江苏省产业结构的水环境污染响应

谢丽芳[1], 颜城敏[2], 李该霞[1], 徐元崇[1], 张 洋[1], 赵言文[1]

(1.南京农业大学 资源与环境科学学院, 江苏 南京 210095; 2.南京工程学院, 江苏 南京 211100)

摘 要:[目的] 分析不同水污染因子的空间分布,为江苏省产业结构调整与水环境污染响应研究提供依据。[方法] 以分析估算农业面源污染和工业点源污染等产业结构的污染负荷为基础,以县(市、区)为评价单元,构建综合反映产业结构对水环境污染影响的复合型水环境污染指标体系,利用主成分分析法与聚类分析法进行评价分析。[结果] (1) 总体上,江苏省化肥施用强度和农药施用强度空间分布大致相当,单位面积废水排放较集中。(2) 单位面积废水排放比较高的区域主要集中在江苏省各地级市主城区以及周边部分县市单元。(3) 江苏省单位面积工业 COD 排放总体空间分布呈北高南低的态势。[结论] (1) 工业化进程是影响区域水环境污染的最大因素,但水环境恶化是多种因素共同作用的结果; (2) 江苏省南北地区各水环境污染等级综合得分大小顺序为:苏南>苏中>苏北,与江苏省南北经济发展水平表现出一定的同步性。

关键词:产业结构; 水环境污染; 空间分布; 江苏省

文献标识码:A **文章编号**:1000-288X(2016)02-0307-07 **中图分类号**:X143

文献参数:谢丽芳, 颜城敏, 李该霞, 等. 江苏省产业结构的水环境污染响应[J]. 水土保持通报, 2016, 36(2):307-313. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.02.057

Responses of Water-environment to Industry Structure in Jiangsu Province

XIE Lifang[1], YAN Chengmin[2], LI Gaixia[1], XU Yuanchong[1], ZHANG Yang[1], ZHAO Yanwen[1]

(1. *College of Resources and Environmental Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu* 210095, *China*; 2. *Nanjing Institute of Technology, Nanjing, Jiangsu* 211100, *China*)

Abstract: [Objective] The spatial distribution of different pollution factors was analyzed to provide bases for the adjustment of industrial structure and the control of water pollution in Jiangsu Province. [Methods] Based on the analysis of the pollution load of agricultural non-point source pollution and industrial point source pollution, with county(city, district) as the evaluation unit, an index system that can comprehensively reflect the influences of industrial structure on water pollution was built to evaluate and analyze the environmental pollution using methods of clustering analysis and principal component analysis. [Results] (1) Overall, the spatial distribution of the intensity of chemical fertilizers and pesticide application is approximately equal, the discharge of waste water per unit area is more concentrated in Jiangsu Province. (2) Area of wastewater discharge from the unit area is mainly concentrated in the main cities and the surrounding counties of Jiangsu Province. (3) The overall spatial distribution of emissions from industrial COD in unit area of Jiangsu Province is showed that south area higher than south area. [Conclusion] (1) The process of industrialization is the important factor of water environment pollution, but the water environment pollution is the result of many factors. (2) Water environmental pollution level comprehensive score of Jiangsu Province is in the fllowing order: south area>middle area>north area, and water environmental pollution spatial distribution and level of economic development shows certain synchronicity.

Keywords: **industry structure; water environment pollution; spatial distribution; Jiangsu Province**

水资源是重要的自然资源,与社会经济建设和人民生活息息相关,又是构成生态环境的重要要素。20 世纪 70 年代以来,随着江苏省经济的发展,城镇工业废水大部分未经处理就直接排入河湖以及农村化肥

收稿日期:2015-01-25 **修回日期**:2015-03-19

资助项目:江苏省水利科技项目"江苏省水土保持规划专题研究"(2012031)

第一作者:谢丽芳(1990—),女(汉族),江苏省南通市人,硕士研究生,研究方向为水土保持和环境影响评价研究。E-mail:569929897@qq.com。

通信作者:赵言文(1965—),男(汉族),江苏省徐州市人,博士,教授,博士生导师,主要从事水土保持、环境生态学和生态环境影响评价研究。E-mail:ywzhao@njau.edu.cn。

农药的大量使用,使得自然水体已日益受到严重的污染[1]。随着社会经济的快速发展,水环境质量对区域社会经济发展的瓶颈作用日益突出,实施产业结构调整、工程治理和加强环境监管三大体系的综合治理成为控制水环境污染的重要途径[2]。实现经济持续增长的推动力就是产业发展,同时产业发展也带来了不同程度的环境污染,所以产业结构调整与优化升级是减少污染排放、改善环境质量的重要举措[3]。当前,国内外学者研究产业结构与水环境的响应,大多研究农业面源污染对水质的影响[4-5],以及将工业污染物排放与水质建立定量关系来研究[6-8],然而在产业结构优化调整以及对水环境污染的空间响应方面的研究比较少见。产业结构空间分布的不合理是局部区域水环境污染的主要原因,因此通过调整产业结构空间分布达到改善水环境质量的目的,已经成为学术界的普遍共识[9]。基于此,本研究以江苏省为研究对象,以分析估算农业面源污染和工业点源污染等产业结构的污染负荷为基础,分析不同污染因子的空间分布,并提出相应的调整对策,为江苏省产业结构调整与水环境污染响应研究提供依据。

1 研究区概况

江苏省位于我国大陆东部沿海地区、长江下游,东濒黄海,东南与浙江和上海毗邻,西连安徽,北接山东。东经 116°18′—121°57′,北纬 30°45′—35°20′,国土面积 1.03×10^6 km^2,其中:平原洼地占 68.8%,河湖水面占 16.9%,丘陵山区占 14.3%,地势较平坦。江苏省气候具有明显的季风特征,处于亚热带向暖温带过渡地带,气候温和,雨量适中,四季分明。该省年平均气温为 13～16 ℃,年降雨量为 1 000 mm 左右。2010 年末,江苏省共辖 13 个地级市,55 个市辖区,26 个县级市,24 个县。江苏省人民政府依据地理位置和经济发展水平,从理论上把江苏化成 3 块:苏南为江南 5 市(南京、苏州、无锡、常州、镇江);苏中为江北沿江 3 市(扬州、泰州、南通);苏北为江北其余 5 市(徐州、连云港、盐城、淮安、宿迁)。根据《2011 年江苏统计年鉴》统计,2010 年该省常住人口 7 869.34 万人,人口密度 767 人/km^2。2010 年江苏省地区生产总值达到 41 425.48 亿元,城镇居民人均可支配收入 22 944 元,农村居民人均纯收入 9 118 元,城镇化率 60.58%。区域经济发达,地区产出水平普遍较高,内部差异也较为显著,一、二、三产业所占比重分别为 2.1%,59.3%(工业 54.9%)和 38.6%,工业经济是区域 GDP 的绝对主要来源。

2 研究方法和数据处理

2.1 研究方法

水环境污染因子是一个复合型指标,不仅体现在水体自然属性上,更体现在社会经济发展的各个方面,其中受社会经济要素影响的因子有土地利用方式、农业面源污染、工业废水和生活污水排放上[10],自然降解和污水处理一定程度上减轻了产业结构的水环境污染。因此,选取了与产业结构对水环境污染响应直接或间接相关的人口密度(人/km^2)、建设用地比重(%)、单位 GDP(万元/km^2)、第一产业比值(%)、第二产业比值(%)、第三产业比值(%)、单位面积农药施用(kg/km^2)、单位面积化肥施用(kg/km^2)、单位面积工业废水排放(10^4 t/km^2)、单位面积工业 COD 排放(t/km^2)、污水处理率(%)、多年平均降雨量(mm)和水生生物多样性等主要指标,构建了复合型水环境污染指标体系。由于水环境污染指标单位的不同,不能直接相加和综合,采用主成分分析法对其进行评价。主成分分析法在减少指标相关性、避免信息重叠和克服确定权重的主观片面性等方面显示了其独特的作用,它能很好地抓住事物的主要矛盾,而且主成分分析的数学原理比较简单易懂,在地理学研究中应用较为广泛[11-12]。评价单元采用行政边界,即以各县(市、区)为基本评价单元统计(由于行政边界的调整,将研究的所有行政单元都统一到 2010 年底,共计 105 个评价单元)。

2.2 数据来源与处理

社会经济指标基础数据来源于全国水土保持规划数据上报系统,污染指标基础数据来源于 2011 年江苏省各市、县统计年鉴,水生生物多样性指标数据来源于江苏省水生生物物种资源调查与评估项目,多年平均降雨量数据来源于中国气象科学数据共享服务网 23 个标准气象站 2001—2010 年的降雨数据。根据主成分分析法的原理和步骤[13-14],运用 SPSS 18.0软件对该省现有的 105 个评价单元数据进行统计处理,KMO 检验值为 0.715>0.6,Bartlett 球体检验的相伴概率为 0.000<0.05,表明适合进行主成分分析。主成分个数提取的原则是特征值>1 和累计贡献率>80%,因此本文提取了 5 个主成分,其载荷系数、特征值、贡献率和累积贡献率见表 1,然后根据主成分得分和主成分的贡献率计算各个评价单元水环境污染指数综合得分。计算公式为:

$$F_i=\lambda_1 f_1+\lambda_2 f_2+\lambda_3 f_3+\lambda_4 f_4+\lambda_5 f_5$$

式中:F_i——第 i 个评价单元水环境污染指数综合得分;λ_i——第 i 主成分贡献率;f_i——第 i 主成分得分。

3　产业结构污染负荷空间分布

3.1　农田污染负荷空间分布

中国农业污染主要表现在过度施用农药和化肥、新型农业产生的塑料薄膜废弃物、焚烧秸秆和禽畜养殖,其中农药和化肥污染无论在污染覆盖面积还是在污染危害程度上,都较其他表现更为严重,是当前中国最主要的 2 个农业污染途径[13]。江苏省农药与化肥施用量在全国是很高的,并且一直呈上升趋势。本研究以单位面积农药和化肥施用量两项指标表征评价单元的农业面源污染。根据统计,中国每年使用的农药量中约有 80%直接进入环境中,而进入环境的农药绝大部分经生物圈物质循环后汇集到水体中,从而降低水生态环境质量,打破了水生生态系统的平衡,从单位面积投入农药强度的格局来看(图 1),北高南低,苏北地区农药投放强度较高的研究单元主要有徐州的邳州市,连云港的东海县、灌云县、灌南县,淮安市的淮阴区、楚州区、盱眙县,盐城市的响水县、阜宁县、大丰市和东台市。苏中地区农药投放强度较高的研究单元主要有泰州市的兴化市、扬州市的仪征市,南通市的如皋、通州区和海门市。苏南地区农药投放强度较高的研究单元主要有苏州市的常熟市,无锡市的江阴市,镇江市的丹阳市。化肥施入土壤后,一部分被植物和微生物吸收利用,一部分被土壤吸附固定,其他部分进入环境。钾肥中的氯化物或者硫酸盐会随着径流流入地面水和地下水,磷肥、磷酸盐也会通过土粒、地表径流进入水体,氮肥中的氮素一方面容易通过径流作用和淋溶作用随水流入水体,对水环境质量造成不利影响[15]。总体上,江苏省化肥施用强度和农药施用强度空间分布大致相当(图 2),苏北地区相较于苏中和苏南地区较为严重,其中苏北地区化肥投入量比较高的研究单元:徐州市的沛县、邳州市、睢宁县、新沂市,连云港市的东海县、灌云县、灌南县,宿迁市的沭阳县、泗洪县,淮安市的楚州区、涟水县、盱眙县,盐城市的阜宁县、大丰市和东台市;苏中地区化肥投入量比较高的研究单元:南通市的通州区、如皋市和海门市,扬州市的仪征市;苏南地区化肥投入量比较高的研究单元:镇江市的丹阳市,南京市的高淳县,常州市的金坛市、无锡市的江阴市、宜兴市,苏州市的常熟市和吴江市。

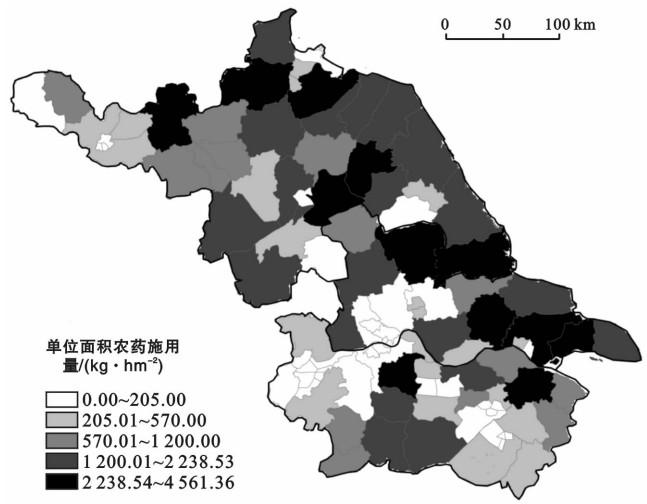


图 1　江苏省单位面积农药投放量空间分布

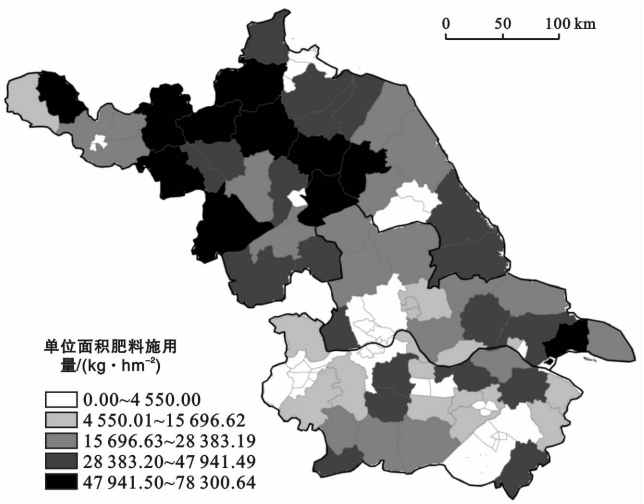


图 2　江苏省单位面积化肥施用量空间分布

3.2　工业点源污染负荷空间分布

工业废水排放量指经过企业厂区所有排放口排放到企业外部的工业废水量。工业废水有以下突出特点,污染物成分复杂、差异大。不同行业的工业废水其成分和性质存在显著差异。工业废水中往往含有较多种类或较高浓度的难以降解的有机污染物。COD 反映了水中受还原性物质污染的程度,也作为有机物相对含量的综合指标之一。工业废水中 COD 排放量占前 4 位的行业为造纸业,烟草加工及食品、饮料制造业,化工制造业和纺织业。本文以单位面积工业废水排放量和单位面积工业 COD 排放量两项指标表征评价单元的工业点源污染。江苏省单位面积废水排放较集中(图 3)。单位面积废水排放比较高的区域主要集中在江苏省各地级市主城区以及周边部分县市单元。其中苏南沿江地区各县市产污强度较大。苏中地区单位面积工业废水排放比较高的地区主要集中在扬州市以及周边各县市,主要由于扬州靠近省会南京的地理优势,作为苏中地区,为了提高经济,大力发展工业。环太湖地区与苏北淮河区域相比,环太湖地区单位面积废水排放量较高。从江苏整体废水排放空间分布来看,苏北地区较低,苏中地区次之,苏南地区最高。苏北地区工业废水排放量比较高的研究单元主要包括:徐州市的鼓楼区、泉山区、铜山区和贾汪区,宿迁市的宿城区和宿豫区,淮安市的

淮阴区、清河区和清浦区，盐城市的亭湖区和盐都区。苏中地区工业废水排放量比较高的研究单元主要包括：扬州市大部分地区，泰州市的海陵区和高港区，南通市的港闸区和崇川区。苏南地区工业废水排放量比较高的研究单元包括：南京市大部分地区，镇江市的京口区、润州区和丹徒区，常州市的新北区、钟楼区和天宁区，无锡市的北塘区、南长区和崇安区，苏州市的大部分地区。

表 1 江苏省水环境污染主成分因子的旋转矩阵

评价指标	主成分				
	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4	因子 5
人口密度	0.765	0.301	0.142	−0.253	−0.038
建设用地比重	0.752	0.154	0.265	−0.274	0.077
单位 GDP	0.693	0.331	−0.113	−0.171	−0.058
第一产业比值	−0.641	0.512	0.053	−0.079	0.157
第二产业比值	0.112	0.879	0.091	−0.031	−0.145
第三产业比值	0.284	0.872	0.031	−0.115	−0.057
单位面积工业废水排放	0.132	0.111	1.103	−0.113	−0.087
单位面积工业 COD 排放	0.301	0.121	1.070	−0.143	−0.039
单位面积农药投入	−0.201	−0.131	−0.059	0.907	0.073
单位面积化肥施用	−0.183	−0.027	−0.110	0.867	0.025
污水处理率	0.113	0.109	−0.133	0.026	−0.546
水生生物多样性	−0.189	0.065	−0.142	−0.105	−0.382
年平均降雨量	0.009	0.037	−0.008	−0.130	−0.354
特征值	3.082	2.551	2.242	2.208	1.048
贡献率/%	23.708	19.623	17.246	16.985	8.062
累积贡献率/%	23.708	43.331	60.577	77.562	85.624

工业废水中化学需氧量(COD)越大，说明水体受有机物的污染越严重。就单位面积工业 COD 排放的分布而言(图 4)，江苏省单位面积工业 COD 排放总体空间分布北高南低，苏北地区 COD 排放相较于苏南和苏中地区较高，主要由于造纸、化工、纺织印染等工业废水中 COD 含量较大，而这类工厂多存在于苏北地区。

苏北地区工业 COD 排放量较高的研究单元有徐州市的钟楼区和泉山区，宿迁市的宿城区、宿豫区和沭阳县，连云港市的海州区、新浦区、连云区、赣榆县和东海县，盐城市的大部分地区，淮安市的淮阴区、清河区和清浦区。苏中地区工业 COD 排放量较高的研究单元有扬州市的大部分地区，泰州市的海陵区和高港区，南通市的港闸区、崇川区和通州区。苏南地区工业 COD 排放量较高的地区有南京市主城区，镇江市的润州区、京口区和丹徒区，常州市的钟楼区和天宁区，无锡市的崇安区、南长区、北塘区和宜兴市，苏州市的主城区和吴江市。

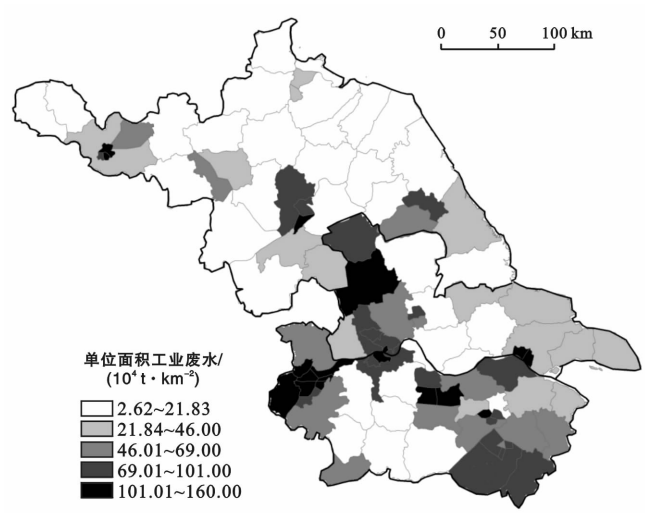


图 3 江苏省单位面积工业废水排放量空间分布

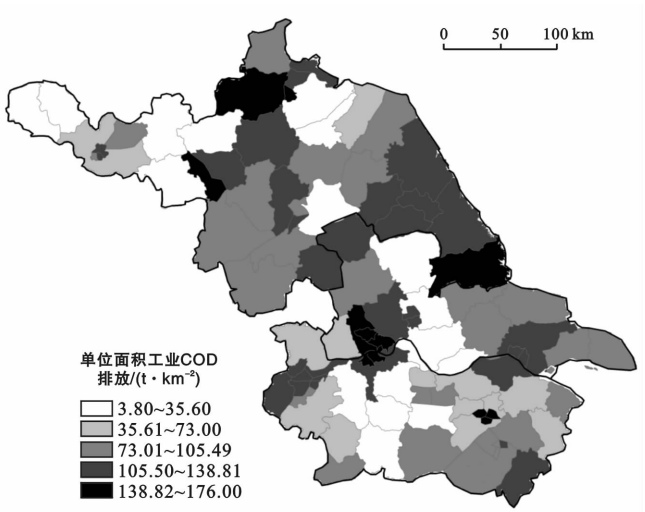


图 4 江苏省单位面积工业 COD 排放量空间分布

4 产业结构污染因子的水环境响应

根据上述直观分析以及现实经验，经济产出较高、产业结构偏重、环境保护水平低和生态脆弱的区域是水环境污染相对严重的区域，本文通过主成分分析定量地揭示了产业结构对水环境污染影响的空间

分布,对水环境污染治理具有较强的针对性和操作价值。

4.1　产业结构污染因子的贡献及空间分析

从主成分因子载荷(表 1)分析,人口密度、建设用地比重、单位 GDP 和第一产业产值在第 1 主成分载荷量绝对值均>0.6,主要反映土地利用强度对水环境污染的影响,贡献率为 23.708%;第二产业比值和第三产业比值在第 2 主成分有较大载荷,主要反映了以工业为主的第二产业对水环境污染的影响,贡献率为 19.623%;单位面积工业废水排放和单位面积工业 COD 排放在第 3 主成分有较大载荷,主要反映了工业点源对水环境污染的影响,贡献率为 17.246%;单位面积农药投入和单位面积化肥施用在第 4 主成分有较大载荷,主要反映了农业面源污染对水环境污染的影响,贡献率为 16.985%;污水处理率、水生生物多样性指数和多年平均降雨量在第 5 主成分有较大载荷,主要反映了对污染物的稀释、降解和治理的能力,使污染物浓度和毒性逐渐下降,改善水质质量,贡献率为 8.062%。

第 1,第 2 和第 3 个主成分共同反映了社会经济快速发展的工业化进程水平,说明工业化进程对江苏省水环境污染的影响起重要作用,而水环境恶化是多种因素共同作用的结果,因为各个评价单元所处的社会经济发展阶段、工业化程度、产业结构差异和污染削减能力高低等都能影响水环境污染程度。第 3 主成分,即反映工业点源污染对水环境影响的空间分布(图 5)。工业点源污染分布较为集中,经济产值高的地区其污染产生率也比较高,总体上呈现着高产出、高污染的发展态势。工业点源污染最为严重的单元主要分布在南京市沿江市区,无锡市市区,苏州市市区以及下属吴江市,扬州市市区及大部分县市,及其他地级市市区。从总体空间分布上看,工业点源污染比较集中的区域主要位于各城市的主城区,向周边县市逐渐减弱。第 4 主成分,即反映的农业面源污染对水环境影响的空间分布(图 6)。农业面源污染最为严重的单元主要分布于徐州沛县、邳州市,连云港东海县盐城阜宁县,宿迁泗洪县,淮安盱眙县,泰州兴化市南通海门市,苏州常熟市,镇江丹阳市,总体上,苏北大部分地区农业面源污染程度较为严重,苏中次之,该类型区域农业化肥投放强度较大。第 5 主成分,即反映污染削减因子对水环境影响的空间分布(图 7),污染削减能力较低的单元主要分布于泰州兴化市,盐城响水县、阜宁县,淮安盱眙县,宿迁泗洪县、泗阳县,徐州邳州市、丰县、沛县,总体上苏南地区污染物削减能力高于苏中苏北地区。从社会经济发展水平来看,苏南地区经济水平较高,群众环保意识强,环保措施较为全面有效。而苏中苏北地区主要由于经济发展方式较为粗犷,环保意识薄弱等因素,导致对污染物的削减能力较低。从江苏省各地区的自然属性来看,淮河以南大部分地区每年有持续 1 个月的梅雨季节,水量较为充沛,对水污染有较好的稀释降解能力,江苏南部地区高温多雨对生物的生长有利,生物多样性比苏中苏南地区高,水体自净能力高于苏中、苏北地区。

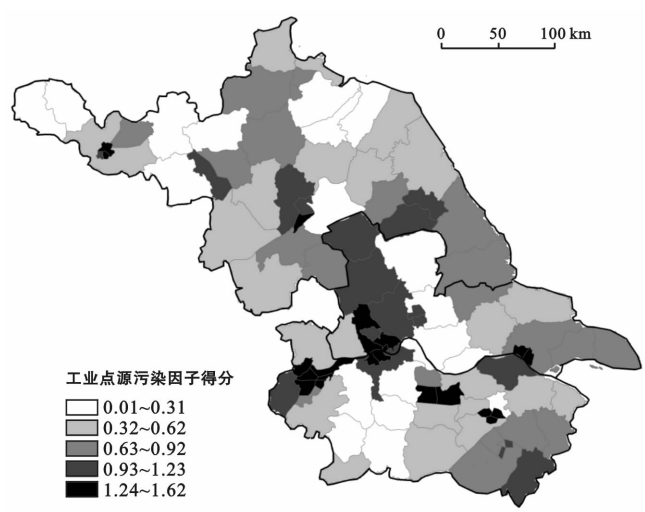


图 5　江苏省工业点源污染因子得分空间分布

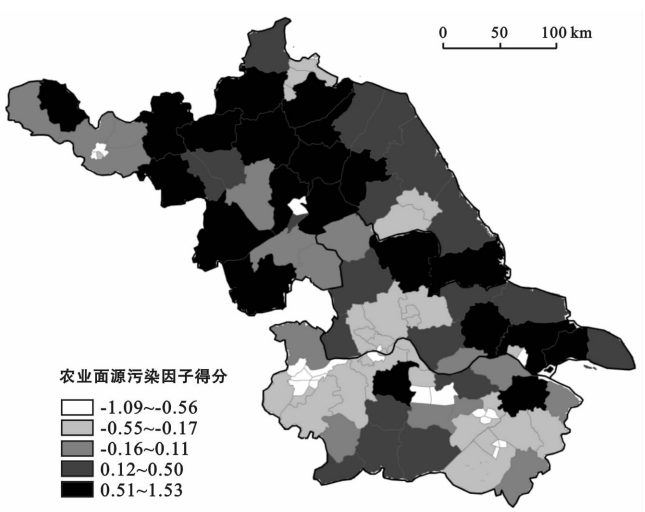


图 6　江苏省农业面源污染因子得分空间分布

4.2　水环境污染的综合评价

利用 SPSS 18.0 软件对水环境污染指数综合得分进行聚类分析,将社会经济发展对水环境污染的影响分为高、中和低 3 个等级(图 8),并以此计算苏南、苏中、苏北和区、县(市)的各主成分及综合平均得分值(表 2—3)。其中水环境污染影响高等的单元 23 个,面积 2 274 km^2,占江苏省总面积比重为 2.22%;水环境污染影响中等的单元有 45 个,占江苏省总面

积为 48 687 km^2，占江苏省总面积比重 47.45%；水环境污染影响低等的单元有 37 个，总面积为 51 639 km^2，占江苏省总面积比重 50.33%。通过对比区和县(市)两级水环境污染等级的影响因素(表 2)可以看出，高等污染类型只存在于区级单元，此外区级在中等和低等污染类型中土地利用强度、非农结构和工业污染得分基本上比县(市)级得分要高，反映在市区作为地级市经济发展的核心，产出量高，消耗的环境成本总量也较大。

农业污染在得分则表现为县(市)单元比区级单元高，县(市)在农业产值比重上较高，反映在农药和化肥的投入量也相对较大。而县(市)级污染削减能力得分比区级要高，说明县(市)级污染削减能力低于区级。

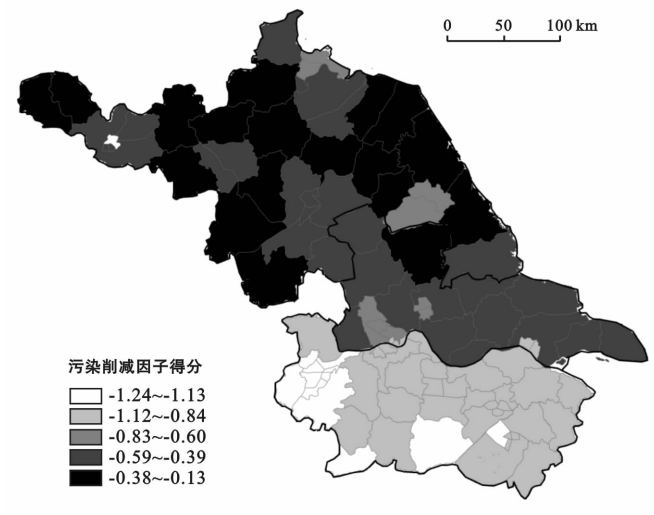


图 7 江苏省污染削减因子得分空间分布

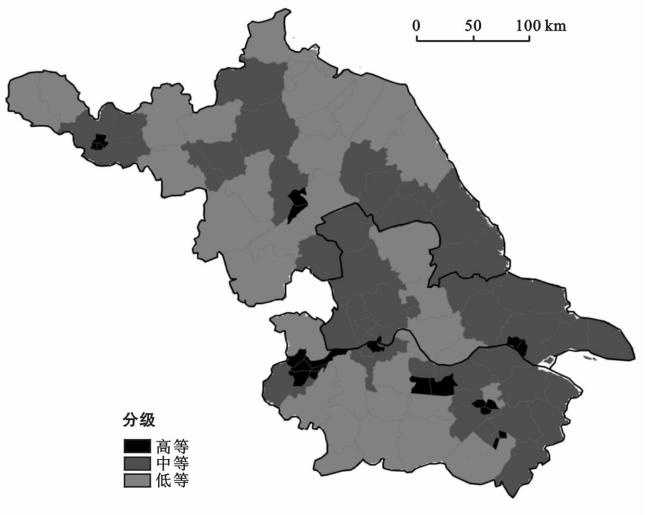


图 8 江苏省产业结构的水环境污染综合分级空间分布

通过对比江苏省南北方向上水环境污染等级影响因素(表 3)可以看出，在土地利用强度、非农结构和工业污染对水环境污染的影响上看，3 个污染等级得分情况基本上表现为苏南和苏中大于苏北地区，而农业污染在 3 个污染等级得分情况则表现为苏北地区大于苏中和苏南地区。主要由于江苏省苏南地区经济发展较快，苏中地区加快追赶苏南经济的步伐，工业化进程迅速，所以苏南和苏中地区工业产值较高，对水环境的压力较大，而苏北地区相较于苏中和苏南地区在农业产值比重较高，农业面源污染较为严重。从污染削减能力 3 个污染等级得分情况看，苏北地区得分比苏中苏南高，说明苏北地区相较于苏中和苏南地区污染削减能力弱。从江苏省南北地区各水环境污染等级综合得分大小顺序依次为：苏南＞苏中＞苏北，这与江苏省南北经济发展水平表现出一定的同步性。另外，从南北区域各自 3 个等级污染等级单元个数比重(高中低单元在苏南地区的比重为 15∶17∶13，在苏中地区 3∶14∶4，在苏北地区为 5∶14∶20)，苏南地区高污染类单元个数比重为 33.3%，也表明苏南地区水环境污染情况更为严重。

表 2 江苏省水环境污染区、县(市)区域特征对比

污染类型	县(市、区)	单元数	平均因子得分					
			土地利用强度	非农结构	工业污染	农业污染	污染削减能力	污染总得分
高	区	23	1.521	1.464	1.352	−0.656	−0.941	0.810
	县(市)	0	—	—	—	—	—	—
中	区	23	0.597	1.233	0.959	−5.387	−0.813	0.522
	县(市)	22	0.253	1.153	0.751	0.352	−0.611	0.498
低	区	9	0.283	1.159	0.534	−0.092	−0.825	0.356
	县(市)	28	−0.079	1.098	0.280	0.372	−0.517	0.311

4.3 相关建议

(1) 调整高污染工业结构。根据第 3 主成分的得分，将高污染的单元确定为重点产业结构布局调整区，引进产业结构指导目录中鼓励的行业，规避限制类、淘汰类的企业入驻，长远地制定经济发展战略。

对已有的规模以上(年销售收入在 500 万元以上)的重点污染企业，采用高新技术改造提升生产工艺水平，并安装自动监控设施，与省污染源监控平台联网，进行实时监控。对规模以下的重点污染企业，采取“淘汰一部分、改造一部分、集中一部分”的政策进行调整以优化产业布局[9]。提高企业工业用水重复率和工业废水集中处理率，减少污染物排放，大力

发展循环经济。

(2) 控制农业面源污染。根据第 4 主成分的得分,将位于长江、湖泊湿地附近的高污染,农业活动直接对水环境造成影响的单元,确定为农业面源污染优先控制区。该单元农业比重较大,化肥农药使用量较高,农业面源污染较为严重。多主体投入资金,发展生态旅游,生态农业,大力推广有机农业,遵循自然规律,采取农作、物理和生物的方法来培肥土壤、防治病虫害,建立生态安全、规模化、现代化的有机农业示范基地。

表 3　江苏省水环境污染苏南、苏中、苏北区域特征对比

区域	污染类型	单元数	平均因子得分						
			土地利用强度	非农结构	工业污染	农业污染	污染削减能力	综合得分	
苏南	高	15	1.715	1.55	1.345	−0.806	−1.099	0.838	0.558
	中	17	0.707	1.249	0.821	−0.239	−1.031	0.503	
	低	13	0.254	1.155	0.33	0.363	−1.006	0.312	
苏中	高	3	1.049	1.314	1.549	−0.359	−0.831	0.754	0.535
	中	14	0.422	1.171	0.945	0.099	−0.605	0.538	
	低	4	0.236	1.055	0.228	0.221	−0.436	0.356	
苏北	高	5	1.22	1.291	1.257	−0.385	−0.532	0.76	0.439
	中	14	0.105	1.152	0.825	0.369	−0.438	0.491	
	低	20	−0.196	1.097	0.417	0.372	−0.353	0.321	

(3) 提高污染削减能力。根据第 5 主成分的得分,污水削减能力低的单元注重污水处理能力建设,增加再生水资源量,提高中水的利用率。同时,增强人民群众节约资源、减少水污染、保护生物多样性的环保意识,逐渐增强各单元污染削减能力。

(4) 产业结构调整与产业布局优化相结合。由于水环境承载力的约束性和区域差异性,区域产业结构和整个区域产业布局的不合理都能影响水环境污染程度,因此产业结构调整和产业布局优化相结合,将有效改善江苏省水环境质量。如在盐城北部地区,连云港地区,南京南部地区,苏中中部地区,徐州周边县市,洪泽湖周边部分县市水环境污染综合得分较低,适合基础产业布局。对于苏南地区,水环境污染综合得分较高,迫切需要转型升级,促进基础产业向苏中苏北地区聚集。

5　结 论

(1) 在 ArcGIS 与 SPSS 软件支持下,建立了以各县(市、区)为基础的评价单元,同时选取与产业结构水环境污染相关的复合型污染指标体系,综合研究了江苏省产业结构污染负荷现状及其总体空间趋势。

(2) 基于对江苏省产业结构水环境污染的综合空间评价,产业结构污染因子的贡献分析,提出了调整重污染工业结构,控制农业面源污染、产业结构调整及布局优化等建议。

(3) 受资料以及数据来源的影响,本研究所选的产业结构水环境污染因子及指标在数量和代表性方面尚存在一定局限性,有待进一步研究。

[参 考 文 献]

[1] 胡长忠,吴泽毅. 江苏水资源污染现状及其对策[J]. 水资源保护,1993(2):35-38.

[2] 范成新,羊向东,史龙新,等. 江苏湖泊富营养化特征、成因及解决途径[J]. 长江流域资源与环境,2005,14(2):218-223.

[3] 赵海霞,董雅文,段学军. 产业结构调整与水环境污染控制的协调研究:以广西钦州市为例[J]. 南京农业大学学报:社会科学版,2010,10(3):21-27.

[4] 袁金柱,李利华. 我国农业面源污染对水体的影响及防治措施[J]. 内蒙古农业科技,2009(1):29-31.

[5] 王海云,王军. 农业面源对水环境污染及防治对策[J]. 环境科学技术,2006,29(4):53-55.

[6] 于文金,邹欣庆. 江苏盐城海岸带环境效应与产业调整定量研究[J]. 中国环境科学,2008,28(2):188-192.

[7] 赵小凤,黄贤金. 产业结构演变的流域水环境响应研究:以社渎港流域为例[J]. 环境污染与防治,2010,32(1):9-13.

[8] Tsuzuki Y. An index directly indicates land-based pollutant load contributions of domestic wastewater to the water pollution and its application[J]. Science of the Total Environment, 2006,370(2/3):425-440.

[9] 江苏省人民政府. 太湖流域水环境综合治理总体方案[R]. 江苏 南京:江苏省人民政府,2008.

[10] 秦伯强,胡维平,陈伟民. 太湖水环境演化过程与机理[M]. 北京:科学出版社,2004.

[11] 张超,杨秉赓. 计量地理学基础[M]. 北京:高等教育出版社,1991.

[12] 承志荣,王新军,王雪晴,等. 基于主成分分析法的江苏省水土保持区划指标体系研究[J]. 水土保持通报,2013,23(6):181-186.

[13] 苏玉,蔡佳亮,汪杰,等. 中国农业污染优先控制区的划分方法初探[J]. 环境污染与防治,2009,31(10):87-96.

[14] 谭亚军,李少南,孙利. 农药对水生态环境的影响[J]. 农药,2003,42(12):12-14.