

# 基于生态位模型的江苏省大气 环境负荷的适宜度评价

田颖 沈红军<sup>1</sup>

(江苏省环境监测中心, 江苏 南京 210036)

**【摘要】:** 选取 2001—2015 年的相关数据, 根据生态位态势理论, 建立重点行业的大气环境经济综合效率生态位模型, 分析了电力行业等江苏省大气污染重点行业 SO<sub>2</sub> 和烟粉尘的环境经济污染综合效率生态位, 同时利用适宜度模型, 基于生态位模型, 对江苏省大气环境负荷的程度进行了评价。结果表明:①2002—2015 年, 重点行业 SO<sub>2</sub> 生态位较低的行业为电力行业、非金属行业和化学工业, 烟尘生态位较低的行业为电力行业、非金属行业和木材加工行业; ②与 2002 年相比, 2015 年三大产业的 SO<sub>2</sub> 和烟尘生态位均呈上升趋势, 烟尘生态位的“绝对值”呈上升趋势; ③对 SO<sub>2</sub>、烟尘生态位较低的行业与生态位较高的行业进行对比分析, 二者的生态位差呈现出波动上升趋势; ④江苏省“十一五”期间大气环境负荷较高, “十五”和“十一五”呈下降趋势, “十二五”呈上升趋势, 2015 年达到理想状态。

**【关键词】:** 大气环境负荷 经济综合效率 生态位 适宜度 评价 江苏

**【中图分类号】:** X82 **【文献标志码】:** A **【文章编号】:** 1673—9655(2019)04—0065—09

随着经济的发展, 资源短缺、环境污染和生态破坏日益严重。人们开始反思传统的经济发展模式, 提出了可持续发展、循环经济、生态产业等发展模式<sup>[1,2,3,4]</sup>。研究影响污染排放的因素, 通过调控这些因素来减少污染排放变得尤为重要<sup>[5,6,7]</sup>。近年来, 我国大部分地区大气污染严重, 造成这种现象的根本原因是区域污染物的大量排放。江苏省作为全国经济发展较快的区域之一, 环境建设取得了一定成效, 高投入、高消耗、高污染、低效益的粗放型经济增长模式不可避免地给地区带来了较为严重的环境问题, 环境承受能力较脆弱<sup>[8]</sup>。因此, 研究江苏省大气环境与经济的可持续发展成为重要的课题。

生态位理论是近年来被广泛关注的热点生态学理论之一, 它在城市建设和规划、土地利用等研究方面得到了多次的应用, 具有一定的实践指导意义<sup>[9,10,11,12]</sup>。1917 年 Grinell 提出生态位概念, 认为生态位是种的最后分布单位, 强调空间性。在生态位的基础上, 李自珍<sup>[13]</sup>提出生态位适宜度概念, 定义了种居住地的现实生境条件与最适生境条件之间的贴近程度, 已广泛应用于区域资源、城市系统等领域。郭燕青、姚远<sup>[14]</sup>等人将生态位适宜度相关理论推广到创新生态系统评价问题, 构建了创新生态系统生态位适宜度评价模型。周青和陈畴镛<sup>[15]</sup>、苕千里<sup>[16]</sup>等分别应用生态位适宜度模型和模糊层次分析法对不同地区的区域创新生态系统适宜度情况作出评价与分析。

本文以江苏省为例, 将生态位理论应用于影响大气环境的重点行业(以下简称重点行业)的环境经济演变研究, 选取行业总产值和煤炭消费总量作为经济要素, 二氧化硫和烟粉尘贡献较大的行业的污染物排放量作为环境要素, 分析二者长时间的演变过程。同时, 基于生态位理论, 建立生态位适宜度模型, 对江苏省大气环境负荷的适宜度进行评价。

**基金项目:** 江苏省第四期“333 工程”培养资金资助项目; 江苏省环境监测科研基金项目(项目编号 1821)。

**作者简介:** 田颖(1982—), 女, 河北承德人, 高级工程师, 硕士, 主要从事环境质量综合分析、地理信息系统等方面研究。

# 1 重点行业的生态位内涵

## 1.1 生态位的定义

生态位是生物单元在特定生态系统中与环境相互作用过程中所形成的相对地位与作用。任何生物都在不断地与其他生物相互作用并不可避免地对其所生存的物理化学环境产生影响,其地位与作用也必然是在一定环境条件下与其他生物相对比较中才体现出来。生态位应当包含两个方面:一是生物单元的状态(能量、生物量、个体数量、资源占有量、适应能力、智能水平、经济发展水平、科技发展水平等),是通过生长发育、学习、社会经济发展以及与环境相互作用积累的结果;二是生物单元对环境的现实影响力或支配力,如能量和物质变化的速率、生产力、增长率、经济增长率、占据新生境的能力。前者可视为生物单元的态,后者可视为生物单元的势。这两个方面的综合体现了特定生物单元在生态系统中的相对地位与作用<sup>[17]</sup>。通过定量计算生态位的态和势,可以比较科学地反映特定生物单元在生态系统中的相对地位与作用。

## 1.2 重点行业的生态位内涵

生态位综合反映了个体和种群在生态系统中所占有的空间、所处的地位和所具有的功能,可见,生态位的重要特征是其综合性和相对性<sup>[17]</sup>。工业发展与大气污染物排放密切相关,本文对环境统计数据中的行业进行筛选,选取2015年二氧化硫和烟粉尘排放量均排名前20位的行业作为本文研究的“重点行业”,因为重点行业的生态位也即大气环境与经济协调发展中的地位和作用,文中的生态位的高低指的是大气环境经济综合效率的高低,生态位较低的行业需要特别的关注,以期达到经济发展和大气环境达到和谐健康的发展。

## 2 评价方法和数据来源

### 2.1 重点行业的生态位量化

根据生态位态势理论,以及上述重点行业的生态位的定义,建立重点行业的大气环境经济综合效率生态位模型如下<sup>[18]</sup>:

$$N_{ij} = \frac{S_{ij} + A_{ij}P_{ij}}{\sum_{i=1}^n (S_{ij} + A_{ij}P_{ij})} \quad (1)$$

其中: $N_{ij}$ 为重点行业大气环境经济综合效率的生态位(以下简称生态位); $i=1, 2, \dots, n$ ,  $n$ 为不同行业类型, $j=1, 2, \dots, m$ ,  $m$ 为不同年份; $S$ 和 $P$ 为不同行业类型的态和势; $A$ 为量纲转化系数。行业生态位值越接近1,说明在研究的系统中所发挥的作用越大,越接近0说明所发挥的作用越小。这里将所选取的重点行业作为一个完整的系统考虑,将行业总产值和大气污染物排放量分别作为经济和大气环境要素的态,而增长量作为经济和环境要素的势。

理论上,模型应包括所有对大气经济环境综合效率有影响的因子,但限于研究手段、认知水平和数据来源等因素,这里选取某些关键作用的因子。令

$$S_{ij} = \frac{M_{ij}}{R_{ij}}, \quad P_{ij} = \frac{Y_{ij}}{R_{ij}} \quad (2)$$

式中: $M_{ij}$ 为行业总产值; $Y_{ij}$ 为行业总产值的年增长量; $R_{ij}$ 为大气污染物排放量。

## 2.2 基于生态位模型的大气环境负荷的适宜度评价

本文选取生态环境负荷适宜度模型,基于江苏省重点行业的生态位量化模型,对大气环境负荷的适宜度进行评估<sup>[19,20]</sup>。

设有个  $m$  评估年份,  $N'_{ij}$  为  $N_{ij}$  标准化处理后的大气环境经济综合效率的生态位,其中  $N_{\max}$  表示  $N_{ij}$  中的最大值。

$$N'_{ij} = \frac{N_{ij}}{N_{\max}} \quad (3)$$

无纲化处理,又设  $N_{ai}$  表示第  $i$  个生态位因子的最佳生态位,即

$$N_{ai} = \max (N'_{ij}) \quad (4)$$

则大气环境负荷适宜度可通过如下模型得出:

$$F_i = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n \frac{\min \{ |N'_{ij} - N_{ai}| \} + \varepsilon \max \{ |N'_{ij} - N_{ai}| \}}{|N'_{ij} - N_{ai}| + \varepsilon \max \{ |N'_{ij} - N_{ai}| \}} \quad (5)$$

其中  $\varepsilon \in [0, 1]$ , 其值通常由  $F_i=0.5$  估算出来。具体计算公式为:

$$\frac{1}{N_{ai}} = \frac{1}{m \times n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n N_{ai} \quad (6)$$

$$\frac{\min (N_{ai}) + \varepsilon \max (N_{ai})}{(N_{ai} + \varepsilon \max (N_{ai}))} = 0.5 \quad (7)$$

## 2.3 数据来源

本文采用 2001—2015 年时间序列数据。行业总产值、二氧化硫和烟粉尘排放数据均来自历年的环境统计数据。

文中所选用的“重点行业”为 2015 年二氧化硫和烟粉尘排放量均排名前 20 位的行业,行业分类采用的是 2011 年国民经济行业分类与代码(GB/4754-2011),行业代码与行业名称对照表见表 1。

## 3 结果分析

### 3.1 重点行业主要污染物环境经济污染综合效率生态位分析

根据重点行业的大气环境经济综合效率生态位模型,对江苏省大气污染重点行业 SO<sub>2</sub> 和烟粉尘的环境经济综合效率生态位进行分析(表 2)。

#### 3.1.1 大气中 SO<sub>2</sub>环境经济综合效率生态位变化分析

2002—2015 年,江苏省大气污染重点行业 SO<sub>2</sub>的生态位较低的行业分别是 44(电力行业)、30(非金属行业)、26(化工行业),其中最低的为电力行业。2015 年较 2002 年三个行业的 SO<sub>2</sub>生态位均有不同程度的上升,2002—2015 年,电力行业、非金属行业和化工行业 SO<sub>2</sub>生态位平均变化速度分别为 7.1%、1.9%和 14.3%。以 5 年为一个阶段,2002—2005 年,电力行业 SO<sub>2</sub>生态位呈下降趋势,平均下降幅度为 12.5%,非金属行业生态位没有变化,化工行业呈上升趋势,平均上升幅度为 3.4%。2006—2010 年,电力行业生态位没有变化,非金属行业和化工行业生态位均呈现下降趋势,平均下降幅度均为 7.1%。2011—2015 年,电力行业、非金属行业和化工行业生态位均呈现上升趋势,平均上升幅度分别为 60%、6.7%和 11.1%。从三个阶段三个行业生态位变化幅度可以看出,与“十五”和“十一五”相比,“十二五”期间,SO<sub>2</sub>的生态位较低的两个行业,生态位较低的现状得到了较明显的改善,生态位上升幅度较大,表明“十二五”期间,三个行业在 SO<sub>2</sub>的减排方面效果显著。

表 1 大气污染重点行业代码和行业名称对照表

行业代码	行业名称
13	农副食品加工业
14	食品制造业
15	酒、饮料和精制茶制造业
17	纺织业
20	木材加工和木、竹、藤、棕、草制品业(以下简称木材加工业)
22	造纸和纸制品业(以下简称造纸业)
25	石油加工、炼焦和核燃料加工业(以下简称石油加工业)
26	化学原料和化学制品制造业(以下简称化工行业)
27	医药制造业
28	化学纤维制造业
29	橡胶和塑料制品业
30	非金属矿物制品业(以下简称非金属行业)
31	黑色金属冶炼和压延加工业(以下简称黑色金属行业)
32	有色金属冶炼和压延加工业(以下简称有色金属行业)
33	金属制品业
44	电力、热力生产和供应业(以下简称电力行业)

表 2 2002—2015 年江苏省大气污染重点行业 SO<sub>2</sub> 环境经济综合效率的生态位

行业	年份													
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
13	0.097	0.100	0.106	0.112	0.028	0.083	0.120	0.093	0.047	0.104	0.101	0.117	0.103	0.051
14	0.018	0.051	0.053	0.029	0.021	0.029	0.026	0.034	0.021	0.050	0.045	0.066	0.065	0.053

15	0.032	0.045	0.029	0.043	0.024	0.029	0.029	0.058	0.264	0.038	0.007	0.033	0.050	0.043
17	0.046	0.067	0.035	0.034	0.022	0.043	0.131	0.026	0.019	0.055	0.031	0.041	0.040	0.032
20	0.030	0.066	0.100	0.026	0.006	0.015	0.006	0.006	0.007	0.014	0.013	0.015	0.017	0.009
22	0.023	0.069	0.019	0.027	0.053	0.016	0.027	0.018	0.007	0.012	0.012	0.012	0.017	0.017
25	0.224	0.081	0.079	0.083	0.076	0.040	0.033	0.043	0.046	0.037	0.047	0.044	0.043	0.024
26	0.022	0.080	0.008	0.025	0.028	0.048	0.020	0.035	0.018	0.042	0.042	0.027	0.041	0.028
27	0.086	0.123	0.101	0.165	0.180	0.126	0.158	0.186	0.116	0.133	0.187	0.139	0.123	0.360
28	0.033	0.026	0.025	0.025	0.024	0.037	0.016	0.026	0.023	0.040	0.042	0.059	0.049	0.049
29	0.156	0.053	0.074	0.063	0.178	0.088	0.122	0.136	0.078	0.117	0.122	0.108	0.093	0.088
30	0.004	0.009	0.010	0.004	0.014	0.011	0.009	0.010	0.009	0.013	0.014	0.011	0.015	0.012
31	0.029	0.052	0.048	0.035	0.050	0.056	0.048	0.035	0.041	0.036	0.034	0.026	0.033	0.017
32	0.044	0.031	0.084	0.134	0.346	0.135	0.130	0.209	0.192	0.182	0.173	0.157	0.133	0.117
33	0.154	0.142	0.228	0.194	0.173	0.241	0.123	0.134	0.112	0.125	0.128	0.141	0.173	0.095
44	0.002	0.004	0.001	0.001	0.022	0.003	0.003	0.003	0.001	0.002	0.003	0.005	0.007	0.004

江苏省 SO<sub>2</sub> 污染主要来自工业污染,其中电力行业尤其火电行业 and 水泥行业均是重点污染行业,工业发展的同时带来了污染物的增加。但是近年来,由于江苏省开展火电脱硫脱硝设施升级改造,强化电力行业脱硫脱硝设施运行监管,同时加快非电行业脱硫脱硝步伐,使得江苏省 SO<sub>2</sub> 排放强度在前期随着工业的发展呈现持续下降的趋势,这与以上三个行业的生态位在“十二五”期间升高的结果是一致的。未来环境与经济达到和谐发展,加大脱硫脱硝设备的投运率,加强新能源发电技术的研发和投入使用将是重中之重。

### 3.1.2 大气中烟粉尘环境经济综合效率生态位变化分析

2002—2015 年,江苏省大气污染重点行业烟粉尘的生态位较低的行业分别是 44(电力行业)、30(非金属行业)、20(木材加工业)。2015 年较 2002 年,电力行业和非金属行业的烟粉尘生态位有小幅度升高,木材加工业下降,2002—2015 年,电力行业、非金属行业和木材加工业烟粉尘生态位平均变化速度分别为 42.8%、7.1%和-6.5%。以 5 年为一个阶段,2002—2005 年,电力行业烟粉尘生态位呈上升趋势,平均上升幅度为 25%,非金属行业烟粉尘生态位呈现上升趋势,平均上升幅度为 37.5%,木材加工业呈上升趋势,平均上升幅度为 16.7%。2006—2010 年,电力行业烟粉尘生态位呈现上升趋势,平均上升幅度为 5%,非金属行业烟粉尘生态位没有变化,木材加工业烟粉尘生态位呈现上升趋势,平均上升幅度为 10%。2011—2015 年,电力行业烟粉尘上升,平均上升幅度为 3.3%,非金属行业烟粉尘下降,平均下降幅度为 4%,木材加工业烟粉尘生态位不变。从三个阶段三个行业生态位变化幅度可以看出,2002—2015 年,电力行业、非金属行业和木材加工业烟粉尘生态位较低的现状得到了较明显的改善,其中“十五”较之“十一五”和“十二五”上升幅度较大,这与 SO<sub>2</sub> 的生态位变化具有相反的趋势。

据统计,江苏省水泥行业是烟粉尘排放的主要行业,曾占全省烟粉尘排放总量的一半以上。“十二五”以来,江苏省加强工业烟粉尘控制,大力推进燃煤电厂除尘设施改造,按烟尘最新特别排放限值要求实施改造,积极推进非电行业除尘设施改造,制定实施水泥、钢铁行业除尘设施改造计划,推进燃煤锅炉除尘设施建设,同时加快推进燃煤锅炉清洁能源替代,这也是随着工业发展,烟粉尘的排放强度得到控制的最主要原因。但是烟粉尘的排放现状依然不可忽视,从数据分析来看,相比对 SO<sub>2</sub> 的控制,近些年对烟粉尘的治理投入较低,但烟粉尘对大气环境质量的改善尤为重要,经济得到发展的同时,由于采取了新的工艺和污染治理措施的不断加强,环境质量得到改善。在原有基数较大的基础上,相应的环保政策和措施的实施,使得污染物排放强度可以迅速下降,但是当污染物下降到一定程度时,其减排的空间变小,减排的难度加大,下降的幅度有所缓和。因此在未来的经济发展过程中,采用具有更高清洁生产水平的技术方法,实施更高效除尘技术改造,探索更深入的减排模式,才能进入经济与环境可持续发展的阶段。

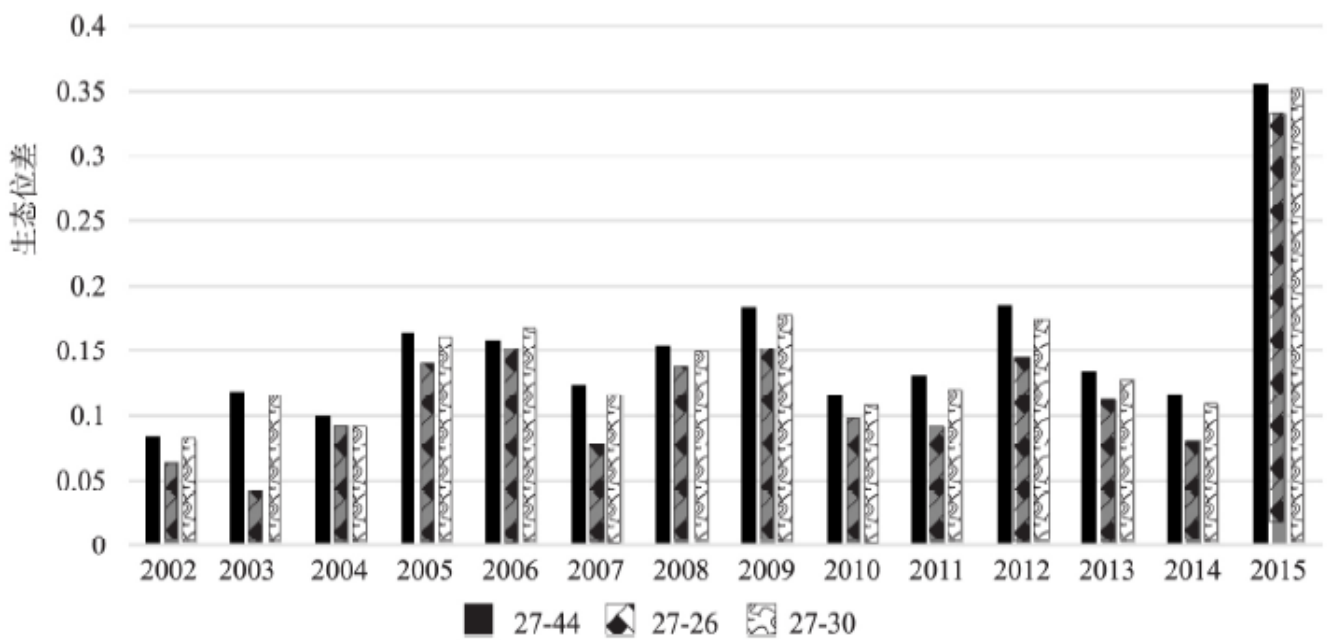


图1 重点行业SO<sub>2</sub>环境经济综合效率较低与较高生态位差变化图

### 3.2 与重点行业中生态位较高行业的比较

#### 3.2.1 大气中 SO<sub>2</sub>环境经济综合效率生态位对比分析

大气污染重点行业 SO<sub>2</sub> 环境经济综合效率生态位排序结果发现, 27 (医药制造业) 在生态位排序前三名中出现次数最多, 因此将医药制造业作为重点行业中 SO<sub>2</sub> 环境经济综合效率生态位较高行业, 分别将 44 (电力行业)、30 (非金属行业)、26 (化工行业) 与其进行对比分析 (图 1)。由生态位较低行业 SO<sub>2</sub> 环境经济综合效率较低与较高生态位差变化图可知, 44 (电力行业)、30 (非金属行业)、26 (化工行业) 与较高行业的生态位差呈现波动上升趋势, 2002—2015 年, 其平均变化速度分别为 23.1%、29.9% 和 23.2%。以 5 年为一个阶段, 2002—2005 年、2006—2010 年和 2011—2015 年, 电力行业与较高行业的生态位差平均上升幅度分别为 23.8%、-5.4% 和 34.4%, 非金属行业与较高行业的生态位差平均上升幅度分别为 29.7%、-7.1% 和 53%, 化工行业与较高行业的生态位差平均上升幅度分别为 24.1%、-7.1% 和 38%。

“十五”和“十二五”期间, 三个行业与较高行业的生态位差均有较大幅度的上升, “十二五”期间上升幅度为最大, “十一五”期间生态位差下降, 这说明“十五”和“十二五”期间生态位较低行业与生态位较高行业的差距较大, 尤其是“十二五”期间, 差距为最大。虽然 2002—2015 年, 电力行业、非金属行业、化工行业的生态位有所上升, 但是其与具有较高生态位行业的差距却在变大, 三个行业在 SO<sub>2</sub> 的减排以及治理方面虽然效果显著, 但是与生态位较高行业的发展和对污染物治理速度相比, 该三个行业的 SO<sub>2</sub> 环境经济综合效率生态位现状不容乐观。

#### 3.2.2 大气中烟粉尘环境经济综合效率生态位对比分析

大气污染重点行业烟粉尘环境经济综合效率生态位排序结果发现, 27 (医药制造业) 在生态位排序前三名中出现次数最多, 因此将医药制造业作为重点行业中烟粉尘环境经济综合效率生态位较高行业, 分别将 44 (电力行业)、30 (非金属行业)、20 (木材加工业) 与其进行对比分析 (图 2)。由生态位较低行业 SO<sub>2</sub> 环境经济综合效率较低与较高生态位差变化图可知, 44 (电力行业)、30 (非金属行业)、20 (木材加工业) 与较高行业的生态位差呈现波动上升趋势, 2002—2015 年, 其平均变化速度分别为 25.2%、25.9% 和

31.5%。以5年为一个阶段,2002—2005年、2006—2010年和2011—2015年,电力行业与较高行业的生态位差平均上升幅度分别为28%、-8.9%和24.7%,非金属行业与较高行业的生态位差平均上升幅度分别为27.7%、-9%和24.8%,木材加工业与较高行业的生态位差平均上升幅度分别为30.2%、-9.2%和24%。

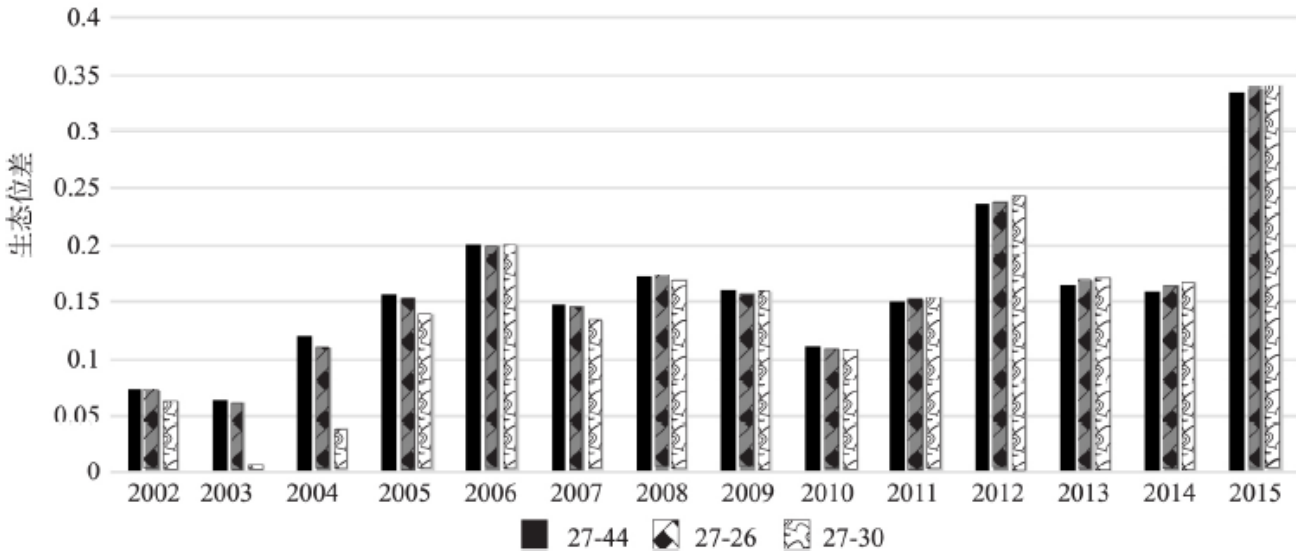


图2 重点行业烟粉尘环境经济综合效率较低与较高生态位差变化图

烟粉尘环境经济综合效率较低生态位与较高生态位行业的生态位差的变化趋势,与SO<sub>2</sub>一致,即“十五”和“十二五”期间,三个行业与较高行业的生态位差均有较大幅度的上升,“十二五”期间上升幅度为最大,“十一五”期间生态位差下降。2002—2015年间,电力行业、非金属行业、木材加工业的生态位有所上升,但是其与具有较高生态位行业的差距却在变大,虽然三个行业在对烟粉尘的控制中采取了相应的措施,也取得了一定的成效,但是相对于其他行业,新的控制措施以及提高其清洁生产力度仍应为重中之重。

### 3.3 基于生态位模型的江苏省大气环境负荷的适宜度评价

按照公式(3)~(7)分别计算模型中SO<sub>2</sub>和烟粉尘2002—2015年参数ε的值和适宜度水平值(表3)。

由于生态位适宜度水平介于0到1之间,故根据模糊聚类中的K距离方法,将江苏省2002—2015年大气环境负荷的适宜度水平进行简单聚类,得到了处于[0, 0.4]的适宜度水平属于低度适宜,处于(0.4, 0.7]的适宜度水平属于中度适宜,而处于(0.7, 1]的适宜度水平属于高度适宜。如表4所示,江苏省2002—2015年大气环境负荷适宜度整体呈现波动变化趋势,SO<sub>2</sub>和烟粉尘的平均值分别约为0.55和0.56,属于中等适宜;SO<sub>2</sub>和烟粉尘有着相似的变化趋势,均在2003年适宜度水平处于低谷,而2006年和2015年的适宜度水平最为理想。

#### 3.3.1 江苏省SO<sub>2</sub>大气环境负荷的适宜度分析

以5年为一个阶段,2002—2005年,江苏省SO<sub>2</sub>大气环境负荷的适宜度呈现波动下降的趋势,平均值为0.54,属于中度适宜。平均下降幅度为0.4%,2003年适宜度水平处于低谷,2002年的适宜度水平最为理想。

2006—2010年,江苏省SO<sub>2</sub>大气环境负荷的适宜度呈现波动下降的趋势,平均值为0.58,属于中度适宜。平均下降幅度为

1.8%, 2008年适宜度水平处于低谷, 2006年的适宜度水平最为理想。

2011—2015年, 江苏省SO<sub>2</sub>大气环境负荷的适宜度呈现波动上升的趋势, 平均值为0.56, 属于中度适宜。平均上升幅度为3.7%, 2014年适宜度水平处于低谷, 2015年的适宜度水平最为理想。

### 3.3.2 江苏省烟粉尘大气环境负荷的适宜度分析

以5年为一个阶段, 2002—2005年, 江苏省烟粉尘大气环境负荷的适宜度呈现波动上升的趋势, 平均值为0.52, 属于中度适宜。平均上升幅度为5.1%, 2003年适宜度水平处于低谷, 2004年的适宜度水平最为理想。

2006—2010年, 江苏省烟粉尘大气环境负荷的适宜度呈现波动下降的趋势, 平均值为0.56, 属于中度适宜。平均下降幅度为1.9%, 2008年适宜度水平处于低谷, 2006年的适宜度水平最为理想。

2011—2015年, 江苏省烟粉尘大气环境负荷的适宜度呈现波动上升的趋势, 平均值为0.55, 属于中度适宜。平均上升幅度为2.5%, 2012年适宜度水平处于低谷, 2015年的适宜度水平最为理想。

表3 江苏省2002—2015年大气环境负荷适宜度计算结果

年份	$\varepsilon$		适宜度水平	
	SO <sub>2</sub>	烟粉尘	SO <sub>2</sub>	烟粉尘
2002	0.6167	0.9964	0.5605	0.4932
2003	0.3889	0.6246	0.5123	0.3965
2004	0.6278	0.2865	0.5561	0.6120
2005	0.5333	0.2794	0.5487	0.5927
2006	0.9556	0.6530	0.6477	0.6354
2007	0.6639	0.4164	0.5643	0.5679
2008	0.4333	0.3132	0.5487	0.5092
2009	0.5750	0.4698	0.5656	0.5225
2010	0.7278	0.5018	0.5869	0.5783
2011	0.5000	0.2740	0.5357	0.5717
2012	0.5139	0.4306	0.5496	0.4988
2013	0.4306	0.3043	0.5412	0.5052
2014	0.4750	0.2989	0.5224	0.5218
2015	0.9944	0.6050	0.6378	0.6411

从三个阶段分析可以看出, “十一五”期间江苏省大气环境负荷具有较高的适宜度, 但是此期间适宜度总体呈现下降趋势。SO<sub>2</sub>和烟粉尘大气环境负荷的适宜度在“十二五”期间变化幅度最大, 且均处于上升状态。

“十一五”和“十二五”是江苏省整体经济增长比较快的年份, 地区生产总值的增长速度逐年攀升, 煤炭消费总量日益增加, 污染物排放量较多。2013年, 江苏省煤炭消费总量3.03亿t, 仅次于山东、河北, 是浙江的一倍; 粗钢产量8.18万t, 生铁产量6.5万t, 位居全国第三; 水泥熟料产量5.25万t, 位居全国第二; 同时由于江苏省产业结构偏重、能源结构不合理, 导致全省大气污染物排放量居高不下。因此虽然“十一五”期间江苏省大气环境负荷具有较高的适宜度, 但是却呈现下降趋势。“十二五”期间,



江苏省深化产业结构调整,推进大气污染源整治,淘汰钢铁、水泥等重点行业落后产能,强化污染治理,削减大气污染物排放总量,持续提高清洁生产水平,控制煤炭消费总量,大力发展清洁能源。由于各种措施的采取,使得“十二五”期间江苏省大气环境负荷适宜度呈现上升的趋势,并在2015年达到最理想状态。

## 4 结论与讨论

### 4.1 结论

(1)2002—2015年,江苏省大气污染重点行业SO<sub>2</sub>的生态位较低的行业分别是电力行业、非金属行业和化工行业,其中最低的为电力行业。2015年较2002年三个行业的SO<sub>2</sub>生态位均有不同程度的上升,以5年为一个阶段,从三个阶段三个行业生态位变化幅度可以看出,与“十五”和“十一五”相比,“十二五”期间,SO<sub>2</sub>的生态位较低的行业,生态位较低的现状得到了较明显的改善,生态位上升幅度较大,表明“十二五”期间,三个行业在SO<sub>2</sub>的减排方面效果显著。

(2)2002—2015年,江苏省大气污染重点行业烟粉尘的生态位较低的行业分别是电力行业、非金属行业和木材加工业。2015年较2002年,电力行业和非金属行业的烟粉尘生态位有小幅度升高,木材加工业下降。2002—2015年,电力行业、非金属行业和木材加工业烟粉尘生态位较低的现状得到了较明显的改善,其中“十五”较之“十一五”和“十二五”上升幅度较大,与SO<sub>2</sub>的生态位变化具有相反的趋势。

(3)将SO<sub>2</sub>生态位较低的电力行业、非金属行业和化工行业与生态位较高行业的对比分析的结果显示,二者生态位差均呈现波动上升趋势,以5年为一个阶段,“十五”和“十二五”期间,三个行业与较高行业的生态位差均有较大幅度的上升,“十二五”期间上升幅度为最大,“十一五”期间生态位差下降,这说明“十五”和“十二五”期间生态位较低行业与生态位较高行业的差距较大,尤其是“十二五”期间,差距为最大。

(4)将烟粉尘生态位较低的电力行业、非金属行业和化工行业与生态位较高行业的对比分析的结果显示,二者生态位差均呈现波动上升趋势,以5年为一个阶段,烟粉尘环境经济综合效率较低生态位与较高生态位行业的生态位差的变化趋势,与SO<sub>2</sub>一致,即“十五”和“十二五”期间,三个行业与较高行业的生态位差均有较大幅度的上升,“十二五”期间上升幅度为最大,“十一五”期间生态位差下降。

(5)“十一五”期间江苏省大气环境负荷具有较高的适宜度,“十五”和“十一五”均呈现下降趋势,“十二五”为上升趋势。由于经济增长速度较快,煤炭消费总量日益增加,污染物排放量较多,同时由于江苏省产业结构偏重、能源结构不合理,导致全省大气污染物排放量居高难下,因此三个阶段相比,虽然“十一五”期间江苏省大气环境负荷具有较高的适宜度,但是却呈现下降的趋势。“十二五”期间,由于各种措施的采取,使得“十二五”期间江苏省大气环境负荷适宜度呈现上升的趋势,并在2015年达到最理想状态。

### 4.2 讨论

14年间,重点行业中SO<sub>2</sub>和烟粉尘生态位较低的行业生态位呈现波动上升趋势,以5年为一个阶段进行分析,较之“十五”和“十一五”,“十二五”期间上升幅度较大,虽然其生态位“绝对值”呈现上升趋势,但是其与重点行业中的生态位较高行业的生态位差却逐年变大,尤其是在“十二五”期间。这说明,虽然其生态位较低的现状得到了缓解,但是相对于其他行业,该行业生态位较低的现状并没有得到改善,并且其与生态位高的行业的差距在加大,因此生态位较低行业如电力行业、非金属行业、化工行业和木材加工业等,针对SO<sub>2</sub>和烟粉尘的新的控制措施以及提高其清洁生产力度仍为重中之重。

从三个阶段总体上来看,“十一五”期间具有较高的大气环境负荷的适宜度,但是总体处于下降趋势,“十二五”相对于

---

“十一五”期间大气环境负荷的适宜度较低,但是总体处于上升态势,说明“十二五”期间江苏省针对大气污染的削减,强化治理取得了初步成效。未来发展过程中,持续提高清洁生产水平,控制煤炭消费总量,大力发展清洁能源尤为重要。

在指标选择方面,经济指标只选取了行业总产值和煤炭消费总量,污染物排放治标只选择了二氧化硫和烟粉尘,没有从生态系统方面选择更多指标对江苏省大气环境的污染负荷程度进行研究,可在以后研究中进行探讨;由于受资料和数据限制,文章仅仅基于时间序列对江苏省大气环境的污染负荷程度进行了研究,没有从空间上进行分述探讨,研究略显不够立体,有待今后继续探讨。

#### 参考文献:

- [1]Wang Z, Shi L, Hu D, et al. Pursuing Sustainable Industrial Development through the Ecoindustrial Parks: Three Case Studies of China [J]. Annals of the New York Academy of Sciences, 2010, 1195(Suppl 1):145-153.
- [2]Geng Y, Cote R. Applying Industrial Ecology in Rapidly Industrializing Asian Countries [J]. International Journal of Sustainable Development and World Ecology, 2004, 11 (1):69-85.
- [3]Gibbs D, Deutz P. Reflections on Implementing Industrial Ecology through Eco-industrial Park Development [J]. Journal of Cleaner Production, 2007, 15 (17):1683-1695.
- [4]Shi H, Moriguchi Y, Yang J. Industrial Ecology in China, Part I: Research [J]. Journal of Industrial Ecology, 2002, 6(3-4):7-11.
- [5]江珂. 不同污染类型工业行业的环境污染分解分析[J]. 生态经济, 2010(4):96-99.
- [6]田颖, 沈红军. 江苏省水泥制造业经济发展与大气环境变化相关性分析[J]. 环境监控与预警, 2016, 8(4):13-16.
- [7]田颖, 沈红军. 江苏省工业发展与大气污染物排放的时空演变关系[J]. 环境监控与预警, 2017, 9(5):5-9.
- [8]赵彤, 丁萍. 区域产业结构转变对生态环境影响的实证分析-以江苏省为例[J]. 工业技术经济, 2008, 12(27):90-93.
- [9]陈绍愿, 林建平, 杨丽娟, 等. 基于生态位理论的城市竞争策略研究[J]. 人文地理, 2006, 21(2):72-76.
- [10]倪九派, 魏朝富, 谢德体. 土地利用的生态位及调控机制的研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(S):113-115.
- [11]李艳萍, 葛又松. 基于生态位理论探析江苏省沿江城市发展[J]. 河北师范大学学报(自然科学版), 2005, 29(6):631-636.
- [12]张侠, 葛向东, 濮励杰, 等. 土地利用的经济生态位分析和耕地保护机制研究[J]. 自然资源学报, 2002, 17(6):677-683.
- [13]李自珍, 韩晓卓, 李文龙. 具有生态位构建作用的种群进化动力学模型及其应用研究[J]. 应用数学和力学, 2006, 27(3):293-299.
- [14]郭燕青, 姚远, 徐菁鸿. 基于生态位适宜度的创新生态系统评价模型[J]. 2015(15):13-16.

- 
- [15]周青,陈畴镛.中国区域技术创新生态系统适宜度的实证研究[J].科学学研究,2008,26(S1):242-246.
- [16]裴千里.基于生态位适宜度理论的区域创新系统评价研究[J].经济研究导刊,2012(13):170-171.
- [17]朱春全.生态位态势理论与扩充假说[J].生态学报,1997,17(3):324-332.
- [18]陈逸,黄贤金,陈志刚,等.基于生态位理论的区域土地利用时空演变研究[J].生态经济学报,2007,5(1-4):51-55.
- [19]赵奥.基于生态位适宜度的辽宁省生态环境负荷水平测度[J].大连民族大学学报,2017,19(2):119-123.
- [20]赵奥.辽宁省工业化进程与生态环境负荷的交互相应研究[J].南昌师范学院学报(社会科学),2017,38(1):23-26.