

文章编号: 1001-1498(2010)04-0602-05

生活污水胁迫对 -72 杨树人工林的影响

白保勋¹, 樊巍², 卞新民^{1*}, 杨海青²

(1. 南京农业大学资源与环境学院, 江苏 南京 210095;

2. 河南省林业科学研究院生态林业工程技术研究中心, 河南 郑州 450008)

关键词: 生活污水; -72 杨树人工林; 生长量; 1 年生枝; 叶长与叶不对称性; 盐胁迫

中图分类号: S792.11

文献标识码: A

Stress Tolerance of Poplar -72 Plantation for Domestic Wastewater

BAI Bao-xun¹, FAN Wei², BIAN Xin-min¹, YANG Hai-qing²

(1. College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, Jiangsu, China;

2. Forestry Ecological Engineering Research Center, Henan Academy of Forestry, Zhengzhou 450008, Henan, China)

Abstract: A field experiment was conducted in order to quantify the effect of domestic wastewater on the growth of poplar plantation and research the purification function of poplar trees for wastewater in Longhu Town of Zhengzhou during 2008 and 2009. Different hydraulic loading (0, 3, 6, 9, 12, 15 cm · week⁻¹) were applied to the experimental plots. A series of indicators (growth of poplar plantation, leaf litter dry weight, one-year-old branch, leaf length, leaf fluctuating asymmetry; nitrogen, phosphorus and sodium contents of branch and leaf) were measured. The results showed that wastewater land treatment resulted in increasing the growth of poplar plantation and nitrogen, phosphorus, sodium contents of branch and leaf. Poplars can take up pollutants in wastewater. However, the chemicals in domestic wastewater caused poplar trees damage due to high NaCl. Leaf length appeared to be a useful stress diagnostic tool for use *in situ*.

Key words: domestic wastewater; poplar -72 plantation; growth; one-year-old branch; leaf length and fluctuating asymmetry; saline stress

杨树(*Populus* spp.) 是中国的优质乡土树种, 是我国北方地区的重要造林树种。由于杨树生长快、根系深、能够吸收大量水分, 所以常常用于污水植物修复。杨树可吸收净化许多污染物, 包括化肥污染、金属与非金属污染、石油类污染物等。然而, 用污水灌溉林地, 污水中的化学成分将危害林木, 污水对林木的危害包括: 对叶的损害、使叶早熟老化、生物量减少等^[1-2]。了解污水对林木在野外的短期不良影响是非常重要的, 这些短期的影响往往可以预示长

期的影响。生长量与生物量是最常用的林木受污水胁迫的指标。用生长指标及时地指示污水的胁迫是不太现实的, 而其他指标诸如叶长与叶不对称性可以作为鉴定污水胁迫快捷而又方便的指标^[3-4]。

在污水土地处理系统中, 水力负荷是工程设计中关键的设计参数之一, 只有这个参数比较科学合理, 才能把污水处理和污水利用很好地结合起来^[5]。在污水土地处理的研究中, 对污水处理的工艺原理与参数、污染物去除途径等研究较多^[6], 但是对污水

收稿日期: 2010-02-25

基金项目: 国家“十一五”重大科技支撑项目(2006BAD031704): “中部地区城市森林建设技术试验示范”; 国家林业局行业公益专项支撑项目(20070414): “典型平原农区多目标农业防护林构建与可持续经营”。

作者简介: 白保勋(1965—), 男, 河南驻马店人, 博士研究生, 副教授。主要研究方向: 森林生态与环境生态。E-mail: slstyhj@yahoo.com.cn

* 责任作者: 卞新民, 男, 博士生导师, 教授。主要研究方向: 耕作制度、农业生态、环境生态、区域农业发展。E-mail: bjxlml@163.com

处理引起的林木生长指标及养分含量的变化研究较少。本试验的目的是:研究不同水力负荷对杨树生长的影响和杨树对生活污水的净化作用,为生活污水杨树林地处理技术的应用提供依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

生活污水处理试验在龙湖大学城附近进行,位于郑州市南 5.5 km 处,地理坐标为 113°42'36" E, 34°36'50" N, 暖温带大陆性气候,年平均气温 14.4℃,年平均降水量 640.9 mm,无霜期 220 d。土壤类型为潮土,土壤孔隙度为 42% 黏 46%,pH 值 8.4,表层土壤有机质含量 3.1 黏 3.6 g·kg⁻¹,土壤全 N 含量 0.33 黏 0.38 g·kg⁻¹。试验用生活污水来自于龙湖大学城排污口,其化学成分由郑州市环境监测中心按国标规定的方法测定(表 1)。

在生活污水处理试验开始之前,对郑州市杨树人工林栽培情况进行了调查,考虑到-72 杨在当地栽培面积较大,长势良好,4 年生时已基本郁闭,即将进入速生期,林木生长需要大量的水分与养分,所以选择了 4 年生的-72(*Populus × euramericana* (Dode) cv. "SanMartino"-72/58) 杨树人工林进行生活污水处理试验。选择的-72 杨树人工林密度为 2 000 株·hm⁻² 左右,林相整齐,林地立地条件相近。

1.2 试验设计

试验样地规格为 20 m × 20 m,样地采取随机抽样的方式布设,每个处理重复 3 次。样地周围打上 40 cm 高的水堰,水堰外部埋上隔水布,防止污水渗出样地。为了消除边缘效应及不同处理样地之间的相互影响,样地距林缘隔 3 行杨树,相邻样地之间设置 3 个隔离行。试验开始前,在每个样地随机设置 3 组凋落物收集器,其规格为 0.5 m × 0.5 m × 0.6 m,用于收集试验期间凋落物。

生活污水处理在 2008 年与 2009 年 3 月 15 日

至 11 月 15 日进行,采用处理与利用型地面漫速渗滤处理方法,水力负荷分别为 0(CK)、3、6、9、12、15 cm·week⁻¹。如果降水量超过 10 mm,根据降水量与雨后天气状况适当推迟污水处理时间;根据当地天气预报,降水可能性比较大或者有大风天气时,适当推迟处理时间,等雨后或大风过后,根据降水情况确定下次处理时间,防止林木出现倒伏现象。

1.3 研究方法

在污水处理开始前与结束后分别测定样地林木的胸径与树高,各样地按径阶与树高分别选择 5 株平均木测定根、干、枝的生物量(试验开始前在试验区选平均木,试验结束后在各试验样地选择平均木)。试验结束后,根据平均木各轮枝的基径、中点径、枝长与各轮枝数分别选定 3 黏 5 个标准枝,测定标准枝上 1 年生枝长与枝鲜质量,并记录树干上各轮及轮间枝数。分层采集枝样品、干样品和根样品,把样品放在干燥箱中在 70℃ 烘至恒质量,然后测定其干质量,根据林木各部分总鲜质量、样品干鲜质量与总枝数计算林木各器官的生长量、1 年生枝总长与总干质量^[7]。

为了观察污水处理期间叶片变化情况,于 2009 年 8 月中旬在各样地选择平均木,在平均木上选择标准枝,在标准枝上从上至下各采集 30 片叶片,分层测定叶长与叶不对称性(测叶片左侧及右侧宽)。用以下公式计算叶不对称性(FA)^[8]:

$$FA = 2 \times \frac{|WL - WR|}{|WL + WR|}$$

式中:WL 为叶片主脉到左侧叶缘的平均宽度,WR 为叶片主脉到右侧叶缘的平均宽度。

分别在各样地采集枝与叶样品,按样地编号,带回实验室分析化验。植物样品中 N、P、K 及 Na 含量按常规方法测定^[9]。

试验数据用 Spss14.0 统计软件进行统计分析,用 Sigmaplot11.0 统计绘图软件绘制统计图。

表 1 生活污水化学成分及含量

pH 值	五日生化需氧量 / (mg·L ⁻¹)	化学需氧量 / (mg·L ⁻¹)	总 N / (mg·L ⁻¹)	总 P / (mg·L ⁻¹)	Na ⁺ / (mg·L ⁻¹)	Cl ⁻ / (mg·L ⁻¹)
7.5	42	733	26.6	2.39	208.2	629.4

2 研究结果

2.1 杨树生长量及落叶质量变化

试验结果表明,生活污水处理增加了杨树生长

量与落叶质量。与对照相比,污水处理的样地杨树平均枝生长量增加了 84.7%,平均干生长量增加了 67.2%,平均根生长量增加 80.0%,平均总生长量增加 71.7%,平均落叶总质量增加了 28.6% (表

2), 生活污水处理增加了杨树生长量与落叶质量。随着污水处理量增加, 枝、干、根生长量增加, 在 $9 \text{ cm} \cdot \text{week}^{-1}$ 处理时生长量最大, 然后其生长量又随着污水处理量的增加而降低, 在各处理与对照之间有显著差异; 落叶质量的变化与生长量变化趋势相似, 但是其最大值出现在 $6 \text{ cm} \cdot \text{week}^{-1}$ 处理(表 2)。

2.2 枝叶营养元素及 Na 含量变化

枝与叶片中 N、P 与 Na 的变化趋势相似, 用生活污水处理增加了叶片与枝条中 N、P 与 Na 的含

量。与对照相比, 污水处理使叶片平均 N、P 与 Na 含量分别增加了 79.6%、43.2%、108.2%, 而 K 的平均含量减少了 26.4%; 枝条平均 N、P、Na 的含量分别增加了 47.2%、33.6%、294.4%, K 的平均含量减少了 43.5%(表 3)。相关性分析结果表明, 枝条中 K 含量与 Na 含量呈显著负相关关系($r = -0.87$, $P < 0.05$), 在叶片中 K 含量与 Na 含量呈极显著负相关关系($r = -0.92$, $P < 0.01$), 表明由于生活污水中较高的 Na 含量降低了 K 的有效性。

表 2 杨树人工林年生长量及落叶质量

处理 / ($\text{cm} \cdot \text{week}^{-1}$)	枝生长量 / ($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)	干生长量 / ($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)	根生长量 / ($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)	总生长量 / ($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)	落叶量 / ($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)
0 (CK)	1.69 ±0.02d	6.64 ±0.09d	0.97 ±0.03d	9.30 ±0.14d	2.25 ±0.11c
3	2.51 ±0.18c	9.76 ±0.60c	1.37 ±0.07c	13.64 ±0.85c	3.02 ±0.14a
6	3.58 ±0.26b	12.62 ±0.76b	1.62 ±0.10bc	17.82 ±1.11b	3.19 ±0.06a
9	4.30 ±0.11a	14.47 ±0.29a	2.28 ±0.07a	21.05 ±0.46a	3.00 ±0.18ab
12	2.80 ±0.28c	9.61 ±0.91c	1.79 ±0.19b	14.20 ±1.39c	2.64 ±0.09b
15	2.42 ±0.04c	9.05 ±0.14c	1.67 ±0.02bc	13.14 ±0.18c	2.62 ±0.08b

注: 同列不同字母表示在 0.05 水平上差异显著, 下同。

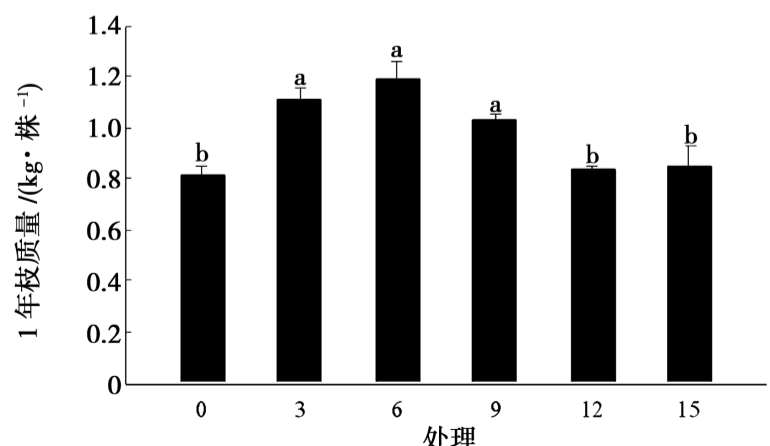
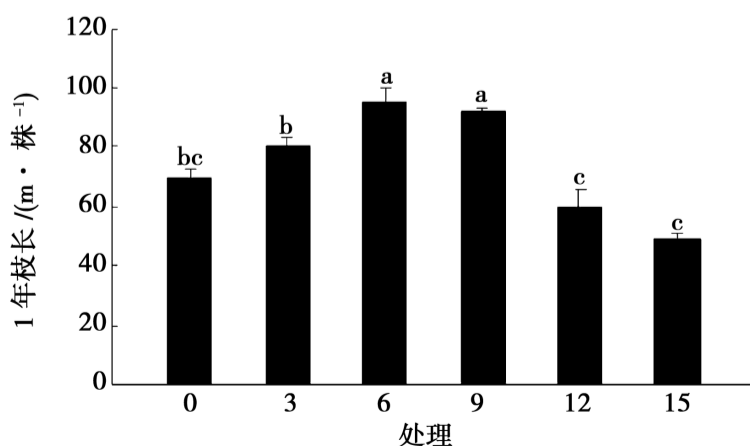
表 3 叶片与枝条中 N、P、K 及 Na 含量

处理 ($\text{cm} \cdot \text{week}^{-1}$)	N/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)		P/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)		K/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)		Na/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	
	叶	枝	叶	枝	叶	枝	叶	枝
0 (CK)	11.88 ±0.36c	5.33 ±0.43c	3.95 ±0.14c	3.10 ±0.11c	22.37 ±0.56a	11.67 ±0.41a	24.14 ±1.95d	8.37 ±0.29c
3	16.34 ±1.32c	6.07 ±0.21c	4.95 ±0.15b	3.15 ±0.24c	18.54 ±1.49b	8.93 ±0.27b	32.17 ±2.41cd	9.42 ±0.71c
6	21.25 ±1.60b	8.05 ±0.25b	5.29 ±0.40b	4.04 ±0.10b	17.58 ±1.42b	7.39 ±0.19c	41.72 ±1.05c	14.04 ±1.14c
9	22.12 ±0.78ab	8.48 ±0.64ab	5.63 ±0.16b	4.45 ±0.14b	15.93 ±1.20b	6.21 ±0.50d	53.10 ±4.26b	35.88 ±2.69b
12	25.56 ±1.92a	9.39 ±0.29a	6.65 ±0.50a	5.10 ±0.16a	15.18 ±0.53b	5.36 ±0.43d	67.99 ±5.50a	55.29 ±1.39a
15	21.43 ±1.73ab	7.24 ±0.18b	5.77 ±0.15ab	3.97 ±0.30b	15.13 ±1.14b	5.07 ±0.38d	56.28 ±4.22b	50.41 ±4.04a

2.3 平均单株 1 年生枝长与枝质量变化

生活污水处理使杨树 1 年生枝长与枝质量发生了变化, 与对照相比, 污水处理平均 1 年生枝长增加 7.4%, 1 年生枝质量增加 22.3%(图 1)。3 $\text{cm} \cdot \text{week}^{-1}$ 处理使 1 年生枝长有所增加, 但是与对照差异不显著, 6 与 9 $\text{cm} \cdot \text{week}^{-1}$ 处理显著增加了 1 年

生枝的长度, 而 12 与 15 $\text{cm} \cdot \text{week}^{-1}$ 处理使 1 年生枝变短。1 年生枝质量的变化与枝长的变化相似, 3 与 9 $\text{cm} \cdot \text{week}^{-1}$ 处理显著增加了 1 年生枝质量, 对照与另外两个处理 1 年生枝质量小于 3 与 9 $\text{cm} \cdot \text{week}^{-1}$ 处理。随着污水处理量增大使 1 年生枝变短、变粗。



不同字母代表在 0.05 水平上差异显著, 下同

图 1 不同处理 1 年生枝长与质量

2.4 叶长与叶不对称性变化

生活污水处理使叶长和叶不对称性发生了相应的变化,与对照相比,生活污水处理使平均叶长增加29.4%,叶不对称性增加了7.5%(图2)。相关性分

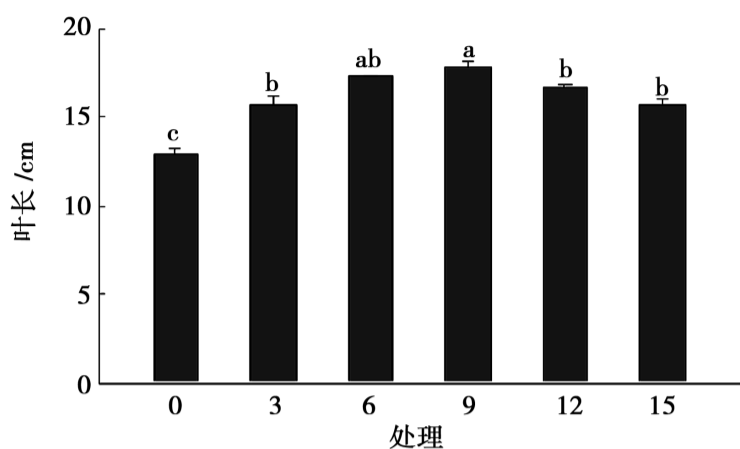
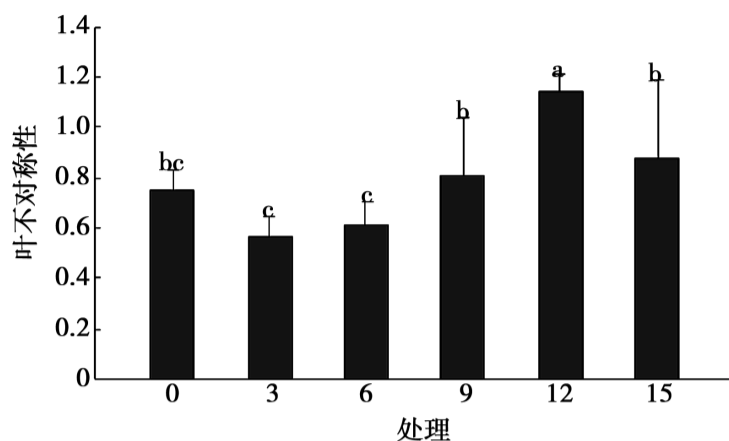


图2 不同处理叶长与叶不对称性

析结果表明, -72 杨树叶长与枝生长量之间具有极显著的正相关关系($r=0.81, P<0.01$),叶片不对称与枝生长量之间相关关系不显著,说明叶长受污水的影响较大,而污水对叶不对称性的影响小。



3 结论与讨论

3.1 污水处理对杨树生长的影响

生活污水处理增加了 -72 杨树人工林枝、干、根生长量及总落叶质量。叶质量增加说明生活污水促进了杨树叶片的生长,增加了林木的叶面积,有利于林木生长。适量的生活污水使土壤中水、肥、气、热协调,有利于土壤好气微生物的活动,土壤中有机污染物分解迅速,促进了杨树的生长。但是如果大量污水输入林地,土壤长期处于积水状态,过高的污水负荷与有机负荷,易造成土壤厌氧条件,嫌气微生物活动旺盛,对有机质进行嫌气分解,使土壤中养分损失,另外,积水也不利于杨树根系的生长,杨树的生长量降低。

杨树的叶片生长在1年生枝上,1年生枝的生长状况将影响叶的生长与发育,叶片与1年生枝对杨树生长具有重要作用。与对照相比,在较低水力负荷时,1年生枝条与叶片中N、P的含量提高,Na含量增加量小,养分增加有利于1年生枝与叶片生长。当水力负荷超过 $9 \text{ cm} \cdot \text{week}^{-1}$ 时,枝条中养分含量虽然有所增加,但是增加幅度较小,盐含量急剧增加,使林木对K的吸收能力下降,抑制了1年生枝的生长。叶片中养分元素与Na含量的变化和枝条相似,但是N、P与Na的含量更高,在较高水力负荷时,高浓度的盐含量使叶片生长受到抑制,导致叶片变短、杨树叶干质量减少。

3.2 杨树对生活污水的净化作用

在生活污水林地处理试验中,污水处理使杨树的生长量、N、P与Na含量大幅度增加,污水中N、P

与盐等污染物被林木吸收,当林木被采伐后,这些污染物被带出了林地。生长状况好的杨树,根系发育好,增长快,可以吸收大量的污染物,对污水的净化效果好。

杨树根系发达,小于1 mm细根在根系中所占比例大,这些细根可以吸收大量的水分与养分,同时也为土壤微生物提供了比较大的表面积,有利于土壤微生物的生长。杨树可以吸收各种有机与无机污染物,诸如硝态氮、铵态氮、氯化钠等,并把这些污染物从土壤中移除,使污水得以净化^[10]。生活污水林地处理把人工林培育与污水修复结合在一起,利用自然的植物过程净化生活污水中污染物,林木可以利用生活污水中的养分与矿物质,提高杨树人工林的木材产量,同时防止生活污水污染河流与地表水。

3.3 生活污水中的盐对杨树的胁迫作用

杨树的生长过程对盐的反应非常敏感^[11],由于土壤与降水可以稀释生活污水,适量的生活污水不会对林木产生明显的盐胁迫。在污水处理量较大时,林木枝条与叶片中盐的含量较高,将对杨树生长产生严重的胁迫作用。生长指标可以指示胁迫情况,枝、叶、干、根及总生长量、嫩枝长与叶面积可以作为直接的生长参数^[8]。

盐的胁迫对 -72 杨叶片的影响具有一定的规律,叶长随着污水处理量增加而变长,当污水处理量达到 $9 \text{ cm} \cdot \text{wk}^{-1}$ 之后,叶长却随着水力负荷增加而变短(图2)。以上现象表明,在污水处理量少时,污水中的养分促进了叶片生长,在污水处理量较大时,污水中的盐抑制了叶片生长, -72 杨树叶长与枝生

长量之间具有显著的正相关关系,叶长可以指示盐胁迫。叶面积影响植物光和作用,而叶长与叶面积有显著的正相关关系,盐胁迫往往影响植物叶片长度,所以叶长可以作为较好的指示盐分胁迫的长期指标^[12-13]。

不同的处理之间叶片不对称性虽然差异显著,与枝生长量之间没有相关性,说明叶不对称性受污水的影响小,这正好与 Hochwendder^[14]的研究结果相一致。我们对叶不对称性的研究结果也与 Anne^[15]的研究结果一致,Anne 发现叶不对称性不能指示盐胁迫。

K 在植物体内具有重要的生理功能,它能加速植物对 CO₂ 的同化过程,能促进碳水化合物的转移、蛋白质的合成和细胞的分裂。在这些过程中,K 具有调节和催化作用。K 能增强植物的抗病能力,并能缓和由于 N 肥过多所引起的有害作用。但是,污水处理使枝条与叶片中 Na 的含量大幅度增加,K 的含量急剧下降,表明生活污水中较高 Na 离子含量降低了土壤中 K 的有效性,抑制了林木对 K 的吸收,杨树枝条与叶片中 K 含量下降也是林木生长量降低的主要原因。

综上所述,生活污水处理增加了杨树生长量,林木体内 N、P、Na 的含量升高,杨树可以净化生活污水中污染物;在污水处理量较大时,污水中较高的盐含量抑制了林木对 K 的吸收,对杨树的生长产生明显的胁迫作用,叶长可以指示盐胁迫。

参考文献:

- [1] Jensen H A, Winant W M, Bennett O L. Spray irrigation with landfill leachate[J]. *Biocycle*, 1983, 24 (3): 22 - 25
- [2] Wong M H, Leung C K. Landfill leachate as irrigation water for tree and vegetable crops[J]. *Waste Management and Research*, 1987, (4): 311 - 323
- [3] Alados C L, Navarro T, Escos J, et al. Translational and fluctuating asymmetry as tools to detect stress in stress - adapted and non-adapted plants[J]. *International Journal of Plant Sciences*, 2001, 162(3): 607 - 616
- [4] Zvereva E L, Kozlov M V, Haukioja E. Stress responses of *Salix borealis* to pollution and defoliation[J]. *Journal of Applied Ecology*, 1997, 34 (6): 1387 - 1396
- [5] 蔡思义,郑振华,陆华,等.天津市污水慢渗土地处理系统水力负荷研究[J]. *中国环境科学*, 1992, 12(6): 438 - 442
- [6] 王书文,刘庆玉,焦银珠,等.生活污水土壤渗滤就地处理技术研究进展[J]. *水处理技术*, 2006, 32(3): 5 - 9
- [7] Aaron R W, Douglas A M. Branch surface and its vertical distribution in coastal Douglas - fir[J]. *Trees*, 2006, 20: 658 - 662
- [8] Ioannis D, Par A, Martin W. Stress tolerance of five willow clones after irrigation with different amounts of landfill leachate[J]. *Biore-source Technology*, 2006, 97: 150 - 157
- [9] 鲍士旦.土壤农化分析 [M]. 第三版,北京:中国农业出版社, 2000, 257 - 282
- [10] Louis A, Lichi J G, Isebrands. Linking phytoremediated pollutant removal to biomass economic opportunities[J]. *Biomass & Bioenergy*, 2005, 28: 203 - 218
- [11] Jill A, Zalesny R S, Zalesny J, et al. Growth and biomass of *Populus* irrigated with landfill leachate[J]. *Forest Ecology and Management*, 2007, 248: 143 - 152
- [12] Morabito D, Mills D, Prat D, et al. Response of clones of *Eucalyptus microtheca* to NaCl *in vitro*[J]. *Tree Physiology*, 1994, 14 (2): 201 - 210
- [13] Sun D, Dickinson G R. Survival and growth response of a number of Australian tree species planted on a saline site in tropical north Australia[J]. *Journal of Applied Ecology*, 1995, 32 (4): 817 - 826
- [14] Hochwender C G, Fritz R S. Fluctuating asymmetry in a *Salix* hybrid system: the importance of genetic versus environmental causes [J]. *Evolution*, 1999, 53 (2): 408 - 416
- [15] Anne P, Mawri F, Gladstone S, et al. Is fluctuating asymmetry a reliable biomonitor of stress. A test using life history parameters in soybean[J]. *International Journal of Plant Sciences*, 1998, 159 (4): 559 - 565