素含量和 F_v/F_m 值有一定的增加;当 Cu^{2+} 浓度高于 $200\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,随着浓度的增大,幼苗的叶绿素含量和 F_v/F_m 值则显著下降。由此可见,重金属离子 Cd^{2+} 和 Pb^{2+} 抑制草地早熟禾幼苗的光合作用,继而影响其它的生理指标,

表3 不同浓度重金属胁迫对草地早熟禾幼苗光合特性的影响

Table 3 Effect of different concentration of heavy metal stress on photosynthetic characteristics of *Poa pratensis*

重金属离子	浓度	叶绿素含量	PSII最大量子产量
Heavy metal	Concentration	Chlorophyll content	Maximal quantum
ion	$/(\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1})$	$/(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW})$	yield of PSII/ (F_v/F_m)
Cd^{2+}	10	$0.90\pm0.02\text{a}$	$0.71\pm0.20\text{ab}$
	50	$0.76\pm0.07\text{b}$	$0.70\pm0.09\text{ab}$
	100	$0.56\pm0.11\text{c}$	$0.68\pm0.11\text{b}$
	150	$0.35\pm0.21\text{d}$	$0.59\pm0.18\text{c}$
	200	$0.77\pm0.08\text{b}$	$0.72\pm0.10\text{a}$
Pb^{2+}	500	$0.61\pm0.05\text{c}$	$0.71\pm0.09\text{ab}$
	1 000	$0.44\pm0.03\text{d}$	$0.70\pm0.14\text{ab}$
	1 500	$0.32\pm0.09\text{d}$	$0.68\pm0.07\text{b}$
Cu^{2+}	100	$0.92\pm0.10\text{a}$	$0.74\pm0.17\text{a}$
	200	$0.96\pm0.08\text{a}$	$0.76\pm0.11\text{a}$
	400	$0.64\pm0.20\text{c}$	$0.62\pm0.15\text{b}$
	800	$0.31\pm0.14\text{d}$	$0.52\pm0.21\text{c}$
CK	0	$0.82\pm0.04\text{b}$	$0.73\pm0.12\text{a}$

而 Cu^{2+} 是植物生长所需的微量元素,低浓度可提高幼苗的光合效率,高浓度则会造成胁迫,抑制幼苗的光合作用。

3 讨论与结论

目前,国内城市生活垃圾和工业“三废”超标排放,农业生产中农药、化肥使用不当,直接导致耕作地土壤污染日益严重,尤其以城市化和工业化发展迅速的城市及城郊地区土壤重金属污染最为严重^[8-9]。某些草坪草在被重金属污染的土壤中仍能正常生长,其生长过程将吸收土壤中的重金属离子,可通过反复刈割和修剪,逐步减少土壤中重金属的含量,从而达到植物修复的目的。

关于重金属胁迫对草坪草的影响已有研究报道,陈伟^[10]通过发芽试验研究了 Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Pb^{2+} 和 Cd^{2+} 对草地早熟禾、多年生黑麦草、高羊茅和白三叶种子萌发的影响,研究发现重金属离子对种子萌发和活力有较大的抑制作用。沈高峰^[11]通过盆栽试验研究发现,重金属Pb胁迫对高羊茅和多年生黑麦草影响明显。多立安等^[12]采用砂培法研究了早熟禾对不同浓度 Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Pb^{2+} 和 Cd^{2+} 胁迫的生长响应特征。刘大林等^[13]采用盆栽法研究了土壤镉、铅复合胁迫对草地早熟禾幼苗生理特性的影响,发现不同 Cd^{2+} 胁迫显著影响了草地早熟禾幼苗叶片的细胞膜透性、丙二醛、脯氨酸和叶绿素的含量,随着重金属处理时间的延长,叶绿素含量呈先升后降的趋势,叶片的细胞膜透性、丙二醛和脯氨酸含量呈上升趋势。

Cd和Pb不是植物生长所需的营养元素,它们对草地早熟禾种子萌发、幼苗生长及光合特性均有显著的抑

制作用。而 Cu 是植物生长发育所必需的微量元素,低浓度可促进草地早熟禾的种子萌发、幼苗生长及光合作用,超过承受范围则会严重抑制。该研究结果表明,低浓度的 Cd^{2+} ($10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) 和 Cu^{2+} ($100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) 处理时,对草地早熟禾种子萌发有一定的促进作用,发芽率分别达到了 96.2% 和 94.2%,发芽指数分别为 9.8 和 9.7,均高于对照;当 Cd^{2+} 浓度高于 $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 Cu^{2+} 浓度高于 $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,种子发芽率和发芽指数均低于对照。当 Cu^{2+} 浓度低于 $200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,随着浓度的增大,幼苗的株高、总根长和地上生物量以及叶绿素含量和 Fv/Fm 值有一定的增加;当 Cu^{2+} 浓度高于 $200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,随着浓度的增大,则呈现显著的下降趋势。

参考文献

- [1] 陈俊任,柳丹,吴家森,等. 重金属胁迫对毛竹种子萌发及其富集效应的影响[J]. 生态学报,2014(22):6501-6509.
- [2] 田禹璐,朱宏. 重金属镉对植物胁迫的研究进展[J]. 哈尔滨师范大学自然科学学报,2015(2):149-153.
- [3] 梁剑. 重金属镉胁迫对油橄榄幼苗生长的影响[J]. 江苏农业科学,2015(11):110-112.
- [4] 李西,吴亚娇,孙凌霞. 铅胁迫对三种暖季型草坪草生长和生理特性的影响[J]. 草业学报,2014(4):171-180.
- [5] 杨玲,张勇,吴洪娇,等. 铅锌胁迫对早熟禾和狗牙根种子出苗和幼苗生长的影响[J]. 云南农业大学学报(自然科学版),2013,28(3):405-410.
- [6] 王松华,张华,何庆元. 铜胁迫对紫花苜蓿幼苗叶片抗氧化系统的影响[J]. 应用生态学报,2011(9):2285-2290.
- [7] 尹莹莹. 干旱胁迫下草地早熟禾叶片的生长模型[J]. 贵州农业科学,2015(12):45-47.
- [8] 梁芳,郭晋平. 植物重金属毒害作用机理研究进展[J]. 山西农业科学,2007(11):34-36.
- [9] 马敏,龚惠红,邓泓. 重金属对 8 种园林植物种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 中国农学通报,2012,28(22):206-211.
- [10] 陈伟. 重金属胁迫对草坪草生长发育及生理特性的影响[D]. 兰州:甘肃农业大学,2014.
- [11] 沈高峰. 重金属 Pb 胁迫对草坪草生长·抗氧化生理特性的影响[J]. 安徽农业科学,2011,39(24):14757-14760.
- [12] 多立安,高玉葆,赵树兰. 早熟禾对 4 种重金属胁迫生长响应特征[J]. 西北植物学报,2006,26(1):183-187.
- [13] 刘大林,杨俊俏,刘兆明,等. 镉、铅胁迫对草地早熟禾幼苗生理的影响[J]. 草业科学,2015,32(2):224-230.

Effect of Heavy Metal Stress on Germination, Growth and Photosynthetic Characteristics of *Poa pratensis* L.

YIN Juan¹, LI Ning²

(1. Forestry Institute, Xinyang Agroforestry Institute, Xinyang, Henan 464000; 2. Department of Environmental Art Engineering, Henan Vocational and Technical College, Zhengzhou, Henan 450046)

Abstract: In the experiment, *Poa pratensis* L. was selected as the research material, the effect of three different heavy metals ions cadmium(Cd^{2+}), copper(Cu^{2+}), lead(Pb^{2+}) and different concentration on seed germination, seedling growth and photosynthetic characteristic systematically were studied. The results showed that in the low concentration of Cd^{2+} ($10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) and Cu^{2+} ($100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) treatments, seed germination of *Poa pratensis* L. had been promoted in some extent and the seed germination rates reached 96.2% and 94.2% respectively, the germination index were 9.8 and 9.7 respectively, which were higher than the controls. When the concentration of Cd^{2+} was higher than $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ or Cu^{2+} concentration was higher than $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, the seed germination percentage and germination index were lower than the controls. When Cu^{2+} concentration was below $200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, the seedlings height, total root length, biomass of aboveground and the content of chlorophyll, Fv/Fm values had a slight increase along with the increase of concentration. When Cu^{2+} concentration was higher than $200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, significant decline appeared with the increase of concentration. In addition, seed germination, seedling growth and photosynthetic efficiency of *Poa pratensis* L. declined with the increase of concentration of Pb^{2+} , and were lower than the controls.

Keywords: *Poa pratensis* L.; heavy metal; germination; growth; photosynthetic characteristics