

张姗姗, 张磊, 张落成, 等. 苏南太湖流域污染企业集聚与水环境污染空间耦合关系[J]. 地理科学, 2018, 38(6): 954-962. [Zhang Shanshan, Zhang Lei, Zhang Luocheng et al. Coupling Relationship Between Polluting Industrial Agglomeration and Water Environment Pollution in Southern Jiangsu of Taihu Lake Basin. Scientia Geographica Sinica, 2018, 38(6): 954-962.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.2018.06.015

苏南太湖流域污染企业集聚与水环境污染空间耦合关系

张姗姗^{1,2}, 张磊¹, 张落成¹, 高爽¹

(1. 江苏省环境科学研究院江苏省环境工程重点实验室, 江苏 南京 210036; 2. 中国科学院流域地理学重点实验室/中国科学院南京地理与湖泊研究所, 江苏 南京 210008)

摘要:以苏南太湖流域为例, 利用核密度分析法对分行业污染密集型制造业的空间集聚及与水环境污染之间的空间耦合关系进行研究, 结果显示: ① 污染密集型企业主要集中在无锡市的惠山区、江阴市的东部、常州市与武进区相邻部分区域、昆山市等地区, 常州市整体上污染密集型企业分布较少; ② 将制造业集聚与水环境污染空间耦合关系分为高集聚-高污染、低集聚-高污染、低集聚-低污染、高集聚-低污染4种类型, 4种类型区面积分别为781.25、2 993.75、12 187.50、1 187.50 km², 分别占研究区总面积的4.56%、17.46%、71.06%、6.92%, 两者间正向耦合效应明显, 说明制造业在空间上的集聚是造成水环境污染的重要原因之一。

关键词:制造业集聚; 核密度; 排污强度; 空间耦合

中图分类号: K901 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2018)06-0954-09

产业集聚主要表现为不同的产业趋向于在特定的区位空间集中, 并在规模报酬递增原则的基础上存在一定的空间差异性^[1-3], 因而具有显著的地理特性^[4]。产业集聚可通过发挥规模效应、集聚效应和关联效应对产业的竞争优势产生深远的影响^[5-8]; 非生态化的产业集聚方式, 或者企业污染效应超过该区域的环境承载力时便会诱发一系列的环境问题^[9-13]。

国内外研究者也从对多方面视角对产业集聚和空间演化进行研究^[14-21]。目前对产业集聚与生态环境关系的研究多从大中尺度进行, 较少对产业集聚与水环境污染间关系的研究。太湖流域是中国经济最发达地区之一, 也是水网密布和水环境敏感地区^[22], 苏锡常地区是太湖流域产业集聚中心, 其制造业发展对水环境影响重大^[23-31]。文章以苏南太湖流域为研究区, 利用地理学的核密度分析法, 以2011年不同行业制造业在空间分布上的

集聚特征为切入点, 对制造业空间布局对水环境污染的影响作用及制造业细分行业集聚程度与水环境污染空间排放强度的空间耦合关系进行分析, 以期对苏南太湖流域地区制造业在空间上的合理布局与水环境的协调发展提供科学依据。

1 数据来源及空间分析法

1.1 数据来源和行业分类

根据2011年江苏省环境监测站提供的苏锡常污染源数据, 企业数据主要包括企业点位、工业废水、COD(工业化学需氧量)、NH₃-N(氨氮)污染物的排放量等基础数据。研究区行政边界根据2014年最新数据进行调整(图1)。COD和NH₃-N为工业行业排放总量控制中最主要的水体污染物, COD和NH₃-N的排放量越大, 对水环境造成的压力就越大, 故选择COD和NH₃-N为表征指标评价水污染分布情况。

收稿日期: 2017-07-24; **修订日期:** 2017-11-04

基金项目: 中国科学院重点部署项目(KZZD-EW-10-04-2)、国家科技部重大专项(2018ZX07208007)资助。[Foundation: Key Deployment Projects of the Chinese Academy of Sciences (KZZD-EW-10-04-2), National Science and Technology Major Project (2018ZX07208007).]

作者简介: 张姗姗(1987-), 女, 河南洛阳人, 博士研究生, 主要研究方向为城市发展与区域规划。E-mail: shanshanzhang1126@163.com

通讯作者: 张磊, 高工。E-mail: 626400122@qq.com

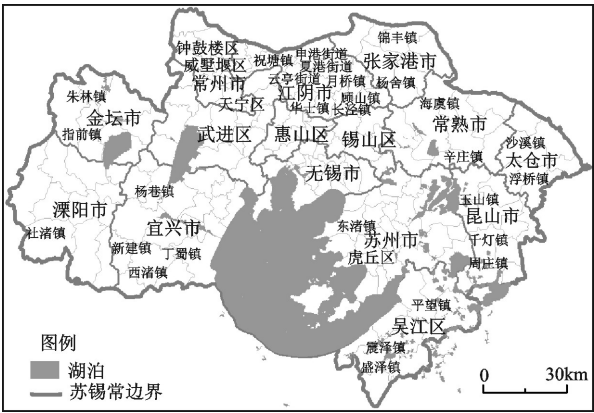


图1 苏南地区行政区

Fig.1 The administrative boundary of south Jiangsu Province

根据企业数据,纺织业、化学原料及化学制品制造业、造纸及纸质品业、黑色金属冶炼和压延加工业、计算机、通信及其他电子设备制造业、金属制品业、电力热力生产及供应业、化学纤维制造业、食品制造业这9个行业总的工业废水、COD和氨氮排放量分别为96 456.23万t、58 706.83 t、3 880.98 t,均占有企业排放量的90%以上(表1)。

1.2 空间分析方法

1) 产业集聚度评价。产业集聚度表征各类行业在空间分布的集聚程度。文中企业数据以空间点位数据为主,采用空间分析方法中估计序列密度函数的非参数估计方法——核密度分布(Kernel Density Distribution)计算各行业在研究区的产

业集中情况^[25, 27]。根据GIS软件空间分析模块中的核密度分布命令计算各个网格单元的核密度,对核密度计算结果进行聚类分析。

2) 基于乡镇单元的水环境污染评价。水环境污染评价单元采用行政边界,以分乡镇或街道为基本单元,计算每个乡镇所有工业企业的废水、COD、NH₃-N的排放强度,每个评价单元的污染物排放强度计算公式如下:

$$FS_j = \sum_{i=1}^n FS_i/A_j$$

$$COD_s = \sum_{i=1}^n COD_i/A_j$$

$$NH_3N_s = \sum_{i=1}^n NH_3N_i/A_j$$

式中, FS_j 表示环境单元 j 的工业废水排放强度, FS_i 表示环境 j 内所有企业的废水排放量; A_j 为环境单元 j 的面积; COD_i 为第 i 个企业的污染物排放量; COD_s 表示环境单元 j 的污染物COD的排放强度; NH_3N_s 表示环境单元 j 的污染物氨氮的排放强度; NH_3N_i 表示环境单元 j 内所有企业氨氮的排放总量。根据各单元污染物工业废水、COD和氨氮的排放强度,采用聚类分析法将所有水环境评价单元的排污强度水平划分为8个等级区间。并将前两个等级区间作为排放强度低区域,中间4个排放区级分别作为排放强度一般和较高区域,最后两个等级区间作为排放强度高区域。

表1 苏南太湖流域污染型工业行业分类

Table 1 Industry categories of the companies in Southern Jiangsu of Taihu Lake Basin

行业大类	行业细类	2011年企业数量(家)
纺织业	棉纺织及印染精加工、毛纺织和染整精加工、麻纺织及印染精加工、丝绸纺织及精加工、化纤织造及印染精加工针织或钩针编织物及其制品制造、家用纺织制成品制造、非家用纺织制成品制造	1269
化学原料及化学制品	基础化学原料制造、肥料制造、农药制造、涂料、油墨、颜料及类似产品制造、合成材料制造、专用化学产品制造、日用化学产品制造	547
金属制品业	结构性金属制品制造、金属工具制造、集装箱及金属包装容器制造、金属丝绳及其他制品制造、金属表面处理及热处理加工、金属制日用品制造其他金属制品制造	531
计算机、通信及其他电子设备制造业	计算机制造、通信设备制造、视听设备制造、电子器件制造、电子元件制造、其他电子设备制造	320
黑色金属冶炼和压延加工业	炼铁、炼钢、黑色金属铸造、钢压延加工、铁合金冶炼	274
电力、热力生产及供应业	电力生产、热力生产和供应	115
化学纤维制造业	纤维素纤维原料及纤维制造、合成纤维制造	66
造纸及纸制品业	造纸、纸制品制造	56
食品制造业	方便食品制造、调味品、发酵制品制造、其他食品制造	41

3) 产业集聚与水环境污染空间类型划分。根据各行业每个网格的企业点密度和每个网格污染物排放强度,对带有企业点位信息的面图层和带有环境污染信息的面图层进行叠加,形成同时具有各叠加要素层的多重空间属性和统计特征的数据层。分别将产业集聚强度与污染物排放强度按照聚类分析法分为高、低2个属性,最终将各类行业与污染布局的空间耦合关系分为高集聚-高污染、低集聚-高污染、低集聚-低污染、高集聚-低污染4种类型。考虑到以后制造业改进方向中最迫切需要调整的是产值贡献率高且污染物排放量大的行业,本文对行业的工业产值与COD、NH₃-N污染物贡献率进行四象限分析(表2),着重对分行业中产值和污染排放量均较高的行业进行空间布局与水环境污染的耦合分析,以期为此类行业在空间上的合理布局和污染减排提供依据和方法。

2 结果与分析

2.1 苏南太湖流域污染型制造业空间集聚分析

采用核密度分布函数考察2011年苏南太湖流域制造业空间布局和集聚程度。网格大小根据经验公式,最优的样方尺寸可以根据区域面积和分布于其中的点数量来确定^[2],它的计算公式为 $Q=2A/m$,其中 Q 为样方尺寸, A 为研究区域的面积, m 为研究区域中企业点的数量。最优样方的边长取 $\sqrt{2A/m}$,网格数量大小为 $m/2$ 个,考虑到模型计算简化需要,选取2 500 m×2 500 m为网格输出单元,带宽根据多次调试选择7.5 km(图2)。

从制造业企业的空间集聚程度看,污染密集型企业主要集中在无锡市的惠山区、江阴市的东部、常州市与武进区相邻部分区域、昆山市等地区,常州市整体上污染密集型企业分布较少。宜兴市南面、常州市与武进区相邻部分等沿太湖周边区域污染密集型企业分布明显较少。

各类分行业企业空间集聚程度存在一定的空间异质性,纺织业主要分布在惠山区、吴江区、常州市区南部、江阴市东北部等,太湖周边地区分布

密度最低;化学原料制造业主要分布在常州市区南部、昆山市、惠山区、溧阳市等,太湖上游宜兴、武进等地区化工行业空间布局的缩减将对污染减排贡献很大,因为对太湖水环境质量有着直接的影响;计算机、通信及其他电子设备主要分布在苏州昆山市、姑苏区、滨湖区等区域,属于新型电子信息产业,污染物排放量小,对环境质量影响小,也是未来企业转型发展的一个重要方向;黑色金属冶炼及压延加工业主要分布在无锡市惠山区、江阴市东部地区;金属制品业则主要分布于昆山市、惠山区、常州市区南部;化学纤维制造业主要分布在江阴市及惠山区东部;食品制造业主要分布在苏州昆山市、无锡江阴市;造纸及纸制品业主要分布在昆山市及江阴市的北部区域。

2.2 苏南太湖流域水污染空间格局

从图3苏锡常地区乡镇排污强度空间分布看,COD和NH₃-N呈明显的空间不均衡性。污染物排放强度最大的乡镇主要集中在苏州常熟市的辛庄镇、张家港市的锦丰镇、吴江市的盛泽镇、太仓市的浮桥镇及苏州的虎丘区等,无锡江阴市的夏港街道、月城镇、常州市的成墅堰区等地区,常州除宜兴市的新建镇和西渚镇及金坛市的朱林镇排污强度较大外,其它乡镇排污强度均较小。其中,COD最大排放强度为50.943 t/km²,最小排放强度为0.014 t/km²,与2006年(153.78 t/km²)^[29]相比,COD最大排放强度降低3倍,分乡镇排污强度也均有明显降低,其中常州老城区及周边几个乡镇排污强度降低最为明显。自2007年无锡市发生水危机事件后,苏锡常各市也开始认真贯彻政府部门治污要求,实施治太保源“6699”行动和环保优先“八大”行动,开展“治理太湖、保护水源、重建生态”的攻坚战,启动“江苏省太湖流域主要水污染物排放指标有偿使用、交易试点工作”^[27],对太湖沿岸严格限制污染企业准入门槛,有效降低污染。

沿江和沿湖重要河流两侧因为污染密集型企业集聚而污染严重,如今企业开始向周边郊区或远离河流的地方集聚,造成的污染仍不容忽视。

表2 产值、排污贡献的四象限分类表

Table 2 Four quadrant table of output and pollution discharge contribution

	产值贡献率高	产值贡献率低
COD、NH ₃ -N贡献率高	纺织业,化学原料及化学制品制造业	医药制造业,食品制造业,饮料制造业,造纸与纸制品业
COD、NH ₃ -N贡献率低	通讯、计算机及其它电子设备,黑色金属冶炼及延压加工业	金属制品业,石油加工业,电力、热力生产及供应,化学纤维制造业

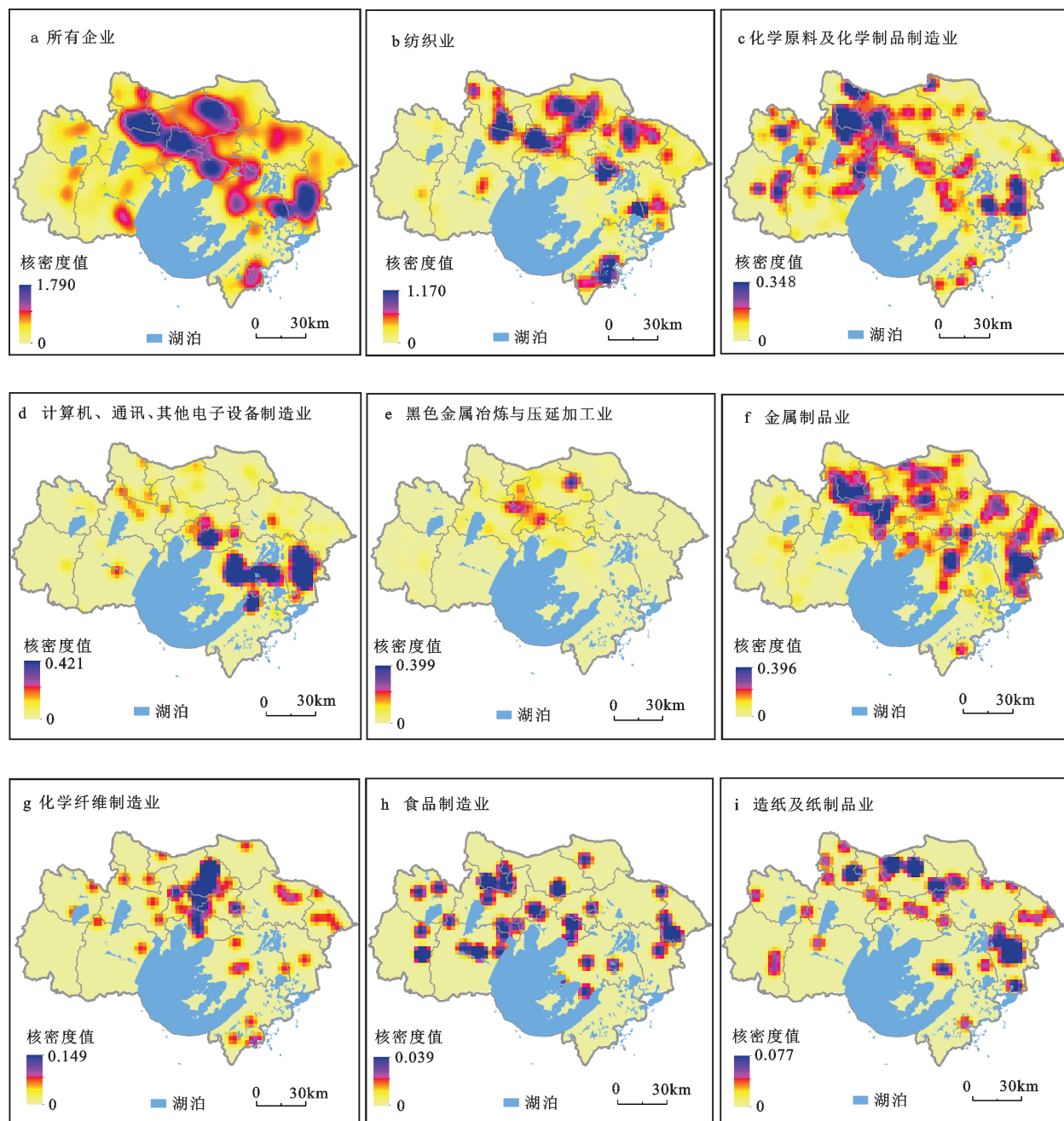


图2 苏南地区2011年污染密集型制造业核密度估计

Fig.2 Kernel density estimation for polluting intensive manufacturing of south Jiangsu in 2011

流域与湖泊作为互为反馈的动态系统^[32],流域的污染信息直接反应湖泊的污染状况,河流作为湖泊和流域生态环境联结的纽带和通道,其入湖河流的污染物浓度直接影响湖泊的整体水质状况,特别是上游河流更直接反应太湖的污染状况,离太湖远的区域污染物主要通过河网进入太湖对水体造成污染,所以要严格控制上游地区污染物排放,全面管控整个流域入湖河流的污染物排放,继续

加强对重污染工业企业的专项整治,限制、淘汰落后产能;提高行业准入条件和产业政策的生产能力、工艺技术、装备与产品质量,并对规模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,规模以下的重点污染企业采取淘汰、改造和集中3种方式综合处理的方法进行综合整治^[30]。

2.3 污染企业与水环境质量空间耦合

不同制造业类型集聚所产生的水环境污染效

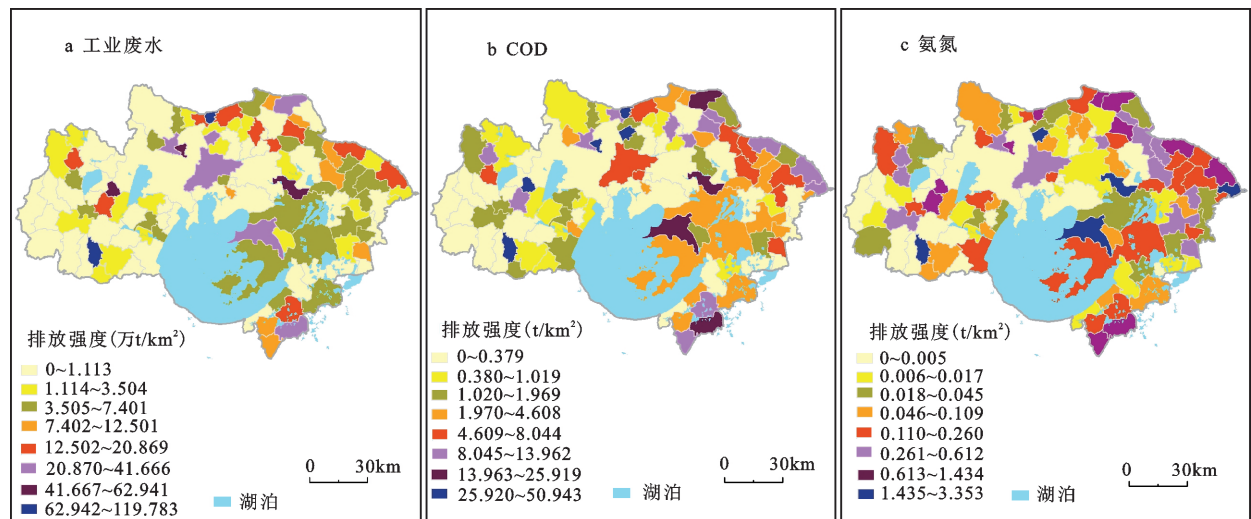


图3 污染物排放强度分布格局

Fig.3 Spatial distribution of pollution emission intensity

应不同,本文将分行业中产值和污染物贡献率均较高的纺织业和化学原料及化学制品制造业作为研究对象,分析这两类污染行业集聚程度与污染物排放强度之间的空间耦合关系。图4a、b看出,纺织业和化学原料及化学制品制造业的空间耦合存在一定的相似性,沿主要运河流域基本上属于高集聚-高污染区,沿重要的生态功能区基本上为低集聚-低污染或高集聚-低污染类型区。纺织业高集聚-高污染、低集聚-高污染、低集聚-低污染、高集聚-低污染面积分别为1 125.00、2 650.00、12 143.75、1 231.25 km²,它们分别占到总面积的6.56%、15.45%、70.81%、7.18%;化学原料以及化学制品制造业4种类型面积分别为387.50、3 387.50、12 250.00、1 125.00 km²,分别占总面积的2.26%、19.75%、71.43%、6.56%。整体上,纺织业的高集聚-高污染区面积要高于化学原料及化学制品制造业,其中,纺织业高集聚高污染区主要分布于苏州南部的平望镇、盛泽镇,苏州东部的千灯镇、无锡市的惠山区、华士镇、顾山镇,常州市的天宁区、威墅堰区。常州市整体上低集聚-低污染面积占比最大,只有个别乡镇为低集聚-高污染区。

将全部污染型企业作为整体,对制造业集聚与污染的空间耦合关系进行分析(图4c),根据不同环境单元的环境容量及当前污染状况,分析制造业集聚的水环境污染效应,整体上太湖流域制造业集聚程度与水环境污染程度的空间耦合效应明显,约75%(高集聚-高污染、低集聚-低污染)的

地区呈强度的空间正向耦合作用,说明制造业在空间上的集聚是造成水环境污染的重要原因之一,通过合理的空间布局,对污染进行集中处理,可实现“高集聚-低污染”的效果。即对制造业企业在空间格局上的调整 and 变化(污染企业的搬迁或关停),达到污染减排效果。

高集聚-高污染区为污染密集型企业集聚、水污染严重区域,该类区域污染企业集聚程度与COD排放呈现强烈的空间正相关性,该类区域总面积为781.25 km²,占研究区总面积的4.56%,主要分布于远离太湖的周边平原地区,苏州南部的平望镇、盛泽镇,苏州东部的千灯镇和玉山镇、无锡市的惠山区、华士镇、顾山镇,常州市的天宁区、威墅堰区。周边拥有武进港、张家港、麻溪、京杭运河等河流,水网密布,水体通达性好,故而净化能力强,水环境承载力高,该区域纺织业等分布密集,成为污染物排放严重区域,对水环境造成较大压力,未来管制方向为提高产业发展技术水平,提高环境准入标准,提高污染防治技术,提高末端处理技术,污染治理水平要达到目前国际先进水平,实行循环经济,循环利用中间废水等,提高污染的集中治理水平,尽量降低污染物的排放。充分利用产业集聚优势,朝高集聚-低污染方向迈进。

低集聚-高污染区为污染密集型企业分布分散、污染排放较重区域。该类型区域面积2 993.75 km²,占研究区总面积的17.46%,该类区域主要分布在苏州南部的震泽镇等和苏州东北部的浮桥

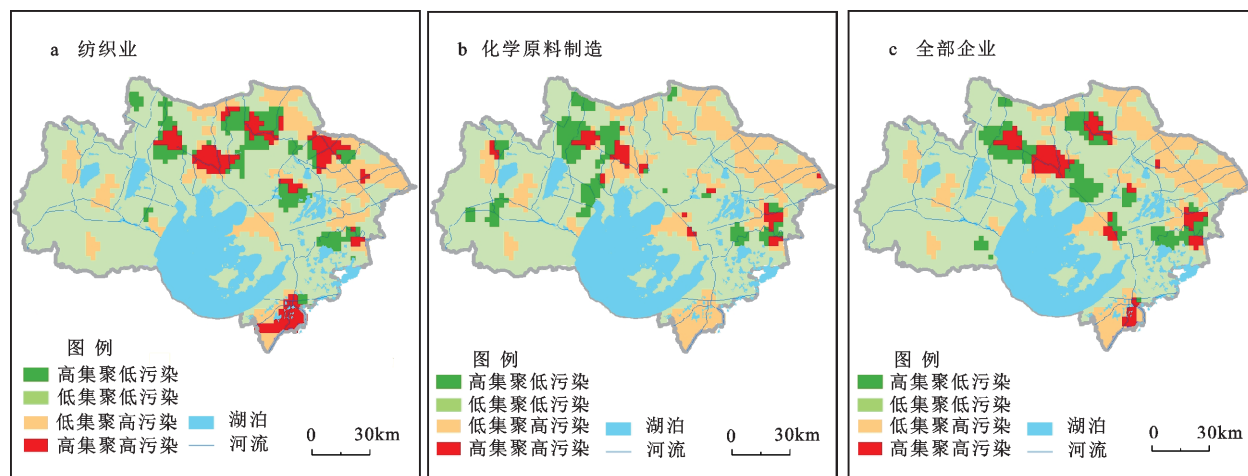


图4 制造业集聚与水环境污染空间耦合

Fig.4 The spatial coupling of manufacturing agglomeration and water environment pollution

镇、沙溪镇、海虞镇、锦丰镇等地区,常州市的西渚镇、杨巷镇、新建镇及指前镇、朱林镇等及无锡市的夏港街道和申港街道等地区,是污染的重要防治区,应在保护优先的基础上,对产值贡献小,污染排放强的企业进行管制,限制其排污数量;对产值贡献大的行业,实行严格的排污管控,确保企业污染物达标排放,不会降低或者危害周边水环境、水生态等综合功能,对这类低集聚-高污染区,要提高企业的集聚度,将零散分布的企业逐渐向园区集中。

低集聚-低污染区为污染密集型企业分布分散,污染排放较少的区域。该类区域分布区域广泛,太湖及小型湖泊附近均为此类区域,常州大部分区域均为低集聚-低污染,此类区域总面积为12 187.50 km²,占研究区总面积的71.06%,大多为生态环境敏感区域,水环境承载力低,属于限制开发或禁止开发区域,该类区域虽然污染物排放量小,但由于是水环境要求较高区域,应限制污染型企业进入,继续保持低污染状态,尽量减少污染物的排放。

高集聚-低污染区为污染密集型企业集聚,污染排放也较少的区域。该类区域主要分布在太湖边上无锡市的锡山区、滨湖区、云亭街道、祝塘镇及长泾镇,苏州的相城区部分区域、周庄镇;常州市武进区、钟楼区等地区。该区域污染治理水平较高,充分利用企业的集聚优势,利于污染物的集中高效处理。此类区域分布面积较小,总面积约1 187.50 km²,占研究区总面积的6.92%。该类区域

由于制造业集聚度高,对环境仍然有潜在的危害性,加强对已有污染企业的管制强度,对要进入的企业设置高水平的准入门槛,提高污染集中治理水平,保持低污染现状。

3 结论与讨论

3.1 结论

文章以苏南太湖流域地区为研究区,建立以2 500 m×2 500 m的网格单元及以乡镇为单元两种空间单元属性,运用核密度分析法对制造业空间集聚格局进行分析,并对制造业空间集聚格局与水环境污染分布进行耦合。

1) 苏锡常地区空间布局仍然存在一定的问题,无锡临近太湖地区仍有大量企业污染企业布局,处于上游和中游连接处,对太湖的水环境存在影响作用。沿太湖上游宜兴市南面、常州市与武进区相邻部分区域、常熟市等地区污染企业集聚度较低,说明太湖上游地区企业外迁趋势明显,向远离太湖的周边郊区地区迁移和集聚。

2) 制造业分行业的空间集聚差异性明显,纺织业在3市均有一定程度的集聚,化学原料及化学制品制造业在常州市的武进区、溧阳市及无锡市的部分区域集聚效果最为明显。黑色金属冶炼也压延加工业主要集聚分布于无锡市,计算机、通讯及其他电子设备制造业主要在苏州市集聚,空间集聚差异与各市的主导产业不同有关系。

3) 通过对制造业空间集聚格局与水环境污染分布进行耦合,结果显示两者的耦合效应明显,

约75%(高集聚-高污染、低集聚-低污染)的地区呈现强度的空间正向耦合作用,说明制造业在空间上的集聚是造成水环境污染的重要原因之一,通过对制造业企业在空间格局上的调整 and 变化,实现产业集聚、集约发展,并提高污染的集中治理水平,尽量降低污染物的排放,逐渐推动“低集聚-高污染”和“高集聚-高污染”地区向“高集聚-低污染”方向转化,最终实现污染减排的效果。

3.2 讨论

工业点源污染空间分布方面,常州老城区及周边几个乡镇排污强度与2006年相比明显降低,耦合结果与高爽2009年的研究结果相比,高集聚-高污染区面积占比有较大的下降幅度,低集聚-低污染区面积占比明显上升,这些均可能与太湖流域地区近些年的环境政策关系密切,根据江苏省2017年《“两减、六治、三提升”专项行动方案》和《水污染防治条例》的相关规定,越来越多的企业从太湖上游及靠近太湖地区退出,向周边郊区及远离河流湖泊的地方集聚,整体上向周边转移的趋势明显,太湖上游地区空间退出现象尤其明显。希望以后的空间布局研究与太湖流域的污染减排结合,对苏锡常地区制造业的退出机制进行深入研究。

水环境指标选择方面,文章仅选取与工业污染物排放最密切的COD和氨氮,没有从生态系统方面选择更多指标对制造业集聚与生态环境间的关系进行研究,可在以后研究中探讨;由于受资料和数据限制,不能从时间序列角度对苏南太湖流域地区的制造业集聚与水环境污染的变化进行研究,只能对比2011与2006年的变化,数据略显缺乏,有待今后继续探讨。

参考文献(References):

- [1] Krugman P. Geography and Trade[M]. mbridge, MA:MIT Press.1991.
- [2] Krugman. Increasing returns and economic geography[J]. Nal of Regional Science,1991,99:183-199.
- [3] Krugman. Development, geography and economic theory[M]. mbridge, MA:MIT Press,1996.
- [4] Porter M E. Competitive advantage, agglomeration economies, and regional policy[J]. International Regional Science Review, 1996, 19(1-2): 85-90.
- [5] Mano Y, Otsuka K. Agglomeration economies and geographical concentration of industries:A case study of manufacturing sectors in Postwar Japan[J]. Journal of the Japanese and International Economies, 2000, 14(3): 189-203.
- [6] Duranton G, Puga D. Micro-foundations of urban agglomeration economies[J]. Handbook of regional and urban economics, 2004, 4(11): 2063-2117.
- [7] Fan C C, Scott A J. Industrial agglomeration and development: A survey of spatial economic issues in East Asia and a statistical analysis of Chinese regions[J]. Economic geography, 2003, 79(3): 295-319.
- [8] Zhang Y, Jiang D. FDI, industrial agglomeration and technology progress: Evidence from Chinese manufacturing industries [J]. Journal of Finance and Economics, 2008, 34(1): 72-82.
- [9] Chertow M R, Ashton W S, Espinosa J C. Industrial symbiosis in Puerto Rico: Environmentally related agglomeration economies[J]. Regional studies, 2008, 42(10): 1299-1312.
- [10] 闫逢柱, 苏李, 乔娟. 产业集聚发展与环境污染关系的考察——来自中国制造业的证据[J]. 科学学研究, 2011(1):79-83. [Yan Fengzhu, Su Li, Qiao Juan. The exploration of the relationship between the industrial agglomeration's developments and the environmental pollution—The evidence from the manufacturing in China. Studies in Science of Science, 2011(1):79-83.]
- [11] 李鹤, 张平宇, 刘文新. 1990年以来辽宁省环境与经济协调度评价 [J]. 地理科学, 2007,27(4):486-492. [Li He, Zhang Pingyu, Liu Wenxin. Assessment of coordination degree between environment and economy of Liaoning province in China during1990-2003.Scintia Geographica Siniac, 2007,27(4): 486-492.]
- [12] 沈静, 向澄, 柳意云. 广东省污染密集型产业转移机制——基于2000~2009年面板数据模型的实证[J]. 地理研究, 2012,31(2):357-368. [Shen Jing, Xiang Cheng, Liu Yiyun. The mechanism of pollution—Intensive industry relocation in Guangdong province, 2000-2009. Geographical Research, 2012, 31(2): 357-368.]
- [13] 武翠. 工业经济增长背景下制造业集聚对我国工业污染的影响研究[D]. 南京:南京信息工程大学,2015.[Wu Cui.Study on the effect of manufacturing industrial cluster on industrial pollution in the context of industrial economic development. Nanjing: Nanjing University of Information Science and Technology,2015.]
- [14] 贺灿飞, 朱晟君. 制造业地理集聚的区域差异研究——江苏和安徽对比研究[J]. 地理科学, 2008, 28(6): 715-721. [He Canfei, Zhu Shenjun. Industrial agglomeration of manufacturing industries in China—A Comparison of Jiangsu and Anhui Provinces. Scientia Geographica Sinica 2008, 28(6):715-721.]
- [15] 贺灿飞, 任永欢, 李蕴雄. 产品结构演化的跨界效应研究——基于中国地级市出口产品的实证分析[J]. 地理科学, 2016,36(11):1605-1613.[He Canfei, Ren Yonghuan, Li Yunxiong. The mechanism of cross-boundary product evolution in China: An empirical analysis based on export product of prefecture-level Cities. Scientia Geographica Sinica,2016,36(11):1605-1613.]
- [16] 周侃. 中国环境污染的时空差异与集聚特征[J]. 地理科学, 2016,36(7):989-997. [Zhou Kan. Spatial-temporal differences

- and cluster features of environmental pollution in China. *Scientia Geographica Sinica*, 2016, 36(7):989-997.]
- [17] 尹鹏,李诚固.环渤海“C型”经济区经济格局的空间演变研究[J]. *地理科学*, 2015, 35(5): 537-543. [Yin Peng, Li Chenggu. Spatial evolution of economic pattern in spatial in C-typed. *Scientia Geographica Sinica*, 2015, 35(5): 537-543.]
- [18] 杨瑾,陈雯,袁丰.苏州老城区文化产业空间格局演化及其机理分析[J]. *地理科学*, 2015, 35(12): 1151-1159. [Yang Jin, Chen Wen, Yuan Feng. Spatial pattern evolution of cultural industries and its mechanism of the old urban district of Suzhou City. *Scientia Geographica Sinica*, 2015, 35(12): 1151-1159.]
- [19] Gordon I R, Mc Cann P. Industrial clusters: Complexes, agglomeration and/or social networks?[J]. *Urban Studies*, 2000, 37 (3): 513-532.
- [20] Cong H, Zou D. The research on the mechanism and spatial temporal differentiation of the coupling coordination development based on industrial cluster agglomeration[J]. *Cluster Computing*, 2017, 20(1): 195-213.
- [21] Jiang G, Ma W, Dingyang Z et al. Agglomeration or dispersion? Industrial land-use pattern and its impacts in rural areas from China's township and village enterprises perspective[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 166(10): 207-219.
- [22] 江苏省人民政府.太湖流域水环境总体规划[R].2008,2013. [Jiangsu Provincial Government. Water environment planning of Taihu lake basin. 2008,2013.]
- [23] 谢红彬,陈雯.太湖流域制造业结构变化对水环境演变的影响分析——以苏锡常地区为例[J]. *湖泊科学*, 2002,14(1): 53-59. [Xie Hongbin, Chen Wen. Impacts of change of industrial structure on the water environment in Taihu basin: A case study of Suzhou-Wuxi-Changzhou district. *Journal of Lake Sciences*, 2002,14(1): 53-59.
- [24] 夏立忠,杨林章.太湖流域非点源污染研究与控制[J]. *长江流域资源与环境*,2003,12(1):45-49. [Xia Lizhong, Yang Linzhang. Research on non-point source pollution in Taihu Lake Region. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2003, 12(1):45-49.]
- [25] 袁丰,魏也华,陈雯,等.苏州市区信息通讯企业空间集聚与新企业选址[J]. *地理学报*, 2010, 65(2):153-163. [Yuan Feng, Wei Yehua, Chen Wen et al. Spatial agglomeration and new firm formation in the information and communication technology industry in Suzhou. *Geographical Research*, 2010, 65 (2): 153-163.]
- [26] Yang S Q, Liu P W. Strategy of water pollution prevention in Taihu Lake and its effects analysis[J]. *Journal of Great Lakes Research*, 2010, 36(1): 150-158.
- [27] 高爽.基于太湖水危机事件的无锡市水环境政策变化响应研究[D].北京:中国科学院研究生院,2012. [Gao Shuang. Study of water environmental policy change response on Taihu-lake water crisis event in Wuxi City. Beijing:Graduate University of Chinese Academy of Sciences, 2012.]
- [28] 靳晓莉,高俊峰,赵广举.太湖流域近20年社会经济发展对水环境影响及发展趋势[J]. *长江流域资源与环境*, 2006, 15(3): 298-302. [Jin Xiaoli, Gao Junfeng, Zhao Guangju. Impacts of 20-year socio-economic development on the trend of aquatic environment of the Taihu basin. *Resources and environment in the Yangtze Basin*, 2006, 15,(3):298-302.]
- [29] 王磊,张磊,段学军,等.江苏省太湖流域产业结构的水环境污染效应[J]. *生态学报*, 2011,31(22):6832-6844. [Wang Lei, Zhang Lei, Duan Xuejun et al. Water-environment effects of industry structure in Taihu Lake Basin in Jiangsu Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(22) : 6832-6844.]
- [30] 谢红彬.工业化过程与水环境演变的相互关系研究——以太湖流域为重点[D].北京:中国科学院研究生院,2002. [Xie Hongbin. Study on the relationship between the process of industrialization and the evolution of water environment—A case study of Taihu Lake basin. Bwijing:Graduate University of Chinese Academy of Sciences, 2002.]
- [31] 高爽,魏也华,陈雯,等.发达地区制造业集聚和水污染的空间关联——以无锡市区为例[J]. *地理研究*, 2011, 30(5): 902-912. [Gao Shuang, Wei Yehua, Chen Wen et al. Study on special-correlation between water pollution and industrial agglomeration in the developed region of China: A case study of Wuxi City. *Geographical Research*, 2011, 30(5):902-912.]
- [32] 王雪,余辉,燕姝雯,等.太湖流域上游河流污染空间分布特征研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2012, 21(3):341-348. [Wang Xue, Yu Hui, Yan Shuwen et al. Spatial distribution characteristics of up-stream river pollution in lake Taihu basin. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2012, 21(3):341-348.]

Coupling Relationship Between Polluting Industrial Agglomeration and Water Environment Pollution in Southern Jiangsu of Taihu Lake Basin

Zhang Shanshan^{1,2}, Zhang Lei¹, Zhang Luocheng¹, Gao Shuang¹

(1. Key Laboratory of Environmental Engineering of Jiangsu Province, Jiangsu Provincial Academy of Environmental Science, Nanjing 210036, Jiangsu, China; 2. Key Laboratory of Watershed Geographic Sciences, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, Jiangsu, China)

Abstract: This article uses the Kernel Density Distribution method to analyze the industrial agglomeration of sub-industries, and evaluates the discharging intensity of industrial waste water, COD and NH₃-N in each township taking the case study of Suzhou, Wuxi and Changzhou district. Based on this, the article chooses textile industry and manufactures of chemical materials and products whose contribution of output value and contaminants are relatively high to study the coupling relationship between industrial agglomeration and water environment pollution, and also analysis the coupling relationship of all enterprises. Results show that: 1) The pollution-intensive manufacturing industries centralized mainly in Huishan district of Wuxi City, the eastern part of Jiangyin city, adjacent parts of Changzhou and Wujin District, and Kunshan City, and generally there are less in Changzhou City. 2) The spatial distribution of discharging intensity of COD and NH₃-N have some comparability, and the emission intensity decreased compared with the year of 2006, the emission intensity of industrial point sources in Changzhou City and the surrounding towns reduced significantly, and trend to transfer to surrounding suburbs. 3) Based on the special-correlation between industrial agglomeration and pollution distribution, the study area was divided into four categories: high-agglomeration and high-pollution area, low-agglomeration and high-pollution area, low-agglomeration and low-pollution area, high-agglomeration and low-pollution area. The acreage is 781.25 km², 2 993.75 km², 12 187.50 km², 1 187.50 km² and account for 4.56%, 17.46%, 71.06%, 6.92% of the total area respectively, the coupling effect between industrial agglomeration and pollution distribution is obvious, and about 75% (high-agglomeration and high-pollution, low-agglomeration and low-pollution) of the area have positive spatial coupling effects. It illustrates that the agglomeration of manufacturing industry has important effects on water environment. The low-agglomeration and low-pollution and high-agglomeration and low-pollution area increased apparently compared with before. It demonstrates that industrial pollution construction has a remarkable effects, the water environment pollution tends to reduce. This article analysis the coupling relationship between industrial agglomeration and water environment pollution which provides scientific basis for rational distribution of industry.

Key words: industrial agglomeration; Kernel Density; discharging intensity; coupling relationship