

王占义,侯 佳,吴 迪. 羊草根系和叶片生长对煤粉尘沉降的响应[J]. 江苏农业科学,2017,45(7):261-264.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.07.068

# 羊草根系和叶片生长对煤粉尘沉降的响应

王占义<sup>1</sup>, 侯 佳<sup>2</sup>, 吴 迪<sup>3</sup>

(1. 内蒙古农业大学草原与资源环境学院, 内蒙古呼和浩特 010018; 2. 内蒙古农业大学职业技术学院, 内蒙古包头 014109;

3. 内蒙古呼伦贝尔市水利规划设计研究院, 内蒙古呼伦贝尔 021000)

**摘要:**粉尘污染是露天煤矿开采中主要的环境问题之一,粉尘沉降对周边生态系统具有重要影响。采用室内人工喷撒煤粉到水培植物的方法,模拟研究了煤粉尘沉降对草地植物羊草的影响。结果表明,以  $1.18 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$  的剂量喷撒煤粉 35 d 时,羊草根系生长速率、叶片净光合效率、气孔导度均降低,并最终导致植株生物量减小,与对照相比,植株总生物量显著减少。说明露天煤矿的粉尘沉降会阻碍矿区周边草地植物羊草的生长,长期作用可能导致周边草地植物多样性的改变。

**关键词:**粉尘;矸石粉;羊草;草原;光合

**中图分类号:** S812 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)07-0261-04

粉尘污染是露天煤矿开采过程中的主要环境问题之一。该问题在美国、中国、印度、俄罗斯、南非等 5 个国家普遍存在,这些国家占有了全球 84% 的煤炭绝对持有量<sup>[1-2]</sup>。近年

来内蒙古草原开采了很多露天煤矿,粉尘污染在地处干旱区的内蒙古草原也比较严重。2010 年内蒙古的煤炭产量在全国排第 1 位<sup>[3]</sup>。全国 14 个大型露天煤矿有 11 个分布在内蒙古<sup>[4]</sup>。大部分露天煤矿分布在内蒙古草原,而这些草地是当地畜牧业和牧民赖以生存的基础。因此,粉尘可能通过影响草地健康进而影响到居民的生存和健康。2011—2013 年内蒙古锡林浩特市至少有  $106 \text{ km}^2$  的草地被煤粉尘污染,67 万元人民币被用于支付草地污染补偿费<sup>[5]</sup>。

粉尘污染对生态系统具有重要影响。煤粉尘可以增加土壤表面温度<sup>[6]</sup>及矿坑淋溶地下水的 pH 值和金属离子浓度<sup>[7-8]</sup>。这些淋溶液包含氟、硫化物,对植物生长产生危害<sup>[9]</sup>。在南非的研究发现,煤尘排放遮挡阳光,减弱了植物

收稿日期:2016-06-22

基金项目:高等学校博士学科点专项基金(编号:20131515120003);

内蒙古农业大学博士科研启动基金(编号:BJ2013C-3);中国博士后科学基金(编号:2015M572634XB)。

作者简介:王占义(1981—),男,内蒙古包头人,博士,讲师,研究方向为草地环境污染与植物根系。Tel: (0471) 5193953; E-mail: zhanyiwang2006@163.com。

通信作者:侯 佳,内蒙古呼和浩特人,讲师,研究方向为园艺植物生理与解剖。E-mail: hjl16116@sina.com。

Water Resources Research, 1980, 16(3): 574-582.

[4] Jackson T J, Schmugge J, Engman E T. Remote sensing applications to hydrology: soil moisture[J]. Hydrological Sciences Journal, 1996, 41(4): 609-624.

[5] 康学远, 林 琳, 刘义佳, 等. 土壤介电常数-含水量关系模型研究[J]. 中国农村水利水电, 2015(8): 8-12.

[6] 朱安宁, 吉丽青, 张佳宝, 等. 不同类型土壤介电常数与体积含水量经验关系研究[J]. 土壤学报, 2011, 48(2): 263-268.

[7] Velázquez - Martí B, Gracia - López C, Plaza - Gonzalez P J. Determination of dielectric properties of agricultural soil[J]. Biosystems Engineering, 2005, 91(1): 119-125.

[8] 雷 磊, 塔西甫拉提·特依拜, 丁建丽, 等. 干旱区盐渍土介电常数特性研究与模型验证[J]. 农业工程学报, 2013, 29(16): 125-133.

[9] 司马文霞, 艾琳丰, 袁 涛, 等. 土壤介电频变特性试验研究及其对接地极冲击特性的影响[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(16): 4247-4253.

[10] 张 鹏. 主要因素对土壤介电特性的影响分析研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013.

[11] 郭文川, 张 鹏, 宋克鑫, 等. 壤土介电特性与水分检测频率及温度影响[J]. 排灌机械工程学报, 2013, 31(8): 713-718.

[12] 田 兵. 多元线性回归分析及其实际应用[J]. 阴山学刊(自然

科学版), 2011, 25(1): 16-19.

[13] Shang J Q, Scholte J W, Rowe R K. Multiple linear regression of complex permittivity of a till at frequency range from 200 MHz to 400 MHz[J]. Sensing and Imaging, 2000, 1(3): 337-356.

[14] Shi T Z, Cui L J, Wang J J, et al. Comparison of multivariate methods for estimating soil total nitrogen; with visible/near-infrared spectroscopy[J]. Plant and Soil, 2013, 366(1): 363-375.

[15] Bilgili M. Prediction of soil temperature using regression and artificial neural network models[J]. Meteorology and Atmospheric Physics, 2010, 110(1): 59-70.

[16] 周 晨, 冯宇东, 肖匡心, 等. 基于多元线性回归模型的东北地区需水量分析[J]. 数学的实践与认识, 2014, 44(1): 118-123.

[17] 黄 安, 杨联安, 杜 挺, 等. 基于多元成土因素的土壤有机质空间分布分析[J]. 干旱区地理(汉文版), 2015, 38(5): 994-1003.

[18] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000.

[19] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.

[20] Schmugge T J, Jackson T J, Mckim H L. Survey of methods for soil moisture determination[J]. Water Resources Research, 1980, 16(6): 961-979.

参加光合作用的日光强度<sup>[10]</sup>、光合作用效率<sup>[2]</sup>。粉尘颗粒阻挡气孔开放<sup>[11-12]</sup>。在印度的研究发现,煤尘改变了叶片生理和叶片形态<sup>[13]</sup>。在美国的研究发现,煤尘沉降的烟羽区一年生植物的生物量显著大于非烟羽区<sup>[14]</sup>。

不同来源的粉尘对植物影响不同。内蒙古露天煤矿主要有 2 种成分的粉尘:煤粉尘,产生于矿坑或选煤场,主要成分是煤,内蒙古草原上最主要的煤种是褐煤,褐煤含碳(63.73%)、氢(6.26%)、氧(28.12%)、氮(1.43%)、硫(0.46%)<sup>[15]</sup>;煤矸石粉,来源于挖掘,运输剥离煤层上覆盖的废土,含 SiO<sub>2</sub>(76%~77%)、Na<sub>2</sub>O 和 K<sub>2</sub>O(7.75%~8.15%)、CaO(0.20%~0.22%)<sup>[16]</sup>。Wong 等研究发现,道路粉尘对植物生长产生影响,有些抑制植物生长,有些促进植物生长<sup>[17]</sup>。煤矿上不同来源粉尘可能对植物生长有不同影响。

如果煤粉尘或矸石粉尘对植物生长的影响不同,那么其长期作用以后,有些植物可能会受到威胁甚至从矿区周边消失,还有些植物可能会过度生长。换句话说,长期煤粉尘污染可能改变草地植物种类成分,改变草地状态和生态系统服务功能。以往相关研究重点关注煤粉尘污染对植物地上部的影响,而关于粉尘污染对植物地下部的影响还未见报道。本研究以内蒙古天然草地上重要的饲用植物羊草(*Agropyron cristatum*)为材料,通过喷撒煤粉到羊草的方法,模拟研究了煤粉尘对于羊草生长的影响,以期为更好地保护和管理天然草原、实现草地生产的可持续发展提供支撑。

1 材料与方法

1.1 煤矿周边煤粉尘沉降监测

煤粉尘监测点位于锡林浩特市西二号露天煤矿周边草地,该煤矿煤种是褐煤。矿区盛行风向是西风,年平均降水量 350 mm<sup>[18]</sup>。2013 年 4—9 月采用玻璃球法监测粉尘沉降速率,此时是植物生长期和煤矿开采活动频繁期。监测点位于矿坑外围下风向 200 m 处,根据地面颜色和煤粉尘保留程度选择 1 个监测点,该监测点设计 3 个集尘缸(直径 15 cm、高 30 cm),间距 50 m,安置在高度 180 cm 的水泥桩上。集尘缸内铺设 1 层玻璃球(直径 1.2 cm)。每月将集尘缸内的粉尘用去离子水清洗后,将淋洗液放入坩埚,蒸干获得粉尘质量<sup>[19-20]</sup>。

1.2 室内试验设计

选择羊草为试验材料,所用种子采集于距离西二矿较远的锡林浩特市白音锡勒牧场。试验于 2015 年在内蒙古农业大学生态环境学院普通温室进行,种子发芽后采用水培方法培养,每个培养箱装入 10 L Hoagland 营养液。试验设 3 个处理:对照、煤粉处理、矸石粉处理。煤粉、矸石粉采集于西二号露天矿,采集后过 100 目筛备用。每个处理 3 次重复,每个重复 2 株羊草。

试验时,每隔 2 d 喷撒 1 次煤粉、矸石粉。按照野外粉尘沉降速率[0.59 g/(m<sup>2</sup>·d)]的 2 倍即 1.18 g/(m<sup>2</sup>·d)喷撒粉尘。喷撒时,先用长方体有机玻璃罩子(100 cm×50 cm×160 cm)将同一处理的植物罩住,然后用自制喷尘器从罩子侧面小口喷撒煤粉到叶片。因为有定植板阻挡分隔地上部与地下部,必须同时添加同等的粉末到地下根部溶液中。煤粉、矸石粉过 0.149 mm 筛后,采用原子吸收分光光度计(Z-8000 型,日本日立公司)测定镉、铬、铅、铜含量,采用原子荧光仪(AFS-3100 型,北京海光仪器公司)测定砷含量。采用 pH 计(雷磁 PHS-3C 型,上海仪电科学仪器股份有限公司)以粉水比 1:5 混合后,测定溶液 pH 值。以上仪器由内蒙古农牧渔业生物实验研究中心提供。

移苗后开始喷撒煤粉处理,每隔 7 d 扫描 1 次根系,每次扫描后把植株再放回原位继续培养,直到根系形态指标出现明显差异为止。根系形态采用根系扫描分析系统(WinRHIZO 2009a 型,加拿大 Regent Instruments 公司)观测分析,获得根系长度、直径、表面积、体积、根尖数、分叉数等根系形态参数。在最后 1 次处理时,采用光合仪(LI-6400XT 型,美国 LI-COR 公司)测定叶片光合效率、气孔导度、叶温等参数。测定时选取相同位置的健康、成熟叶片,在每天 09:00—11:30 测定,最后收获所有植物并烘干,测定生物量。根系扫描仪、光合仪由内蒙古农业大学草地资源教育部重点实验室提供。

1.3 数据分析

数据分析采用 SPSS 13.0 统计分析软件。采用单因素方差分析处理不同处理间的各项指标。

2 结果与分析

2.1 煤粉尘沉降速率与煤粉、矸石粉成分

野外监测结果显示,矿区污染最严重的地段粉尘沉降速率是 0.59 g/(m<sup>2</sup>·d)(N=3,se=0.10)。煤粉、矸石粉的理化性质见表 1,煤粉中铬、铅含量显著、极显著小于矸石粉。

表 1 2 种煤粉及矿区表土的理化性质

类别	pH 值	重金属含量(mg/kg)				
		Cd	Cr	As	Cu	Pb
煤粉	6.06	0.05±0.01A	22.14±1.56b	4.12±0.16a	13.36±0.74a	11.89±0.15B
矸石粉	7.27	0.02±0.01B	51.07±1.07a	3.77±0.08a	15.13±0.45a	30.03±0.71A
矿区表土	8.22	0.09	38.30	6.85	12.30	15.00

注:同列数据后不同大写字母、小写字母分别表示在 0.01、0.05 水平上差异极显著、显著,下表同。矿区表土是指采矿前的原生草地表土,相关数据来源于文献[21]。

2.2 喷洒煤粉对羊草根系形态的影响

煤粉处理到试验第 5 周时,各项羊草根系形态参数出现明显差异。由图 1 可见,测定的 6 项根系形态参数中,根表面积以对照组最大,其他处理较小。煤粉处理 35 d 时羊草根系直径显著大于其他处理(P<0.05)。其他根系形态参数(根

体积、根长度、根尖数、分叉数)在整个试验期间总体上以对照较大,但在统计上无显著差异。

2.3 喷洒煤粉对羊草光合参数、生物量的影响

由表 2 可见,煤粉和矸石粉处理羊草后的净光合速率均显著小于对照。在蒸腾速率、气孔导度方面,均以对照最大,

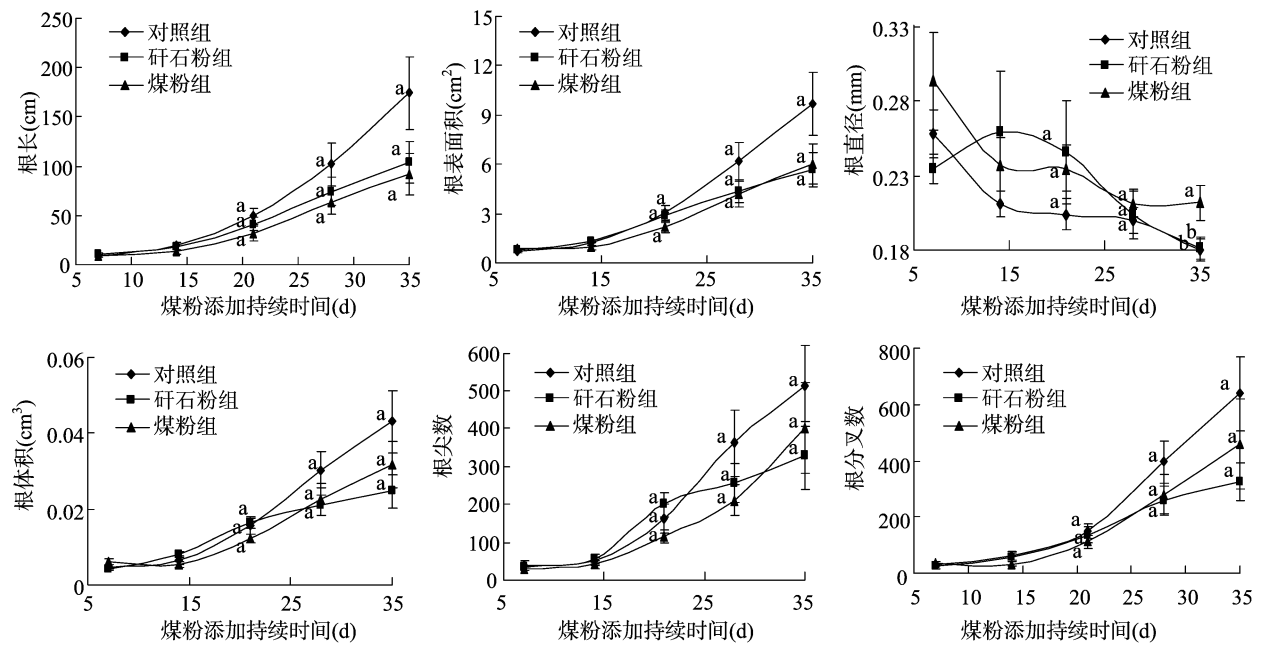


图1 煤粉处理对羊草根系形态参数的影响

表 2 煤粉处理对羊草叶片光合参数的影响

处理	净光合速率 [ $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]	气孔导度 [ $\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]	蒸腾速率 [ $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ]	叶片温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )
对照	$8.39 \pm 0.21\text{a}$	$0.30 \pm 0.03\text{a}$	$6.95 \pm 0.51\text{a}$	$31.83 \pm 0.24\text{b}$
煤粉	$5.16 \pm 0.81\text{b}$	$0.20 \pm 0.02\text{b}$	$5.93 \pm 0.24\text{a}$	$32.92 \pm 0.26\text{a}$
矽石粉	$5.70 \pm 0.17\text{b}$	$0.25 \pm 0.01\text{ab}$	$6.72 \pm 0.03\text{a}$	$32.68 \pm 0.10\text{a}$

其中煤粉处理气孔导度显著小于对照,其他处理间在统计上无显著差异。煤粉处理、矽石粉处理下叶片温度显著高于对照。

由表 3 可见,对照的总生物量、根系生物量均显著大于煤粉处理、矽石粉处理,煤粉处理和矽石粉处理的总生物量、根系生物量均无显著差异。

表 3 煤粉处理对羊草生物量的影响

处理	根系生物量 (g)	总生物量 (g)
对照	$0.024 \pm 0.004\text{a}$	$0.204 \pm 0.050\text{a}$
煤粉	$0.015 \pm 0.003\text{b}$	$0.094 \pm 0.018\text{b}$
矽石粉	$0.017 \pm 0.002\text{b}$	$0.106 \pm 0.012\text{b}$

3 结论与讨论

3.1 讨论

煤粉尘可以改变区域植物种类<sup>[22]</sup>,影响植物光合作用<sup>[23]</sup>,但未见关于煤粉尘对于植物根系影响的研究。本研究发现,在羊草的 6 项根系形态参数中,处理 35 d 时,根系形态出现表面积减小、直径增大的趋势,说明喷撒煤粉、矽石粉对羊草生长有抑制作用,这种抑制作用很可能和光合作用减弱导致地上部输送给根系的碳水化合物减少有关,因为对叶片测定发现,煤粉处理降低了羊草光合速率。

虽然矽石粉中含有铅、铬,可能会毒害羊草根系。试验期间,观察到根系形态正常,没有根尖腐烂、变黑现象发生(图 2)。铅毒害引起草本植物根量减少,根管膨大变黑、腐烂<sup>[24]</sup>。试验期间,共添加煤粉 35 d,添加量约为 7.2 g,煤矽石中含铅

30.03 mg/kg,添加到 10 L 营养液中,浓度是 0.02 mg/L,一般低浓度铅可刺激禾草根系生长,高浓度铅则抑制根系生长,对禾本科牧草产生明显抑制作用的铅浓度是 250 mg/L<sup>[25-26]</sup>。可见,本研究中营养液里铅浓度很低,不足以对羊草产生毒害作用。

煤矽石含铬 51.07 mg/kg,试验期末溶液中含铬 0.037 mg/L,对草本植物生长产生显著影响的最低铬浓度为 100 mg/kg<sup>[27]</sup>。可见,本研究中煤矽石所含的重金属都因含量太低而不足以产生毒害作用。此外,煤矿周围以煤粉排放居多,矽石粉较少,因此煤矽石粉的环境毒害效应相对有限。

3.2 结论

本研究以内蒙古草原重要的饲用植物羊草为对象,通过定期人工喷撒煤粉、矽石粉到羊草叶片、根系,研究露天煤矿粉尘沉降对周边草地植物的影响。研究发现,在处理 5 周后,煤粉尘抑制了羊草根系生长,降低了叶片光合效率、气孔导度,说明目前以 0.59 g/(m<sup>2</sup>·d)的速率沉降会阻碍羊草的正常生长,长期会导致羊草死亡,甚至使羊草从矿区周边消失,改变矿区周边草地的物种多样性和生态服务功能。

参考文献:

[1] Kavalov B, Petev S D. The Future of coal [EB/OL]. ( 2007 - 07 - 12 ) [ 2014 - 05 - 08 ]. [http://ie.jrc.cec.eu.int/publications/scientific\\_publications/2007/EUR22744EN.PDF](http://ie.jrc.cec.eu.int/publications/scientific_publications/2007/EUR22744EN.PDF).  
[2] Naidoo G, Chirkoot D. The effects of coal dust on photosynthetic performance of the mangrove, *Avicennia marina* in Richards Bay, South Africa[J]. Environmental Pollution, 2004, 127(3): 359 - 366.



图2 煤粉处理 5 周时羊草植株形态

- [3] Liao H, Wei Y M. China's energy and CO<sub>2</sub> emission forecasting and perspective in the 12 th Five - Year Plan[J]. Bulletin of the Chinese Academy of Sciences, 2011, 26(2): 150 - 153.
- [4] 耿海清. 我国大型煤矿建设中的环境与社会问题[J]. 科学, 2008, 60(3): 33 - 37.
- [5] 锡林浩特政府. 锡市圆满完成 2014 年度露天煤矿粉尘污染补偿工作[R]. 锡林浩特: 锡林浩特政府, 2014.
- [6] Sharratt S B, Glenn D M. Orchard floor management utilizing soil applied coal dust for frost protection; Part II. Seasonal microclimate effect[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 1988, 43(2): 147 - 154.
- [7] Carlsson C A. Subsurface leachate migration from a reject coal pile in South Carolina[J]. Water Air and Soil Pollution, 1990, 53(3/4): 345 - 366.
- [8] Anderson M A, Bertsch P M, Feldman S B, et al. Interactions of acidic metal - rich coal pile runoff with a subsoil[J]. Environmental Science and Technology, 1991, 25(12): 2038 - 2046.
- [9] Rao N D. A study of the air pollution problem due to coal unloading in Varanasi[M]. New York: Academic Press, 1971: 273 - 276.
- [10] Sharifi M R, Gibson A C, Rundel P W, et al. Surface dust impacts on gas exchange in Mojave Desert shrubs[J]. Journal of Applied Ecology, 1997, 34(4): 837 - 846.
- [11] Ricks G R, Williams R J H. Effects of atmospheric pollution on deciduous woodland part 2: effects of particulate matter upon stomatal diffusion resistance in leaves of *Quercus petraea* (Mattuschka) Leibl[J]. Environmental Pollution, 1974, 6(2): 87 - 109.
- [12] Hirano T, Kiyota M, Aiga I. Physical effects of dust on leaf physiology of cucumber and kidney bean plants[J]. Environmental Pollution, 1995, 89(3): 255 - 261.
- [13] Sarma K K V, Kumari C S, Prameela K, et al. Observations on the impact of coal dust pollution on certain kitchen garden plants at and around strut pit mine, Yellandu[J]. Asian Journal of Plant Science, 1993, 5(1): 43 - 46.
- [14] Spencer S, Tinnin R. Effects of coal dust on plant growth and species composition in an arid environment[J]. Journal of Arid Environments, 1997, 37(3): 475 - 485.
- [15] Ding X, Zhang Y, Zhang T, et al. Effect of operational variables on the hydrogasification of Inner Mongolian lignite semicoke[J]. Energy and Fuels, 2013, 27(8): 4589 - 4597.
- [16] Shi G H, Miao L C, Zhang F Q, et al. Emplacement age and tectonic implications of the Xilinhot A - type granite in Inner Mongolia, China[J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(7): 723 - 729.
- [17] Wong M H, Cheung L C, Wong W C. Effects of roadside dust on seed germination and root growth of *Brassica chinensis* and *B. parachinensis*[J]. Science of the Total Environment, 1984, 33(1/2/3/4): 87 - 102.
- [18] Li S Y, Li X B, Ying G, et al. Vegetation indexes - biomass models for typical semiarid steppe—a case study for Xilinhot in northern China[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2007, 31(1): 23 - 31.
- [19] 环境空气 降尘的测定 重量法: GB/T 15265—1994[S]. 北京: 中国标准出版社, 1994.
- [20] 钱广强, 董治宝. 大气降尘收集方法及相关问题研究[J]. 中国沙漠, 2004, 24(6): 779 - 782.
- [21] 郭二果, 张树礼, 蔡煜, 等. 草原区露天煤矿开发对土壤环境质量的影响[J]. 露天采矿技术, 2012(1): 93 - 97.
- [22] Spencer S. Effects of coal dust on species composition of mosses and lichens in an arid environment[J]. Journal of Arid Environments, 2001, 49(4): 843 - 853.
- [23] Thompson J R, Mueller P W, Flückiger W, et al. The effect of dust on photosynthesis and its significance for roadside plants[J]. Environmental Pollution, 1984, 134(2): 171 - 190.
- [24] 王慧忠, 何翠屏. 重金属离子胁迫对草坪草根系生长及其活力的影响[J]. 中国草地, 2002, 24(3): 55 - 58, 63.
- [25] 李西, 吴亚娇, 孙凌霄. 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, 23(4): 171 - 180.
- [26] 李慧芳, 王瑜, 袁庆华, 等. 铅胁迫对禾本科牧草生长、生理及 Pb<sup>2+</sup> 富集转运的影响[J]. 草业学报, 2015, 24(9): 163 - 172.
- [27] 王爱云, 黄姗姗, 钟国锋, 等. 铬胁迫对 3 种草本植物生长及铬积累的影响[J]. 环境科学, 2012, 33(6): 2028 - 2037.