

广州李坑垃圾场渗滤液中的藻类群落结构特征^{*}

林 里¹, 姜必亮¹, 陈玉成², 蓝崇钰¹

(1 中山大学生命科学学院 有害生物控制与资源利用 国家重点实验室, 广东 广州 510275;

2 香港理工大学应用生物与化学技术系, 香港 九龙)

摘 要: 对广州李坑生活垃圾填埋场渗滤液池的藻类群落结构进行为期 1a 的调查。共发现藻类 20 种, 分别归蓝藻门、绿藻门和硅藻门。其中, 优势种类是蓝藻门中的席藻 *Phormidium* spp.。渗滤液中藻类数量和生物量的年平均值分别为 13.47×10^8 ind L^{-1} 和 144.70 mg L^{-1} 。藻类生物量的年动态表现为冬春高、夏秋低, 生物量最高的 2 月份达 352.81 mg L^{-1} , 最小的 8 月为 20.50 mg L^{-1} 。渗滤液中藻类群落的 Shannon-Wiener 多样性指数的年变化类似于群落生物量的格局。渗滤液藻类生物量、群落多样性和优势种席藻的生物量与月平均温度、月雨量和 $NH_4^+ - N$ 呈负相关关系, 而与 COD 、 $NO_3^- - N$ 、 TP 、 $Ortho - P$ 呈正相关关系。

关键词: 垃圾填埋场; 渗滤液; 藻类; 环境因素

中图分类号: X171.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2006) 05-0093-05

垃圾渗滤液 (leachate) 是指渗透过垃圾填埋场内部固体废物层的水带走其可溶性有机和无机的降解中间产物和最终产物所形成的液体。由于垃圾填埋场渗滤液通常包含高浓度的氨氮及重金属、酚类、可溶性脂肪酸及其他有机污染物^[1-3], 而且其成分具有高度不稳定性, 使得处理困难, 有些污染物在降解过程中, 尤其在缺氧状态下往往产生一些有毒害产物或有异味, 为环境污染物质。即使垃圾填埋场关闭后, 渗滤液的产生仍能持续多年^[4], 其中含有的持留性有毒有害物质 (PTSs)^[5] 会长期存在, 由于其难降解的特性, 对周边地区的环境和公众健康构成严重威胁。因此垃圾渗滤液的有效、合理处置是一个急待解决的问题。

利用藻类对污水进行处理是已被广泛研究且证明有效的方法^[6-7], 藻类光合作用产生的氧可供给有机污染物进行有氧分解, 使得污水中的污染物质分解较为彻底, 污水得以净化, 并且较少产生有害产物。但在渗滤液这种极度污染水体中藻类是否能存活并对污染物起到净化作用却未见报道。因此, 我们对广州李坑垃圾填埋场渗滤液中的藻类种类组成、密度、生物量变化进行为期 1a 的调查, 目的在于: ①了解在渗滤液这种极端污染的生境中藻类是否可以生存及研究藻类群落结构特点; ②发现自然环境中对渗滤液有耐性的藻类, 以期利用耐性藻类对渗滤液进行生物净化处理。

1 材料和方法

1.1 研究地点

李坑垃圾填埋场位于广州市白云区龙归镇永兴村李坑山谷, 该场于 1992 年初开始使用, 占地面积 $32\,000\text{ m}^2$, 日处理生活垃圾 $1\,400 \sim 1\,700\text{ t}$ 。至 2003 年底最终填满封场。根据估算, 渗滤液产量约 300 t/d 。在填埋场山脚下渗滤液池收集后采用回灌法 (也称渗滤液再循环) 输送回填埋区以减少其对周围环境的影响; 渗滤液回灌直至填埋场封场停止。最终排出的渗滤液经处理厂预处理后直接向外排放, 最终汇入流溪河。渗滤液池大小约 $50\text{ m} \times 50\text{ m}$, 深约 1 m 左右, 其大小和水深因季节、降雨等原因有变化。

1.2 渗滤液理化性质调查

采样当天用温度计测量渗滤液池的水温, pH 值用 model 210A 型酸度计测量; 电导率 (EC) 用 DDS-11A 型电导率仪测量; COD_{Mn} (高锰酸钾指数) 用酸性法测定; 凯氏氮 (Kjeld-N) 用半微量法分析; 氨氮 ($NH_4^+ - N$) 用滴定法测定; 硝态氮 ($NO_3^- - N$) 用戴氏合金还原法测定; 总磷 (TP) 用钼蓝比色法测定; 溶解性正磷酸盐 (Ortho-P) 的分析用 $0.45\text{ }\mu\text{m}$ 孔径的滤膜过滤水样后, 钼蓝比色法测定^[8]。

1.3 藻类样品采集及计数

在李坑垃圾填埋场渗滤液池及周边渗滤液溢出

* 收稿日期: 2005 12 27

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (39970144); 广东省自然科学基金资助项目 (990248)

作者简介: 林里 (1968 年生), 女, 讲师, 博士; 通讯联系人: 蓝崇钰; E-mail: ls04@zsu.edu.cn

形成的小水坑中每月 1~3 次采集未经任何预处理的渗滤液, 调查从前一年 12 月开始至次年 11 月共进行一周年。定性样品用 25 号浮游生物网采集或直接取水样, $\varphi=4\%$ 甲醛固定后, 在 10×40 倍显微镜下鉴定种类。定量样品采 250 mL, 碘液固定。计数时直接将已固定的样品充分摇匀后, 吸取 0.1 mL 注入计数框中计数。藻类生物量用体积法换算^[9]。藻类的分布状况以分布频度表示:

分布频度 = $\frac{\text{某一藻类的出现次数}}{\text{总采样次数}} \times 100\%$

运用 Shannon -W eiver 多样性指数评价渗滤液池中藻类的多样性^[10]。

2 结 果

2.1 李坑填埋场渗滤液的基本理化性质

李坑垃圾填埋场的基本理化性质见表 1。结果表明, 渗滤液的 pH 平均值为 8.14, COD_{Mn} 平均质量浓度为 1 003 mg L⁻¹; 氮的质量浓度较高, 其中凯氏氮和氨态氮的年平均质量浓度分别为 113.8 mg · L⁻¹ 和 1027 mg L⁻¹, 而硝态氮的质量浓度相对较低, 平均为 62.31 mg L⁻¹, 说明渗滤液中的氮主要以氨态氮的形式存在。李坑填埋场渗滤液 TP 质量浓度平均为 9.32 mg L⁻¹, N P 较大, 平均为 122

2.2 李坑填埋场渗滤液中藻类群落组成

在李坑填埋场渗滤液中共发现 16 个属的 20 种藻类, 分别归属于蓝藻门、绿藻门和硅藻门, 表 2 为渗滤液中藻类名录和分布。渗滤液中藻类种类较少, 占优势的是蓝藻门和绿藻门。蓝藻门对浮游植物总数量的平均贡献为 99.30%, 对总生物量的贡献为 94.44%, 对总种类组成的贡献为 40%; 绿藻门对总种类组成的贡献为 45%。在所有种类中, 席藻 *Phormidium* spp (图 1) 的分布频率最大, 为 100%, 其次是螺旋藻 *Spirulina* spp、窝形席藻 *Ph. foveolarum* 和粘液席藻 *Ph. mucicola*, 它们在渗滤液中的分布频率分别为 70.83%、54.17% 和 25.00%。绿藻门分布频率最大的是蛋白核小球藻 *Chlorella pyrenoidosa*, 分布频率达 66.67%, 其次是斯诺衣藻 *Chlamydomonas snowiae* 和小型卵囊藻 *Oocystis parva* 分别为 25.00% 和 16.67%。

2.3 李坑渗滤液池中藻类的密度和生物量动态

调查发现, 渗滤液中以席藻密度和生物量最大(表 3), 年平均达 1.3×10^9 ind L⁻¹ 和 129.97 mg · L⁻¹, 占年平均总生物量的 89.84%, 为优势种, 螺旋藻和斯诺衣藻的生物量分别占总生物量的 4.23% 和 4.10%, 可视为亚优势种^[11]。

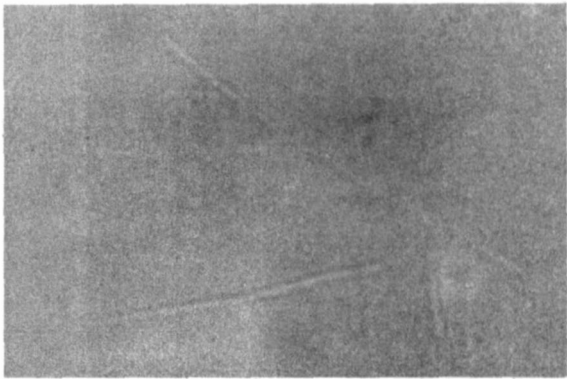


图 1 席藻 *Phormidium* spp 的显微照片 (10×40)
Fig.1 Micrograph of *Phormidium* spp. (10×40)

表 1 李坑填埋场渗滤液的基本理化性质

Tab.1 Physi-chemical properties of Likeng Land fill leachate

理化指标 ¹⁾	平均值 Ave	标准差 SD	最小值	最大值
pH	8.14	0.23	7.77	8.64
EC	5.23	0.79	3.65	6.65
COD _{Mn}	1003	296	611	1506
Kj-N	1138	219	819	1587
NH ₄ -N	1027	196	720	1352
NO ₃ -N	62.31	10.16	42.00	92.39
Total-P	9.32	2.35	5.25	13.67
Ortho-P	4.26	0.87	2.53	6.24

1) 除 pH 和 EC 外, 其他指标的单位均为 mg L⁻¹, EC 的单位为 ms cm⁻¹

渗滤液池中藻类密度和总生物量的全年分布格局表现出 12 月 -5 月高、6 -11 月低的形式, 生物量最大的是 2 月份, 达 352.81 mg L⁻¹, 最小的是 8 月份, 只有 20.50 mg L⁻¹ (表 3)。渗滤液中藻类群落的 Shannon -W eiver 多样性指数的年动态变化如图 2 所示, 其变化形式类似于群落生物量的变化趋势, 但在秋季 9 月也出现一个高峰值。

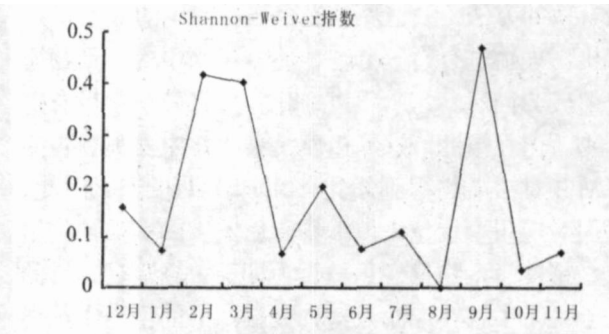


图 2 李坑填埋场渗滤液中藻类群落 Shannon Weiver 多样性指数的年变化
Fig.2 Annual dynamic of Shannon-Weaver Index of algal community in Likeng Landfill leachate

表 2 李坑垃圾填埋场渗滤液中藻类组成与分布
Tab. 2 The composition and distribution of algae in leachate of Land fill Lik eng

种类	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	分布频率 %
蓝藻门 Cyanophyta													
席藻 <i>Phomidium</i> spp	+++	++++	++++	++++	++++	++++	++++	++++	+++	++++	++++	++++	100
窝形席藻 <i>Ph. favoelanm</i>			+		++++	++		+		++	+	+	54 17
粘液席藻 <i>Ph. mucicol</i>		++++	+			+++	++++						25 00
螺旋藻 <i>Spinulina</i> spp		++++	+++	++	++++	++	+++						70 83
美丽颤藻 <i>Oscillatoria fomsa</i>													8 33
隐球藻 <i>Aphanocapsa</i> spp	+												4 17
鱼腥藻 <i>Anabaena</i> spp											+++		12 50
微囊藻 <i>Microcystis</i> spp											+		4 17
硅藻门 Bacillariophyta													
扭曲小环藻 <i>Cyclotella com ta</i>	+	++											8 33
弯形弯楔藻 <i>Rhoicosphenia curvata</i>						+							4 17
线性菱形藻 <i>Nitzschia linearis</i>						+							16 67
绿藻门 Chlorophyta													
二形栅藻 <i>Scenedesmus dimorphus</i>	+	+											8 33
小型卵囊藻 <i>Oocystis parva</i>	+++		+		+	++							16 67
镰形纤维藻 <i>Ankistrodesmus filatulus</i>	+	+				+							12 50
素衣藻 <i>Polytoma uvela</i>		+											8 33
简单衣藻 <i>Chlamydomonas simplex</i>		+++											8 33
莱哈衣藻 <i>Ch. reinhardi</i>							+						12 50
斯诺衣藻 <i>Ch. snowiae</i>			++			+	++				+		25 00
空球藻 <i>Eudorina elegans</i>													4 17
蛋白核小球藻 <i>Chlorella pyrenoidosa</i>			+	+	+	+	++	+	++	+	+	+	66 67

表 3 李坑垃圾填埋场渗滤液池中藻类的数量和生物量动态¹⁾
Tab. 3 Algal densities and biomass in leachate pond of Land fill Lik eng

时间	<i>Phomidium</i> spp	<i>Ph. favoelanm</i>	<i>Ph. mucicola</i>	<i>Spinulina</i> spp	<i>Oscillatoria fomsa</i>	<i>Chlamydomonas snowiae</i>	<i>Polytoma uvela</i>	<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	<i>Oocystis parva</i>	<i>Nitzschia linearis</i>	总计
12月	26 44 264 40	1 19 3 57		0 10 3 00					0 04 0 80		27. 67 271. 77
1月	21 15 211 50	0 12 0 36		0 01 0 23			0 00 0 50	0 04 0 70			21. 32 213. 29
2月	27 63 276 30		0 05 0 150	2 02 60 60		0 08 15. 00		0 04 0 760			29. 82 352 81
3月	16 20 162 00	0 53 1 58		0 06 0 19				0 44 8 80			17. 24 172 57
4月	19 78 197 80			0 14 4 26				0 01 0 17			19. 93 202 23
5月	22 26 222 60			0 16 4 80	0 01 0 08	0 28 56 00		0 05 1 00		0 04 8 60	22. 80 293. 08
6月	5 96 59 60			0 01 0 36				0 04 0 76			6 01 60 72
7月	2 78 27 80	0 02 0 51						0 02 0 34			2 82 28 65
8月	2 05 20 50										2 05 20 50
9月	2 26 22 60	0 10 0 30						0 09 1 76			2 45 24 66
10月	3 67 36 70					0 01 0 24					3 69 36 94
11月	5 78 57 80							0 05 1 00			5 82 58 80
年平均	13 00 129 97	0 16 0 53	0 00 0 01	0 21 6 12	0 00 0 01	0 03 5 94	0 00 0 04	0 64 1 27	0 00 0 07	0 00 0 72	13 47 144 67

1)数据含义: $\frac{\text{数量} \times 10^8 \text{ cell ind L}^{-1}}{\text{生物量}(\text{mg L})}$

3 讨 论

3.1 渗滤液对藻类生长的毒性

李坑填埋场渗滤液的主要污染物为氨态氮等有机污染物（见表 1）。氨氮在浓度较低时，可被藻类优先吸收利用^[7]，但浓度高时则有毒害作用；Adamsson等报道，当氨氮浓度大于 50 mg L⁻¹即可引起对藻类的毒性和生长抑制^[12]，其它许多研究也报道了氨对藻类具有毒性效应^[13-15]。本研究的结果表明，李坑垃圾填埋场的渗滤液中，含高浓度的氨氮，最高达 1 352 mg L⁻¹。对本研究结果进行相关分析表明（表 4），相关分析表明（表 4），渗滤液中藻类生物量、群落多样性和群落优势种生物量与 NH₄⁺ - N 浓度呈负相关关系（n = 20），说明了渗滤液中高浓度氨氮对藻类有毒性作用，并且可能是影响藻类群落结构的重要因素。

表 4 渗滤液中藻类生物量、群落多样性和优势种生物量与环境因子的相关分析
Tab.4 Correlation coefficient of algal biomass community biodiversity and dominant species biomass to environmental factors

项目	月平均温度	月雨量	COD	NH ₄ ⁺ -N	Ortho P
生物量	-0.710	-0.497	0.397	-0.286	0.722
多样性	-0.554	-0.565	0.204	-0.346	0.311
席藻生物量	-0.767	-0.543	0.464	-0.260	0.734

3.2 李坑垃圾填埋场渗滤液中藻类分布的特点及环境因子对藻类分布的影响

本研究发现，李坑垃圾渗滤液中不仅有藻类存在，而且密度和生物量较大。渗滤液中的优势种为一种席藻 *Phormidium* spp.，未见到有文献对该种进行描述，故无法鉴定种类。这种丝状藻颜色呈蓝灰色，细胞直径 ≤ 1 μm，光学显微镜下不易观察到细胞间隔和胶质鞘。该种分布频率达 100%，而且密度和生物量也占优势，可以推测是对渗滤液具有耐性的种类，其生物学特性及在渗滤液处理的应用方面应该有进一步研究的价值。

相对氮含量而言，李坑渗滤液中磷的含量不高，N:P比平均为 122。Darley^[16]和 Reynolds^[17]认为适宜藻类生长的 N:P比为 7:1~15:1。添加 P会提高渗滤液的生物处理效果^[18-19]。本研究也发现藻类生物量、群落多样性和群落优势种生物量可溶态磷（Ortho-P）呈正相关关系（n=20）（表 4）。

藻类生物量、群落多样性和群落优势种生物量还与月雨量呈负相关关系。这可能是降雨对渗滤液

具有稀释作用，不但使得渗滤液中的 COD、NH₄⁺-N、TP等理化指标浓度降低（COD、NH₄⁺-N、TP与月降雨量呈负相关关系，相关系数（n=20）分别为 -0.711、-0.706、-0.653、-0.647），也使得藻类的密度及生物量降低。

参考文献:

[1] 郑曼英,李丽桃.垃圾渗滤液有机污染物初探[J].重庆环境科学,1996 18(4):41-42

[2] WONG M H, CHEUNG Y H, CHEUNG C L. The effects of ammonia and ethylene oxide in animal manure and sewage sludge on the seed germination and root growth of *Brassica parachinensis*[J]. Environ Pollut 1983 3Q 109-123

[3] 黄立南,姜必亮,蓝崇钰.卫生填埋场渗滤液及其处理研究[J].生态科学,1999 18(11):39-42

[4] 郑曼英,李丽桃,邢益和,等.垃圾浸出液对填埋场周围水环境污染的研究[J].重庆环境科学,1998 20(3):17-20

[5] 黄铭洪.环境污染与生物修复[M].北京:科学出版社,2003 305

[6] ZMMO O R, VAN DER STEENB N R, GIJZEN H J. Nitrogen mass balance across pilot-scale algae and duckweed-based wastewater stabilisation ponds[J]. Water Res 2004 38 913-920

[7] PRZYTOCKA - JUSIAK M, DUSZOTA M, MATUSIAK K et al. Intensive culture of *Chlorella vulgaris* /AA as the second stage of biological purification of nitrogen in dusty wastewaters[J]. Water Res 1984 18 1-7

[8] 国家环保局.水和废水分析方法[M].3版.北京:中国环境科学出版社,1989 78-258

[9] 章宗涉,黄祥飞.淡水浮游生物研究方法[M].北京:科学出版社,1991 414

[10] 大连水产学院主编.淡水生物学[M].北京:农业出版社,1985 258

[11] STOYNEVA M P. Planktic green algae of Bulgarian coastal wetlands[J]. Hydrobiologia 2000 438 25-41

[12] ADMAMSON M, DAVE G, FORSBERG L et al. Toxicity identification evaluation of ammonia, nitrite and heavy metals at the Stensund Wastewater Aquaculture Plant, Sweden[J]. Wat Sci Tech 1998 38 151-157

[13] ABELDVICH A, AZOV Y. Toxicity of ammonia to algae in sewage oxidation ponds[J]. Appl Environ Microbiol 1976 31: 801-806

[14] AZOV Y, GOLDMAN J C. Free ammonia inhibition of algae photosynthesis in intensive cultures[J]. Appl and Environ Microbiol 1982 43 735-739.

(下转第 101 页)

ding 28 common type and 4 cherry type varieties were cropped under Zn contaminated soil and control soil which containing 552 mg kg^{-1} and 72.8 mg kg^{-1} Zn respectively. Zn concentrations in root shoot leaf and fruit and their biomass of the tested varieties were determined. Main results were shown as follows: ① The Zn concentrations in root shoot leaf and fruit among the tested varieties ordered as root > shoot > leaf > fruit and variations of Zn concentrations in different organs had extreme significance ($P < 0.01$) under both Zn contaminated soil and control soil. Among that the concentration in fruit varied from 1.58 to 5.83 mg kg^{-1} and from 0.29 to 0.78 mg kg^{-1} , respectively; ② Under the Zn exposure there were 3 varieties (9.4%) of all the tested varieties whose Zn concentration in fruit overrun the limitation of the National Food Sanitation Standard of China. Therefore Zn contamination risk for the product of tomato is low even though the crop is planted in Zn contaminated soil and Zn-PSCs are existing under the Zn exposure conditions in this study; ③ Owing to the significant variation of Zn concentration in fruit among the tested varieties and the morphology dependent fruit Zn concentration it is suggested that the accumulation of Zn in fruit is genotype dependent. The results indicated that PSC breeding should be feasible.

Key words *Lycopersicon esculentum*; contaminated soil; Zn accumulation; genotype dependent difference; pollution safe cultivar (PSC)

(上接第 96 页)

[15] KONG A, PEARSON H W, SILVA S A. Ammonia toxicity to algal growth in waste stabilization ponds[J]. WatSci Tech 1987 19(1): 115 - 122

[16] DARLEY W M. Algal Biomass[M]. Oxford: Blackwell Scientific Publication, 1980

[17] REYNOLDS C S. The ecology of freshwater phytoplankton[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1984

[18] ROBINSON H D, MARIS P J. The treatment of leachate from domestic waste in landfill sites[J]. J of Wat Pollut Cont Fed 1985 57: 30 - 45

[19] 姜必亮, 林里, 蓝崇钰, 等. N/P 比调节对小球藻净化渗滤液效能的影响[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2001, 40(2): 101 - 103

The Structure of the Algae Community in Leachate of Landfill Likeng, Guangzhou, China

LN Li¹, JIANG Bi-liang¹, CHAN Y-S.G.², LAN Chong-yu¹

(1. School of Life Sciences//State Key Laboratory for Bio-Control, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China; 2. Department of Applied Biology & Chemical Technology, Hong Kong Polytechnic University, Kowloon, Hong Kong, China)

Abstract The structures of the algal community as well as the environmental factors in leachate pond of Landfill Likeng were investigated throughout one year. There were 20 species to be identified belonging to 16 genera, 3 phyla including Cyanophyta, Chlorophyta and Bacillariophyta. *Phormidium* spp. was the dominant species. The annual mean density and biomass of algae were 13.47×10^8 ind L^{-1} and 144.70 mg L^{-1} respectively. The algal biomass was characterized by the pattern of high in winter and spring and low in summer and autumn. The maximum density 352.81 mg L^{-1} was found in February, the minimum density 20.50 mg L^{-1} was found in August. The annual changes of Shannon - wiever biodiversity index of algae were similar to that of the biomass. Correlation analysis showed that the biomass and biodiversity of community were negative related to the concentrations of $\text{NH}_4 - \text{N}$, monthly average temperature, precipitation, but positive related to COD, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ and Ortho-P.

Key words landfill; leachate; algae; environmental factors