

填埋场陈垃圾对黑麦草种子发芽的影响

刘 斌, 彭绪亚, 吴桂菊, 张 千, 刘国涛

(重庆大学三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400045)

摘 要:非正规垃圾填埋场的治理和陈垃圾的资源化利用是环保领域一项重要而迫切的任务。选择黑麦草作为试验对象,采用种子发芽的陆生生态毒理方法,研究陈垃圾对植物发芽的影响,以期陈垃圾利用和非正规垃圾填埋场治理提供一种新的思路。培养基质中陈垃圾的比例分别为 20%、80%和 100%,使用蒸馏水和土壤作为对照。试验结果表明:陈垃圾的使用能够显著提高黑麦草种子的发芽势和发芽率,但黑麦草种子的发芽势和发芽率随着陈垃圾用量的增加呈现先增大后减小的特征,陈垃圾在培养基质中的最佳比例为 80%,与空白和使用土壤作为培养基质相比,发芽率分别提高了 34.3%和 20.9%,发芽势分别提高了 52.0%和 24.0%。培养基质中添加陈垃圾有利于黑麦草种子根、芽的发育和生长,在培养基质中陈垃圾的比例为 80%的条件下,黑麦草种子的根长、芽长和芽的鲜质量分别比使用土壤时增加了 50.0%、46.9%和 74.0%。因此,将稳定后的陈垃圾用于草坪种植是可行的,这为陈垃圾的资源化利用提供了一条新的途径。

关键词:陈垃圾;填埋场;种子发芽;黑麦草

中图分类号:X503.231 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2012)04-0691-06

Effects of Stale Refuse from Informal Landfill on Seed Germination of *Lolium perenne* L.

LIU Bin, PENG Xu-ya, WU Gui-ju, ZHANG Qian, LIU Guo-tao

(Key Laboratory of the Three Gorges Reservoir Region's Eco-Environment, Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400045, China)

Abstract: There are many informal landfills and informal open-air solid waste dumps in China. Because of the heavy pollutions caused by these landfills and dumps, it is very urgent that these landfills should be restored and the stale refuse should be reused. In this study, *Lolium perenne* L. was chosen as trial subject, and the effects of stale refuse from informal landfill on seed germination were investigated in order to provide a new approach of stale refuse reuse and informal landfill restoration. The proportions of stale refuse in the culture mediums were 20%, 80% and 100%, and distilled water and soil were used as control groups. The results showed that stale refuse could enhance the seed germination percentage and seed germination energy of *Lolium perenne* L. dramatically. The optimal proportion of stale refuse in the culture medium was 80%, and the seed germination percentages were 34.3% and 20.9% higher than the control groups using distilled water and soil respectively. And the germination energy was 52.0% and 24.0% higher than the control groups using distilled water and soil respectively in that condition. Meanwhile, the results showed that stale refuse could enhance the growth of root and sprout remarkably. In the optimal condition, the root length, germinal length and fresh mass of *Lolium perenne* L. were 50.0%, 46.9% and 74.0% higher than the control groups using soil as culture medium respectively. It was concluded that it was feasible to use stale refuse for grass lawn cultivation, and this provided a new choice for the reuse of stale refuse.

Keywords: stale refuse; landfill; seed germination; *Lolium perenne* L.

在我国存在着大量的非正规垃圾填埋场和堆放场,由于基本上没有任何环境保护措施,对环境的污染正逐渐显现出来。随着经济的发展和城市的扩张,

开发经济有效的工艺技术,治理非正规垃圾填埋场,已经成为环保领域的一项重要工作。目前,国内对非正规垃圾填埋场的处理主要采取搬迁的方式,将非正规垃圾填埋场中的垃圾直接全部运输至新建的正规生活垃圾卫生填埋场,或是经筛分后,分别进行焚烧或卫生填埋。这种处理方式虽能暂时解决问题,但会缩短卫生填埋场的使用寿命,难以实现可持续填埋,不适应未来社会的发展要求。

收稿日期:2011-10-25

基金项目:国家科技重大专项子课题(2009ZX07104-002-04);重庆市科技重大专项(CSTC2008AB7135)

作者简介:刘 斌(1978—),男,博士后,主要研究方向为固体废弃物资源化和土壤污染与治理。E-mail:liubinworld@126.com

我国的非正规垃圾填埋场大多建于 20 世纪 90 年代以前,经过几十年的反应,目前已趋于稳定。填埋场中基本达到稳定化的垃圾经筛分后的有机细料称为陈垃圾,也叫矿化垃圾。陈垃圾含有大量的有机质和植物生长所需的营养元素,是一种可以利用、也应该得到利用的资源^[1]。如果将陈垃圾用作草坪栽培基质,不但避开了食物链,同时又解决了陈垃圾的出路问题,而且对于城市的草坪业发展也将起到重要的推动作用。但陈垃圾中可能含有一些有机、无机污染物,使人们对其资源化利用的效果和生态风险尚心存顾虑。高等植物是生态系统的基本组成部分,在污染胁迫下其生长状况可反映生态系统的健康水平,因此高等植物污染生态毒理实验成为测试污染物生态毒性的典型方法^[2],而种子发芽实验既能反映陈垃圾资源化利用的效果,也是目前已建立的高等植物毒理实验的 3 种方法之一^[3-4]。本文选择黑麦草这一草坪建设中的常用草种作为试验对象,研究陈垃圾用作草皮基质时,对植物发芽的影响以及陈垃圾的适宜用量,以期陈垃圾的利用和生态风险评价以及非正规垃圾填埋场的治理提供借鉴和参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

供试草种为黑麦草种子,土壤为黄壤,陈垃圾采自重庆市九龙坡区白市驿镇某非正规垃圾场,经重庆市环卫监测总站测定,其基本性质如表 1 所示。

1.2 实验方法

选取有代表性的风干土壤和陈垃圾样品,用镊子挑除碎石、砂砾、植物残体等杂质,然后在有机玻璃板上,用木锤、木滚、木棒、有机玻璃棒等将样品再次压碎,拣出杂质,混匀,并用四分法取压碎样,过孔径 0.25 mm(20 目)尼龙筛。过筛后的样品全部置于无色聚乙烯薄膜上,并充分搅拌混匀,再采用四分法取其两份,一份交样品库存放,另一份研磨到全部过孔径 0.15 mm(100 目)尼龙筛,装入磨口瓶中备用。

供试种子弃去杂质和有虫蚀及成熟度较低的劣质种子,将种子先放入 50 ℃温水中浸泡 30 min 后捞

出,再放入 1%的高锰酸钾溶液中浸泡 15~20 min 以消毒,先用自来水冲洗数次,再用去离子水冲 3 次,用滤纸将水吸干。选取直径为 15 cm 的培养皿,清洗干燥消毒后在培养皿内铺上定性滤纸作为发芽床,将固体基质(土壤和陈垃圾)按照固液比 1:10(W/W)的比例混匀后置于培养皿中,每日用称重法加水至恒重,培养温度为 25 ℃。每个培养皿中放入 50 颗黑麦草种子,每个处理设 3 个重复。当黑麦草种子吸胀开始萌动后,每日观察记录其发芽情况。发芽期间每隔 24 h 记录 1 次种子的萌发数,计算发芽率和发芽势,停止发芽后测定芽长、根长和鲜质量^[5]。

实验中以土壤和陈垃圾作为黑麦草种子发芽的基质,共设 4 个处理,其中陈垃圾的比例分别为 0、20%、80%和 100%,依次编号为处理 1、处理 2、处理 3 和处理 4,以蒸馏水作为对照,记为处理 0。

1.3 项目测定方法

$$\text{发芽率}(\%) = \frac{8 \text{ d 内发芽种子数}}{\text{供试种子数}} \times 100\%$$

$$\text{发芽势}(\%) = \frac{4 \text{ d 内发芽种子数}}{\text{供试种子数}} \times 100\%$$

芽长:停止发芽后 1 d 量取种子的幼苗芽长。

根长:停止发芽后 1 d 量取种子的幼苗下胚轴长。

鲜质量:停止发芽后 1 d 用电子天平称量幼苗的鲜质量。

1.4 数据处理方法

所有数据均取 3 次重复的平均值,采用 SPSS 17.0 进行统计分析,用最小显著差数法(LSD 法,least significant difference)进行方差分析合并多重比较,图用 Excel 处理。

2 结果与分析

2.1 陈垃圾对黑麦草种子发芽率的影响

实验结果如图 1 所示。

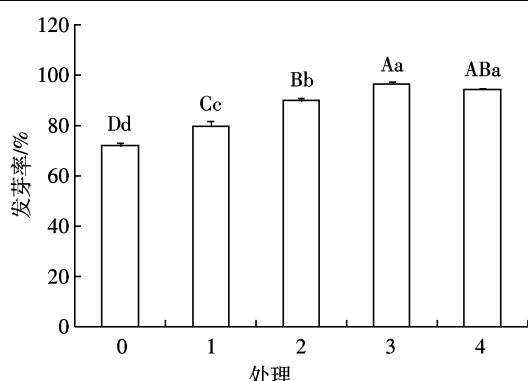
由图 1 可见,添加陈垃圾后,各处理的发芽率均显著高于对照和只使用土壤的处理。添加陈垃圾后黑麦草种子的发芽率明显增加,随着陈垃圾使用量的增大,黑麦草种子的发芽率显著上升,当陈垃圾在基质

表 1 供试陈垃圾的基本性质

Table 1 Main properties of the soil for experiment

项目	有机质/%	BDM/%	总氮/%	总磷/%	Cr/mg·L ⁻¹	Cd/mg·L ⁻¹	Ni/mg·L ⁻¹	Cu/mg·L ⁻¹	As/mg·L ⁻¹	Hg/mg·L ⁻¹
含量	12.35	5.75	1.77	0.96	183.50	1.18	208.00	827.75	26.97	未检出

注:BDM 为生物降解度;总氮以 N 计,总磷以 P₂O₅ 计。



不同大写、小写字母分别表示差异极显著 ($P < 0.01$) 和差异显著 ($P > 0.05$); 图中数据是 3 次重复的平均值 $\pm$ 标准误。下同

图 1 陈垃圾对黑麦草种子发芽率的影响

Figure 1 Effects of stale refuse on seed germination percentage of *Lolium perenne* L.

中比例为 80% 时, 黑麦草种子的发芽率达到最高, 为 $(96.7 \pm 1.3)\%$ 。而完全使用陈垃圾作为培养基质时, 黑麦草种子的发芽率为 $(94.7 \pm 0.7)\%$, 低于陈垃圾比例为 80% 的处理。除处理 3 与处理 4 外, 各处理发芽率之间的差异具有显著性。处理 3 与处理 4 之间没有显著差异, 说明增加陈垃圾量不会对黑麦草种子的发芽产生抑制作用。

2.2 陈垃圾对黑麦草种子发芽势的影响

实验结果如图 2 所示。黑麦草种子发芽势随着陈垃圾用量的增加呈现先增大后减小的特征, 不同处理之间的差异显著。当陈垃圾在基质中比例为 80% 时, 黑麦草种子的发芽势最高, 达 $(76.0 \pm 1.2)\%$; 而完全使用陈垃圾作为培养基质时, 黑麦草种子的发芽势为 $(71.3 \pm 0.7)\%$, 低于陈垃圾比例为 80% 的处理, 这与发芽率实验所得结果是一致的。

种子发芽势和发芽率对出苗非常重要。种子发芽

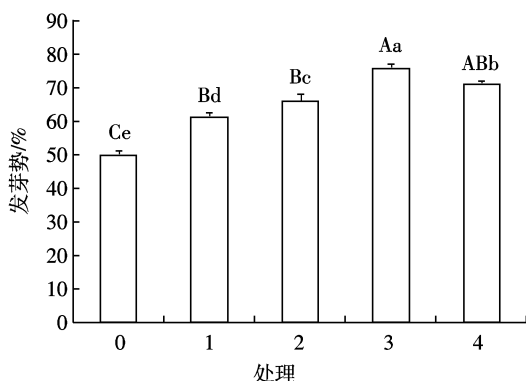


图 2 陈垃圾对黑麦草种子发芽势的影响

Figure 2 Effects of stale refuse on seed germination energy of *Lolium perenne* L.

率是指在发芽试验终期(规定日期内)全部正常发芽种子数占供试种子数的百分率, 发芽率高的种子出苗率高, 发芽率低的种子轻则造成缺苗断条, 重则造成毁种, 即使采用补种、移栽措施补救, 长出的苗也是三类苗, 植株细小, 产量也随之下降。发芽势用于表征种子的活力, 发芽势高的种子, 其种子的活力高, 出苗齐而壮, 增产潜力大。有的种子发芽率高, 但发芽势低, 这样的种子出苗不整齐、细弱, 是细小植株出现的重要原因, 而且缺乏抗逆境的能力。从实验结果可以看出, 在培养基质中添加陈垃圾能明显增加黑麦草的发芽率和发芽势, 从而有利于黑麦草的种植、防止种子浪费、确保播种成功、增加产量。

2.3 陈垃圾对黑麦草根伸长的影响

实验结果如图 3 所示。各处理间具有显著性差异。添加陈垃圾后, 黑麦草的根长显著高于对照组和使用土壤的处理, 且随着陈垃圾用量的增加呈现变长的趋势; 基质中添加 20%、80% 和 100% 的陈垃圾, 根长比空白分别增加了 232.1%、316.4% 和 392.5%, 比使用土壤作为基质的处理分别增加了 19.6%、50.0% 和 77.4%。可见, 陈垃圾有利于黑麦草种子根的发育和生长。

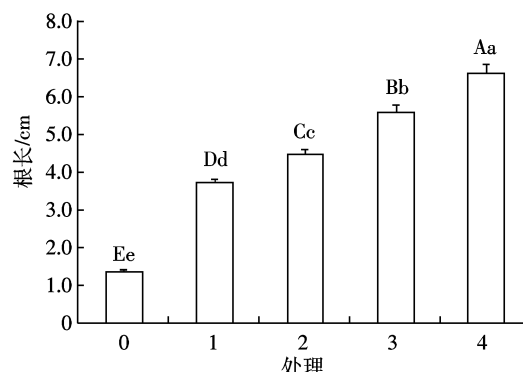


图 3 陈垃圾对黑麦草根伸长的影响

Figure 3 Effects of stale refuse on root elongation of *Lolium perenne* L.

2.4 陈垃圾对黑麦草芽长的影响

实验结果如图 4 所示, 各处理间具有显著性差异。添加陈垃圾后, 黑麦草的芽长显著高于对照组和使用土壤的处理, 且随着陈垃圾用量的增加呈现先增加再减小的趋势。芽长在陈垃圾比例为 80% 时达到最大, 比空白和使用土壤的处理分别高出 108.4% 和 46.9%。因此, 陈垃圾有利于黑麦草种子发芽后芽的伸长。

2.5 陈垃圾对黑麦草鲜质量的影响

实验结果如图 5 所示, 各处理间具有显著性差

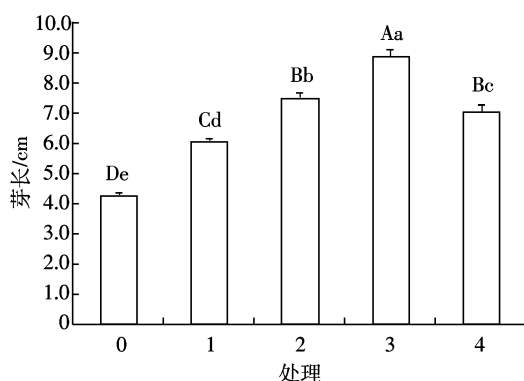


图 4 陈垃圾对黑麦草芽长的影响

Figure 4 Effects of stale refuse on germinal length of *Lolium perenne* L.

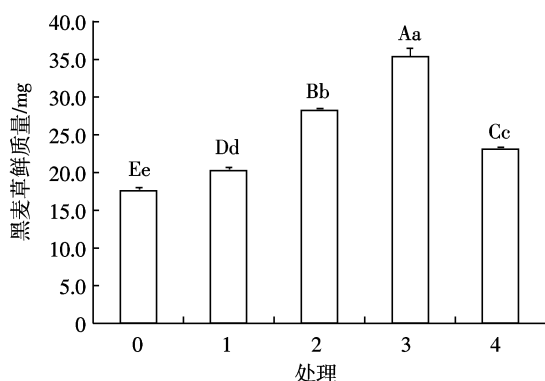


图 5 陈垃圾对黑麦草鲜质量的影响

Figure 5 Effects of stale refuse on fresh mass of *Lolium perenne* L.

异。添加陈垃圾后,黑麦草的鲜质量显著高于对照组和使用土壤的处理,且随着陈垃圾用量的增加呈现出先增加再减小的趋势,在陈垃圾比例为80%时达到最大,比空白和使用土壤的处理分别高出100.1%和74.0%,与发芽率、发芽势和芽长的实验所得结果是一致的。在这些实验中,各项指标均随着陈垃圾用量的增加呈先增加再减小的趋势,而在根伸长实验中,根的长度随着陈垃圾用量的增加而增加。虽然完全使用陈垃圾时根长大于其他处理,但该处理的发芽率、发芽势、芽长和鲜质量均小于处理3。因此,综合以上实验,可以看出,陈垃圾有利于黑麦草种子的发芽,陈垃圾在培养基质中的最佳比例为80%。

3 讨论

种子发芽情况对草坪生产具有十分重要的意义,种子萌发时期的生长状况会直接影响植物的生长和生物量。目前,对于利用废弃物堆肥作为草坪生产基质已有一些研究^[6-8],但关于废弃物资源化产物对黑麦

草种子发芽阶段影响的研究尚少见报道。本研究结果表明,在一定范围内,添加不同含量的陈垃圾均可显著增加黑麦草种子的发芽势,说明在培养基质中添加陈垃圾可增加黑麦草种子的活力,使其发芽速度加快,发芽整齐度提高。使用陈垃圾还可以增加黑麦草种子的发芽率,促进种子发芽。据报道,施肥对黑麦草的生长和产量均有积极影响^[9-10]。本研究中,由于陈垃圾中营养成分的含量高于土壤和水,故使用陈垃圾后,黑麦草的根长、芽长和鲜质量都显著增加。可见,使用陈垃圾对黑麦草种子的发芽具有促进作用。

对陈垃圾资源化利用而言,人们最大的担忧来自重金属^[11-12]。有关学者证实,金属元素进入植物体后主要积累在根部,无论是在积累量上还是在受胁迫的时间进程上,根都大于芽,因此重金属对种子根的抑制作用大于对芽的抑制作用^[13-14]。某些重金属(如 Hg、Cd、Pb)对染色体和核仁毒害最为严重,其毒害主要发生在根部细胞分裂期间 DNA 和染色体的复制过程中^[15-17];重金属还可诱导根系产生逆境乙烯并向地上部传输,而逆境乙烯对细胞有很强的伤害作用^[18]。本研究结果表明,陈垃圾中的重金属对黑麦草种子的发芽没有抑制作用,对根的伸长也没有抑制作用(图3),这是因为陈垃圾经过长期的降解反应和稳定化进程后,其重金属形态已经发生了变化,生物活性降低,对作物产生危害的风险从而已大大减小^[19]。

GB 8172—1987《城镇垃圾农用控制标准》中规定了 Cd、Hg、Pb、Cr 和 As 5 种重金属的控制标准值,分别为 3、5、100、300 mg·L⁻¹ 和 30 mg·L⁻¹, 本研究中陈垃圾的 Cd、Hg、Cr 和 As 浓度分别为 1.18 mg·L⁻¹、未检出、183.50 mg·L⁻¹ 和 26.97 mg·L⁻¹, 均低于该标准的限值,这也是陈垃圾对黑麦草种子发芽不存在抑制作用的一个重要因素。从短期来看,在施加陈垃圾的草坪基质中并未发现明显的盐分和重金属累积现象;从长期来看,在生产过程中草皮从基质上不断被取走,这将降低重金属在土壤中积累的风险。此外,《城镇垃圾农用控制标准》中规定了垃圾的用量:施用符合本标准的垃圾,每年每 667 m² 农田用量,粘性土壤不超过 4 t,砂性土壤不超过 3 t,提倡在花卉、草地、园林和新菜地、粘土地上施用、大于 1 mm 粒径的渣砾含量超过 30% 及粘粒含量低于 15% 的渣砾化土壤、老菜地、水田不宜施用。在使用陈垃圾的过程中,只要严格控制陈垃圾的重金属含量和施用量,并定期进行土壤中重金属含量的监测,就能够避免重金属在土壤中过量积累的问题。

稳定后的陈垃圾实质上是一种有机肥。有机肥是

重要的土壤改良剂,长期施用能提高土壤有机质含量,改善土壤理化性质。且由于肥效长、营养元素更齐全、能增强土壤微生物活性,有机肥还能提高作物的叶绿素含量、延长生育期、增加分蘖数、株高和表观叶面积,其肥效好于无机肥。在发展现代林业和草业中,有机肥具有无可代替的作用和地位,合理增加有机肥的施入,能在一定程度上缓解化学肥料对生态环境的污染,为林业和草业的可持续发展提供有力保证^[20-21]。

草坪建设是城市现代化的重要标志,它对绿化城市、保护环境和生态平衡起着重要的作用。在草皮生产中,为保证质量,生产草皮的土壤必须理化性状良好,每完成一次草皮生产过程,至少要铲去2 cm以上的熟土,连续进行3~4次操作,肥沃的农田即遭到破坏。这对于农业的可持续发展是极为不利的,在人多地少、人地关系紧张的地区(例如三峡库区),这样的方式尤为不妥。将陈垃圾用作草坪栽培基质,不但避开了食物链,又解决了陈垃圾的出路问题,而且对于城市草坪业的可持续发展和土壤保护也将起到积极的推动作用。因此,综合考虑各方面因素,将稳定后的陈垃圾用于园林绿化是可行的,这也为陈垃圾场的整治提供了一条新的途径和一个新的技术模式。

4 结论

(1)与空白和使用土壤作为培养基质相比,陈垃圾的使用能够显著提高黑麦草种子的发芽势和发芽率;黑麦草种子的发芽势和发芽率随着陈垃圾用量的增加呈现先增大后减小的特征,陈垃圾在培养基质中的最佳比例为80%。

(2)培养基质中添加陈垃圾有利于黑麦草种子根、芽的发育和生长,培养基质中陈垃圾的最佳比例为80%,黑麦草种子的根长、芽长和芽的鲜质量分别比使用土壤时增加了50.0%、46.9%和74.0%。

(3)将稳定后的陈垃圾用于草坪种植是可行的,可以达到促进生产和节约土地资源的效果,也为陈垃圾的资源化利用和垃圾场的整治提供了新的途径。

参考文献:

- [1] 赵由才,柴晓利,牛冬杰. 矿化垃圾基本特性研究[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2006, 34(10): 1360-1364.
ZHAO You-cai, CHAI Xiao-li, NIU Dong-jie. Characteristics of aged refuse in closed refuse landfill in Shanghai[J]. *Journal of Tongji University(Natural Science)*, 2006, 34(10): 1360-1364.
- [2] 周启星,孔繁翔,朱琳. 生态毒理学[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 316-325.
- [3] ZHOU Qi-xing, KONG Fan-xiang, ZHU Lin. Ecotoxicology[M]. Beijing: Science Press, 2004: 316-325.
- [4] Greene L C. 1998/600/3-88/029. Protocols for short term toxicity screening of hazardous waste sites [S]. US: Environmental Protection Agency(EPA), 1998.
- [5] 苏爱华,林匡飞,张卫,等. 纳米TiO₂对油菜种子发芽与幼苗生长的影响[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(2): 316-320.
SU Ai-hua, LIN Kuang-fei, ZHANG Wei, et al. Effect of nano-TiO₂ on the germination and growth of rape seed[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(2): 316-320.
- [6] 张俊风,李庆梅,段新芳,等. 壳聚糖对不同种源柠条种子发芽及其酶活性的影响[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(5): 1026-1030.
ZHANG Jun-feng, LI Qing-mei, DUAN Xin-fang, et al. Effect of chitosan on germination and enzyme activity of *Caragana korshinskii* Kom seed from different provenances[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2010, 18(5): 1026-1030.
- [7] 刘洪涛,郑国砥,陈同斌,等. 污泥堆肥对草坪基质综合质量的影响[J]. 中国给水排水, 2010, 26(19): 106-108.
LIU Hong-tao, ZHENG Guo-di, CHEN Tong-bin, et al. Effect of sewage sludge compost on integrated quality of lawn substrat[J]. *China Water and Wastewater*, 2010, 26(19): 106-108.
- [8] 郝瑞军,方海兰,郝冠军,等. 园林废弃物堆肥对黑麦草产量及养分吸收的影响[J]. 园林科技, 2010, 9(3): 25-28.
HAO Rui-jun, FANG Hai-lan, HAO Guang-jun, et al. Effects of compost made from garden waste on the production and nutrient uptake of *Lolium perenne* L.[J]. *Gardens Science and Technology*, 2010, 9(3): 25-28.
- [9] Arne Sabo, Francesco Ferrini. The use of compost in urban green areas: A review for practical application[J]. *Urban Forest and Urban Greening*, 2006, 4: 159-169.
- [10] 李小坤,李文西,鲁剑巍,等. 施肥对黑麦草产量和氮磷钾养分吸收的影响[J]. 中国农学通报, 2006, 22(7): 331-334.
LI Xiao-kun, LI Wen-xi, LU Jian-wei, et al. Effect of fertilization on the yield and N, P, K nutrient absorption of Ryegrass[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2006, 22(7): 331-334.
- [11] 占丽平,鲁剑巍,杨娟,等. 施肥对黑麦草生长和产量的影响[J]. 草业科学, 2011, 28(2): 260-265.
ZHAN Li-ping, LU Jian-wei, YANG Juan, et al. Effect of fertilization on growth and yield of *Lolium multiflorum*[J]. *Pratacultural Science*, 2011, 28(2): 260-265.
- [12] 袁雯,方海兰,赵由才. 矿化垃圾的重金属淋溶试验研究[J]. 环境卫生工程, 2007, 15(2): 34-38.
YUAN Wen, FANG Hai-lan, ZHAO You-cai. Experiment study of heavy metal washing away in aged waste[J]. *Environmental Sanitation Engineering*, 2007, 15(2): 34-38.
- [13] 钱小青,牛冬杰,楼紫阳,等. 填埋场矿化垃圾资源综合利用研究进展[J]. 环境卫生工程, 2006, 14(2): 62-64.
QIAN Xiao-qing, NIU Dong-jie, LOU Zi-yang, et al. Development of resource comorehensive application study on mineralized waste in landfill site[J]. *Environmental Sanitation Engineering*, 2006, 14(2): 62-64.
- [14] 张义贤. 重金属对大麦(*Hordeum vulgare*)毒性的研究[J]. 环境科学学报, 1997, 17(2): 199-205.

- ZHANG Yi-xian. Toxicity of heavy metal to *Hordeum vulgare*[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 1997, 17(2): 199-205.
- [14] 林匡飞, 徐小清, 郑 利, 等. Se 对小麦种子发芽与根伸长抑制的生态毒理效应[J]. 农业环境科学学报, 2004, 23(5): 885-889.
- LIN Kuang-fei, XU Xiao-qing, ZHENG Li, et al. Eco-toxicological effects of selenium on inhibition of seed germination and root elongation of wheat(*Triticum aestivum* L.)[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2004, 23(5): 885-889.
- [15] Chakravatry B, Srivastava S. Toxicity of some heavy metals in vivo and in vitro in *belianthus annus*[J]. *Mutation Research*, 1992, 283(3): 287-294.
- [16] Shahin S A, El-Amoodi K H. Induction of numeral chromosome aberrations during DNA synthesis using the fungicides nimrod and rubgan-4 in root tips of *Vicia faba* L.[J]. *Mutation Research*, 1991, 261(2): 169-176.
- [17] Frankel D G, Charlien M. Effects of lead acetate on DNA and RNA synthesis by intact Hela cells isolated nucle and pirited polymerases[J]. *Biochemical Pharmacol*, 1987, 36: 265-268.
- [18] 曾 翔, 张玉烛, 王凯荣, 等. 镉对水稻种子萌发的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(7): 1665-1668.
- ZENG Xiang, ZHANG Yu-zhu, WANG Kai-rong, et al. Effects of cadmium on rice seed germination[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(7): 1665-1668.
- [19] 董 阳, 方海兰, 梁 晶, 等. 矿化垃圾和绿色植物废弃物对盐碱土的改良效果[J]. 环境污染与防治, 2009, 31(10): 36-42.
- DONG Yang, FANG Hai-lan, LIANG Jing, et al. The improvement effect of aged-refuse and green-plant-waste on saline-alkali soil[J]. *Environmental Pollution and Control*, 2009, 31(10): 36-42.
- [20] 黄国勤, 王兴详, 钱海燕, 等. 施用化肥对农业生态环境的负面影响及对策[J]. 生态环境, 2004, 13(4): 656-660.
- HUANG Guo-qin, WANG Xing-xiang, QIAN Hai-yan, et al. Negative impact of inorganic fertilizes application on agricultural environment and its countermeasures[J]. *Ecology and Environment*, 2004, 13(4): 656-660.
- [21] 郑华平, 陈子萱, 王生荣, 等. 施肥对玛曲高寒沙化草地植物多样性和生产力的影响[J]. 草业学报, 2007, 16(5): 34-39.
- ZHENG Hua-ping, CHEN Zi-xuan, WANG Sheng-rong, et al. Effects of fertilizer on plant diversity and productivity of desertified alpine grassland at Maqu, Gansu[J]. *Acta Præculturae Sinica*, 2007, 16(5): 34-39.