

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第1期

Vol.33 No.1

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

30年来中国民航运输行业的大气污染物排放	何吉成(1)
北京上甸子站气相色谱法大气 CH ₄ 和 CO 在线观测方法研究	汪巍,周凌晔,方双喜,张芳,姚波,刘立新(8)
2010年1月北京城区大气消光系数重建及其贡献因子	朱李华,陶俊,陈忠明,赵岳,张仁健,曹军骥(13)
广东东江流域多氯萘的大气沉降研究	王琰,李军,刘向,成志能,张瑞杰,张干(20)
塔克拉玛干沙尘暴源区空气微生物群落的代谢特征	段魏魏,娄恺,曾军,胡蓉,史应武,何清,刘新春,孙建,晁群芳(26)
紫外光降解对生物过滤塔去除氯苯性能的影响机制研究	王灿,席劲瑛,胡洪营,姚远(32)
春季黄渤海溶解有机碳的平面分布特征	丁雁雁,张传松,石晓勇,商荣宁(37)
春季胶州湾海水汞的形态研究	许廖奇,刘汝海,王金玉,汤爱坤,王舒(42)
丽江盆地地表-地下水的水化学特征及其控制因素	蒲焘,何元庆,朱国锋,张蔚,曹伟宏,常丽,王春风(48)
塔里木河下游输水间歇地下水埋深及化学组分的变化	陈永金,李卫红,董杰,刘加珍(55)
某危险废物填埋场地下水污染预测及控制模拟	马志飞,安达,姜永海,席北斗,李定龙,张进保,杨昱(64)
北京市城市降雨径流水质评价研究	侯培强,任玉芬,王效科,欧阳志云,周小平(71)
重庆市路面降雨径流特征及污染源解析	张千千,王效科,郝丽岭,侯培强,欧阳志云(76)
沉水植物床-固定化微生物技术在水源地修复中的应用研究	陈祈春,李正魁,王易超,吴凯,范念文(83)
Pd/TiO ₂ 对水体中2,4-二氯酚的催化加氢脱氯研究	张寅,邵芸,陈欢,万海勤,万玉秋,郑寿荣(88)
pH 值对纳米零价铁吸附降解 2,4-二氯苯酚的影响	冯丽,葛小鹏,王东升,汤鸿霄(94)
给水管网中耐氯性细菌的灭活特性研究	陈雨乔,段晓笛,陆品品,王茜,张晓健,陈超(104)
安徽省畜禽粪便污染耕地、水体现状及其风险评价	宋大平,庄大方,陈巍(110)
染整废水深度处理纳滤工艺膜污染成因分析	曹晓兵,李涛,周律,杨海军,王晓(117)
间歇式气水联合反冲洗生物炭池的试验研究	谢志刚,邱雪敏,赵燕玲(124)
pH 及表面活性剂对诺氟沙星在海洋沉积物上吸附行为的影响	庞会玲,杨桂朋,高先池,曹晓燕(129)
硅在湖泊沉积物上的吸附特征及形态分布研究	吕昌伟,崔萌,高际玫,张细燕,万丽丽,何江,孟婷婷,白帆,杨旭(135)
农作物残体制备的生物质炭对水中亚甲基蓝的吸附作用	徐仁扣,赵安珍,肖双成,袁金华(142)
高分子固体废物基活性炭对有机染料的吸附解吸行为研究	廉菲,刘畅,李国光,刘一夫,李勇,祝凌燕(147)
活性污泥对四环素的吸附性能研究	陈瑞萍,张丽,于洁,陶芸,张忠品,李克勋,刘东方(156)
加油站油类污染物自然衰减现场试验研究	贾慧,武晓峰,胡黎明,刘培斌(163)
生物质炭对土壤中氯苯类物质生物有效性的影响及评价方法	宋洋,王芳,杨兴伦,卞永荣,谷成刚,谢祖彬,蒋新(169)
利用第二缺氧段硝酸盐氮浓度作为 MUCT 工艺运行控制参数	王晓玲,尹军,高尚(175)
数学模拟好氧颗粒污泥的形成及水力剪切强度对颗粒粒径的影响	董峰,张捍民,杨凤林(181)
不同污泥停留时间对城市污泥生物沥浸推流式运行系统的影响	刘奋武,周立祥,周俊,姜峰,王电站(191)
间歇曝气生物滤池生物除磷性能研究	曾龙云,杨春平,郭俊元,罗胜联(197)
鸡粪与互花米草沼渣混合发酵产甲烷的研究	陈广银,常志州,叶小梅,杜静,徐跃定,张建英(203)
北京市生活垃圾填埋场产甲烷不确定性定量评估	陈操操,刘春兰,李铮,王海华,张妍,王璐(208)
外加酶强化剩余污泥微生物燃料电池产电特性的研究	杨慧,刘志华,李小明,杨麒,方丽,黄华军,曾光明,李硕(216)
赤潮藻电致化学发光分子探针检测系统的构建	朱霞,甄毓,米铁柱,池振明,徐晓春(222)
邻苯二甲酸二丁酯对短裸甲藻的抑制机制研究	别聪聪,李锋民,王一斐,王昊云,赵雅茜,赵薇,王震宇(228)
纳米 TiO ₂ 对短裸甲藻的毒性效应	李锋民,赵薇,李媛媛,田志佳,王震宇(233)
苏州河底泥 3 种内分泌干扰物的空间分布及环境风险	李洋,胡雪峰,王效举,茂木守,大塚宜寿,细野繁雄,杜艳,姜琪,李珊,冯建伟(239)
电子废物拆解区农业土壤中 PCNs 的污染水平、分布特征与来源解析	王学彤,贾金盼,李元成,孙阳昭,吴明红,盛国英,傅家谟(247)
洛阳市不同功能区道路灰尘重金属污染及潜在生态风险	刘德鸿,王发园,周文利,杨玉建(253)
湘江流域土壤重金属污染及其生态环境风险评价	刘春早,黄益宗,雷鸣,郝晓伟,李希,铁柏清,谢建治(260)
广西铅锡矿冶炼区土壤剖面及孔隙水中重金属污染分布规律	项萌,张国平,李玲,魏晓飞,蔡永兵(266)
缺氧条件下土壤砷的形态转化与环境行为研究	吴锡,许丽英,张雪霞,宋雨,王新,贾永锋(273)
可渗透反应复合电极法对铬(VI)污染土壤的电动修复	付融冰,刘芳,马晋,张长波,何国富(280)
胡敏酸对汞还原能力的测定和表征	江韬,魏世强,李雪梅,卢松,李梦婕,罗畅(286)
Zn(II) 对生物质碳源处理酸性矿山排水中厌氧微生物活性影响	黎少杰,陈天虎,周跃飞,岳正波,金杰,刘畅(293)
油气田土壤样品中可培养丁烷氧化菌多样性研究	张莹,李宝珍,杨金水,汪双清,袁红莉(299)
利用 PCR-DGGE 分析未开发油气田地微生物群落结构	满鹏,齐鸿雁,呼庆,马安周,白志辉,庄国强(305)
黄土高原六道沟流域 8 种植物根际细菌与 AMF 群落多样性研究	封晔,唐明,陈辉,丛伟(314)
鸡粪与猪粪所含土霉素在土壤中降解的动态变化及原因分析	张健,关连珠,颜丽(323)
杂质对废塑料裂解产物及污染物排放的影响	赵磊,王中慧,陈德珍,马晓波,栾健(329)
《环境科学》征稿简则(7)	
《环境科学》征订启事(19)	
信息(47,70,202,304)	

塔克拉玛干沙尘暴源区空气微生物群落的代谢特征

段魏魏^{1,2}, 娄恺¹, 曾军¹, 胡蓉¹, 史应武², 何清³, 刘新春³, 孙建¹, 晁群芳^{2*}

(1. 新疆农业科学院微生物应用研究所, 乌鲁木齐 830091; 2. 新疆大学生命科学与技术学院, 乌鲁木齐 830046; 3. 中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所, 乌鲁木齐 830002)

摘要: 采用 BIOLOG 生态微平板 (BIOLOG EcoPlate™) 技术, 对采集自塔克拉玛干沙漠南北缘 5 个地区的空气样品进行研究, 目的是了解空气微生物群落碳代谢功能的特点与差异. 结果表明, 5 个地区空气样品的平均吸光度 (AWCD) 在培养 10 d 没有达到饱和且差异显著, AWCD 值最高的为莎车县, 和田县最低, 分别为 0.24 和 0.1; 碳源利用水平表明这 5 个地区空气微生物对聚合物类碳源利用率最高, 其次是碳水化合物、氨基酸类、羧酸类碳源, 而酚类和胺类最低; 主成分分析 (PCA) 发现有 20 种碳源与 PC1 显著相关, 12 种与 PC2 显著相关, 并且这 5 个地区也被分为两类, 和田和皮山聚为一类, 乌恰、莎车和轮台聚为一类; 典范对应分析 (CCA) 和相关分析表明一些非生物因素对空气微生物群落碳代谢强度和单一碳源的利用能力具有不同程度的影响, 如风速、海拔、湿度等; 进一步的研究也表明非生物因素对空气微生物群落利用的能力影响显著, 其中 β -甲基 D-葡萄糖苷、D-半乳糖醛酸和腐胺的光密度值与纬度显著正相关 ($P < 0.05$), 2-羟苯甲酸和 α -D-乳糖与风速显著正相关 ($P < 0.05$), D-葡萄糖胺与气压显著正相关 ($P < 0.05$) 且与海拔为显著负相关 ($P < 0.05$). 综上可知, 塔克拉玛干沙尘暴源区周边地区空气微生物群落碳代谢能力较低, 呈现区域性特征, 非生物因素显著影响空气微生物群落碳代谢强度及微生物群落对 31 种单一碳源的利用.

关键词: 群落代谢特征; 沙尘暴; 塔克拉玛干沙漠; 空气微生物; BIOLOG

中图分类号: X51 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)01-0026-06

Metabolic Characteristics of Air Microbial Communities from Sandstorm Source Areas of the Taklamakan Desert

DUAN Wei-wei^{1,2}, LOU Kai¹, ZENG Jun¹, HU Rong¹, SHI Ying-wu², HE Qing³, LIU Xin-chun³, SUN Jian¹, CHAO Qun-fang²

(1. Institute of Microbiology, Xinjiang Academy of Agriculture Science, Urumqi 830091, China; 2. College of Life Science and Technology, Xinjiang University, Urumqi 830046, China; 3. Institute of Desert Meteorology, China Meteorological Administration, Urumqi 830002, China)

Abstract: The aim was to compare the characteristics and the differences in carbon catabolic diversity of air samples collected from five locations that around the edge of Taklamakan desert. The characteristics and the differences of carbon metabolic profiles were detected by using the BIOLOG micro plate (BIOLOG EcoPlate™). The results showed that the average well color development (AWCD) curve of all five samples did not reach clear saturation during the incubation time (10 days), but differences among them were significant. The highest AWCD value appeared in Shache and the lowest was in Hotan, which were 0.24 and 0.1, respectively. Carbon utilization showed that all samples exhibited high level of polymer, carbohydrates, amino acids and carboxylic acid; however, amine and the phenol compound were the lowest. Principal components analysis (PCA) indicated that twenty categories of carbon significantly related to PC1 and twelve categories for PC2. Hierarchical cluster analysis showed these five areas could be divided into 2 clusters: ① Hotan, Pishan, ② Shache, Luntai, Ulugqat. Canonical correspondence analysis (CCA) showed that those community functional diversities were highly affected by some environmental factors, such as wind speed, altitude, humidity. Further investigation by correlation analysis revealed that the microbial communities using single carbon source were significantly affected by abiotic factors, such as the utilization of β -methyl-D-glucoside, D-galacturonic acid and putrescine had significantly positive correlation ($P < 0.05$) with latitude; 2-hydroxy benzoic acid and α -D-lactose significantly related to wind speed ($P < 0.05$); and D-glucosaminic acid was positive with air pressure, but it negatively correlated with altitude ($P < 0.05$). In conclusion, the carbon sources provided by BIOLOG EcoPlate were utilized slowly by air microbial communities; and the characteristics of the air community carbon catabolic along the edge of the Taklamakan desert revealed regional feature, which may be affected by environmental factors.

Key words: community metabolic characteristics; sandstorm; Taklamakan desert; air microorganism; BIOLOG

收稿日期: 2011-02-10; 修订日期: 2011-05-27

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2008CB417214); 新疆特殊环境微生物实验室开放课题项目(XJYS0203-2008-06)

作者简介: 段魏魏(1985~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为环境微生物, E-mail: dww630421@sina.com

* 通讯联系人, E-mail: xjchqf@sina.com

沙尘暴是在特定地理环境和气候条件下形成的一种特殊气象灾害. 世界四大沙尘暴多发区分别位于中亚、北美、中非及澳大利亚, 其中塔克拉玛干沙漠是我国西北地区沙尘暴和沙尘气溶胶的主要源地, 是亚洲沙尘暴贡献粉尘数量最大的源区之一^[1,2]. 年平均出现沙尘暴 30 d 以上, 扬沙天气多达 70 d, 浮尘天气高达 200 d, 发生期可跨越整个春夏季节, 且塔克拉玛干的沙尘向东可吹至韩国、日本、夏威夷群岛及美国西海岸, 并影响着北极^[3], 因此, 对我国气候变化和全球生态环境有着重要影响.

大气气溶胶是研究大气环境的重要手段, 已有众多学者致力于此研究^[4,5]. 微生物可附着在大气气溶胶上, 沙尘暴过程可携带这些微生物到下游地区, 尤其是病原菌和过敏原, 对下游地区农业和生态的影响及其对人类健康造成威胁. 已有研究多采用纯培养的方法对沙尘暴过程中空气微生物数量和种群进行了研究, 区域涉及北加勒比海^[6]、维尔京群岛^[6]、巴巴多斯^[6]、马里^[6]、撒哈拉沙漠^[6]、土耳其^[6]、西班牙^[7]、瑞士^[6]、阿根廷拉普拉塔^[8]、科威特^[6]、沙特阿拉伯^[6]、韩国^[9]和以色列^[6]. 这些结果

表明沙尘跨州跨洋的活动为微生物在海洋和陆地之间构建了一个大气桥梁, 对扩大其生物地理范围起到了重要作用.

目前对于土壤^[10~20]、水体^[21,22]及根际微生物^[23,24]功能多样性已有较多研究, 而空气微生物群落碳代谢的特点及功能多样性国内外均未见报道. 因此, 本研究从群落代谢角度, 分析塔克拉玛干沙尘暴源区南北缘 5 个地区的空气微生物, 以期深入了解其空气微生物群落碳代谢功能的特点与差异, 对大气生态系统碳汇和全球气候变迁具有一定参考价值.

1 材料与方法

1.1 空气样品采集

2009 年 4 月中旬在新疆塔克拉玛干沙漠南北缘的和田、皮山、莎车、乌恰及轮台共 5 个地区(图 1)进行采样, 全程 1 337 km, 采样点环境信息如表 1 所示. 采用液体撞击式采样器将空气导入已装有 20 mL 无菌磷酸盐缓冲液的采集瓶中, 每次采样时间为 15 min, 空气流量为 10 L·min⁻¹. 样品 4℃ 低温避光保藏.

表 1 采样点的经纬度、海拔、气象信息
Table 1 Basic property for sampling sites

地点	经度	纬度	海拔/m	温度/℃	气压/Pa	湿度/%	风速/m·s ⁻¹	地理环境	微生物群落密度 /CFU·m ⁻³
和田市气象局观测站	79°55'17"	37°07'17"	1 374. 7	18. 7	851. 1	18	2. 4	河流	3. 68 × 10 ³
皮山县气象局观测站	78°16'35"	37°36'54"	1 376. 3	17. 8	857. 1	17	2. 1	山地	1. 21 × 10 ³
莎车县气象局观测站	77°14'30"	38°25'42"	1 232	17. 4	878. 3	25	1. 9	绿洲, 河流	1. 47 × 10 ³
乌恰县气象局观测站	75°15'04"	39°43'06"	2 177. 5	10. 8	783. 8	35	3. 4	绿洲	1. 56 × 10 ³
轮台县气象局观测站	84°14'43"	41°46'51"	977. 6	18. 6	907. 1	22	8. 5	绿洲	2. 57 × 10 ³

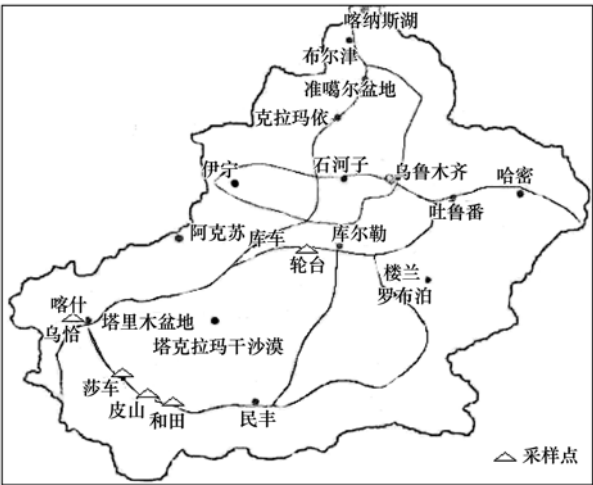


图 1 塔克拉玛干沙漠南北缘 5 个采样点示意

Fig. 1 Sampling map of five stations along south and north of the Taklamakan desert

1.2 主要试剂和仪器

1.2.1 试剂

磷酸盐缓冲液配方: NaCl 135 mmol·L⁻¹, KCl 2.7 mmol·L⁻¹, KH₂PO₄ 1.5 mmol·L⁻¹, K₂HPO₄ 8 mmol·L⁻¹, pH 7.2, 121℃ 灭菌 30 min.

1.2.2 仪器

液体撞击式微生物气溶胶采样器(辽宁市康洁仪器研究所), BIOLOG ECO 板(美国 BIOLOG 公司), BIOLOG 读数仪(美国 BIOLOG 公司).

1.3 空气微生物碳代谢强度测定

采用 BIOLOG 生态微平板 (BIOLOG EcoPlate™) 对 5 个地区样品进行测定. 取混匀的样品液接种于 BIOLOG ECO 板中, 每孔接种量为 125 μL, 28℃ 避光培养, 每隔 24 h 用 BIOLOG 读数器于 590 nm 处测定光吸收值, 直至光密度值稳定为止,

本实验共测定了 10 d, 选取 168 h 的 Biolog 平均光密度吸收值 (average well color development, AWCD) 进行后续数据的处理。

1.4 数据处理

利用 SPSS 13.0 软件进行主成分分析 (principal components analysis, PCA) 和相关分析, 利用 CANOCO 软件 (Version 4.5) 进行典范对应分析 (CCA) [25]。

2 结果与分析

2.1 塔克拉玛干空气微生物群落碳代谢强度的变化

微生物群落对单一碳源的利用情况 (AWCD 值) 是微生物生理活性的表征。本研究中 5 个地区空气样品的 AWCD 值如图 2 所示, 随着培养时间的延长而缓慢的增加, 在 120 h 左右进入指数期, 但曲线较为平缓, 240 h 左右还未明显达到稳定期。另外这 5 个地区的碳代谢强度较低, 但地区间差异显著, 其中莎车地区的 AWCD 值最高, 达到 0.24, 和田地区的 AWCD 值最低, 为 0.1。

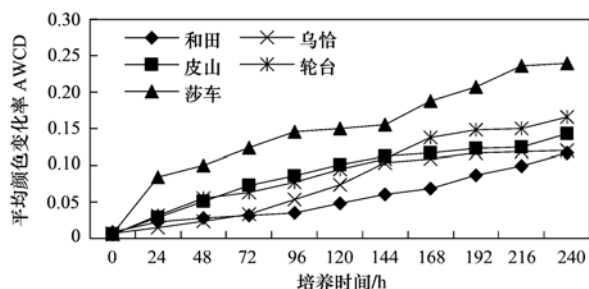


图 2 AWCD 随培养时间的变化曲线

Fig. 2 AWCD change with incubation progress

2.2 空气微生物群落碳源利用水平分析

塔克拉玛干沙尘暴源区的空气微生物群落对 6 类 31 种碳源 (4 种聚合物、10 种糖类、7 种羧酸、6 种氨基酸、2 种胺类和 2 种酚类) 的利用情况如图 3 所示, 总体上这 5 个地区对聚合物类碳源利用率最高, 碳水化合物、氨基酸类、羧酸类碳源次之, 酚类和胺类利用率最低, 但各地区间存在不同程度的相似性和差异性。如这 5 个地区微生物群落对碳水化合物的利用能力相近, 但对于聚合物类的利用率上, 轮台地区最高, 和田地区最低, 并且莎车和轮台地区相近。

2.3 空气微生物群落的主成分分析

利用主成分分析对塔克拉玛干沙尘暴源区空气微生物群落的碳源利用能力进行了研究, 共提取出了 2 个主成分, PC1 (51.82%) 和 PC2 (28.56%) 特

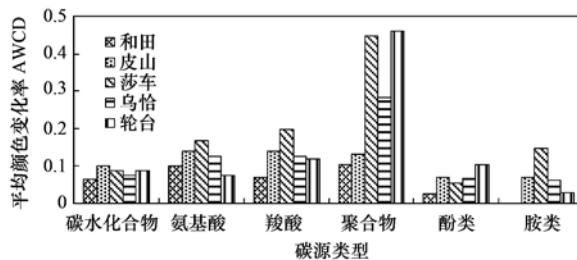
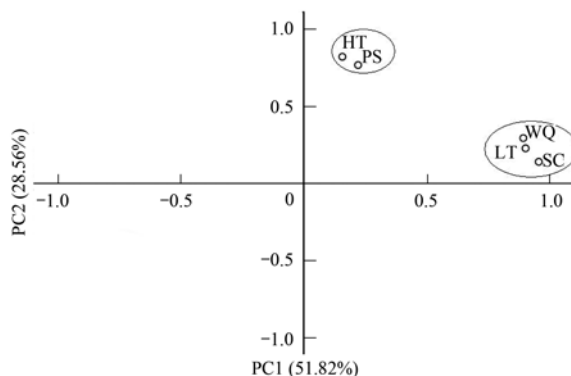


图 3 不同类碳源的利用情况

Fig. 3 Utilization for different source substrates

征值分别为 2.59 和 1.43, 累计贡献率达到了 80.38%, 因而能解释绝大部分的变异。由表 2 可知, 与 PC1 显著相关的碳源有 20 种, 主要为氨基酸类、羧酸类、碳水化合物类、聚合物类及少数其他类碳源, 并且载荷在 0.9 以上的有 5 种基质, 0.8 以上的有 11 种, 其中氨基酸类中的 L-天冬酰胺载荷最高为 0.969; 与 PC2 显著相关的碳源有 12 种, 主要为碳水化合物类、羧酸类、氨基酸类和酚类化合物并且载荷在 0.9 以上的有 3 种, 0.8 以上的有 4 种, 而碳水化合物中的 β -甲基 D-葡萄糖苷载荷最高为 0.993。L-丝氨酸、衣康酸及 D-半乳糖醛酸在 PC1 和 PC2 中均占有重要作用。另外 PC1 和 PC2 中显著相关碳源也与利用率较高的主要碳源类型大体一致。

此外, PCA 分析将这 5 个地区划分为 2 大类 (图 4), ①和田和皮山; ②乌恰、轮台和莎车, 并且方差分析显示这两大聚类之间的差异性显著 ($P < 0.05$)。



SC: 莎车; WQ: 乌恰; PS: 皮山; HT: 和田; LT: 轮台, 下同

图 4 不同地区空气微生物群落碳源利用类型的主成分分析

Fig. 4 Principal components for carbon utilization of air microbial communities in different regions

2.4 非生物因素对空气微生物群落的碳代谢强度的影响

典范对应分析 (CCA) 发现一些环境因子对不

表 2 与 PC1 和 PC2 显著相关的主要底物

Table 2 Correlation coefficients between main substrates and PC1 or PC2

基质	PC1(<i>r</i>)	基质	PC2(<i>r</i>)
氨基酸类 Amino acids		氨基酸类 Amino acids	
甘氨酸-L-谷氨酸 Glycyl-L-Glutamic Acid	0.817	L-丝氨酸 L-Serine	0.508
L-苯基丙氨酸 L-Phenylalanine	0.808	羧酸类 Carboxylic acids	
L-天冬酰胺 L-Asparagine	0.969	D-半乳糖醛酸 D-Galacturonic Acid	0.824
L-苏氨酸 L-Threonine	0.747	D-葡萄糖胺酸 D-Glucosaminic Acid	0.525
L-精氨酸 L-Arginine	0.637	D-苹果酸 D-Malic Acid	0.532
L-丝氨酸 L-Serine	0.566	衣康酸 Itaconic Acid	0.785
羧酸类 Carboxylic acids		碳水化合物 Carbohydrates	
丙酮酸甲酯 Pyruvic Acid Methyl Ester	0.915	N-乙酰基-D-葡萄糖胺 N-Acetyl-D-Glucosamine	0.729
D-半乳糖醛酸 D-Galacturonic Acid	0.509	β-甲基 D-葡萄糖苷 β-Methyl-D-Glucoside	0.993
γ-羟基丁酸 γ-Hydroxybutyric Acid	0.901	D,L-α-甘油 D,L-α-Glycerol	0.940
α-丁酮酸 α-Ketobutyric Acid	0.898	D-纤维二糖 D-Cellobiose	0.694
衣康酸 Itaconic Acid	0.647	D-甘露醇 D-Mannitol	0.863
碳水化合物 Carbohydrates		D-木糖 D-Xylose	0.954
D-半乳糖内酯 D-Galactonic Acid γ-Lactone	0.522	酚类化合物 Phenolic compound	
葡萄糖-1-磷酸盐 Glucose-1-Phosphate	0.709	2-羟基苯甲酸 2-Hydroxy Benzoic Acid	0.701
1-赤藻糖醇 1-Erythritol	0.902		
酚类化合物 Phenolic compound			
4-羟基苯甲酸 4-Hydroxy Benzoic Acid	0.818		
聚合物类 Polymer			
α-环式糊精 α-Cyclodextrin	0.851		
吐温 80 Tween 80	0.737		
吐温 40 Tween 40	0.703		
胺类 Amine			
苯乙基胺 Phenylethyl-amine	0.914		
腐胺 Putrescine	0.867		

同地区碳代谢强度具有影响. 如图 5 所示, 风速、海拔、湿度及纬度与轮台和乌恰地区的碳代谢强度呈正相关, 而经度与其负相关, 其中这些环境因子与轮台地区相关性更大; 纬度和湿度与皮山的碳代谢强度呈正相关; 经度与和田地区碳代谢强度呈正相关; 而环境因子与莎车地区碳代谢强度的相关性不大. 另外, 将空气微生物群落对 31 种碳源的利用与环境因子进行相关分析, 结果表明环境因子对空气微生物群落利用单一碳源的能力有很大影响, 其中利用 β-甲基 D-葡萄糖苷和腐胺的光密度值与纬度显著正相关 ($r = 0.907, r = 0.958, P < 0.05$), D-半乳糖醛酸的光密度值与纬度呈极显著正相关 ($r = 0.964, P < 0.01$), 2-羟基甲酸和 α-D-乳糖与风速显著正相关 ($r = 0.896, P < 0.05; r = 0.978, P < 0.01$), D-葡萄糖胺酸与气压显著正相关 ($r = 0.94, P < 0.05$), 而与海拔呈显著负相关 ($r = -0.888, P < 0.05$), 其余碳源与环境因子无显著相关性.

3 讨论

3.1 塔克拉玛干沙漠边缘地区空气微生物群落的

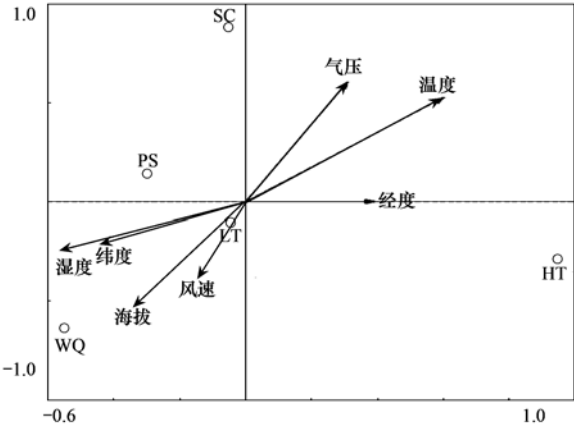


图 5 5 个地区空气微生物群落碳代谢强度与环境因子的 CCA 分析排序图

Fig. 5 A two-dimensional graph of CCA ordination for AWCD of 5 air microbial communities and environment factors

碳代谢强度

BIOLOG 技术中 AWCD 值的高低可以直观反映微生物群落碳代谢的能力和生理活性. 目前这一技术绝大多数应用于土壤样品微生物群落功能多样性

的研究^[10-20],并且土壤样品的 AWCD 值曲线一般在 24~72 h 左右呈现明显指数期,192 h 左右大部分样品的 AWCD 值接近饱和(AWCD 值 ≥ 1).但本研究发现空气微生物群落的 AWCD 值随培养时间延长而缓慢,平稳地增加(图 2),至 120 h 左右时才缓慢进入指数期,192 h 时大部分样品的 AWCD 值仍小于 0.2.这表明空气微生物群落碳代谢能力比土壤低,可能原因是沙漠边缘地区的高辐射、寡营养及干燥环境,使得一些生长缓慢,产孢子和芽孢的类群(如放线菌和芽孢杆菌)占优势,导致碳源利用能力降低^[6],而 BIOLOG 技术对于那些生长缓慢和不能很好利用 BIOLOG 板中碳源的微生物反映能力也较差^[21].

3.2 塔克拉玛干沙漠边缘不同地区空气微生物群落碳代谢水平差异

本研究发现空气微生物群落利用的主要碳源类型与土壤中的相似,都为羧酸、氨基酸和碳水化合物,这也许与空气微生物的土壤起源有关^[26],但不同的是空气微生物对聚合物的利用能力较高,并且呈现出区域性,如和田和皮山地区碳代谢类型最为相似,而其它 3 个地区相似(图 4).这可能与它们所处的地理环境有一定关系,和田和皮山地理位置较近且环境条件最为相近(表 1),都位于塔克拉玛干沙漠南缘沙漠地带,常年受来自沙漠腹地沙尘暴的影响,而其余 3 个地区中虽然轮台距莎车和乌恰地区较远且环境条件有很大差异,但它们均位于绿洲地带,地面植被的覆盖度较高并且人类活动比和田和皮山地区频繁,因而这 2 个区域小气候不同,而空气微生物主要来源于自然界中的土壤、水体、动植物及人类活动,所以造成这两区域代谢类型的不同.

值得注意的是,现有的 BIOLOG 微平板碳源是否适合空气微生物功能类群检测仍未有定论,并且单一的只使用 BIOLOG 技术也并不能完全、准确地反映空气微生物群落功能的多样性,因此需要再结合一些基于类群和功能基因的检测技术以便更好地反映微生物群落的组成和特征,为特殊代谢类群微生物的纯培养以及沙尘暴的预防、治理及利用提供参考.

4 结论

塔克拉玛干沙漠周边地区空气微生物群落的碳代谢能力较低,在碳源利用类型上与绝大多数土壤相似但有差异,并且 5 个地区的碳代谢特征呈现区域性特征,这与环境因子显著影响空气微生物群落

碳代谢强度及对单一碳源的利用有关.

致谢:本实验是在新疆农业科学院微生物应用研究所、新疆大学和中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所共同支持及帮助下完成的,在此感谢给予的帮助.

参考文献:

- [1] Gong S L, Zhang X Y, Zhao T L, *et al.* Characterization of soil dust aerosol in China and its transport and distribution during 2001 ACE-Asia: 2. Model Simulation and validation-art. no. 4262 [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2003, **108** (D9): 1-23.
- [2] Zhang X Y, Gong S I, Shen Z X, *et al.* Characterization of soil dust aerosol in China and its transport and distribution during 2001 ACE-Asia: 1. Network observations [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2003, **108** (D9): 8032-8039.
- [3] Kellogg C A, Griffin D W. Aerobiology and the global transport of desert dust [J]. *Trends in Ecology and Evolution*, 2006, **21** (11): 638-644.
- [4] 石金辉,张云,李瑞苗,等.东海大气气溶胶中无机氮组分的分布特征[J].*环境科学*, 2010, **31**(12): 2835-2843.
- [5] 张宁宁,何元庆,王春风,等.丽江市冬季大气总悬浮颗粒物(TSP)中水溶性离子化学特征[J].*环境科学*, 2011, **32** (3): 619-625.
- [6] Griffin D W. Atmospheric movement of microorganisms in clouds of desert dust and implications for human health [J]. *Clinical Microbiology Reviews*, 2007, **20**(3): 459-477.
- [7] Hervás A, Camarero L, Reche I, *et al.* Viability and potential for immigration of airborne bacteria from Africa that reach high mountain lakes in Europe [J]. *Environmental Microbiology*, 2009, **11**(6): 1612-1623.
- [8] Negrin M M, Panno M T D, Ronco A E. Study of bioaerosols and site influence in the La Plata area (Argentina) using conventional and DNA (fingerprint) based methods [J]. *Aerobiologia*, 2007, **23**(4): 249-258.
- [9] Lee S, Choi B, Yi S M, *et al.* Characterization of microbial community during Asian dust events in Korea [J]. *Science of the Total Environment*, 2009, **407**(20): 5308-5314.
- [10] 徐华勤,肖润林,邹冬生,等.长期施肥对茶园土壤微生物群落功能多样性的影响[J].*生态学报*, 2007, **27**(8): 3355-3361.
- [11] 申卫收,林先贵,张华勇,等.不同施肥处理下蔬菜塑料大棚土壤微生物活性及功能多样性[J].*生态学报*, 2008, **28** (6): 2682-2689.
- [12] 李娟,赵秉强,李秀英,等.长期不同施肥制度下几种土壤微生物学特征变化[J].*植物生态学报*, 2008, **32**(4): 891-899.
- [13] Xue D, Yao H Y, Ge D Y, *et al.* Soil microbial community structure in diverse land use systems: a comparative study using Biolog, DGGE, and PLFA Analyses [J]. *Pedosphere*, 2008, **18** (5): 653-663.
- [14] 谢文军,周健民,王火焰.重金属 Cu^{2+} 、 Cd^{2+} 及氯氰菊酯对

- 不同施肥模式土壤微生物功能多样性的影响 [J]. 环境科学, 2008, **29**(10): 2919-2924.
- [15] 李世朋, 蔡祖聪, 杨浩, 等. 长期定位施肥与地膜覆盖对土壤肥力和生物学性质的影响 [J]. 生态学报, 2009, **29**(5): 2489-2498.
- [16] 孔滨, 孙波, 郑宪清, 等. 水热条件和施肥对黑土中微生物群落代谢特征的影响 [J]. 土壤学报, 2009, **46**(1): 100-106.
- [17] 罗希茜, 郝晓晖, 陈涛, 等. 长期不同施肥对稻田土壤微生物群落功能多样性的影响 [J]. 生态学报, 2009, **29**(2): 740-748.
- [18] 毕江涛, 贺达汉, 沙月霞, 等. 荒漠草原不同植被类型土壤微生物群落功能多样性 [J]. 干旱地区农业研究, 2009, **27**(5): 149-155.
- [19] 曹均, 吴姬, 赵小蓉, 等. 北京 9 个典型板栗园土壤碳代谢微生物多样性特征 [J]. 生态学报, 2010, **30**(2): 527-532.
- [20] 董立国, 袁汉民, 李生宝, 等. 玉米免耕秸秆覆盖对土壤微生物群落功能多样性的影响 [J]. 生态环境学报, 2010, **19**(2): 444-446.
- [21] Hackett C A, Griffiths B S. Statistical analysis of the time-course of Biolog substrate utilization [J]. Journal of Microbiological Methods, 1997, **30**(1): 63-69.
- [22] 高飞, 王静, 熊艳, 等. 海水水域微生物功能多样性与水体质量关系的研究 [J]. 农产品加工, 2008, (10): 55-57.
- [23] 张海涵, 唐明, 陈辉, 等. 不同生态条件下油松 (*Pinus tabulaeformis*) 菌根根际土壤微生物群落 [J]. 生态学报, 2007, **27**(12): 5463-5470.
- [24] 展小云, 吴冬秀, 张琳, 等. 小叶锦鸡儿根际微生物群落功能多样性对环境变化的响应 [J]. 生态学报, 2010, **30**(12): 3087-3097.
- [25] 王强, 戴九兰, 吴大千, 等. 微生物生态研究中基于 BIOLOG 方法的数据分析 [J]. 生态学报, 2010, **30**(3): 817-823.
- [26] 孙平勇, 刘雄伦, 刘金灵, 等. 空气微生物的研究进展 [J]. 中国农学通报, 2010, **26**(11): 336-340.

CONTENTS

Air Pollutant Emissions of Aircraft in China in Recent 30 Years	HE Ji-cheng (1)
Study on the <i>in-situ</i> Measurement of Atmospheric CH ₄ and CO by GC-FID Method at the Shangdianzi GAW Regional Station	WANG Wei, ZHOU Ling-xi, FANG Shuang-xi, <i>et al.</i> (8)
Reconstructed Ambient Light Extinction Coefficient and Its Contribution Factors in Beijing in January, 2010	ZHU Li-hua, TAO Jun, CHEN Zhong-ming, <i>et al.</i> (13)
Atmospheric Deposition of Polychlorinated Naphthalenes in Dongjiang River Basin of Guangdong Province	WANG Yan, LI Jun, LIU Xiang, <i>et al.</i> (20)
Metabolic Characteristics of Air Microbial Communities from Sandstorm Source Areas of the Taklamakan Desert ...	DUAN Wei-wei, LOU Kai, ZENG Jun, <i>et al.</i> (26)
Mechanisms of UV Photodegradation on Performance of a Subsequent Biofilter Treating Gaseous Chlorobenzene ...	WANG Can, XI Jin-ying, HU Hong-ying, <i>et al.</i> (32)
Distribution of Dissolved Organic Carbon in the Bohai Sea and Yellow Sea in Spring	DING Yan-yan, ZHANG Chuan-song, SHI Xiao-yong, <i>et al.</i> (37)
Research on the Mercury Species in Jiaozhou Bay in Spring	XU Liao-qi, LIU Ru-hai, WANG Jin-yu, <i>et al.</i> (42)
Geochemistry of Surface and Ground Water in the Lijang Basin, Northwest Yunnan	PU Tao, HE Yuan-qing, ZHU Guo-feng, <i>et al.</i> (48)
Variations in Depth and Chemistry of Groundwater in Interval of Water Delivery at the Lower Tarim River	CHEN Yong-jin, LI Wei-hong, DONG Jie, <i>et al.</i> (55)
Simulation on Contamination Forecast and Control of Groundwater in a Certain Hazardous Waste Landfill	MA Zhi-fei, AN Da, JIANG Yong-hai, <i>et al.</i> (64)
Research on Evaluation of Water Quality of Beijing Urban Stormwater Runoff	HOU Pei-qiang, REN Yu-fen, WANG Xiao-ke, <i>et al.</i> (71)
Characterization and Source Apportionment of Pollutants in Urban Roadway Runoff in Chongqing	ZHANG Qian-qian, WANG Xiao-ke, HAO Li-ling, <i>et al.</i> (76)
Applied Study of the Submerged Macrophytes Bed-Immobilized Bacteria in Drinking Water Restoration	CHEN Qi-chun, LI Zheng-kui, WANG Yi-chao, <i>et al.</i> (83)
Catalytic Hydrodechlorination of 2,4-Dichlorophenol over Pd/TiO ₂	ZHANG Yin, SHAO Yun, CHEN Huan, <i>et al.</i> (88)
Effects of pH Value on the Adsorption and Degradation of 2,4-DCP by Nanoscale Zero-Valent Iron	FENG Li, GE Xiao-peng, WANG Dong-sheng, <i>et al.</i> (94)
Inactivation of the Chlorine-resistant Bacteria Isolated from the Drinking Water Distribution System	CHEN Yu-qiao, DUAN Xiao-di, LU Pin-pin, <i>et al.</i> (104)
Risk Assessment of the Farmland and Water Contamination with the Livestock Manure in Anhui Province	SONG Da-ping, ZHUANG Da-fang, CHEN Wei (110)
Analysis of Membrane Fouling Genesis in Nanofiltration Process for Advanced Treatment of Dyeing and Finishing Wastewater	CAO Xiao-bing, LI Tao, ZHOU Lü, <i>et al.</i> (117)
Experimental Research on Combined Water and Air Backwashing Reactor Technology for Biological Activated Carbon	XIE Zhi-gang, QIU Xue-min, ZHAO Yan-ling (124)
Impacts of pH and Surfactants on Adsorption Behaviors of Norfloxacin on Marine Sediments	PANG Hui-ling, YANG Gui-peng, GAO Xian-chi, <i>et al.</i> (129)
Adsorption Characteristic and Form Distribution of Silicate in Lakes Sediments	LÜ Chang-wei, CUI Meng, GAO Ji-mei, <i>et al.</i> (135)
Adsorption of Methylene Blue from Water by the Biochars Generated from Crop Residues	XU Ren-kou, ZHAO An-zhen, XIAO Shuang-cheng, <i>et al.</i> (142)
Adsorption and Desorption of Dyes by Waste-Polymer-Derived Activated Carbons	LIAN Fei, LIU Chang, LI Guo-guang, <i>et al.</i> (147)
Study on the Sorption Behavior of Tetracycline onto Activated Sludge	CHEN Rui-ping, ZHANG Li, YU Jie, <i>et al.</i> (156)
<i>In situ</i> Experimental Research on Natural Attenuation of Oil Pollutants in a Gas Station	JIA Hui, WU Xiao-feng, HU Li-ming, <i>et al.</i> (163)
Influence and Assessment of Biochar on the Bioavailability of Chlorobenzenes in Soil	SONG Yang, WANG Fang, YANG Xing-lun, <i>et al.</i> (169)
Control for MUCT Process Operation Using Nitrate Concentration in the Secondary Anoxic Zone	WANG Xiao-ling, JIN Yun, GAO Shang (175)
Modeling Formation of Aerobic Granule and Influence of Hydrodynamic Shear Forces on Granule Diameter	DONG Feng, ZHANG Han-min, YANG Feng-lin (181)
Effect of Different Sludge Retention Time (SRT) on Municipal Sewage Sludge Bioleaching Continuous Plug Flow Reaction System	LIU Fen-wu, ZHOU Li-xiang, ZHOU Jun, <i>et al.</i> (191)
Biological Phosphorus Removal in Intermittent Aerated Biological Filter	ZENG Long-yun, YANG Chun-ping, GUO Jun-yuan, <i>et al.</i> (197)
Methane Production by Anaerobic Co-digestion of Chicken Manure and <i>Spartina alterniflora</i> Residue After Producing Methane	CHEN Guang-yin, CHANG Zhi-zhou, YE Xiao-mei, <i>et al.</i> (203)
Uncertainty Analysis for Evaluating Methane Emissions from Municipal Solid Waste Landfill in Beijing	CHEN Cao-cao, LIU Chun-lan, LI Zheng, <i>et al.</i> (208)
Electricity Generation of Surplus Sludge Microbial Fuel Cells Enhanced by Additional Enzyme	YANG Hui, LIU Zhi-hua, LI Xiao-ming, <i>et al.</i> (216)
Construction of Electrochemiluminescence System for Harmful Algae Detection	ZHU Xia, ZHEN Yu, MI Tie-zhu, <i>et al.</i> (222)
Mechanism of the Inhibitory Action of Allelochemical Dibutyl Phthalate on Algae <i>Gymnodinium breve</i>	BIE Cong-cong, LI Feng-min, WANG Yi-fei, <i>et al.</i> (228)
Toxic Effects of Nano-TiO ₂ on <i>Gymnodinium breve</i>	LI Feng-min, ZHAO Wei, LI Yuan-yuan, <i>et al.</i> (233)
Spatial Distribution of Three Endocrine Disrupting Chemicals in Sediments of the Suzhou Creek and Their Environmental Risks	LI Yang, HU Xue-feng, OH Kokyo, <i>et al.</i> (239)
Level, Distribution, and Source Identification of Polychlorinated Naphthalenes in Surface Agricultural Soils from an Electronic Waste Recycling Area	WANG Xue-tong, JIA Jin-pan, LI Yuan-cheng, <i>et al.</i> (247)
Heavy Metal Pollution in Street Dusts from Different Functional Zones of Luoyang City and Its Potential Ecological Risk	LIU De-hong, WANG Fa-yuan, ZHOU Wen-li, <i>et al.</i> (253)
Soil Contamination and Assessment of Heavy Metals of Xiangjiang River Basin	LIU Chun-zao, HUANG Yi-zong, LEI Ming, <i>et al.</i> (260)
Characteristics of Heavy Metals in Soil Profile and Pore Water Around Hechi Antimony-Lead Smelter, Guangxi, China	XIANG Meng, ZHANG Guo-ping, LI Ling, <i>et al.</i> (266)
Speciation Transformation and Behavior of Arsenic in Soils Under Anoxic Conditions	WU Xi, XU Li-ying, ZHANG Xue-xia, <i>et al.</i> (273)
Remediation of Chromium(VI) Contaminated Soils Using Permeable Reactive Composite Electrodes Technology	FU Rong-bing, LIU Fang, MA Jin, <i>et al.</i> (280)
Determination and Characterization on the Capacity of Humic Acid for the Reduction of Divalent Mercury	JIANG Tao, WEI Shi-qiang, LI Xue-mei, <i>et al.</i> (286)
Effect of Zn (II) on Microbial Activity in Anaerobic Acid Mine Drainage Treatment System with Biomass as Carbon Source	LI Shao-jie, CHEN Tian-hu, ZHOU Yue-fei, <i>et al.</i> (293)
Diversity of Culturable Butane-oxidizing Bacteria in Oil and Gas Field Soil	ZHANG Ying, LI Bao-zhen, YANG Jin-shui, <i>et al.</i> (299)
Microbial Community Structure Analysis of Unexploited Oil and Gas Fields by PCR-DGGE	MAN Peng, QI Hong-yan, HU Qing, <i>et al.</i> (305)
Community Diversity of Bacteria and Arbuscular Mycorrhizal Fungi in the Rhizosphere of Eight Plants in Liudaogou Watershed on the Loess Plateau China	FENG Ye, TANG Ming, CHEN Hui, <i>et al.</i> (314)
Dynamics of Degradation of Oxytetracycline of Pig and Chicken Manures in Soil and Mechanism Investigation	ZHANG Jian, GUAN Lian-zhu, YAN Li (323)
Influence of Impurities on Waste Plastics Pyrolysis: Products and Emissions	ZHAO Lei, WANG Zhong-hui, CHEN De-zhen, <i>et al.</i> (329)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2012年1月15日 33卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 1 Jan. 15, 2012

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市 2871 信箱(海淀区双清路 18 号, 邮政编码: 100085) 电话: 010-62941102, 010-62849343 传真: 010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel: 010-62941102, 010-62849343; Fax: 010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码: 100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street , Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话: 010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel: 010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京 399 信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian) , P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 70.00 元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行