

青岛近海夏、秋季生物气溶胶分布特征研究

徐文兵, 祁建华*, 金川, 高冬梅, 李梦菲, 李琳, 黄帅, 张海东

(中国海洋大学海洋环境与生态教育部重点实验室, 青岛 266100)

摘要:于 2009 年 7~11 月采用 Andersen 生物粒子采样器在青岛近海连续采集了生物气溶胶样品, 应用荧光显微镜计数法和平板计数法测定了总微生物(包括“可培养类”和“非可培养类”)、“可培养类”陆源及海源微生物的浓度. 结果表明, 总微生物中“非可培养类”微生物平均占总微生物的 99.58%; “可培养类”微生物平均仅为 0.42%; 海源细菌和海源真菌占“可培养类”微生物平均比例(分别为 18.99% 和 45.47%) 高于陆源细菌和陆源真菌(分别为 16.91% 和 18.63%); 说明海源细菌和海源真菌对“可培养类”微生物的贡献远大于陆源类, 尤其是海源真菌的贡献较大, 可见, 青岛近海生物气溶胶的组成和分布明显受到海洋的影响. 总微生物浓度秋季为 181 682.5 CFU/m³, 明显高于夏季(159 704.2 CFU/m³), 陆源细菌、海源细菌及海源真菌浓度也是秋季大于夏季; 总微生物粒径呈现对数正态分布, 主要分布在粗粒子(>2.1 μm)中; 最高峰出现在 3.3~4.7 μm, 0.65~1.1 μm 粒径的粒子浓度最低. “可培养类”细菌呈现偏态分布, 最高峰出现在 >7 μm 的粗粒子中, 最低峰出现在 0.65~1.1 μm 的细粒子中. “可培养类”真菌粒径分布近似对数正态分布, 最高峰为 2.1~3.3 μm 的粗粒子, 0.65~1.1 μm 的细粒子浓度最低.

关键词:生物气溶胶; 微生物; 真菌; 细菌; 青岛

中图分类号: X831; X513 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2011)01-0009-09

Concentration Distribution of Bioaerosol in Summer and Autumn in the Qingdao Coastal Region

XU Wen-bing, QI Jian-hua, JIN Chuan, GAO Dong-mei, LI Meng-fei, LI Lin, HUANG Shuai, ZHANG Hai-dong
(Key Laboratory of Marine Environmental and Ecology, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: Bioaerosol samples were collected using an Andersen sampler from Jul. 2009 to Nov. 2009 in the Qingdao coastal region. Total microbe (including ‘culturable microbe’ and ‘non-culturable microbe’), the terrigenous and marine microbe were analyzed by the counting methods of fluorescence microscope and Petri dishes containing agar media. The results showed that the proportion of non-culturable microbe to total microbe was as high as 99.58% of total on average, while the average proportion of culturable microbe to total microbe was 0.42%. The average proportions of marine bacteria/fungi did to the culturable microbe (18.99% and 45.47% respectively) were more than that of terrigenous bacteria/fungi (16.91% and 18.63% respectively), therefore marine bacteria/fungi contributed more to the microbe than terrigenous bacteria/fungi. It could be seen that the composition and concentration distribution were greatly affected by the ocean in the Qingdao coastal region. The average concentrations of total microbe were higher in Autumn (181 682.5 CFU/m³) than that in Summer (159 704.2 CFU/m³), and that of terrigenous bacteria, marine bacteria/fungi were also higher in Autumn than in Summer. The particle sizes of total microbe presented a log-normal distribution in summer and autumn, and the total microbe mainly existed in coarse particles larger than 2.1 μm. There was the highest proportion of total microbe in 3.3-4.7 μm particles, the lowest one in 0.65-1.1 μm. The terrigenous and marine bacterial particle sizes showed a skew distribution with a higher value in large particles (>7 μm) and a lower one in fine particles (0.65-1.1 μm). The terrigenous and marine fungal particle sizes showed a log-normal distribution in summer and autumn, and the highest concentration proportion existed in particles with diameter of 2.1-3.3 μm.

Key words: bioaerosol; microbe; fungi; bacteria; Qingdao

生物气溶胶是大气气溶胶的重要组成部分, 包括空气中的细菌、真菌、病毒、尘螨、花粉、孢子和动植物碎裂分解体等具有生命活性的微小粒子^[1, 2], 主要来源于土壤、水体、动物、植物和人类本身^[3, 4]. 生物气溶胶中的微生物可以引发人类急、慢性疾病^[5-8]、影响空气质量, 还可以作为冰核(ice nuclei, IN)和云凝结核(cloud condensation nuclei, CCN)^[9, 10], 间接影响全球气候变化^[11]. 因此, 近几十年来生物气溶胶日益成为国际研究的热点.

生物气溶胶浓度具有明显的季节变化特征. 研究发现加拿大的蒙特利尔^[12]和墨西哥^[13]大气中的细菌浓度夏季高于春、秋季; 华盛顿^[14]细菌浓度晚夏最高, 冬季则最低; 空气真菌最高浓度出现在夏季

收稿日期: 2010-02-09; 修订日期: 2010-04-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(40705047); 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2006CB403703)

作者简介: 徐文兵(1983~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为环境科学, E-mail: xwb14370743@126.com

* 通讯联系人, E-mail: qjianhua@ouc.edu.cn

和秋季,最低在冬季;在美国汉福德^[15]夏季由于温度较高,空气细菌的浓度明显高于其它季节,虽然冬季多湿多雨,其细菌的浓度高于春季和秋季;北京^[16, 17]室外空气中细菌和真菌浓度夏秋较高.生物气溶胶浓度在空间上变化也较大.南非的约翰内斯堡^[18]空气中细菌浓度的变化范围为 175 ~ 8 000 CFU/m³,瑞典^[19]为 2 000 ~ 4 000 CFU/m³,加拿大的蒙特利尔^[13]为 50 ~ 5 730 CFU/m³,北京^[17]为 71 ~ 22 100 CFU/m³,在日本的横滨^[20]为 13 ~ 2 750 CFU/m³.生物气溶胶的粒径分布也随时间和空间变化.瑞典^[19]空气中,约有 50% 的细菌粒径 > 8.0 μm.北京市^[21]夏季空气细菌呈偏态分布, > 2.0 μm 的粒子约占总数的 80.0%;空气真菌呈对数正态分布, 1.0 ~ 6.0 μm 的粒子约占 70.0%;空气放线菌粒度分布与正态分布恰好相反, > 8.2 μm 和 < 1.0 μm 的粒子约占 60.0%.可见,生物气溶胶的浓度、粒径在不同季节和区域具有不同的分布特征,这可能与来源、气象状况、地理位置、培养介质及采样方法有关^[22].

生物气溶胶的分析方法主要有培养基法^[12-21]、非培养基法^[23]和在线分析技术^[24-26].其中培养基法相对较成熟,因此目前生物气溶胶中微生物的采样及检测方法常用平板计数法.但是这种方法检测到的仅仅是生物气溶胶中“可培养类”微生物,而“可培养类”仅占生物气溶胶中微生物总数的不到 1%^[27, 28].如果仅对“可培养类”生物气溶胶进行研究,则不能反映生物气溶胶的真正组成特性及其环境效应.

本研究主要提出了生物气溶胶中总微生物(包括“可培养类”和“非可培养类”)的检测方法,分析青岛近海地区生物气溶胶中微生物的组成特征及各类微生物浓度和粒径的夏、秋季节分布特征,这对于了解沿海生物气溶胶特性及其对大气环境和人体健康的影响具有重要意义.

1 材料与方 法

1.1 采样点

采样点设在位于青岛滨海旅游景区的中国海洋大学测试中心楼顶(36°6'N, 120°19'E, 高度约 7.0 m),距海边 1.0 km 左右(见图 1).四周绿地面积约 50%,附近为居民生活区.

1.2 采样仪器及采样时间

用于 FA-1 筛孔撞击式空气微生物采样器(辽阳市康洁仪器研究所)采集生物气溶胶样品,按粒

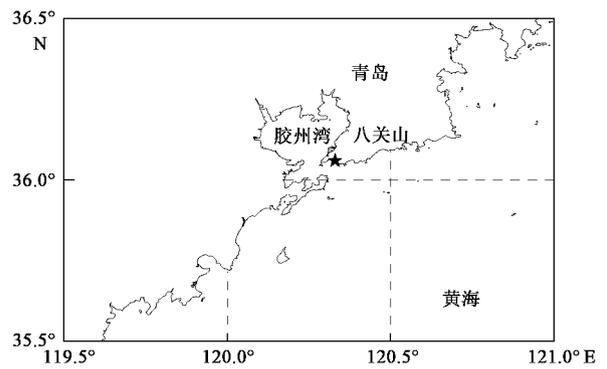


图 1 采样点示意

Fig. 1 Location of the sampling station

径分为 6 级 (> 7.0 μm、4.7 ~ 7.0 μm、3.3 ~ 4.7 μm、2.1 ~ 3.3 μm、1.1 ~ 2.1 μm、0.65 ~ 1.1 μm),采样流量为 28.3 L/min,采样高度距离楼顶 1.5 m.于 2009 年 7 ~ 11 月,每月固定于 5 日、15 日、25 日 08:00 ~ 09:00 采集生物气溶胶样品.

1.3 样品采集及计数方法

1.3.1 平板法——用于测定“可培养类”微生物

采用 9.0 cm 的玻璃平板收集生物气溶胶中“可培养类”细菌和真菌的样品.具体方法参见文献[29].

1.3.2 滤膜法——用于测定总微生物

采用灭菌的聚碳酸酯滤膜收集生物气溶胶中总微生物(包括“可培养类”和“非可培养类”)样品,与平板法同步采样.样品采集 30 min,先制备菌悬液,制片后在显微镜下观察计数.

(1)菌悬液制备 取适当面积的样品滤膜放入无菌磷酸盐缓冲液(pH = 7.0)中,加入吐温 80,淋洗、振荡后取出 20 mL 放入无菌试管中,加入甲醛封口后保存于 4℃ 冰箱中.

(2)制片 用 Whatman 黑色核孔滤膜过滤菌悬液,在负压条件下,抽滤至滤膜刚好呈湿润状态;加入 DAPI 避光反应 8 min,再次抽滤至干后,在载玻片上加一小滴无荧光镜油,贴上滤膜,盖紧滤膜,密封盖玻片 4 周,保存于 -20℃.

(3)显微镜计数 在荧光显微镜蓝光道镜条件下,随机取 10 个视野,记录具有细菌形态呈亮绿色的菌个数.根据视野中的平均菌个数计算菌悬液中微生物浓度,公式如下:

$$N = \frac{N_a \cdot S \cdot V_2}{S_f \cdot V_1} \quad (1)$$

式中, N 为样品微生物粒子数,单位为个(CFU); N_a 为各视野平均微生物粒子数,单位为个(CFU); S 为

滤膜实际过滤面积,单位为 mm^2 ; S_f 为显微镜视野面积,单位为 mm^2 ; V_1 为过滤样品量,单位为 L; V_2 为磷酸盐缓冲液体积,单位为 L.

1.4 计算方法

生物气溶胶中微生物浓度:

$$c_i = \frac{N_i}{Q \cdot t} \times 1000 \quad (2)$$

$$c = \sum c_i \quad N = \sum N_i \quad (3)$$

微生物各级菌落百分比:

$$P_i = \frac{N_i}{N} \times 100\% = \frac{c_i}{c} \times 100\% \quad (4)$$

式中, c_i 和 c 分别为采样器各级和 6 级总微生物浓度 (CFU/m^3); N_i 和 N 分别为采样器各级和 6 级总菌数 (CFU); Q 为采样器空气流量 (L/min); t 为采样时间 (min); P_i 为各级带菌粒子百分比.

2 结果与讨论

2.1 滤膜法实验条件优化

2.1.1 振荡时间和振荡转速的确定

采集生物气溶胶样品 30 min, 取适当面积的样品滤膜放入盛有磷酸盐缓冲液的三角烧瓶中, 然后分别保持振荡转速 (120 r/min) 和振荡时间 (30 min) 不变, 改变振荡时间及转速. 如图 2 所示, 振荡时间为 10 ~ 30 min 的过程中, 微生物浓度呈上升趋势, 30 min 之后浓度基本不变, 因此确定 30 min 为最适宜的振荡时间. 转速为 150 r/min 的振荡条件下微生物浓度最高, 所以确定适宜的振荡转速为

150 r/min.

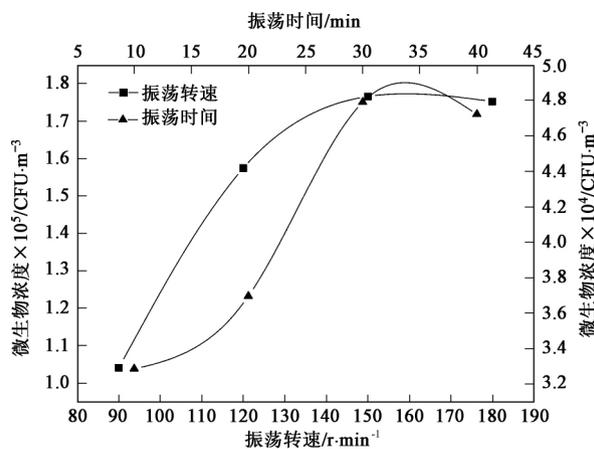


图 2 不同振荡时间和振荡转速条件下的总微生物浓度
Fig. 2 Concentrations of total microbe in the different surging time and surging rotate speeds

2.1.2 采样时间段的确定

采集 7 个生物气溶胶样品, 采样时间分别设为 5、15、25、30、35、45 和 60 min. 从图 3(a) 看出, 微生物浓度随着采样时间的增加而降低, 因为撞击式微生物采样器在采样过程中微生物有一定损伤, 且随采样时间增加而增大, 因此采样时间不宜过长^[30]. 由图 3(b) 看出, 在 100 倍物镜下, 采样时间为 30 min、35 min 时各级在 10 个视野的平均个数最高. 另外微生物显微镜镜鉴结果每个视野平均 30 个菌数为最佳, 综合考虑, 所以确定最适宜的采样时间段为 30 min.

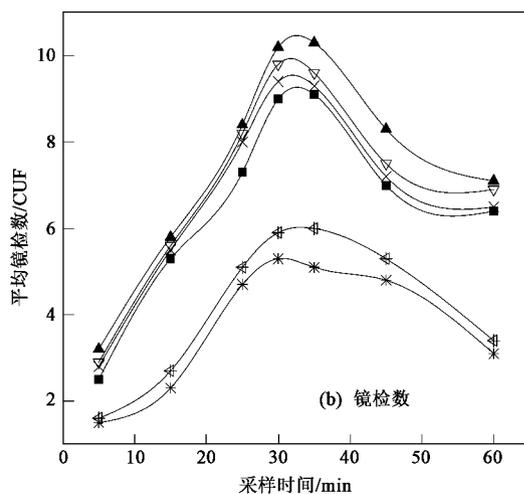
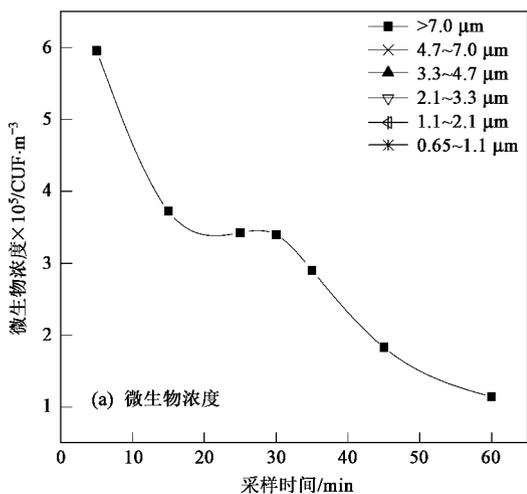


图 3 不同采样时间下的生物气溶胶中微生物浓度及镜检数

Fig. 3 Concentrations of total microbe and observed microbial numbers using fluorescence microscope in the different sampling time

2.1.3 采样时间段的确定

随机采集 3 d 的生物气溶胶样品,分别在每天的 06:00、08:00、10:00、12:00、14:00、16:00 和 18:00 采集样品,每个样品采集 30 min. 从图 4 看出生物气溶胶中总微生物浓度在 08:00 时最高,因此选取 08:00~09:00 为采样时间段.

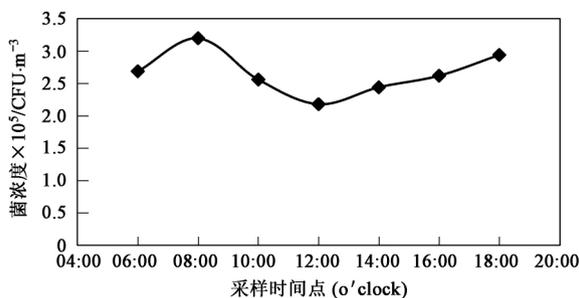


图 4 不同采样时间段总微生物浓度

Fig. 4 Concentrations of total microbe in the different sampling time

2.2 青岛近海生物气溶胶的组成特征

可以看出 2009 年 7~11 月,在青岛地区采集的生物气溶胶中,“非可培养类”微生物所占比例很大,平均占总微生物的 99.58% (表 1). “可培养类”微生物只是生物气溶胶中很小的一部分,但是所占

比例随季节变化较大,在 0.25%~0.57% 之间变动,平均值为 0.42%. “可培养类”微生物可以分为陆源细菌、海源细菌、陆源真菌和海源真菌 4 类. 陆源细菌占“可培养类”微生物和总微生物的比例分别在 4.56%~31.44% 和 0.03%~0.08% 之间,平均为 16.91% 和 0.06%; 海源细菌占“可培养类”微生物和总微生物比例比陆源细菌稍大,分别在 13.21%~31.7% 和 0.06%~0.09% 之间,平均为 18.99% 和 0.07%; 陆源真菌占“可培养类”微生物和总微生物比例分别在 0~33.01% 和 0~0.15% 之间,平均为 18.63% 和 0.07%; 海源真菌占“可培养类”微生物和总微生物比例最大,分别在 22.76%~73.2% 和 0.06%~0.40% 之间,平均为 45.47% 和 0.22%. 海源细菌及真菌占“可培养类”微生物和总微生物的比例大于陆源类,其中海源真菌所占比例最大,说明青岛近海生物气溶胶中海源菌贡献远大于陆源菌,而且海源真菌的贡献较大. 在青岛近海,“可培养类”微生物占总微生物比例不到 1.00%,而“可培养类”细菌及真菌占总微生物比例还不到 0.50%,这与其他研究结果^[27, 28]类似. 可见,如果仅对“可培养类”生物气溶胶进行研究,则不能反映生物气溶胶的真正组成特性及其环境效应.

表 1 2009 年青岛近海生物气溶胶中各类微生物所占比例/%

Table 1 Proportions of bioaerosol in every microbial category in the Qingdao coastal region in 2009/%

项目	微生物种类	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月
“非可培养类”占总微生物比例		99.73	99.53	99.43	99.45	99.75
“可培养类”占总微生物比例	陆源细菌	0.06	0.06	0.03	0.08	0.08
	海源细菌	0.06	0.06	0.09	0.06	0.08
	陆源真菌	0.08	0.15	0.10	0	0.04
	海源真菌	0.08	0.19	0.35	0.40	0.06
四类微生物占“可培养类”微生物比例	陆源细菌	20.94	12.32	4.56	15.29	31.44
	海源细菌	22.87	13.21	15.65	11.53	31.71
	陆源真菌	28.36	33.01	17.69	0.00	14.09
	海源真菌	27.83	41.46	62.13	73.18	22.76

2.3 生物气溶胶浓度分布特征

2.3.1 总微生物浓度分布特征

图 5 给出的是 2009 年 7~11 月青岛近海生物气溶胶中总微生物浓度的季节和月际变化分布. 青岛近海生物气溶胶中总微生物秋季浓度为 181 682.5 CFU/m³, 明显高于夏季 (159 704.2 CFU/m³). 从图 5 (b) 可以看出总微生物浓度具有明显的月分布特征. 总微生物浓度月变化范围为 124 797.4~187 538.3 CFU/m³, 平均值为 167 826.3 CFU/m³. 2009 年的 9 月和 10 月总微生物浓度很接

近,分别出现了最高值 (187 538.3 CFU/m³) 和次高值 (182 975.4 CFU/m³), 2009 年的 7 月和 11 月总微生物浓度相当,最低值 (124 797.4 CFU/m³) 出现在 2009 年 8 月. 8 月平均气温最高为 25℃, 紫外线强度较强,可能不太适宜微生物的生长繁殖,同时 8 月 15 日在采样前 4 h 有降雨,对颗粒物有一定的清除作用. 秋季 (9~11 月) 总微生物浓度略高于夏季 (7、8 月),可能是由于夏季气温较高,气候干燥,而秋季气候比较温和,微生物源也比较多,比较适宜于微生物的生长繁殖.

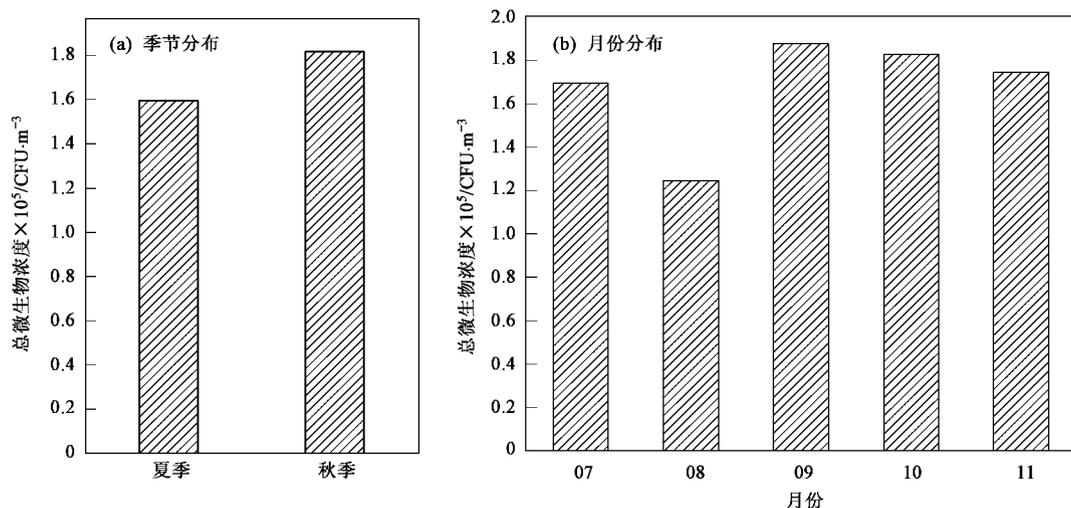


图5 2009年7~11月青岛近海生物气溶胶中总微生物浓度月、季分布特征

Fig.5 Monthly and seasonal distribution characteristics of total microbial concentrations in the Qingdao coastal region from Jul. 2009 to Nov. 2009

2.3.2 生物气溶胶中“可培养类”微生物浓度分布特征

(1)“可培养类”微生物中陆源菌、海源菌、总细菌、总真菌及总菌浓度分布特征

图6给出的是2009年7~11月青岛近海生物气溶胶中“可培养类”微生物陆源菌、海源菌、总细菌、总真菌及总可培养菌浓度月、季分布特征。从图6(a)可以看出除了陆源菌外,海源菌,总细菌,总真菌及总可培养菌浓度均是秋季高于夏季。从图6(b)

可以看出采样期间总细菌与陆源菌浓度月变化范围不大,分别为 $149.4 \sim 274.4 \text{ CFU/m}^3$ 和 $153.1 \sim 265.3 \text{ CFU/m}^3$;平均值分别为 221.5 CFU/m^3 、 215.7 CFU/m^3 。海源菌、总真菌、总菌浓度变化范围较大,分别为 $231.7 \sim 848.4$ 、 $160.1 \sim 850.5$ 和 $434.5 \sim 1065.5 \text{ CFU/m}^3$;平均值分别为 492.9 、 487.2 和 708.7 CFU/m^3 。采样期间“可培养类”微生物中总细菌浓度均小于总真菌浓度,海源菌浓度远大于陆源菌,说明青岛近海生物气溶胶“可培养类”微生物中

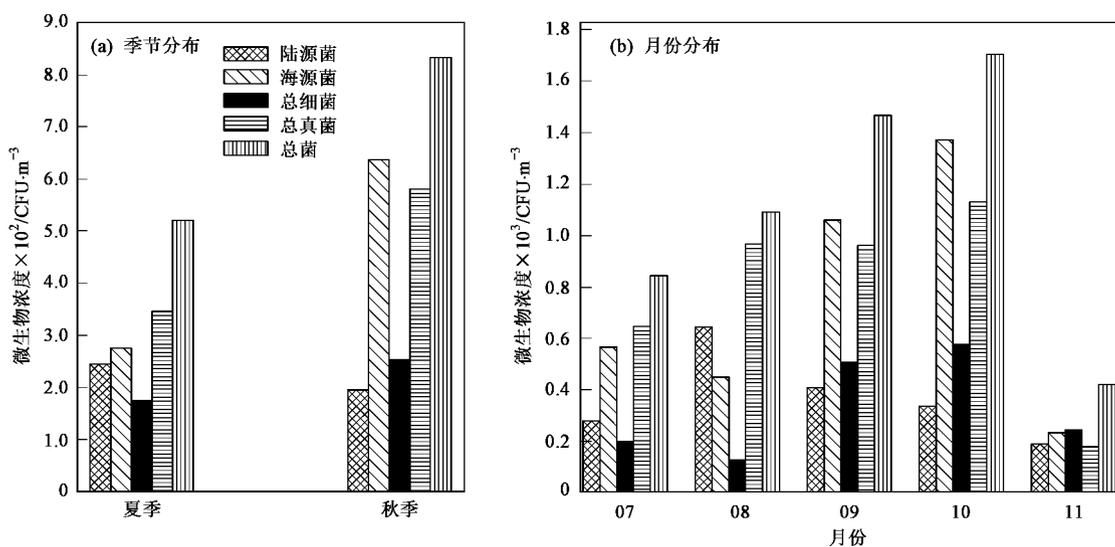


图6 2009年7~11月青岛近海生物气溶胶“可培养类”微生物中陆源菌、海源菌、总细菌、总真菌及总菌浓度月、季分布特征

Fig.6 Monthly and seasonal distribution characteristics of concentrations for culturable terrestrial microbe, marine microbe, total bacteria, total fungi and total microbe in the Qingdao coastal region from Jul. 2009 to Nov. 2009

真菌的贡献远大于细菌,海源菌贡献远大于陆源菌.可见,青岛近海生物气溶胶的组成和分布明显受到海洋的影响.

(2)“可培养类”微生物中细菌浓度分布特征

图 7 给出的是 2009 年 7~11 月青岛近海生物气溶胶中“可培养类”微生物陆源细菌及海源真菌浓度月、季分布特征.采样期间陆源细菌、海源细菌月平均浓度变化范围分别为 48.6~153.1 CFU/m³和 77.3~137.8 CFU/m³;平均值分别为 101.2 CFU/m³和 120.2 CFU/m³[图 7(a)].陆源细菌浓度最高值(153.1 CFU/m³)出现在 2009 年

10 月,次高值(136.6 CFU/m³)在 2009 年 11 月,2009 年 9 月出现最低值(48.6 CFU/m³).海源细菌浓度与陆源细菌浓度月变化趋势有所不同,但海源细菌月平均浓度基本上高于陆源细菌浓度.海源细菌浓度最高值(166.4 CFU/m³)出现在 2009 年 9 月,次高值(137.8 CFU/m³)也在 2009 年 11 月,最低值出现在 2009 年 8 月(77.3 CFU/m³).整体上来看秋季(9~11 月)细菌浓度明显稍高于夏季(7、8 月),见图 7(b),可能是由于秋季与夏季相比,秋季较适宜于微生物的生长繁殖.

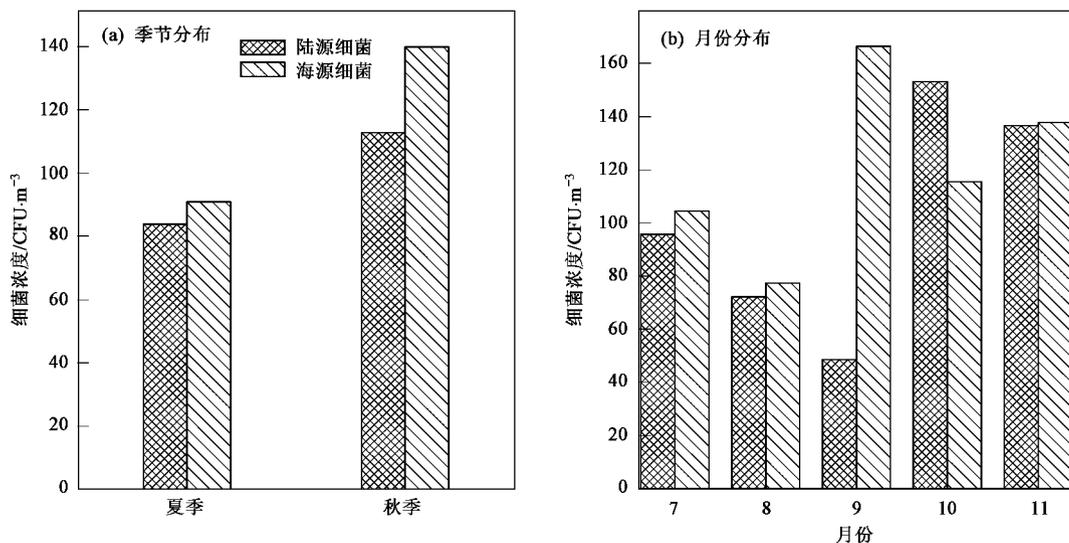


图 7 2009 年 7~11 月青岛近海生物气溶胶中“可培养类”细菌浓度月、季分布特征

Fig. 7 Monthly and seasonal distribution characteristics of culturable bacterial concentrations in the Qingdao coastal region from Jul. 2009 to Nov. 2009

(3)“可培养类”微生物中真菌浓度分布特征

图 8 给出的是 2009 年 7~11 月青岛近海生物气溶胶中“可培养类”微生物陆源真菌及海源真菌浓度月、季分布特征.从图 8(a)可以看出海源真菌浓度秋季高于夏季,但是陆源真菌浓度夏季高于秋季.陆源真菌、海源真菌月平均浓度变化范围分别为 0~193.2 CFU/m³、98.9~732.6 CFU/m³;平均值为 114.5、372.7 CFU/m³.陆源真菌浓度最高值(193.2 CFU/m³)出现在 2009 年 8 月,次高值(188.5 CFU/m³)出现在 2009 年 9 月,2009 年 10 月未检出陆源真菌[图 8(b)].海源真菌浓度变化趋势与陆源真菌有所不同,基本上高于陆源真菌浓度,表明海源真菌对总真菌的贡献高于陆源真菌,与其它研究^[29, 31]的结果一致.海源真菌最高值(732.6 CFU/m³)出现在 2009 年 10 月,最低值(98.9

CFU/m³)出现在 2009 年 11 月.夏季陆源真菌浓度较高,秋季 10、11 月较低,海源真菌浓度 10 月出现了最高值.可能是因为 10 月采样前后风向变化较大,采样过程中风主要由海洋吹向陆地,真菌浓度可能受海洋及风向的双重影响,所以该月出现海源真菌浓度较高,而陆源真菌浓度最低,导致秋季陆源真菌平均浓度低于夏季.

2.4 生物气溶胶粒径分布特征

2.4.1 生物气溶胶中总微生物粒径夏、秋季分布特征

图 9 给出的是青岛近海生物气溶胶中总微生物粒径的夏、秋季分布特征.从图 9 中可以看出总微生物粒径呈现对数正态分布.夏、秋季最高峰都出现在 3.3~4.7 μm,所占比例分别为 22.0%、23.0%,夏季略低于秋季.2.1~3.3 μm 粒级所占比例次之,分

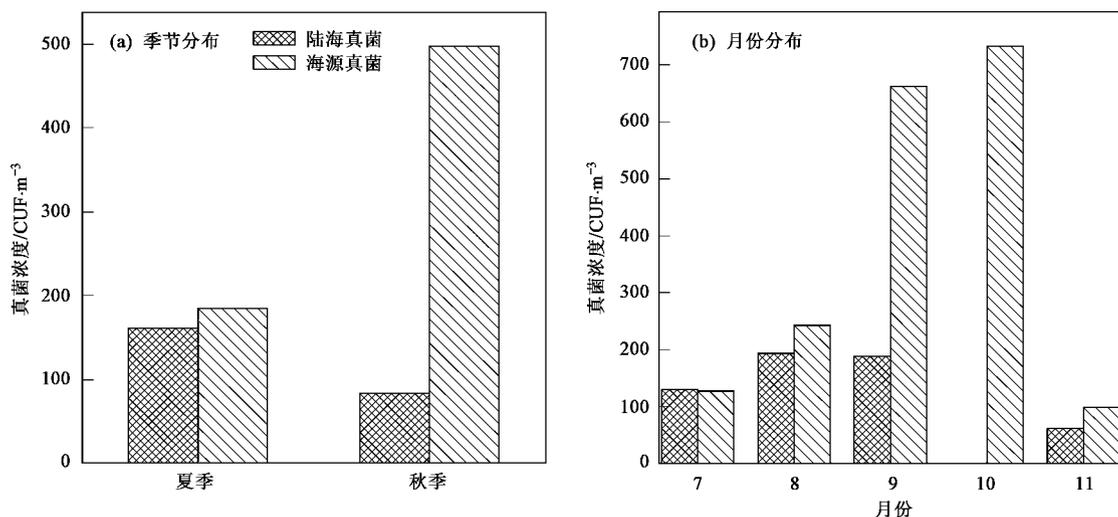


图 8 2009 年 7 月至 11 月青岛近海生物气溶胶中“可培养类”真菌浓度月、季分布特征

Fig. 8 Monthly and seasonal distribution characteristics of culturable fungal concentrations in the Qingdao coastal region from Jul. 2009 to Nov. 2009

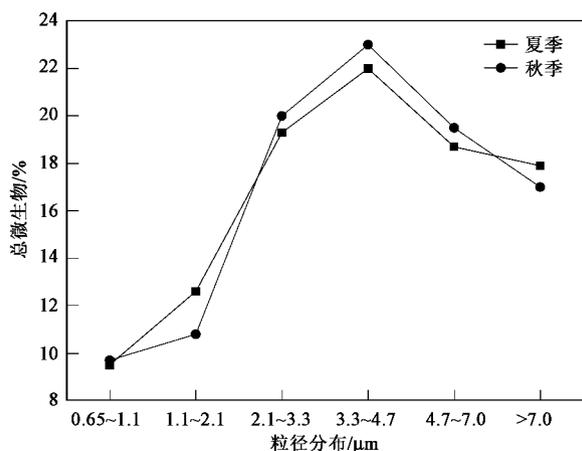


图 9 2009 年夏、秋季青岛近海生物气溶胶中总微生物粒径分布特征

Fig. 9 Distribution characteristics of total microbial particle size in summer and autumn 2009 in the Qingdao coastal region

别为 19.3% 和 20.0%, 4.7~7.0 μm 粒径所占比例分别为 18.7% 和 19.5%。0.65~1.1 μm 粒径所占比例最低, 分别为 9.5% 和 9.7%。总微生物主要分布在粗粒子 (> 2.1 μm) 中, 粗粒子比例夏季 (77.9%) 与秋季 (79.4%) 相差不大。

2.4.2 生物气溶胶中“可培养类”细菌粒径夏、秋季分布特征

图 10 给出的是青岛近海生物气溶胶中“可培养类”细菌粒径的夏、秋季分布特征。从图 10 中可以看出陆源细菌及海源细菌粒径均呈现偏态分布, 这与其他研究结果^[21, 29]一致。陆源细菌粒径分布最

高峰均出现在 >7 μm 的粗粒子中, 夏季低于秋季, 分别为 25.4% 和 41.5%, 最低峰出现在 0.65~1.1 μm 的细粒子中, 所占比例夏季 (2.1%) 低于秋季 (6.0%), 与 Lighthart 等^[15]的研究结果相似。海源细菌粒径分布的最高峰同样也出现在 >7 μm 的粒子中, 夏、秋季所占比例分别为 42.4% 和 40.6%, 最低峰也出现在 0.65~1.1 μm。可见, 陆源细菌、海源细菌主要存在于粗粒子中, 陆源细菌粗粒子比例秋季 (86.8%) 与夏季 (84.9%) 相当, 粗粒子中海源细菌的比例秋季 (95.4%) 与夏季 (92.9%) 相近。

2.4.3 生物气溶胶中“可培养类”真菌粒径夏、秋季分布特征

图 11 给出的是青岛近海生物气溶胶“可培养类”真菌粒径的夏、秋季分布特征。从图 11 中可以看出陆源真菌及海源真菌粒径均呈现对数正态分布, 与之前的研究^[16, 29, 32]结果一致。陆源真菌粒径分布的最高峰出现在 2.1~3.3 μm, 夏季明显高于秋季, 所占比例分别为 59.6%、32.8%, 最低峰出现在 0.65~1.1 μm; 海源真菌粒径分布的最高峰也出现在 2.1~3.3 μm, 所占比例夏季 (33.8%) 低于秋季 (38.3%), 最低峰仍出现在 0.65~1.1 μm。陆源真菌、海源真菌仍主要存在于粗粒子中, 在其它区域^[15, 21, 33]也有过类似发现。图 11 中可以看出青岛近海陆源真菌粗粒子比例夏季 (89.4%) 高于秋季 (75.2%), 秋季细粒子比例较大, 达到了 24.8%, 海源真菌粗粒子比例秋季 (82.4%) 高于夏季 (66.5%), 夏季海源真菌细粒子比例非常高, 达 32.8%。

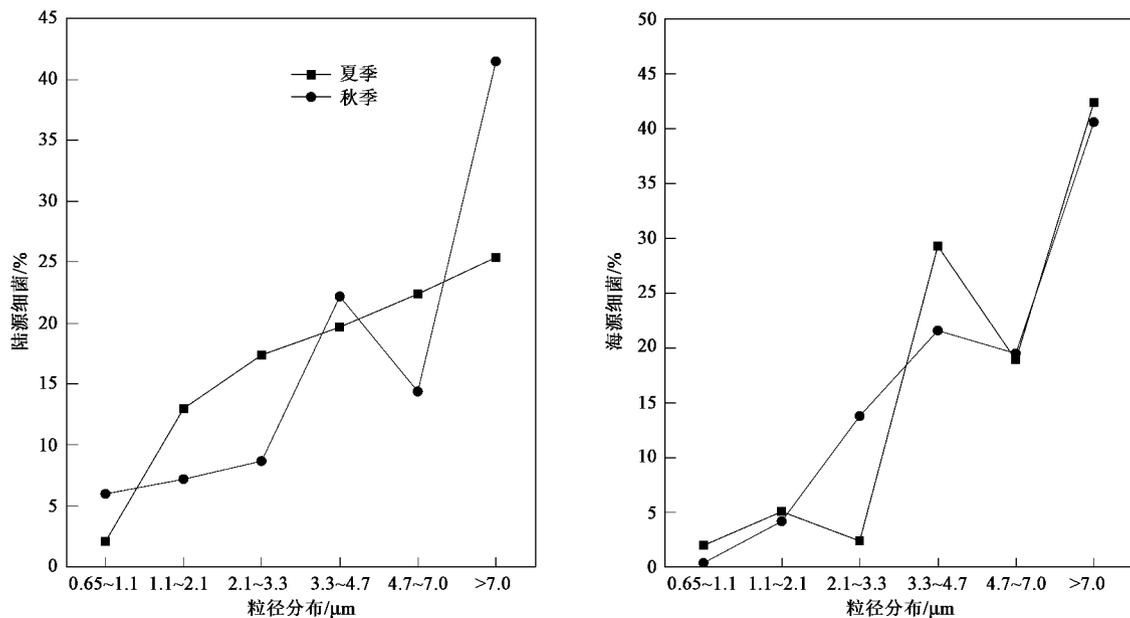


图 10 2009 年夏、秋季青岛近海生物气溶胶中“可培养类”细菌粒径分布特征

Fig. 10 Distribution characteristics of culturable bacterial particle size in summer and autumn 2009 in the Qingdao coastal region

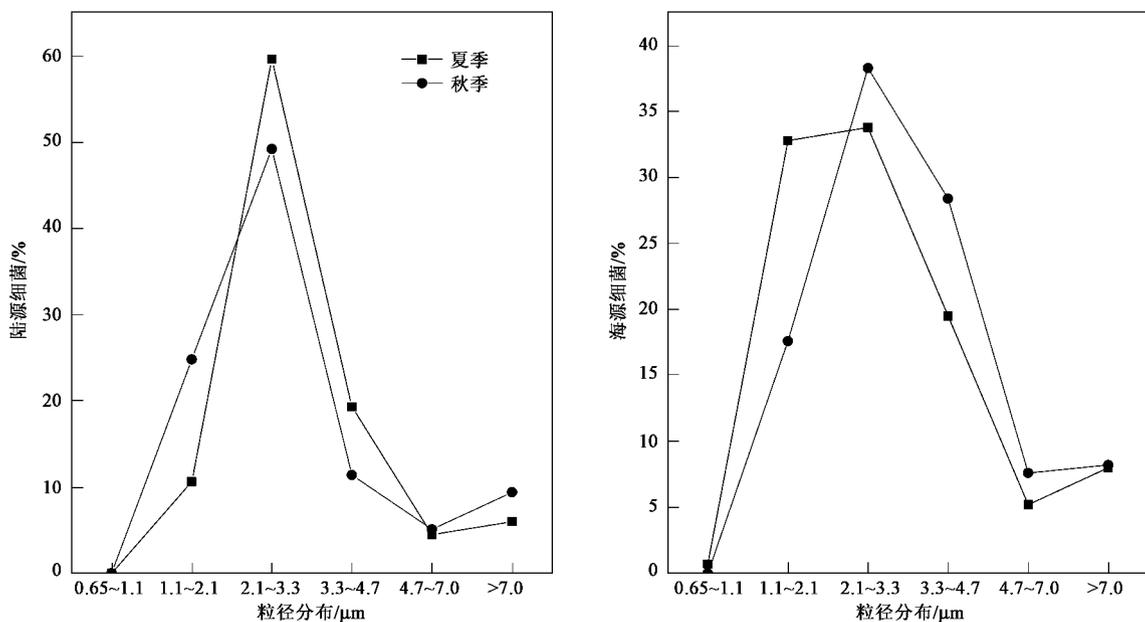


图 11 2009 年夏、秋季青岛近海生物气溶胶中“可培养类”真菌粒径分布特征

Fig. 11 Distribution characteristics of culturable fungal particle size in summer and autumn 2009 in the Qingdao coastal region

3 结论

(1) “非可培养类”微生物占总微生物的比例很大,平均为 99.58%;“可培养类”微生物只是生物气溶胶中很小的一部分,平均仅占 0.42%;“可培养类”微生物中海源细菌及海源真菌贡献远大于陆源类,尤其海源真菌的贡献较大。

(2) 总微生物浓度秋季明显高于夏季,2009 年 9 月出现了最高值,2009 年 8 月出现了最低值;陆源细菌、海源细菌及海源真菌浓度也是秋季大于夏季。

(3) 总微生物粒径在夏、秋季呈现对数正态分布,最高比例出现在 3.3 ~ 4.7 μm 的粒子中。总微生物主要分布在粗粒子(>2.1 μm)中,粗粒子比例夏季与秋季相差不大;“可培养类”细菌及真菌粒径

分别呈现偏态分布、对数正态分布,最高峰分别出现在 $>7 \mu\text{m}$ 、 $2.1 \sim 3.3 \mu\text{m}$ 的粗粒子中、最低峰都出现在 $0.65 \sim 1.1 \mu\text{m}$ 的细粒子中。

参考文献:

- [1] Ariyap A, Amyot M. New Directions: The role of bioaerosols in atmospheric chemistry and physics [J]. Atmospheric Environment, 2004, **38**(8): 1231-1232.
- [2] Grinshpun S A, Clark J M. Measurement and characterization of bioaerosols [J]. Journal of Aerosol Science, 2005, **36**: 553-555.
- [3] Li D W, Kendrick B. Functional relationships between airborne fungal spores and environmental factors in Kitchener-Waterloo, Ontario, as detected by Canonical correspondence analysis [J]. Grana, 1994, **33**(3): 166-176.
- [4] 杜睿. 大气生物气溶胶的研究进展 [J]. 气候与环境研究, 2006, **11**(4): 546-552.
- [5] Bush R K, Portnoy J M. The role and abatement of fungal allergens in allergic diseases [J]. Journal of Allergy Clin Immunol, 2001, **107**(3): 430-440.
- [6] Harrison J, Pickering C A, Faragher E B, et al. An investigation of the relationship between microbial and particulate indoor air pollution and the sick building syndrome [J]. Respiratory Medicine, 1992, **86**(3): 225-235.
- [7] Ren P T, Jankun T M, Belanger K, et al. The relation between fungal propagules in indoor air and home characteristics [J]. Allergy, 2001, **56**(5): 419-424.
- [8] Shelton B, Kirkland K H, Flanders W D, et al. Profiles of airborne fungi in buildings and outdoor environments in the United States [J]. Applied and Environmental Microbiology, 2002, **68**(4): 1743-1753.
- [9] Bauer H, Giebl H, Hitznerberger R, et al. Airborne bacteria as cloud condensation nuclei [J]. Journal of Geophysical Research, 2003, **108**: AAC2/1-AAC2/5.
- [10] Franc G D, Demott P J. Cloud activation characteristics of airborne *Erwinia carotovora* cells [J]. Journal of Applied Meteorology, 1998, **37**: 1293-1300.
- [11] 祁建华, 高会旺. 生物气溶胶研究进展: 环境与气候效应 [J]. 生态环境, 2006, **15**(4): 854-861.
- [12] Kelly C, Pady S. Microbiological studies of air masses over Montreal during 1950 and 1951 [J]. Canadian Journal of Botany, 1954, **32**: 591-600.
- [13] Vlodayevs V, Mats L. The influence of meteorological factors on the microflora of the atmospheric air in Moscow [J]. Journal of Microbiology, 1958, **59**: 539-544.
- [14] Jones B, Cookson J. Natural atmospheric microbiological condition in a typical suburban area [J]. Applied and Environmental Microbiology, 1983, **45**: 919-934.
- [15] Lighthart B, Shaffer B T. Viable bacterial aerosol particle size distributions in the midsummer atmosphere at an isolated location in the high desert chaparral [J]. Aerobiology, 1995, **11**: 19-25.
- [16] Fang Z G, Ouyang Z Y, Hu L F, et al. Culturable airborne fungi in outdoor environments in Beijing, China [J]. Science of the Total Environment, 2005, **350**: 47-58.
- [17] Fang Z G, Ouyang Z Y, Zheng H, et al. Culturable Airborne Bacteria in Outdoor Environments in Beijing, China [J]. Microbial Ecology, 2007, **54**(3): 487-496.
- [18] Yousefi V, Rama D. Monitoring of air formicrobial and metal contamination at selected sites in the vicinity of Johannesburg, South Africa [J]. Science of the Total Environment, 1992, **116**: 159-167.
- [19] Bovallius A, Bucht B, Roffey R, et al. Three years investigation of the natural airborne bacterial flora at four localities in Sweden [J]. Applied and Environmental Microbiology, 1978, **35**: 847-852.
- [20] Takahasi T. Airborne fungal colony-forming units in outdoor and indoor environments in Yokohama, Japan [J]. Mycopathologia, 1997, **139**: 23-33.
- [21] 方治国, 欧阳志云, 胡利锋, 等. 北京市夏季空气微生物粒度分布特征 [J]. 环境科学, 2004, **25**(6): 1-5.
- [22] Adhikari A, Sen M M, Gupta-Bhattacharya S, et al. Airborne viable, non-viable, and allergenic fungi in a rural agricultural area of India: a 2-year study at five outdoor sampling stations [J]. Science of the Total Environment, 2004, **326**: 123-141.
- [23] Tsai F C, Macher J M, Hung Y Y. Biodiversity and concentration of airborne fungi in large US office building from the BASE study [J]. Atmospheric Environment, 2007, **41**: 5181-5191.
- [24] Agranovski V, Ristovski Z, Hargreaves M, et al. Real-time measurement of bacterial aerosols with the UVAPS: performance evaluation [J]. Journal of Aerosol Science, 2003, **34**: 301-317.
- [25] Sengupta M L, Laucks N, Dildine E, et al. Bioaerosol characterization by surface-enhanced Raman spectroscopy (SERS) [J]. Journal of Aerosol Science, 2005, **36**: 651-664.
- [26] Agranovski V, Ristovski Z D. Real-time monitoring of viable bioaerosols: capability of the UVAPS to predict the amount of individual microorganisms in aerosol particles [J]. Journal of Aerosol Science, 2005, **36**: 665-676.
- [27] Brock T. The study of microorganisms in situ: Progress and problems [J]. Symposium of the Society for General Microbiology, 1987, **41**: 1-17.
- [28] Amann R I, Ludwig W, Schleifer K H. Phylogenetic identification and in situ detection of individual microbial cells without cultivation [J]. Microbiology Reviews, 1995, **59**: 143-169.
- [29] 刘苗苗, 祁建华, 高冬梅, 等. 青岛近海秋季生物气溶胶分布特征 [J]. 生态环境, 2008, **7**(2): 565-571.
- [30] 陈延京, 张林, 黄金星, 等. 复合膜过滤法采样检测空气中的微生物 [J]. 中国环境监测, 2005, **21**(4): 14-17.
- [31] 陈皓文. 青岛空气微生物状况的测定 [J]. 山东科学, 2003, **16**(1): 9-13.
- [32] Meklin T, Reponen T, Toivola M, et al. Size distribution of airborne microbes in moisture—damages and reference school building of two construction types [J]. Atmospheric Environment, 2002, **36**: 6031-6039.
- [33] Reponen T, Lehtonen M, Raunemaa R. Effect of indoor sources on fungal spore concentration and size distribution [J]. Journal of Aerosol Science, 1992, **123**: 663-666.