

辽河流域社会经济活动的COD污染负荷

王 辉, 栾维新, 康敏捷

(大连海事大学交通运输管理学院, 大连 116026)

摘要: 辽河流域污染物的输入是辽东湾海洋环境变化的最主要原因, 治理海洋污染的根本在于治理陆域污染。以辽河流域COD污染为研究对象, 在社会经济数据空间化及与土地利用数据匹配的基础上剔除了部分无效数据, 提高了流域污染物估算和空间分析的精度, 估算结果表明: 2010年辽河流域COD总污染负荷约101万t, 其中居民生活和畜禽养殖排放合计占总污染负荷的80%, 是流域COD污染的主要来源; 工业源污染占11%; 城市径流污染占9%。COD污染主要分布在辽河平原, 且以面源污染为主, 约有30万t入河。生物体代谢是COD污染的主要来源, 污染物排放总量难于降低, 辽河流域的COD污染压力短期内依然严峻。

关键词: COD污染; 污染负荷; 社会经济活动; 辽河流域

DOI: 10.11821/dlyj201310004

1 引言

相关研究表明海洋污染物70%-80%来自陆域区域。COD指化学耗氧量, 是反映水体中有机质污染程度的综合指标, COD含量过高会导致水生生物缺氧以至死亡, 水质腐败变臭。渤海COD污染中有72.3%来源于以入海河流为主的陆源污染排放, 海洋污染的根在陆域, 缓解海洋环境污染需统筹陆海环境。辽河入海口位于辽东湾顶, 是辽东湾最大的入海河流, 辽河流域是辽宁省内最大的流域, 流域内人口众多, 工农业发达, 拥有沈阳、鞍山、抚顺等数座重化工城市, 分布着数千家重污染企业, 每年大量的陆源污染物经辽河流入渤海。1996年国务院把辽河流域列为国家重点治理的“三河三湖”之一, 经过15年的治理, 辽河流域的水体污染趋势有所缓解, 但整体环境状况仍不容乐观, 部分支流COD污染依然严重, 多数河段COD含量依然超标。辽河流域跨内蒙古、吉林和辽宁, 其中辽宁省内辽河流域社会经济活动的COD排放量占流域总排放量的比重高达86.5%。本文以辽宁省内辽河流域的COD污染为研究对象, 追溯陆源入海COD的源头与强度, 揭示影响辽河流域及辽东湾海域COD污染的陆域社会经济活动, 以期改善及治理流域及渤海环境提供科学参考依据。

关于COD污染已有较多研究成果, Lu等^[1]提出工业结构调整对COD排放的影响并不显著, 技术进步的效应相对明显。Wang等^[2]研究了福建7个海湾的污染来源, 发现排入湄洲湾的COD量最多, 海湾污染主要来源于陆域, 农业污染是最大的贡献者, 工业污染对海洋环境的影响较小。Wen等^[3]研究发现辽河流域农田径流污染占农业非点源污染比重较大, 且主要集中在辽河干流区域。关于辽河流域COD污染的研究多集中在辽河水体中

收稿日期: 2013-04-15; 修订日期: 2013-08-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(41071079)

作者简介: 王辉(1978-), 男, 陕西西安人, 博士, 主要从事区域经济研究。E-mail: whui@vip.163.com

COD含量变化特征方面,常原飞等^[4,5]研究发现辽河污染的主要因子是化学需氧量、氨氮、石油类和生化需氧量,而氨氮和COD占到90%以上,说明水质污染属于有机好氧型污染,河流COD污染严重。张崢等^[6]研究发现2001年后辽河径流变小,工业废水和生活污水污染的特征凸显出来,而2008年实施造纸厂综合整治后,支流COD污染明显减轻,辽河干流水质有所改善。张帆等^[7]估算了辽河流域水环境容量,并提出典型河流沿岸排污口排出的污水以工业废水为主,其次是生活污水。在其他区域的研究中,赵宪伟等^[8,9]研究发现河北COD排放空间分布格局同当地的产业结构和经济发展水平关系密切,采用回归分析法针对河北COD排放进行了预测并提出减排的措施。朱梅等^[10-13]系统分析了海河流域种植业、畜禽养殖、农村生活的COD污染,全面梳理了海河流域农业COD排放的结构。马广文等^[14,15]从污染负荷的估算、污染评价、污染特征差异方面对松花江流域的非点源污染进行了分析,得出人为原因是流域非点源污染产生的关键。刘庄等^[16-19]从不同角度研究了太湖流域非点源污染,研究得出畜禽养殖和居民生活污染是太湖流域的主要污染源,并研究了土地利用类型和土地利用变化对非点源污染的影响,发现城镇用地的扩展在不同程度上促进了非点源污染的增加。

以上研究多侧重对水体污染状况的分析,或侧重某类社会经济活动的污染压力,未系统地将各类社会经济活动与流域的COD污染压力结合起来,未能很好地反映人类社会经济活动对流域环境的压力状况,并在社会经济的空间分布特征和污染排放压力的空间关系方面也有进一步研究的空间。本文以辽河流域为例,通过辽河流域土地利用数据将流域内不同类型的社会经济数据空间化,实现土地利用类型与其承载的社会经济活动在空间上的匹配,使研究更接近现实,提高数据分析的精度。针对不同社会经济活动类型采用不同的方法估算流域COD污染负荷总量,较为全面地分析辽河流域COD污染的来源和强度。

2 研究方法与数据来源

2.1 研究区概况

本文以辽宁省内辽河流域为研究范围,辽河流域由辽河水系和大辽河水系组成流域干流,具体包括辽河、大辽河、浑河、太子河4条干流和40多条一级支流,并分别由双台子河和大辽河入辽东湾(图1)。研究范围涉及11个省辖市,省内流域面积达6.3万km²,占辽宁省总面积的43%。“十一五”期间,“结构减排、工程减排和管理减排”措施在辽河流域的水污染治理中起到了明显效果,流域水质恶化的趋势基本遏制,2010年干流河段由COD引起的劣V类水质基本消除,但部分支流COD污染依然严重,辽河流域治理“十二五”规划中流域性总量控制指标依然包括COD。

流域内社会经济相对活跃,社会经济密度大,以占全省43%的土地面积产出了全省半数以上的社会经济产值。2010年流域内人口占全省人口的53%,各主要社会经济统计指标值均占全省的50%以上(农业增加值除外),其中流域内工业、第三产业的增加值分别占全省的60%与57%,农村居民点和城市建成区面积均占全省两类用地总面积的50%以上。辽宁“五带十群”发展规划指出,未来5年全省地区生产总值年均增长14%以上,城镇化率将达到80%,在社会经济高速发展的主旋律下,必将带来巨大的环境污染压力。

2.2 数据来源

所用数据包括地图数据、土地利用数据、社会经济统计数据、排污系数及污染普查数

据。其中地图资料来源于国家基础地理信息中心；土地利用数据为中国科学院提供的辽宁土地利用数据（2005年），土地利用类型划分至二级；社会经济数据来源于辽宁省及各地级市的社会经济统计年鉴，部分县区资料来源于《中国县（市）社会经济统计年鉴》；各类型社会经济活动的排污系数来自《第一次全国污染源普查系数册》；并利用《第一次全国污染源普查资料》（2008年）和《中国环境统计年鉴》的相关数据作为估算2010年工业污染的基准数据。



图1 辽宁省内辽河流域范围

Fig. 1 The region of Liao River Basin in Liaoning province

2.3 数据处理

2.3.1 土地利用数据处理

原始的土地利用数据是26类二级土地利用类型，在研究中略显细致，为方便社会经济统计数据空间化，将26类土地利用类型合并为10类，分别为：城镇用地、农村居民点、其他建设用地、旱地、林地、草地、水田、水体、滩涂、裸地沙地，并提取每个县区的每类土地利用类型的面积。

2.3.2 社会经济统计数据的空间化 不同土地利用类型对应了不同的社会经济活动，比如城镇建设用地和其他建设用地上主要承载着居民生活和工业生产活动，而耕地上主要承载了种植业生产活动。因此，工业生产相关统计数据应该分布在城镇用地和其他建设用地类型上，而不应该分布在农业用地上；相应地，污染物排放也主要分布在社会经济活动密集的土地利用类型上，而不应分布在草地、沙地或滩涂等土地利用类型上。因此，为客观反映这种对应关系，提高分析的精度，在数据处理中依据社会经济活动类

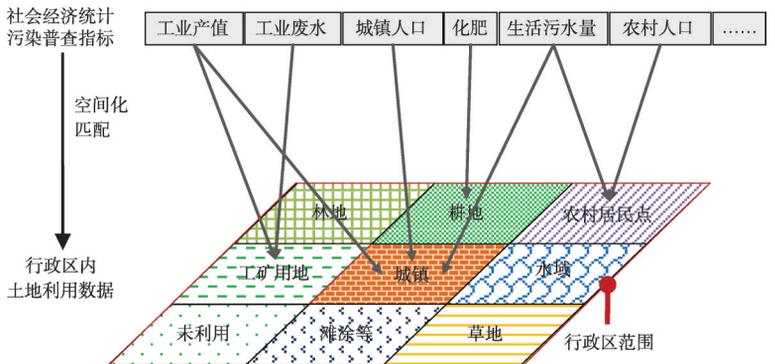


图2 社会经济数据空间化及与土地利用数据匹配示意图

Fig. 2 Social and economic data spatialization and match with land-use data

型与土地利用类型相匹配的原则对社会经济统计数据与土地利用数据进行了匹配,处理后的数据能较为客观地反映各类社会经济活动在空间分布上的疏密状况(图2)。

2.3.3 流域边界外数据的剔除 通常情况下,流域边界与行政区边界并不重叠,流域边界往往将一个行政区割裂为多个部分,位于辽河流域边界外的行政区范围并不属于本文研究的空间范畴,但社会经济统计数据都是按照行政区单元来统计的,因此,为提高研究精度,在数据处理中应将跨辽河流域边界且位于流域边界外的行政区范围内的各类社会经济统计数据予以剔除。具体思路为:依据各类型土地利用面积的比例确定各社会经济数据的剔除比例。例如化肥施用量数据的确定,耕地是承载化肥投入的主要土地类型,包括旱地和水田,假设单位面积耕地的化肥施用量基本一致,在GIS平台上计算跨流域边界且位于流域范围之外的行政区的各类旱地和水田面积,进而确定这些面积占该行政区旱地和水田总面积的比例,该比例即为落在流域外的行政区化肥施用量占总施用量的比例,应从该行政区的施用总量中予以剔除。

2.4 影响COD排放的社会经济活动指标的构建

从众多社会经济活动中甄别出影响COD排放的主要因素是研究的基础,农业生产、农村生活、工业生产和城镇居民生活四大类社会经济活动都会造成COD污染,在指标选择过程中充分考虑社会经济活动的类型、规模、强度以及COD产排系数。在各类社会经济活动产排污系数和统计数据分析基础上,经研究筛选确定了影响流域COD污染的社会经济指标32个(表1)。

2.5 辽河流域COD排放估算方法

依据以上指标类型,本文将社会经济活动的污染源分为农村面源污染(农田径流、畜禽养殖、农村居民生活污染)、城市径流污染、城镇生活污染和工业生产排污。采用排污系数法估算农业面源和城镇生活的COD污染排放量;通过校正胡成等的研究结论^[23]估算流域内各城镇径流的COD含量;通过污普资料的修正估算工业COD排放量,具体如下:

2.5.1 农业生产和居民生活COD排放估算方法

农业生产排污包括畜禽养殖污染和农田径流污染,居民生活排污包括城镇居

表1 影响辽河流域COD污染的社会经济指标

Tab. 1 Social and economic indicators Affecting COD pollution in Liao River basin

指标类	指标项		
总体指标	GDP	三产GDP	
	一产GDP	城镇常住人口数	
	工业GDP	农村人口数	
	有机肥施用量	旱地面积	
种植业	机耕面积	水田面积	
	畜牧业	猪存/出栏量	蛋鸡存栏量
		奶牛存栏量	肉鸡存/出栏量
工业指标 (产值或产量)	肉牛存/出栏量		
	造纸及纸制品业	饮料制造业	
	化学原料及化学制品制造业	农副食品加工业	
	黑色金属冶炼及压延加工业	医药制造业	
	石油加工、炼焦及核燃料加工业	纺织服装、鞋、帽制造业	
	城镇用地面积(建成区面积)	丘陵旱地面积	
土地利用指标	农村居民点面积	丘陵水田面积	
	其他建设用地面积	山地旱地面积	
	平原旱地面积	山地水田面积	
	平原水田面积		

民和农村居民排污。这几类社会经济活动的COD排放量估算采用源强估算法,是基于各类污染源的数量及其排污系数的估算方法,也称为排污系数法。估算公式^[20]如下:

$$P_{COD} = \sum_{i=1}^n (Q_{(COD)i} \times \beta_{(COD)i} \times T) \quad (1)$$

式中: P_{COD} 代表COD年排放总量; $Q_{(COD)i}$ 代表产生污染的第*i*类禽畜数量或人口数量; $\beta_{(COD)i}$ 代表第*i*类禽畜养殖或居民生活的COD排放系数; T 为估算周期; n 为类别总数。公式中的畜牧业排污系数、农田流失率、居民生活排污系数等参考“第一次全国污染源普查”的系数手册,并依据辽河流域的具体情况进行了必要调整。

(1) 农田COD径流流失。来自农田的COD污染主要源于作物秸秆流失。辽河流域种植业60%-80%的秸秆被焚烧,10%-30%的用于做饲料,剩下小部分被丢弃或还田^[21],秸秆随降雨径流流失的数量有限。张桂英等^[22]研究表明苏南农业种植农田排水中有机物质对水系水质污染很小,全国第一次污染源普查也得出种植业COD排放量不足农业源COD总排放量的5%。因此,农田COD排放量相对较小,不列入本次估算。

(2) 畜禽养殖COD排放系数。全国第一次污染源普查的《畜禽养殖业产污系数与排污系数手册》中,依据不同养殖规模将东北区畜禽养殖划分为养殖专业户、养殖场和养殖小区,其中辽宁的畜禽养殖规模70%以上为养殖专业户,具有一定的代表性。本文采用系数手册中养殖专业户规模下各类畜禽的COD排放系数。具体系数确定中:猪的COD排放系数取保育期和育成期排放系数的均值、奶牛为育成期和产奶期的均值、肉牛为育肥期的排放系数、蛋鸡为育雏育成期和产蛋期均值、肉鸡为商品肉鸡期。考虑到辽宁地区清粪方式以干清粪为主,在COD排污系数确定中采用干清粪排污系数的75%和水冲清粪排污系数的25%的加和(表2)。

(3) 居民生活COD排放系数。依据生活污染源手册标准,辽宁属于一区,确定各城市的类别后,确定各城市居民生活污染物产生排放系数(表3)。相对于城镇居民,农村居民生活污水排放量均较少,约占城镇居民的

表2 畜禽养殖COD产排污系数

Tab. 2 COD emission coefficient of livestock and poultry breeding

畜禽	猪	奶牛	肉牛	蛋鸡	肉鸡
产污系数(克/天·只)	299	4675.6	3086.4	17.3	34.15
排污系数(克/天·只)	90	1615	270	1.3	7.05

参考资料:第一次全国污染源普查《畜禽养殖业产污系数与排污系数手册》。

表3 城镇居民生活源污染物排放系数

Tab. 3 Domestic pollution sources pollutants producing and emission coefficient

地区\项目	单位	一类城市	二类城市	三类城市	四类城市
		-	沈阳鞍山锦州盘锦	本溪抚顺辽阳	阜新铁岭营口
生活污水	升/人·天	-	135	125	115
COD(产/排)	克/人·天	-	69/56	66/54	63/52

参考资料:第一次全国污染源普查《城镇生活源产排污系数手册》。

40%-65%,根据辽宁具体情况农村居民生活污水排放取相应城镇系数的50%。

2.5.2 城市地表径流COD排放估算方法 胡成等^[23]采用城市地表径流模拟方法,以径流实测数据为基础估算了辽河流域2006年各城市的径流污染。该方法对城市用地类型特征和年降雨量具有较好的响应关系。基于此,本文假定流域内各城市的用地类型比例基本稳定,利用2010年各城市建成区面积与年降雨量修订2006年的COD径流量来估算2010年

各城市的COD径流污染量。具体公式如下:

$$COD_{ib} = COD_{ia} \times \frac{AR_{ib}}{AR_{ia}} \times (1 + \beta_i) \quad (2)$$

式中: COD_{ia} , COD_{ib} 分别为*i*城市2006和2010年的城市径流COD污染量; AR_{ia} , AR_{ib} 分别为*i*城市2006年和2010年的年降雨量; β_i 为*i*城市2010年相对2006年的建成区面积增加率,用来反映城市规模的变化。

2.5.3 工业COD排放估算方法 工业行业众多,生产工艺繁杂,排污环节多,污染特征千差万别,排污系数法适合单个生产环节的排污估算,但不适合估算整个行业的排污量,污染普查是相对准确的工业污染估算方法。全国第一次污染源普查(2008年)共普查辽宁省内工业污染源47948个,获取了大量细致的工业排污数据,其中COD累计排放超过工业COD排放总量80%的行业包括:造纸及纸制品、饮料制造、农副食品加工、化学原料及化学制品制造、石油加工炼焦及核燃料加工、医药制造、服装鞋帽制造和黑色金属冶炼及压延8个行业。基于以上8个行业的污染普查数据为基准,假定2008-2010年间污染治理水平保持基本稳定,以各地区8个行业2008年万元增加值的COD排放量和2010年各工业行业增加值,利用行业分类算法^[24]估算2010年流域内各工业行业的COD排污量,具体公式如下:

$$COD_{ind} = \sum_{i=1}^n (X_i \times \delta_i \times (1 - \rho)^2) \quad (3)$$

式中: COD_{ind} 为2010年辽河流域工业COD污染排放总量(t); X_i 为*i*行业2010年增加值(万元); δ_i 为*i*行业的产值排放强度(t/万元),由2008年污染普查数据确定; ρ 为工业废水排放强度的年均递减率,由辽宁2000-2009年的工业废水排放量与工业增加值数值估算。

3 结果分析

3.1 畜禽养殖业COD污染负荷

猪、肉牛、奶牛、肉鸡和蛋鸡是辽宁畜牧业养殖的主要类型,本文以该5种畜禽的养殖规模为基础估算辽河流域畜牧业COD污染排放量,具体计算中以年为单位,其中猪的饲养周期按5个月出栏,肉鸡按50天出栏,其他不出栏的畜禽按1年计算,则2010年流域内畜禽养殖COD总污染负荷34.7万t。沈阳市周边、黑山县、昌图县、辽中县、新民县、海城市的畜禽养殖规模大,6个县市的COD污染排放量占整个流域的47.7%。图3反映了畜禽养殖COD排放的空间分布状况,可以看出辽河平原是畜禽养殖的集中区域。

辽河流域内畜牧业发展速度快,2010年畜牧业产值占农业总产值的比重达40.9%,高于30.9%的全国平均水平,形成了几十万头大牲畜、近千万头猪、上亿只蛋鸡和肉鸡的养殖规模。目前辽宁畜禽养殖产生的粪便污染物主要作为有机肥还田,部分进入沼气池,用于生产沼气,少部分经过污水处理厂沉淀净化,部分距离河道较近的养殖场直接将清洗饲养场的污水排入河道,造成水体污染。作为有机肥、进入沼气池以及被净化的畜禽粪便经过利用,并不造成环境污染。流域内养殖专业户占70%以上的饲养规模,虽单个养殖量相对较小,但多分布于村庄道边与河畔,布局较为分散,基本没有畜禽粪便处理设备,粪便普遍堆积在养殖场周围,在降雨时随地表径流很容易排入附近水体。参考《中国环境经济核算技术指南》和文毅等^[24]的研究成果,畜禽养殖污染物的入河系数取0.2,粗略估计辽河流域畜禽养殖COD入河量约为7万t。畜禽养殖已成为农业COD排放的最主要方面,也

成为环境水体污染的重要源头。

3.2 工业生产 COD 污染负荷

计算得出流域内工业废水排放为3.3亿t，工业COD污染负荷量为11.2万t(表4)。造纸及纸制品业、饮料制造业、农副食品加工业、化学原料及化学制品制造业、石油加工炼焦及核燃料加工业、医药制造业、服装鞋帽制造、黑色金属冶炼及压延业是COD污染的重点行业，8个行业排放占整个工业COD排放的80%以上。工业废水中COD含量超出一般生活废水的几倍甚至十几倍，排放集中，且大多直接排入河道。参考文献毅等^[24]研究成果，辽宁工业污染源入河系数取0.89，则流域工业COD入河量约为10万t。

目前饮料生产、农副产品加工、化学原料及化学品制造业COD排放量成为流域内COD污染的主要工业行业，相对于造纸业COD排放的特点，这些工业污水中COD含量相对较低，且排放前具有一定的去除率，很少出现大量高浓度污水集中直接排放至河道中的现象，因此对水体造成的污染不会和造纸废水一样严重。但从图4可以看出，辽河、浑河和太子河中下游仍是COD高排放区域，沈阳、抚顺、鞍山、营口、盘锦排放量均超过1万t。

3.3 居民生活 COD 污染负荷

以流域内各行政区土地利用数据为基础匹配各社会经济统计数据，得出辽河流域内城镇居民1231万人，农村居民1004万人，利用排污系数法估算居民生活的COD污染排放量，得出居民生活污水总量81430万t，其中COD排放量46.9万t，具体结果列于表5。

根据全国第一次污染源普查数据，辽宁2008年对工业和城镇居民生活COD排放的集中式削减率不足50%，近些年虽有所提高但整体水平仍偏低，部分县市没有污水处理厂，生活废水直接排入河道，生活污水排放成为流

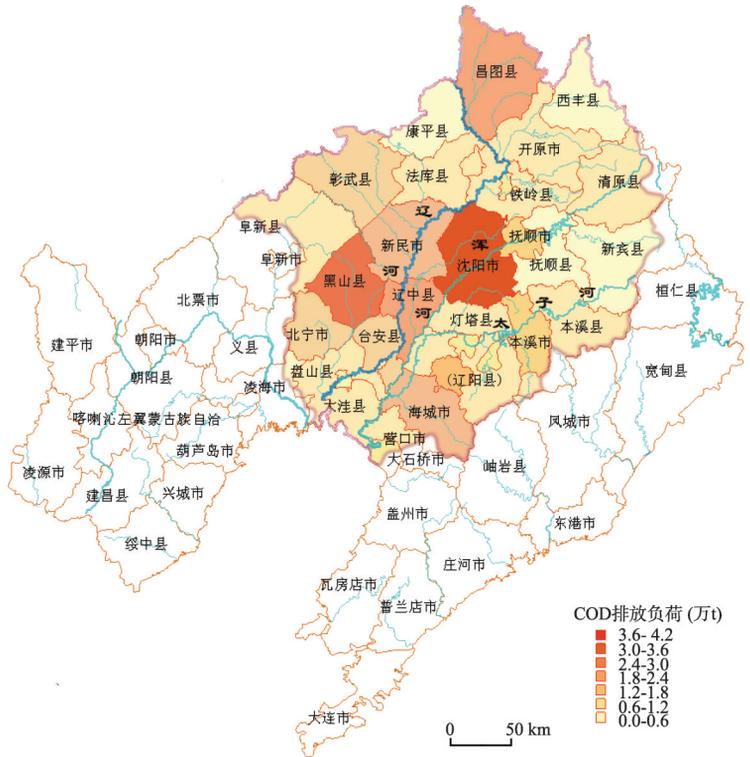


图3 2010年辽河流域禽畜养殖业COD污染负荷的空间分布
Fig. 3 Spatial distribution of COD pollution load of livestock and poultry breeding in Liao River Basin

表4 2010年辽河流域工业废水COD排放量(万t/a)

Tab. 4 COD emission of industry wastewater in Liao River Basin in 2010 (10 thousand tons)

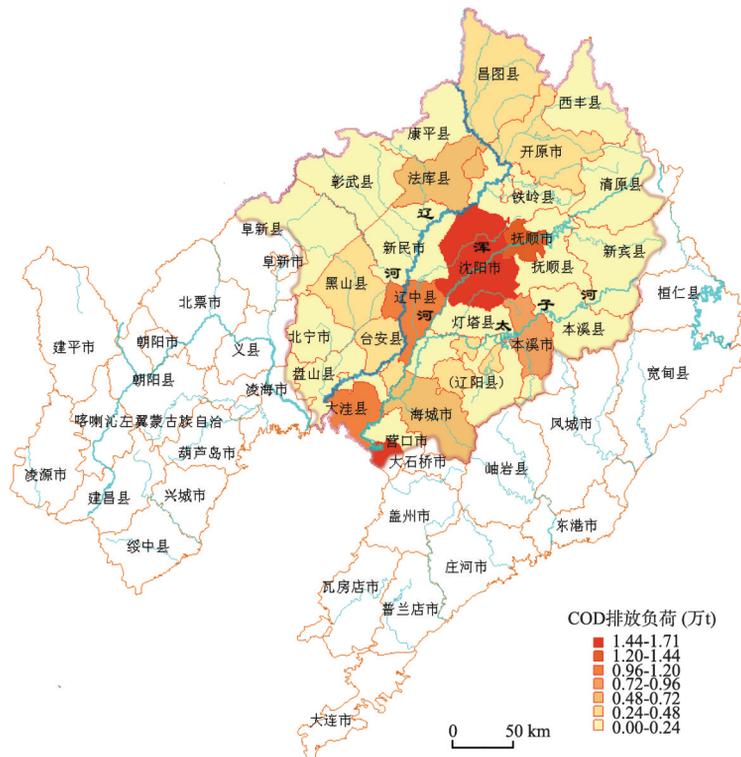
行政区	沈阳	鞍山	抚顺	本溪	锦州	营口	阜新	辽阳	盘锦	铁岭	流域
COD排放量	3.04	1.22	1.24	1	0.42	1.58	0.04	0.55	1.16	0.92	11.18

表5 辽河流域居民生活COD污染排放量(单位: 万t/a)

Tab. 5 COD emissions of domestic pollution in Liao River Basin (unit:10 thousand tons)

城市项目	城镇居民		农村居民		流域合计 COD排放
	生活污水量	COD排放	生活污水量	COD排放	
沈阳	22836	9.50	6053	5.20	14.70
鞍山	7921	3.29	3373	2.84	6.13
抚顺	6384	2.82	1459	1.48	4.30
本溪	4412	1.95	598	0.60	2.55
锦州	1079	0.45	2490	2.08	2.53
营口	3330	1.51	1070	0.98	2.49
阜新	269	0.12	1474	1.34	1.46
辽阳	3795	1.67	2302	2.20	3.87
盘锦	2861	1.51	1552	1.64	3.15
铁岭	3761	1.70	4409	4.00	5.70
流域	56646	24.52	24784	22.36	46.88

域水体COD的基础构成。辽河平原农村居民点分布密集, 城市众多, 人口相对集中, 辽河、浑河和太子河贯穿而过, 图5反映了流域内生活污染源的的压力状况, 自北至南生活废水COD排放压力与农村居民点和城镇的布局一致, 压力主要体现在辽河平原。



辽宁省县级以上城市每天排放各类污水近900万t, 2008年以前, 全省城市污水处理率仅为50%, 大量的生活污水未经处理直接排入河道, 生活污水COD含量一般为200-350mg/L, 有些甚至更高, 是导致辽河流域污染的主要原因之一。目前辽宁每天的污水处理量占县级以上城市产生的污水总量的70%以上, 监测数据显示, 高浓度城市污水经过处理后, COD的平均去除率为76.7%, 可见城市生活污水中的COD仅有54%的去除率, 而且部分县市根本没有污水处理厂, 生活废水经化粪池沉淀后或

图4 2010年辽河流域工业废水COD污染负荷的空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of COD pollution load of industrial wastewater in Liao River Basin

0.83, 依据以上污水处理水平扣除削减量后, 2010年流域城镇居民生活废水中仍有9.4万t的COD排入环境水体中, 成为影响环境水体COD水平的基本因素。相对城镇居民, 农村居民生活废水排放量较少, 辽宁农村并没有污水排放管网, 房前屋后和附近农田成为居民废水排放的主要场所, 农村居民厕所主要为浅坑旱厕, 进行不定期的清掏, 绝大部分粪便被作为有机肥还田, 这部分对水体造成污染的途径主要集中在降雨产生的农田径流和乡村径流, 根据文毅等^[25]的研究, 取0.128作为辽河流域乡村径流入河系数, 则2010年流域内农村居民生活污水中有2.85万t的COD进入流域水体。

3.4 城市径流COD污染负荷

本文通过降雨量和建成区面积两个参数校正了胡成对辽宁城市径流污染负荷总量的估算^[23], 结果见表6。2010年流域内城市径流COD污染负荷总量近8.77万t。城市径流污染负荷量与城市规模具有很强相关性, 沈阳建成区面积最大, COD径流量也最多, 达3.23万t。

城市降水径流污染伴随着城市化进程而产生, 是非点源污染的主要类型之一。城市地表径流中悬浮物、COD、BOD、总氮、氨氮为主要污染物, 城市地表径流中污染物、重金属及碳氢化合物的浓度在数量级上与未经处理的城市污水基本相同^[26]。随着城市规模的扩大和城市人口的增加, 城市降水径流污染将成为仅次于农村非点源污染的第二大非点源污染源^[27]。

城市径流污染物量与城市规模直接相关, 城市用地结构、管网率和城市环卫工作也对其产生影响, 由于城市规模相对较大, 沈阳、鞍山、抚顺、本溪城市径流中COD含量占城市径流COD总量的61%, 盘锦和营口两市距辽河和渤海较近, 污染物更易进入水体,

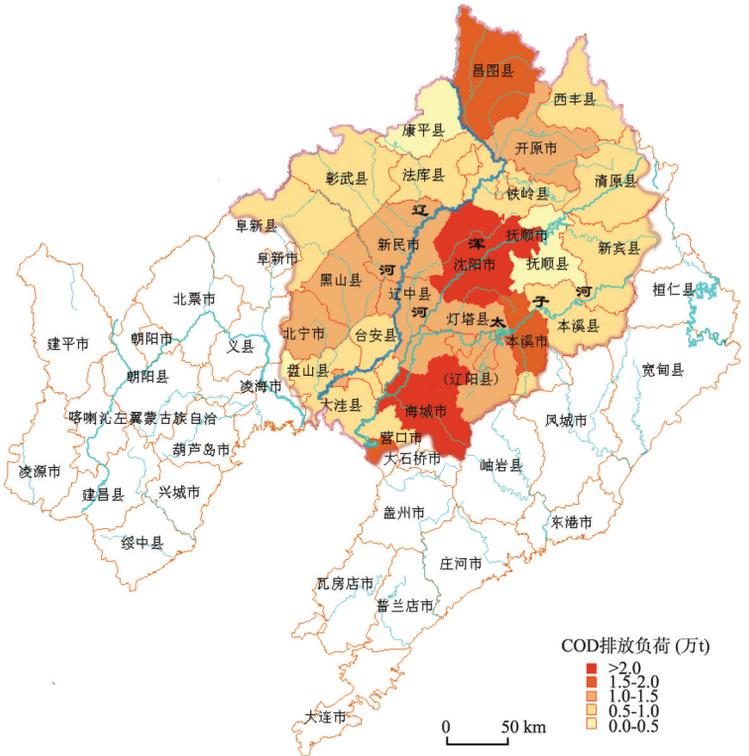


图5 2010年辽河流域居民生活源COD污染负荷的空间分布
Fig. 5 Spatial distribution of domestic COD pollution load in Liao River Basin

表6 辽河流域各城市径流中COD污染负荷(单位: 万t/a)

Tab. 6 COD pollution load of urban runoff in Liao River Basin

项目\地区	沈阳	鞍山	抚顺	本溪	锦州	营口	阜新	辽阳	盘锦	铁岭	合计
COD径流	3.23	1.24	0.86	0.82	-	0.56	-	0.71	0.35	0.66	8.77

注: “-”表示该城市没有数据。

而辽河流域东西高、中部低、北部高、南部低的地貌特点使各城市的径流易于汇集至辽河。城市径流随排污管道入河，COD入河系数取0.83，则入河量约为7.3万t。随着城镇化率的大幅提高，城市规模将不断扩大，城市地表径流污染量也逐渐增加，将成为影响环境水体COD污染的又一重要方面。

3.5 流域COD污染负荷总量及构成

2010年辽河流域社会经济活动的COD污染负荷总量为101万t，居民生活源和畜禽养殖业是COD污染的主要贡献者，两者的污染贡献占流域总负荷量的80%，其中居民生活污染贡献46%（城镇居民24.1%、农村居民22%），畜禽养殖业贡献34%，工业和城市径流产生的污染各占总负荷量的11%和9%。综合各社会经济活动COD污染负荷的总量，辽河流域COD污染压力主要集中在图6虚线框中的区域，该区域为辽河平原范围，可以认为辽河流域COD污染主要集中在辽河平原地带，该区域北高南低、东西高中间低，形成了一个斜坡扇形区，城镇、农村居民点、各污染企业分布其中，3条主要河流贯穿而过，每年携带约30万t的COD入河，以20%-50%的消减率计算，至少有15万t的COD污染物排入海中，成为辽东湾海域COD污染的主要来源。

从农村、城镇和工业角度而言，农业生产活动是流域COD污染负荷的最主要来源，农村生活污染源与畜禽养殖业的COD污染负荷占流域总负荷量的56%，其中畜禽养殖污染贡献突出。而工业源COD污染负荷仅占总量的11%，远小于农业排污量，单从这点可以认为工业生产对水体中COD的总量影响不大，但造成河流水体COD严重污染的往往是工业排放，原因在于农业产生的污染物常伴随大范围降雨形成径流进入河流水体，地表径流过程即是污染物的携带者，也是污染物的稀释者，降雨带走大量污染物入河的同时也降低了污染物的浓度，这往往是汛期河流水体污染物总量增高的主要原因，但并不是引起水体严重污染的根本原因。而工业入河废水常具有高浓度、集中排放、入河量大的特点，这样的工业废水入河将直接导致河段水体的严重污染，因此，工业废水的特点是造成水体严重污染的主要原因。城镇源污水的特点是每天持续不断排放，排放量稳定，部分经过污水处理厂排放，部分直接排入河道，COD浓度相对工业废水低很多，但总量较

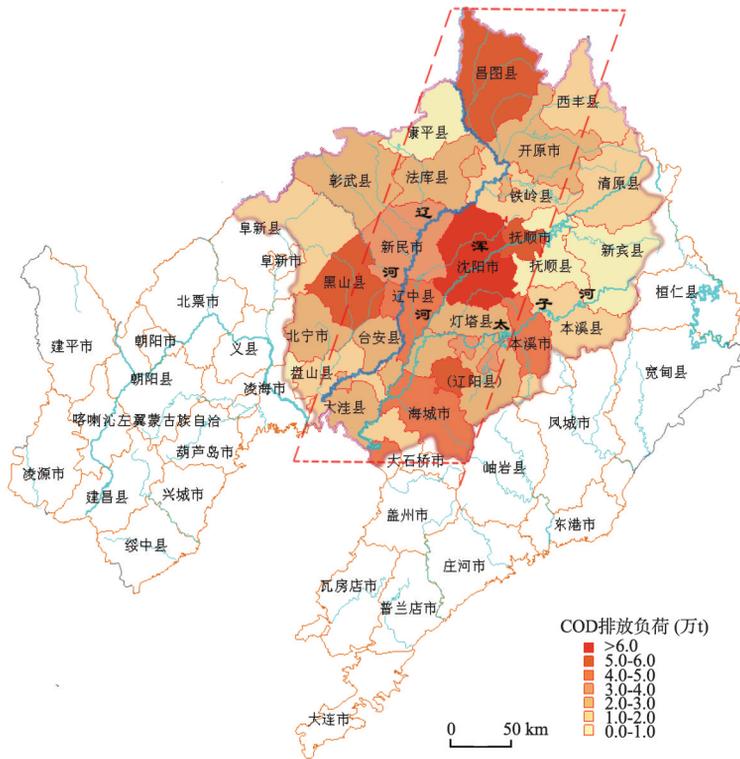


图6 2010年辽河流域COD污染负荷总量的空间分布

Fig. 6 Spatial distribution of COD pollution total load in Liao River Basin in 2010

流过程即是污染物的携带者，也是污染物的稀释者，降雨带走大量污染物入河的同时也降低了污染物的浓度，这往往是汛期河流水体污染物总量增高的主要原因，但并不是引起水体严重污染的根本原因。而工业入河废水常具有高浓度、集中排放、入河量大的特点，这样的工业废水入河将直接导致河段水体的严重污染，因此，工业废水的特点是造成水体严重污染的主要原因。城镇源污水的特点是每天持续不断排放，排放量稳定，部分经过污水处理厂排放，部分直接排入河道，COD浓度相对工业废水低很多，但总量较

大,是水体中COD含量的基本来源。

4 结论

①居民生活和畜禽养殖排放是辽河流域COD污染的主要来源。通过对各类社会经济活动COD污染物排放的估算,辽河流域2010年COD污染负荷总量为101.5万t,其中居民生活产生的COD污染负荷为46.8万t,畜禽养殖产生的负荷34.7万t,分别占总负荷的46%和34%,两者合计占流域COD污染总负荷的80%,是流域COD污染的主要源头;工业和城市径流产生的污染各占总负荷量的11%和9%。②短期内COD污染压力依然严峻,非点源污染突出。流域内工业源COD污染比重较小,工业对环境水体中COD的总量贡献有限。除工业污染源以外,其他污染源产生的COD都直接或间接的来源于生物体代谢产生的废弃物,人口数量和畜禽养殖规模直接决定了COD的产生量,但并不能仅为了减少COD的产生量而控制人口数量或减少畜禽养殖量,同时,短期内要大幅消减污染物的排放量也是难以完成的任务,尤其是农村生活、畜禽养殖和城市径流产生的非点源污染难以控制,已成为流域污染的主要来源和主要污染形式。因此,短期内辽河流域的COD污染压力依然严峻。③流域输入是辽东湾COD污染物的主要来源。粗略估计2010年辽河流域COD污染物约有30万t入河,扣除河道消减量,至少有15万t入海。2010年辽宁省各类型陆源排污口34个,每年向海中排放COD污染物约4.7万t。可以看出,流域输入是辽东湾COD污染的主要来源,治理海洋污染重点在于陆域污染的治理。

参考文献(References)

- [1] Lu Y T, Wu S Z, Zhu J H et al. Analysis on effect decomposition of industrial COD emission. *Procedia Environmental Sciences*, 2012, 13: 2197-2209.
- [2] Wang C, Sun Q, Jiang S et al. Evaluation of pollution source of the bays in Fujian province. *Procedia Environmental Sciences*, 2011, 10: 685-690.
- [3] Wen Q C, Chen X, Shi Y et al. Analysis on composition and pattern of agricultural nonpoint source pollution in Liaohe River Basin, China. *Procedia Environmental Sciences*, 2011, 8: 26-33.
- [4] 常原飞,方志刚,赵智杰,等.辽河COD变化规律及其原因探讨. *北京大学学报(自然科学版)*, 2002, 38(4): 535-542.
- [5] 贾振邦,赵智杰,常原飞,等.辽河水体中COD的变化特征. *环境化学*, 2004, 23(4): 435-440.
- [6] 张峥,周丹卉,谢轶.辽河化学需氧量变化特征及影响因素研究. *环境科学与管理*, 2011, 36(3): 36-39.
- [7] 张帆,徐建新,徐晨光.辽宁省典型流域水环境容量计算与分析. *水土保持研究*, 2010, 17(5): 231-234.
- [8] 赵宪伟,王路光,李拴马,等.河北省COD排放环境学习曲线及减排潜力研究. *中国农村水利水电*, 2009, (3): 76-79.
- [9] 赵宪伟,沈照理,张焕祯,等.河北省COD排放趋势分析及减排对策研究. *南水北调与水利科技*, 2010, 8(3): 65-67.
- [10] 朱梅,吴敬学,李瑞波.海河流域农村生活非点源污染负荷量估算及环境风险分析. *农业环境与发展*, 2010, (5): 66-71.
- [11] 朱梅,吴敬学,张希三.海河流域种植业非点源污染负荷量估算. *农业环境科学学报*, 2010, 29(10): 1907-1915.
- [12] 朱梅,吴敬学,张希三.海河流域畜禽养殖污染负荷研究. *农业环境科学学报*, 2010, 29(8): 1558-1565.
- [13] 吴敬学,朱梅.海河流域农业非点源污染评价. *农村经济与管理*, 2011, (5): 5-18.
- [14] 马广文,王业耀,香宝,等.松花江流域非点源氮磷负荷及其差异特征. *农业工程学报*, 2011, 27(增刊2): 163-169.
- [15] 岳勇,程红光,杨胜天.松花江流域非点源污染负荷估算与评价. *地理科学*, 2007, 27(2): 231-236.
- [16] 刘庄,李维新,张毅敏.太湖流域非点源污染负荷估算. *生态与农村环境学报*, 2010, 26(增刊1): 45-48.
- [17] 夏立忠,杨林章.太湖流域非点源污染研究与控制. *长江流域资源与环境*, 2003, 12(1): 45-49.
- [18] 李恒鹏,刘晓玫,黄文钰.太湖流域浙西区不同土地类型的面源污染产出. *地理学报*, 2004, 59(3): 401-408.
- [19] 金洋,李恒鹏,李金莲.太湖流域土地利用变化对非点源污染负荷量的影响. *农业环境科学学报*, 2007, 26(4):

1214-1218.

- [20] 杨朝飞. 全国规模化畜禽养殖业污染情况调查及防治对策. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [21] 第一次全国污染源普查资料编纂委员会. 第一次全国污染源普查资料文集五之《污染源普查数据集》. 北京: 中国环境科学出版社, 2011.
- [22] 张桂英, 汪祖强. 苏南太湖地区农田水中COD的调查研究. 农村生态环境, 1994, 10(2): 41-44.
- [23] 胡成, 潘美霞. 城市非点源污染负荷估算研究. 气象与环境学报, 2006, 22(5): 14-18.
- [24] 张淑杰. 江苏省COD排放总量不同方法计算对比研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2008.
- [25] 文毅, 李宇斌, 胡成. 辽河流域水污染物总量控制管理技术研究. 北京: 中国环境科学出版社, 2009. 58-82.
- [26] 何流, 陈文森, 张超. 城市雨水径流污染控制研究. 能源与环境, 2011, (4): 95-96.
- [27] Deletic A B, Maksimovic C T. Evaluation of water quality factors in storm runoff from paved areas. *Journal of Environmental Engineering*, 1998, 124(9): 869-879.

COD pollution load of social and economic activities in Liaohe River Basin, China

WANG Hui, LUAN Weixin, KANG Minjie

(Transportation Management College, Dalian Maritime University, Dalian 116026, Liaoning, China)

Abstract: The Liaohe River Basin is an important economic zone in Liaoning province, which contributes 60% of industrial output value and 57% value-added of tertiary industry of Liaoning province. At the same time, its development also leads to negative environmental influence, especially, rich COD in this basin, an important indicator of national pollution control, which can cause aquatic plant hypoxia, even death.

This paper focused on COD pollution of the Liaohe River Basin and estimated the COD pollution loads of agricultural production, industrial production, domestic living, and urban runoff respectively. The results showed that: (1) in 2010, the total COD pollution load of the Liaohe River Basin reached about 1, 015, 000 tons, of which the pollution loads from domestic living and livestock industry were the main sources of COD pollution, and reached 815, 000 tons, accounting for 80% of the total pollution loads, while the pollution loads from industrial production and urban runoff contributed 112, 000 and 87, 000 tons respectively. (2) The COD emissions of industrial pollutants had been significantly reduced in the basin due to the pollution treatment of waste water from paper industry. Study also found that although industrial COD pollution loads accounted for a smaller proportion in the total pollution load, it was the major factor causing serious water pollution because of its emission characteristics. (3) Non-point source pollution was the main way of water environmental pollution. Furthermore, the cuts of COD emissions in the Liaohe River Basin cannot be expected in a short term because of the difficulty to control non-point source pollution. COD pollution pressures would be existing for a long time in this region. (4) The technological progress and mode innovation on the aspects of pollutant discharge would be the efficient and feasible measures to cut off the COD pollution emission in the Liaohe River Basin.

Key words: COD; COD pollution load; social and economic activities; Liaohe River Basin