

# 城市大气污染特征及其与气象因子的关系\*

## ——以济南、青岛市为例

廉丽姝<sup>1</sup> 高军靖<sup>2</sup> 束炯<sup>3</sup>

(1. 曲阜师范大学地理与旅游学院, 山东 曲阜 273165; 2. 中国环境科学研究院生态环境研究所, 北京 100012;

3. 华东师范大学地理信息科学教育部重点实验室, 气候与大气环境研究所, 上海 200062)

**摘要** 根据2001年1月1日至2009年12月31日济南、青岛的空气污染指数(API)日报资料,运用统计分析的方法,对2市的API月、季变化特征与年际变化趋势等进行了分析,并进一步探讨了API与各气象因子的相关关系。研究结果表明:(1)青岛空气质量总体上优于济南;(2)济南、青岛具有明显而相似的API月、季变化特征,具体表现为7、8月API最低,1、3、12月API相对最高,API季节变化特征说明2市冬季空气质量最差,其次是春季和秋季,夏季空气质量最好;(3)总体来说,济南、青岛API年均值呈下降趋势,即空气质量在逐渐改善;(4)不同季节影响空气质量的气象因子并不相同,其中起主要作用气象因子为气温、风速和相对湿度。

**关键词** 大气污染特征 空气污染指数 气象因子

**Urban air pollution feature and its relationship with meteorologic factors——a case study of Jinan and Qingdao** LIAN Lishu<sup>1</sup>, GAO Junjing<sup>2</sup>, SHU Jiong<sup>3</sup>. (1. School of Geography and Tourism, Qufu Normal University, Qufu Shandong 273165; 2. Institute of Ecology, Chinese Research Academy of Environmental Science, Beijing 100012; 3. Key Laboratory of Geographical Information Science, Ministry of Education, Institute of Climate and Atmospheric Environment, East China Normal University, Shanghai 200062)

**Abstract:** Based on air pollution index (API) of Jinan, Qingdao during the period of 2001-01-01 to 2009-12-31, the monthly, seasonally variation characteristics and annual variation tendency of API in Jinan and Qingdao was analyzed by the statistical analysis method. Furthermore, the possible meteorologic factors that affecting API were also analyzed. Statistic results showed that the air quality in Qingdao was better than Jinan, the monthly and seasonal variation of API in Jinan and Qingdao are obvious and similar, and the air qualities were best in summer and worst in winter. In general, the API in the two cities was decreasing during 2001-2009, that means the air quality was improving. Results also showed that the effect of meteorologic factors on air quality was different in different season. The main meteorologic factors that affecting air quality were temperature, wind speed and relative humidity.

**Keywords:** air pollution feature; air pollution index; meteorologic factors

大气环境直接影响着人体健康,随着我国经济的高速发展、城市化进程的不断加快,能源与交通规模逐渐扩大,城市人口迅速膨胀,我国城市大气污染日益严重,有关城市大气污染问题越来越受到人们的重视。宋艳玲等<sup>[1]</sup>对2000—2002年北京市大气污染物SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、PM<sub>10</sub>污染特征和同期气象资料进行分析,发现污染物浓度与气象因子之间存在明显的相关性。刘新玲等<sup>[2]</sup>分析了2000—2004年山东省中西部五城市主要大气污染物SO<sub>2</sub>、PM<sub>10</sub>、NO<sub>2</sub>的季节变化特征以及年际变化趋势,探讨了大气污染物浓度的变化与地形、污染源和气象条件等因素的

密切关系。马雁军等<sup>[3]</sup>研究了1987—2002年辽宁中部城市群的大气污染物变化特征。通过对武汉、重庆、宁波、上海等国内多个城市的大气污染问题进行对比分析<sup>[4-10]</sup>,发现城市大气污染特征既具有一定的共性,但也存在明显的地区差异。

笔者利用2001—2009年济南和青岛的每日空气污染指数(API)及同期气象资料,对比研究了2市API的月、季变化特征与年际变化趋势,并进一步探讨了影响API的气象因子,研究结论可为科学有效地控制和治理大气污染提供必要的理论依据。

第一作者:廉丽姝,女,1963年生,博士,副教授,主要从事气候变化及大气环境研究。

\* 国家自然科学基金资助项目(No. 40671176);上海市基础重点研究项目(No. 08JC1408500);山东省自然科学基金资助项目(No. ZR2010DM011)。

表 1 空气质量分级标准  
Table 1 Classification standard of API

| API     | 空气质量级别 | 空气质量状况 | 对人体健康的影响               |
|---------|--------|--------|------------------------|
| 0~50    | I      | 优      | 可正常活动                  |
| 51~100  | II     | 良      | 可正常活动                  |
| 101~150 | III 1  | 轻微污染   | 长期接触,易感人群出现症状          |
| 151~200 | III 2  | 轻度污染   | 长期接触,健康人群出现症状          |
| 201~250 | IV 1   | 中度污染   | 一定时间接触后,健康人群出现症状       |
| 251~300 | IV 2   | 中度重污染  | 一定时间接触后,心脏病和肺病患者症状显著加剧 |
| >300    | V      | 重度污染   | 健康人群明显出现强烈症状,提前出现某些疾病  |

## 1 资料来源及方法

### 1.1 资料来源

API 资料来源于环境保护部公布的《重点城市空气质量日报》。API 是一种向公众公布的、反映和评价空气质量状况的指标,API 将常规监测的几种空气污染物浓度简化成为单一的概念性指数值形式,并分级表征空气质量级别、空气质量状况和对人体健康的影响。根据中国环境监测总站 2000 年颁布的《城市空气质量日报技术规范》,根据 API 数值将我国城市空气质量划分为 7 级(见表 1)。

气象资料来源于中国气象科学共享数据网提供的《中国地面气候资料日值数据集》,包括同期济南、青岛的日平均气温、日最高气温、日最低气温、平均风速、最大风速、极大风速、日照时数、平均相对湿度、最小相对湿度、降水量。

### 1.2 方法

采用统计法分析济南和青岛 2 市的 API 月、季变化特征和年际变化趋势,然后进一步运用 SPSS 软件,对 API 与各气象因子的相关性进行分析,通过 API 与各气象因子的相关系数来确定各气象因子对 API 变化的影响。

## 2 API 变化特征

### 2.1 API 月、季节变化特征

通过对济南、青岛 2001—2009 年的 API 日均值进行计算,得到 2 市多年 API 月均值,结果见图 1。由图 1 可见,青岛各月份的 API 月均值明显低于济南,说明青岛空气质量总体上优于济南。济南、青岛 7、8 月 API 月均值最低,说明空气质量最好,1、3、

12 月 API 月均值相对较高,空气质量最差。

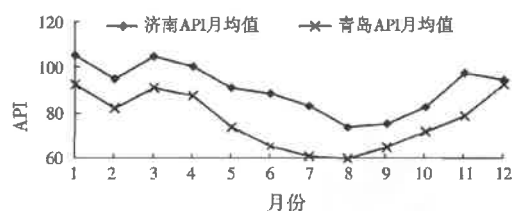


图 1 2001—2009 年济南、青岛各月份 API 月均值  
Fig. 1 Variation of monthly average API in Jinan and Qingdao

根据济南、青岛的气候特征,将春季定为 3~5 月,夏季定为 6~8 月,秋季定为 9~11 月,冬季定为当年 12 月至翌年 2 月。表 2 统计了 2 市 2001—2009 年中 4 季 API 的平均值及标准差。

由表 2 可见,济南、青岛均具有明显的 API 季节变化特征,冬季 API 平均值最高,夏季 API 平均值最低,这说明 2 市冬季空气质量最差,其次是春季和秋季,夏季空气质量最好。这是因为济南、青岛是典型的北方城市,冬季采暖导致燃煤量增加,污染加重;另外,济南市冬季低空逆温层出现的几率偏高,对市区空气污染物的稀释和扩散产生不利的影响,也是造成其冬季空气污染严重的主要原因之一<sup>[11]</sup>。在 2001—2009 年 9 个冬季中,济南就有 6 个冬季 API 在 100 以上,大气环境受到不同程度的污染。春季是济南和青岛的次污染季节,主要是因为春季冷空气活跃、风速大、气温回暖、地表植被覆盖度差,容易引起沙尘天气,使 API 平均值增加<sup>[12,13]</sup>。从表 2 还可以看出,青岛各季节的 API 平均值均低于济南,说明青岛各季节空气质量总体良好;济南各季节 API 的标准差明显大于青岛,反映了济南各季节 API 的波动变化大于青岛。

表 2 济南、青岛 API 季节变化  
Table 2 Seasonal variation of API in Jinan and Qingdao

| 城市 | 春季    |       | 夏季    |      | 秋季    |      | 冬季     |       |
|----|-------|-------|-------|------|-------|------|--------|-------|
|    | 平均值   | 标准差   | 平均值   | 标准差  | 平均值   | 标准差  | 平均值    | 标准差   |
| 济南 | 98.37 | 15.77 | 81.29 | 7.43 | 84.63 | 5.99 | 103.61 | 15.51 |
| 青岛 | 83.77 | 6.34  | 61.59 | 3.42 | 71.21 | 3.97 | 88.72  | 4.82  |

表3 2001—2009年济南、青岛各级空气质量级别所占的天数及良好率分布  
Table 3 Number of days for different air quality level of Jinan and Qingdao during 2001-2009

| 项目   | 各级空气质量级别所占天数/d |    |     |     |       |    | 良好率/% |       |
|------|----------------|----|-----|-----|-------|----|-------|-------|
|      | I级             |    | II级 |     | 大于II级 |    |       |       |
|      | 济南             | 青岛 | 济南  | 青岛  | 济南    | 青岛 | 济南    | 青岛    |
| 2001 | 3              | 27 | 220 | 290 | 142   | 48 | 61.10 | 86.85 |
| 2002 | 12             | 45 | 259 | 279 | 94    | 41 | 74.25 | 88.77 |
| 2003 | 6              | 51 | 209 | 275 | 150   | 39 | 58.90 | 89.32 |
| 2004 | 15             | 37 | 195 | 294 | 156   | 35 | 57.38 | 90.44 |
| 2005 | 7              | 33 | 255 | 298 | 103   | 34 | 71.78 | 90.68 |
| 2006 | 12             | 37 | 295 | 295 | 58    | 33 | 84.11 | 90.96 |
| 2007 | 15             | 47 | 296 | 286 | 54    | 32 | 85.21 | 91.23 |
| 2008 | 4              | 67 | 291 | 266 | 71    | 33 | 80.60 | 90.98 |
| 2009 | 7              | 66 | 288 | 267 | 70    | 32 | 80.82 | 91.23 |
| 平均值  | 9              | 46 | 256 | 283 | 100   | 36 | 72.70 | 90.05 |

## 2.2 API 年际变化趋势

表3为2001—2009年济南、青岛各级空气质量级别所占的天数及良好率分布。统计结果表明,济南平均每年处于I级和II级的天数为265 d,一年中有100 d在II级以上,空气受到污染。青岛平均每年仅有36 d在II级以上。

由表3可见,济南空气质量良好率最低出现在2004年,为57.38%,2007年良好率最高,为85.21%,两者相差27.83%;青岛空气质量良好率最低出现在2001年,为86.85%,最高值为2007和2009年的91.23%,两者相差仅为4.38%,说明济南空气质量年际变化比青岛大,即空气质量的波动较大,这与多方面因素有关,其中政府的环保规划起着重要作用,如在2001—2009年中,2003、2004年济南空气质量最差,2005年政府环保规划方案中便将大气污染防治作为重点工作来抓,采取了一系列措施如淘汰小规模燃煤锅炉、对多家重点单位实施限期治理、开展大气环境容量测算工作、强化机动车尾气污染防治的监督管理、突出扬尘控制等,因此2005年济南空气质量较2004年有了较大提高。

图2给出了2001—2009年济南、青岛的API年均值变化趋势。由图2可见,在2001—2009年,济南API年均值为82.7~100.6,总体呈下降趋势;青岛API年均值为73.8~80.9,波动较小,总体也呈下降趋势。

## 3 影响API的气象因子分析

城市空气质量状况受很多因素的影响,如气象条件、污染源种类、位置和排放强度、地形、政府政策等。其中,气象条件对污染物的输送、扩散、冲刷及二次污染物的产生均有重要的影响,同时也是变化

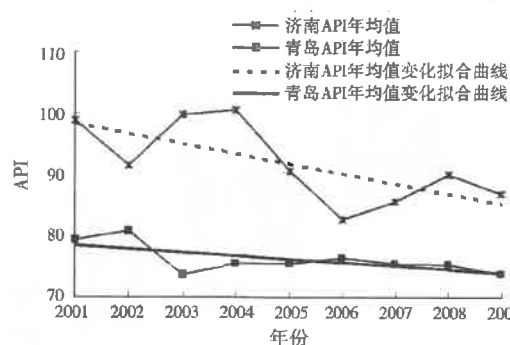


图2 济南、青岛2001—2009年API年均值变化  
Fig. 2 The variation of annual average API in Jinan and Qingdao during 2001-2009

最复杂、最快的影响因子,笔者利用相关分析法对API与气象因子的相关性进行了分析。

从济南、青岛气候来看,济南属于暖温带季风气候,大陆性气候特征显著。春季风多干燥,夏季炎热多雨,秋季天高气爽,冬季干冷期长。全年平均气温14.7℃,最冷月均温0.4℃,出现在1月;最热月均温27.5℃,出现在7月;年降水量672 mm,集中在夏季,占全年降水的67%。青岛地处暖温带季风区,由于濒临海洋,受来自洋面上的东南季风及海流、水团的影响,气候具有一定的海洋性气候的特点。空气湿润,温度适中,四季分明。春季气温回升缓慢,较内陆迟1个月;夏季湿热多雨,但无酷暑;秋季天高气爽,降水少;冬季风大气温低,持续时间较长,但无严寒。全年平均气温12.7℃,最冷月均温-0.5℃,出现在1月;最热月均温25.3℃,出现在8月;年降水量662 mm,集中在夏季,占全年降水的57%。

为确定各气象因子在不同月份、不同季节对空气质量的影响,对2001—2009年济南、青岛API日均值和同期气象资料运用SPSS软件进行相关分析。

API日均值与同期气象资料的“日—日”相关分

表 4 济南、青岛 API 与各气象因子的相关系数<sup>1)</sup>  
Table 4 Correlation coefficient of meteorologic factors and API in Jinan and Qingdao

| 季节 | 城市 | 日平均气温     | 日最高气温     | 日最低气温     | 平均风速      | 最大风速      | 极大风速      | 日照时数      | 平均相对湿度    | 最小相对湿度    | 降水量       |
|----|----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 春  | 济南 | 0.002     | 0.015     | -0.002    | 0.107 **  | 0.010     | 0.002     | -0.052    | -0.116 ** | -0.102 ** | -0.025    |
|    | 青岛 | -0.050    | -0.014    | -0.078 *  | 0.019     | 0.040     | 0.045     | 0.133 **  | -0.334 ** | -0.311 ** | -0.081 *  |
| 夏  | 济南 | 0.123 **  | 0.131 **  | 0.067     | -0.118 ** | 0.004     | 0.018     | -0.053    | -0.119 ** | -0.139 ** | 0.009     |
|    | 青岛 | 0.060     | 0.226 **  | -0.058    | -0.143 ** | -0.125 ** | -0.120 ** | 0.186 **  | -0.384 ** | -0.405 ** | -0.032    |
| 秋  | 济南 | -0.126 ** | -0.122 ** | -0.116 ** | -0.138 ** | -0.119 ** | -0.124 ** | -0.124 ** | -0.013    | 0.002     | -0.026    |
|    | 青岛 | -0.213 ** | -0.175 ** | -0.234 ** | -0.102 ** | -0.111 ** | -0.141 ** | 0.007     | -0.111 ** | -0.187 ** | -0.088 *  |
| 冬  | 济南 | 0.148 **  | 0.124 **  | 0.177 **  | -0.144 ** | -0.132 ** | 0.006     | -0.208 ** | 0.224 **  | 0.213 **  | 0.068     |
|    | 青岛 | 0.067     | 0.102 **  | 0.023     | -0.143 ** | -0.176 ** | -0.176 ** | -0.023    | -0.006    | -0.061    | -0.102 ** |

注: \*\* 表示通过 0.01 的显著性水平检验, \* 表示通过 0.05 的显著性水平检验。

析表明,济南 API 与气温、相对湿度和日照时数呈负相关,与其他气象因子的相关性未通过显著性检验;青岛的统计结果与济南相似,不同的是青岛 API 与日照时数呈正相关,不过相关系数较其他气象因子小,而气温、相对湿度与 API 的相关系数要远大于其他气象因子,故初步确定影响青岛大气污染的主要气象因子为气温和相对湿度。

为进一步确定各气象因子对大气污染季节变化的影响,统计了不同季节济南、青岛 API 与各气象因子的相关系数,结果如表 4 所示。由表 4 可见,不同季节济南、青岛 API 与各气象因子之间的相关性是不同的,即不同季节各气象因子对空气质量变化的影响作用及大小并不相同。

济南、青岛冬季空气质量最差,尤其是济南,甚至出现某些年份冬季的空气质量级别都未达到 II 级,处于受污染的状态。从表 4 可以看出,冬季济南 API 与相对湿度、气温呈正相关,与日照时数、风速呈负相关(仅对通过显著性水平检验的数据进行分析,下同)。对于内陆城市济南来说,气温高,特别是最低气温高、湿度大、日照少、风速小,一般意味着其大气层结较稳定,湍流交换较弱,不利于大气污染物的扩散,使大气污染物在大气中滞留,造成大气污染。济南冬季低空逆温层出现频率偏高,早晨出现低空逆温层的几率大于晚上,且逆温层厚度大,强度大,逆温也是造成济南冬季污染物浓度高,空气污染严重的一种气象条件。青岛冬季 API 与风速存在负相关关系,通常来说风速越大越有利于空气中污染物质的稀释扩散。青岛冬季多大风,这对空气污染起到了明显缓解作用。对青岛低空逆温层的研究表明,青岛逆温层出现频率最高的季节虽不是在冬季(在 3~6 月),但冬季 12 月的逆温强度在全年中最大,强逆温层约占逆温层总数的 10%<sup>[14]</sup>。加上青岛冬季持续时间较长,采暖期也较长,冬季居民生活

取暖是大气的主要污染源,所以青岛市冬季空气质量虽总体良好但在全年中空气质量最差。

春季济南 API 与相对湿度呈负相关,与平均风速呈正相关。通常来说风速越大越有利于空气中污染物质的稀释扩散,空气质量越好,可春季济南却出现了相反的情形,这主要是由济南的特殊地形和春天的气候决定的。济南地势南高北低,三面环山,由此引起的山风对局地环流有着重要的影响,不利于污染物的扩散,南部山区生态环境脆弱,林地植被覆盖率低,植被发育较差,北部黄河河滩泥沙土质松散,遇到大风地面易起风沙扬尘,城市下垫面土壤风沙尘和二次扬尘均是大气颗粒物的主要来源,而济南春季又多大风,降水偏少,地面干旱,当大风来临时极易出现沙尘天气。据统计,每年 3、4 月是沙尘天气的多发期,另外大风还会在一定程度上降低空气湿度,使空气变得干燥,加剧了春季济南的大气污染。春季青岛 API 与相对湿度呈负相关,且相关系数远大于其他气象因子,验证了空气相对湿度是影响青岛大气污染变化的主要气象因子。有关研究表明,当空气相对湿度>90%时,雾对各种大气污染物具有明显的清除作用;当空气相对湿度<80%时,雾对各种大气污染物的污染程度有明显的加重作用;当空气相对湿度介于 80%~90%时,雾对各种大气污染物的清除作用或污染加重作用各不相同<sup>[15]</sup>。通过统计计算,青岛市春季的空气平均相对湿度为 67.4%,小于 80%,在这种情况下,雾会加剧空气污染。又因青岛受海洋环境的影响,4~7 月是青岛的“雾季”<sup>[16]</sup>,多雾天气是造成其空气质量较差的主要原因之一。

夏季济南、青岛 API 均与相对湿度呈负相关。在夏季,济南高温多雨,青岛虽没有酷暑,但也湿热多雨,降水多不仅会加大空气相对湿度,而且对大气污染物也会起到清除和冲刷的作用,此外,降水后地

面变得湿润,灰尘不易飘散到空气中<sup>[17]</sup>。对照2市空气质量资料和气象资料发现,在降水较多的月份,空气质量较好。

秋季影响济南、青岛API的主要气象因子为气温与风速,API与气温和风速均呈负相关。

总而言之,不同季节影响空气质量的气象因子并不相同,其中起主要作用气象因子为气温、风速和相对湿度。

#### 4 结 论

API能够反映一个区域的空气质量,进而体现该区域的大气污染状况,通过对济南、青岛多年API的变化特征及其与气象因子的相关分析,得到以下结论:

(1) 青岛空气质量总体上优于济南。

(2) 济南、青岛具有明显而相似的API月、季变化特征,具体表现为7、8月API最低,1、3、12月API相对较高,API季节变化特征说明2市冬季空气质量最差,其次是春季和秋季,夏季空气质量最好。

(3) 济南、青岛API年均值呈下降趋势,说明空气质量在逐渐改善;济南空气质量年际变化比青岛大。

(4) 不同季节影响空气质量的气象因子并不相同,其中起主要作用气象因子为气温、风速和相对湿度。

#### 参考文献:

- [1] 宋艳玲,郑水红,柳艳菊,等. 2000—2002年北京市城市大气污染特征分析[J]. 应用气象学报, 2005, 16(增刊): 116-121.
- [2] 刘新玲,王小明,李小明. 2000—2004年山东中西部五城市大气污染变化特征[J]. 科学技术与工程, 2008, 8(12): 3390-3396.
- [3] 马雁军,崔劲松,刘晓梅,等. 1987—2002年辽宁中部城市群大气污染物变化特征分析[J]. 高原气象, 2005, 24(3): 428-434.
- [4] 李兰,危万虎,魏静,等. 武汉市空气污染状况及其与气象条件的关系[J]. 湖北气象, 2004(3): 18-22.
- [5] 刘永祺,李大鹏,倪长健. 重庆市大气污染特征及其影响因素分析[J]. 四川环境, 2009, 28(3): 28-32.
- [6] 徐畅成. 宁波市大气污染成因与防治对策[J]. 环境污染与防治, 2009, 31(12): 107-108.
- [7] 魏玉香,童尧青,银燕,等. 南京SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>和PM<sub>10</sub>变化特征及其与气象条件的关系[J]. 大气科学学报, 2009, 32(3): 451-457.
- [8] 周婕成,史贵涛,陈振楼,等. 上海大气氮湿沉降的污染特征[J]. 环境污染与防治, 2009, 31(11): 30-34.
- [9] 杨书申,邵龙义,杨园园,等. 北京、上海两地2004和2005年大气污染特征对比分析[J]. 长江流域资源与环境, 2008, 17(2): 323-327.
- [10] 余晔,夏敦胜,陈雷华,等. 兰州市PM<sub>10</sub>污染变化特征及其成因分析[J]. 环境科学, 2010, 31(1): 22-28.
- [11] 刘煥彬,冯俊杰,王恒明. 济南低空逆温层特征分析[J]. 山东

气象, 2005, 25(1): 27-28.

- [12] 耿敏,盛立芳. 青岛地区沙尘天气特征分析[J]. 山东气象, 2006, 26(4): 6-8.
- [13] 杜吴鹏,高庆先,王跃思,等. 沙尘天气对我国北方城市大气环境质量的影响[J]. 环境科学研究, 2009, 22(9): 1021-1026.
- [14] 邹玉玲,刘朝晖,马亚维,等. 青岛低空逆温层特征分析[J]. 山东气象, 2007, 27(1): 28-29.
- [15] 王勇,胡晏玲. 在不同相对湿度条件下雾对空气质量的影响[J]. 新疆环境保护, 2006, 28(3): 15-18.
- [16] 江敦双,张苏平,陆惟松. 青岛海雾的气候特征和预测研究[J]. 海洋湖沼通报, 2008(3): 7-12.
- [17] 王善芳,刘桂才,周树华,等. 潍坊市空气污染与气象条件的关系[J]. 河南气象, 2006(3): 54-55.

编辑:丁 怀 (修改稿收到日期:2010-12-10)

(上接第21页)

(2) 菌株J5-2的生物学特性表明,该菌能以烟酰胺为唯一氮源,能利用多种碳源和氮源,pH和温度适应性较广,表明该菌株具有较好的环境适应性。

(3) 菌株J5-2对烟酰胺的降解率与温度、pH、接种量密切相关,其最适生长条件为:pH 7.0、温度30℃、接种量6%。菌株J5-2能耐受高达1 600 mg/L的烟酰胺,在最适生长条件下培养7 d,对400 mg/L烟酰胺的降解率达32.2%。

#### 参考文献:

- [1] 杨亚君,刘顺,武丽芬,等. 可降解水体中烟酰胺降解微生物的分离与筛选[J]. 农药学报, 2007, 9(3): 275-279.
- [2] 王正贵,封超年,郭文善,等. 麦田常用除草剂对弱筋小麦生理生化特性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(6): 1027-1032.
- [3] 吴进才,刘井兰,沈迎春,等. 农药对不同水稻品种SOD活性的影响[J]. 中国农业科学, 2002, 35(4): 451-456.
- [4] 张德咏,谭新球,罗香文,等. 一株能降解有机磷农药甲胺磷的光合细菌HP-1的分离及生物学特性的研究[J]. 生命科学研究, 2005, 9(3).
- [5] 张松柏,张德咏,罗香文,等. 一株高效降解氯氟菊酯细菌的分离鉴定及降解特性[J]. 中国农学通报, 2009, 25(3): 265-270.
- [6] 郑维,权春善,朴永哲,等. 一种快速提取细菌总DNA的方法研究[J]. 中国生物工程杂志, 2006, 26(4): 75-80.
- [7] KUMAE S, TAMURA K, NEI M. Integrated software for molecular evolutionary genetics analysis and sequence alignment[J]. Briefings in Bioinformatics, 2004(5): 150-163.
- [8] 石相梅,徐晓巍. 高效液相色谱法测定水和废水中的烟酰胺、吡啶、吡啶酮、吡啶肟[J]. 污染防治技术, 2009, 22(4): 89-92.
- [9] 吴春先,高立明,王广成,等. 烟酰胺的高效液相色谱分析[J]. 农药科学与管理, 2006, 25(10): 6-9.
- [10] 张松柏,张德咏,刘勇,等. 光合细菌PSB07-15对水培黄瓜体系中甲胺菊酯污染的生物修复[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(10): 2198-2203.

编辑:陈泽军 (修改稿收到日期:2010-12-13)

