



王星雨, 马艳. 基于清单分析法的河北省农业面源污染时空特征[J]. 黑龙江农业科学, 2023(11):113-120.

# 基于清单分析法的河北省农业面源污染时空特征

王星雨<sup>1</sup>, 马 艳<sup>1,2</sup>

(1. 武汉轻工大学 管理学院, 湖北 武汉 430048; 2. 湖北省高校人文社科重点研究基地/武汉轻工大学 食品安全研究中心, 湖北 武汉 430048)

**摘要:**为了降低农业面源污染的影响,了解河北省农业面源污染排放特征,采用清单分析法、等标污染负荷法分析了 2020 年河北省 11 个行政区化学需氧量(COD)、总氮(TN)、总磷(TP)3 种污染物的排放量,并建立 4 个污染账户从畜禽养殖、农业种植、水产养殖和农村生活排污 4 个污染源计算农业面源污染等标污染负荷,绘制空间分布特征并进行聚类分析。结果表明,河北省畜禽养殖排放量为 79.779 万 t,农业种植排放量为 0.681 万 t,水产养殖排放量为 4 914.116 万 t,农村生活排污排放量为 113.919 万 t。2020 年河北省农业面源 3 种污染物排放量分别为 COD 4 201.815 万 t,总氮 797.998 万 t,总磷 108.681 万 t,总排放量为 5 108.495 万 t。3 种污染物的等标污染负荷由大到小依次为 TN>TP>COD,按照污染账户划分为水产养殖>农村生活排污>畜禽养殖>农业种植。经计算可得,唐山市的等标污染负荷最高,承德市的等标污染负荷最低。经过系统聚类分析将行政区划分为重度污染、中度污染和轻度污染三类。河北省整体农业面源污染问题较为严重,主要问题地区集中在中部与东部。

**关键词:**农业面源污染;等标污染负荷法;清单分析法;聚类分析法;河北省

习近平总书记在党的二十大报告中提出,要把中国加快建设成为农业强国,推进农业绿色发展全过程转型。近年来,我国农业绿色发展虽取得一定的进展,但是仍然面临水土资源约束的问题。在保障粮食供给,丰富农业活动的同时,氮肥与磷肥等化肥、农药使用的持续增加会导致水体富营养化<sup>[1]</sup>,相应带来的农业面源污染也逐渐成为需要重点关注的问题,尤其是农村的面源污染越来越严重,对自然生态环境造成严重负面影响<sup>[2-4]</sup>。“十四五”规划要求进一步促进农村健康发展,完善农业生态文明体系,促进农村建立绿色低碳生产,我国对于农业生态系统的健康发展非常重视,尤其对农业面源污染问题格外严格<sup>[5-7]</sup>。河北省作为我国的农业大省,环抱渤海海域,拥有多种不同的地貌。由于河北省的农业总产值在稳步提高,同时带来的农业面源污染问题也愈发严重,因此充分分析河北省农业面源污染情况及相关特征,对于防止水环境进一步恶化,妥善治理水

环境污染问题,为加快农业绿色发展做出重要贡献。

农业面源污染是一种严重的环境问题,它大多来自于农作物的种植、施肥、灌溉、排放等农业生产活动,在这个过程中使用的农药、氮素、磷素等化肥以及各种营养会通过土壤、水体、植被等多种途径污染水环境<sup>[8-10]</sup>。典型的农业面源污染的主要来源包含农药污染、化肥污染及畜禽养殖产生的粪便污染等<sup>[11-13]</sup>。为了测算出农业面源污染的排放量以及对环境污染的贡献程度,国内学者采用不同的研究方法对众多区域农业面源污染进行评价与测算。例如庞燕等<sup>[14]</sup>使用排污系数法计算洱河流域污染物的排放负荷,并使空间分析反应各污染物的分布特征。高新昊等<sup>[15]</sup>采用等标污染法核算山东省各地级市畜禽粪便、化肥生活排污 3 种污染源中的氮、磷两种污染物的流失量。胡静锋<sup>[16]</sup>通过应用清单分析方法,研究了重庆市的污染物排放情况,深入探讨了农业面源污染的成因及其在地域上的分布规律。

本文选取河北省为研究区域,采用清单分析法、等标污染负荷法以及聚类分析等研究方法。以 2020 年为基准年,将河北省 11 个行政区划分为 4 个污染账户,从畜禽养殖、农业种植、水产养殖和生活排污 4 个污染源核算 COD、TN、TP

收稿日期:2023-07-11

基金项目:国家社会科学基金一般项目“基层组织嵌入对农户保护性耕作行为的影响及激励政策研究(23BGL208)。

第一作者:王星雨(1998—),女,硕士研究生,从事农业生态经济与农村生态环境保护研究。E-mail:gnlhh158@163.com。

通信作者:马艳(1984—),女,博士,副教授,从事农业生态经济与农村生态环境保护研究。E-mail:15810641425@163.com。

三种污染物的排放量以及等标污染负荷等相关数值。以此为基础运用 ArcGIS 软件绘制河北省农业面源污染空间分布特征,并根据各个行政区的污染负荷以及污染物排放量进行聚类分析,以期后续河北省的农业面源污染治理工作提供相应的对策及建议。

## 1 研究区概述

河北省位于我国的华北地区,拥有 11 个行政区,省会为石家庄市。内环北京天津,东部毗邻渤海,西为太行山地,北为燕山山地,是中国唯一同时拥有平原、丘陵、山地、高原、海滨和湖泊的省份,海岸线全长 487 km。2020 年河北省地区生产总值达到 6 742.49 亿元,第一产业的总产值连续 4 年不断增加,2020 年河北省农业总产值达到 3 413.34 亿元。河北省的大部分地区四季分明,属于温带大陆性季风气候,年平均降水量为 484.5 mm。截至 2020 年农作物总播种面积达到 808.94 万  $\text{hm}^2$ ,粮食产量达到 3 795.9 万 t,是中国重要的粮棉产区。

## 2 研究方法

### 2.1 清单分析法

清单分析是指所确定的生产活动、产品或者工艺在其产品系统内,对其整个生命周期中所使用的原材料包括自然资源、能源物质和向环境排放的废水、废气以及其他环境释放物质进行调查、收集数据并进行量化分析,以实现物质平衡和能量平衡<sup>[17-18]</sup>。

本文以河北省 11 个地级市为计算单位,对不同地区以及不同污染账户的 3 种污染物的排放量进行计算,旨在从时间和空间两个角度来分析河北农业面源污染排放在不同行政区的分布情况以及其污染程度。具体计算公式如下<sup>[19]</sup>:

$$Q_i = Q_{li} + Q_{ri} + Q_{ai} + Q_{di} \quad (1)$$

式(1)中,  $Q_i$  为农村面源污染物  $i$  的排放量;  $Q_{li}$  为畜禽养殖污染物  $i$  的排放量;  $Q_{ri}$  为种植污染物  $i$  的排放量;  $Q_{ai}$  为水产养殖污染物  $i$  的排放量;  $Q_{di}$  为农村生活污水污染物  $i$  的排放量。

$$Q_{li} = XQ_j \times \alpha_{i,j} \quad (2)$$

式(2)中,  $XQ_j$  为某一畜禽类型  $j$  的产生基数;  $\alpha_{i,j}$  为某一畜禽类型  $j$  的污染物  $i$  排放系数。

$$Q_j = A_g \times e_{gj} \quad (3)$$

式(3)中,  $A_g$  代表农作物的总播种面积;  $e_{gj}$  指某省农作物种植过程中水污染物的流失系数;

$$Q_{ai} = YZ_m \times \delta_{i,m} \quad (4)$$

式(4)中,  $YZ_m$  为某水产养殖类型  $m$  的产量;  $\delta_{i,m}$  为某一水产养殖类型  $m$  的污染物  $i$  的排污系数。

$$Q_{di} = NP \times \epsilon_i \quad (5)$$

式(5)中,  $NP$  为农村常住人口数(人);  $\epsilon_i$  为污染物  $i$  的人均排污系数。

### 2.2 等标污染负荷法

等标污染负荷是指影响环境而产生的某污染物的排放总量,某污染物的等标污染负荷是指在单位时间里所排放的包含此种污染物的废水、废气等物质的等标体积<sup>[20-22]</sup>。等标污染负荷比可以代表某种污染物或污染源的污染贡献程度,是指某种污染物或污染源的等标负荷与总等标污染负荷之比<sup>[23]</sup>,计算公式如下<sup>[24]</sup>。

污染物  $i$  的等标污染负荷  $P_i$  为:

$$P_i = Q_i / C_{oi} \quad (6)$$

式(6)中,  $C_{oi}$  代表污染物  $i$  的阈浓度。其中污染物化学需氧量(COD)、总氮(TN)和总磷(TP)的阈浓度全部来自于《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中的 V 类标准( $\text{COD} \leq 40 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $\text{TN} \leq 2.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $\text{TP} \leq 0.4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )。

污染源的等标污染负荷  $P_n$  为:

$$P_n = \sum_{i=1}^n P_i \quad (7)$$

式(7)中,  $n$  为污染物种类。

区域等标污染负荷  $P$  为:

$$P = \sum_{n=1}^m P_n \quad (8)$$

式(8)中,  $m$  为区域污染源个数。

污染物  $i$  的区域总等标负荷总  $P_{i\text{总}}$  为:

$$P_{i\text{总}} = \sum_{n=1}^m P_{in} \quad (9)$$

污染源在区域中的污染负荷比  $K_n$  为:

$$K_n(\%) = P_n / P \times 100 \quad (10)$$

污染物  $i$  在区域中的污染负荷比  $K_{i\text{总}}$  为:

$$K_{i\text{总}}(\%) = P_{i\text{总}} / P \times 100 \quad (11)$$

### 2.3 聚类分析法

聚类分析是研究事物的一种分类方法,通过其本身所具有的特点为基础,筛选同一类别中个体之间的相似性,聚类分析的应用原则是相同类别中的个体具有较高的相似性,不同类别中的个体相似性较低,系统聚类是聚类分析中较为常用的方法之一<sup>[25]</sup>。

3 数据来源与参数选择

3.1 数据来源

本文以 2020 年为基准年,对河北省的 11 个行政区的农业活动和生活活动所涉及的原始数据进行收集分类并进行整理,包括农村人口数、种植业面积、畜禽养殖数量、水产产量等基础数据均来自于《2021 年河北省统计年鉴》。

3.2 参数选择

本文各污染物的污染系数来源于《全国第二次污染源普查》的相关数据。规模化畜禽养殖排污系数、农业种植排污系数、水产养殖排污系数和农村生活污水排污系数具体数值见表 1。

表 1 2020 年河北省污染物排放系数

参数名称	单位	类型(地区)	化学需氧量	总氮	总磷
畜禽养殖排污系数	kg·头 <sup>-1</sup> 或 kg·羽 <sup>-1</sup>	猪	6.2497	0.5186	0.0951
		牛	127.7180	5.3333	0.6223
		鸡	1.1428	0.0630	0.0193
农业种植排污系数	kg·hm <sup>-2</sup>	播种过程排放系数	—	0.775	0.067
		园地排放系数	—	1.448	0.036
水产养殖排污系数	kg·t <sup>-1</sup>	—	13.919	2.588	0.253
农村生活排污系数	g·(人·d) <sup>-1</sup>	石家庄市	25.92	1.46	0.11
		唐山市	27.89	1.79	0.13
		秦皇岛市	18.63	0.65	0.07
		邯郸市	19.83	0.85	0.08
		邢台市	20.25	0.92	0.08
		保定市	18.92	0.70	0.07
		张家口市	17.48	0.46	0.06
		承德市	18.04	0.54	0.07
		沧州市	19.34	0.77	0.07
		廊坊市	25.77	1.45	0.11
		衡水市	18.63	0.64	0.07

4 结果与分析

4.1 河北省污染账户排放特征

4.1.1 畜禽养殖业 由图 1 可知,2020 年河北省畜禽养殖污染物排放量中,COD 75.127 万 t,总氮 4.014 万 t,总磷 0.638 万 t。其中 COD 排放量最高的城市是石家庄市,排放量为 11.246 万 t。COD 排放量最小的城市为秦皇岛市,排放量为 2.654 万 t。总氮和总磷排放量最大的城市也是石家庄市,分别为 0.585 万 t 和 0.110 万 t。总氮排放最小的城市是廊坊市,为 0.137 万 t,总磷排放量最小的城市为秦皇岛市,为 0.020 万 t。可以看出各行政区 3 种污染物排放量差距悬殊,由此说明畜禽养殖业在河北省各地的发展有较为明显的差异。

4.1.2 农业种植业 由图 2 可知,2020 年河北省关于农业种植污染物排放总量中总氮排放量为 6 269.440 t,总磷排放量为 542.003 t。两种污染物排放量的最高值均出现在保定市,其排放量总氮为 818.710 t,总磷为 70.779 t。两种污染物排放总量由低到高排列分别为保定市、邯郸市、沧州市、

邢台市、石家庄市、衡水市、唐山市、张家口市、承德市、廊坊市、秦皇岛市。

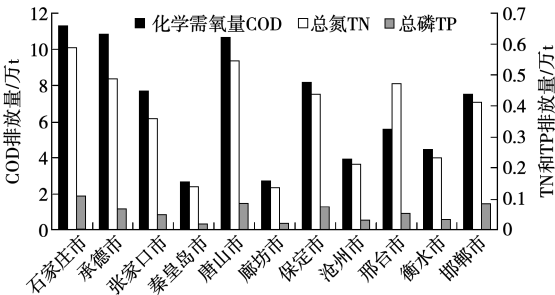


图 1 河北省各行政区畜禽养殖业污染物排放量

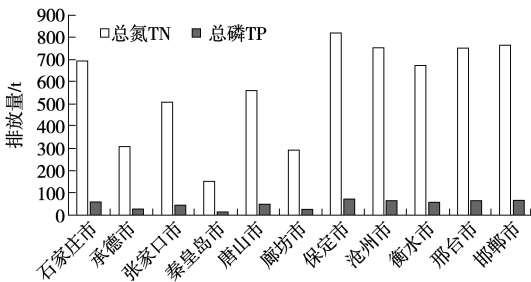


图 2 河北省各行政区农业种植业污染物排放总量

4.1.3 水产养殖业 河北省位于我国华北地区,东部与渤海海域相邻,地跨海河、滦河两大水系。此外全省 487 km 海岸线,是渔盐业的基地。由图 3 可知,2020 年河北省水产养殖业 3 种污染物排放量:COD 4 081.120 万 t,总氮 758.815 万 t,总磷 74.181 万 t。其中 3 种污染物排放量的峰值均出现在唐山市,分别为 COD 2 475.244 万 t,总氮 460.229 万 t,总磷 44.991 万 t。排放量最低的城市是承德市,分别为 COD 52.516 万 t,总氮 9.765 万 t,总磷 0.955 万 t。

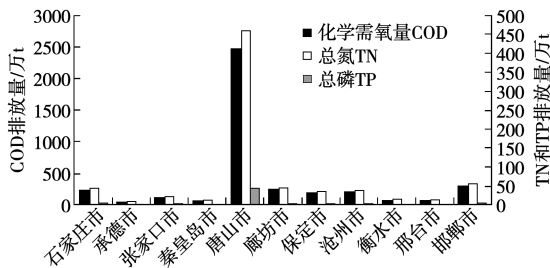


图 3 河北省各行政区水产养殖业污染物排放量

4.1.4 农村生活排污 由图 4 可知,2020 年河北省农村生活污染物的排放量为 COD 45.568 万 t,总氮 34.543 万 t,总磷 33.808 万 t。其中 3 种污染物排放量的峰值出现在保定市,分别为 COD 7.120 万 t,总氮 5.397 万 t,总磷 5.283 万 t。这 3 种污染物的排放总量由高到低排列顺序是保定市、石家庄市、唐山市、沧州市、邯郸市、衡水市、廊坊市、邢台市、承德市、张家口市、秦皇岛市。

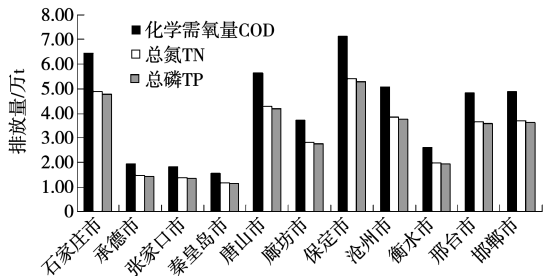


图 4 河北省各行政区农村生活污染物排放量

## 4.2 河北省农业面源污染排放特征

根据 ArcGIS 软件,将 3 种污染物排放量的大小按照 11 个行政区的地形图进行绘制,如图 5、图 6、图 7。2020 年河北省农业面源污染 COD 排放总量为 4 201.815 万 t,总氮排放量为 797.998 万 t,总磷排放量为 108.681 万 t。其中 3 种污染物的排放量差距主要是由于排放物的来源不同。COD 主要来源于水产养殖,占 COD 总排放量的 97.13%。氮的排放量主要来自于水产养殖,占总氮排放量的 94.42%,其余农业种植、畜禽养殖与

生活污水的排放占比不足 6%。磷的排放量主要来自于水产养殖以及农村生活排污,分别占总磷排放量的 67.95%和 30.97%。

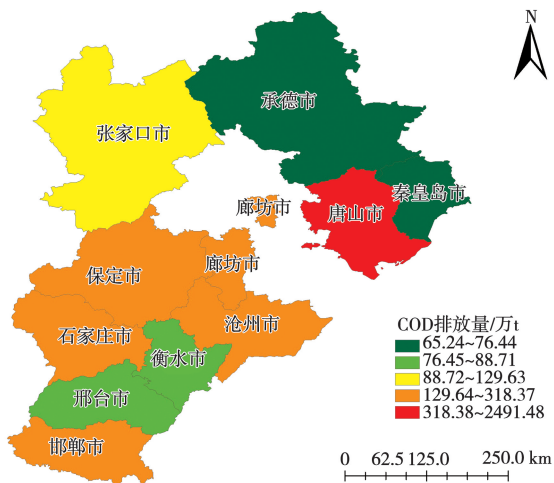


图 5 河北省 COD 排放空间分布特征

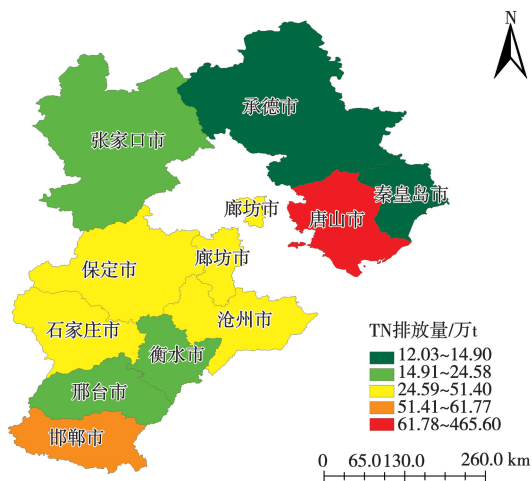


图 6 河北省 TN 排放空间分布特征

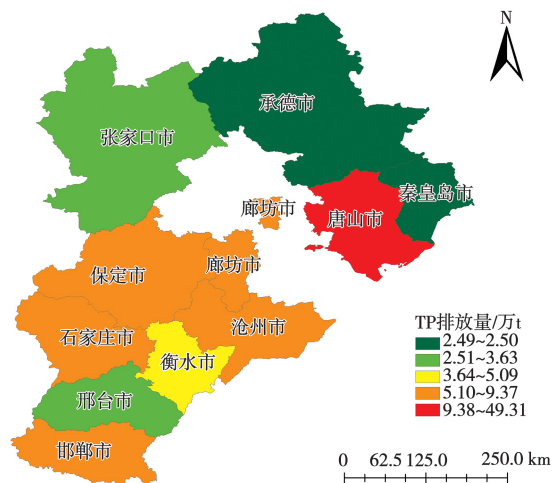


图 7 河北省 TP 排放空间分布特征



经测算可得 3 种污染物的排放量的最低值均出现在承德市,分别是 COD 65.24 万 t,总氮 12.03 万 t,总磷 2.49 万 t。3 种污染物排放量的最大值均在唐山市,分别为 COD 2 491.48 万 t,总氮 465.6 万 t,总磷 49.31 万 t。从河北省 4 类污染账户来看其污染物排放量,其最小值出现在承德市其污染物排放总量为 79.75 万 t,排放量最大值为 3 006.39 万 t 在唐山市。两个城市的悬殊差距主要是由于两个城市的水产养殖数量的差异过大,其中唐山市的鱼类养殖数量达到 17.8 万 t,而承德市的鱼类养殖数量仅有 3 773 万 t,此外两地的农业发展现状,地理环境以及产业结构化等差别均会导致两城市污染物排放量的差距。唐山市具有良好的地理资源,南临渤海,北靠燕山,处在渤海海湾的中心地域,其海域面积达到了 4 440 km<sup>2</sup>。其丰富的海洋资源使唐山市成为全国渔盐集中地和渤海湾的重要渔场。同时由于唐山市的丰富地貌,农业发展也处在河北省的前沿。承德市毗邻北京与天津,是连接京津冀辽蒙的重要节点,具有“一市连五省”的独特区位优势。承德市旅游资源与矿产资源较为丰富,在农作物种植规模以及农业产业上的发展较为薄弱,所以城市的农业面源污染排放也相对较少。

4.3 河北省农业面源污染负荷分析

按照等标污染负荷法核算河北省以及 11 个行政区污染源、污染物的等标负荷,其中的 COD、TN 和 TP 的阈浓度的参考值来自《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中的 V 类标准(COD≤40 mg·L<sup>-1</sup>,TN≤2.0 mg·L<sup>-1</sup>,TP≤0.4 mg·L<sup>-1</sup>)。

河北省农业面源污染污染物等标污染负荷与等边污染负荷比如表 2。

4.3.1 污染物等标负荷 从 4 个污染账户来看,COD 的等标污染负荷为 10 504.54 亿 m<sup>3</sup>,总氮的等标污染负荷为 40 182.01 亿 m<sup>3</sup>,总磷的等标污染负荷为 27 291.86 亿 m<sup>3</sup>,3 种污染物的总等标污染负荷为 77 978.41 亿 m<sup>3</sup>。从表 2 的数据可以看出,对环境影响最大的污染物是总氮,影响第二大的是总磷,最后是 COD。从上面的数据可以发现,总氮和总磷在河北省农业面源污染中对环境的影响最为严重,总氮和总磷过高会引起水体富营养化。在之后的农业面源污染治理中,要加强对于氮和磷的排放控制,首先要对水产养殖的排污系统进行优化,其次在农业种植方面也要对氮肥和磷肥进行合理的使用,最后要加强农村生活污水的处理率。

经过核算发现,4 个账户中的等标污染负荷比分别为,畜禽养殖为 0.70%,农业养殖为 0.58%,水产养殖为 85.52%,农村生活排污为 13.20%。通过以上的数据可以发现河北省面源污染主要来自于水产养殖和农村生活污水。COD 等标污染负荷比中水产养殖占比最大,为 97.13%,总氮等标污染负荷比中也是水产养殖这一账户占比最大达到 94.42%,说明污染物 COD 与总氮主来源于水产养殖。总磷的等标污染负荷比中水产养殖和农村生活污水占比最大,分别为 67.95%和 30.97%。畜禽养殖与农业种植这两个账户在等标污染负荷比中占比较小。

表 2 污染物等标污染负荷与等边污染负荷比

污染物类型	等标污染负荷/亿 m <sup>3</sup>				等标污染负荷比/%			
	COD	TN	TP	合计	COD	TN	TP	合计占比
畜禽养殖	187.82	200.69	159.31	547.82	1.79	0.50	0.58	0.70
农业种植	—	313.47	135.50	448.97	—	0.78	0.50	0.58
水产养殖	10202.80	37940.73	18545.22	66688.74	97.13	94.42	67.95	85.52
生活排污	113.92	1727.11	8451.83	10292.87	1.08	4.30	30.97	13.20
总合计	10504.54	40182.01	27291.86	77978.41	100.00	100.00	100.00	100.00

4.3.2 污染源等标污染负荷 由表 3 可知,在河北省 11 个行政区中等标污染负荷的最大值出现在唐山市,最小值出现在承德市。其中唐山市的 COD 等标污染负荷为 6 228.69 亿 m<sup>3</sup>,等标污染负荷比为

59.30%,总氮的等标污染负荷为 23 280.24 亿 m<sup>3</sup>,等标污染负荷比为 57.94%,总磷的等标污染负荷为 12 326.89 亿 m<sup>3</sup>,等标污染负荷比为 45.17%。承德市的 COD 等标污染负荷为 163.09 亿 m<sup>3</sup>,等

标污染负荷比为 1.55%，总氮的等标污染负荷为 601.41 亿 m<sup>3</sup>，等标污染负荷比为 1.50%，总磷的

等标污染负荷为 621.49 亿 m<sup>3</sup>，等标污染负荷比为 2.28%。

表 3 河北省各行政区污染源等标污染负荷

行政区	等标污染负荷/亿 m <sup>3</sup>				等标污染负荷比/%		
	COD	TN	TP	合计	COD	TN	TP
石家庄市	652.49	2569.85	2341.33	5563.67	6.21	6.40	8.58
承德市	163.09	601.41	621.49	1385.99	1.55	1.50	2.28
张家口市	324.08	1229.08	906.33	2459.49	3.09	3.05	3.32
秦皇岛市	191.11	744.97	624.15	1560.23	1.82	1.85	2.29
唐山市	6228.69	23280.24	12326.89	41835.82	59.30	57.94	45.17
廊坊市	632.50	2454.47	1821.33	4908.30	6.02	6.11	6.67
保定市	530.36	2163.16	2251.69	4945.21	5.05	5.38	8.25
沧州市	547.66	2193.13	1917.27	4658.06	5.21	5.46	7.01
邢台市	221.77	904.84	877.60	2004.21	2.11	2.25	3.22
衡水市	216.86	952.37	1271.40	2440.63	2.06	2.37	4.66
邯郸市	795.92	3088.48	2332.38	6216.78	7.58	7.69	8.55
合计	10504.53	40182.00	27291.86	77978.39	100.00	100.00	100.00

4.3.3 河北省等标污染负荷空间分布特征 通过对河北省各行政区的等标污染负荷与等标污染负荷比的计算,使用 ArcGIS 软件将河北省等标污染负荷空间分布绘制出来,具体分布特征如图 8 所示。

出较高的污染负荷。邯郸市有较为丰富的水力资源,辖内流域属于海河流域拥有 20 多条河流,同时生物资源与矿业资源也非常丰富相较于其他城市他的水产养殖业较为发达。石家庄市作为河北省的省会,在农业种植等第一产业的发展也更为迅速,由此带来的污染也会更多。河北省中部保定市、廊坊市、沧州市农业面源污染等标污染负荷相对较低。河北省北部承德市与秦皇岛市农业欠发达,主要发展旅游业,所以是农业面源污染等标污染负荷最低的两个城市。

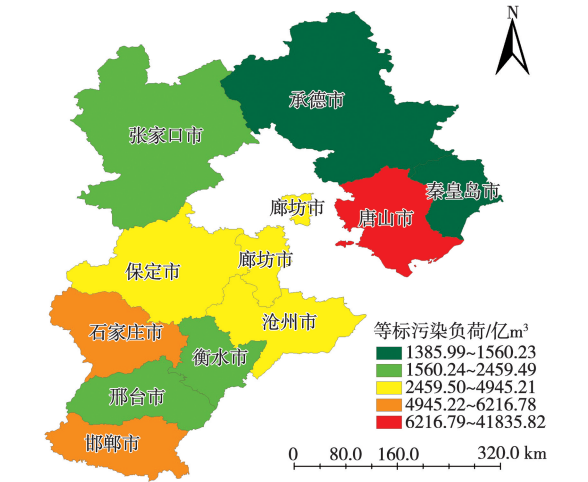


图 8 河北省各行政区农业面源污染等标污染负荷空间分布特征

4.3.4 聚类分析特征描述 通过计算河北省 11 个行政区 4 个污染账户的等标污染负荷值,运用 SPSS 软件进行聚类分析,对行政区污染程度进行分类。将数据进行系统聚类,选择的聚类方法是组间联接,区间选择为平方欧式距离,最终将河北省各行政区的污染程度分为三类,谱系图如图 9 所示。从谱系图可以看出,聚类分析将河北省 11 个行政区的污染程度划分为重度污染、中度污染和轻度污染 3 种类型。仅有唐山市一个城市为重度污染类型,唐山市的农、林、牧、渔产业总值在 2014—2016 年间不断上升,同时近 5 年占 GDP 的比重也在逐步上升。同时由于唐山市优越的地理资源,使得其水产养殖业更为发达,所以也会进一步加剧唐山市的农业面源污染问题。

通过分析可得,河北省农业面源污染等标污染负荷最高值集中在河北省东南方紧邻渤海海域的唐山市,等标污染负荷为 41 835.82 亿 m<sup>3</sup>,等标污染负荷比约占河北省的一半,达到 53.65%。河北省南部的两座城市石家庄市和邯郸市均表现

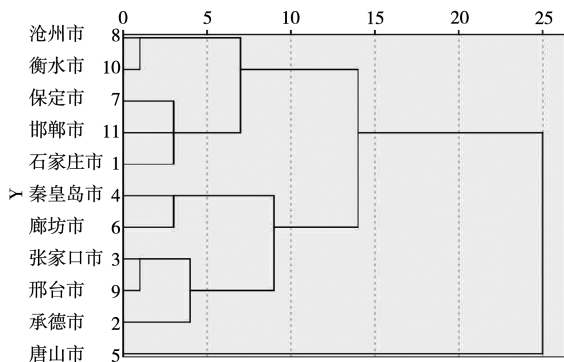


图9 聚类分析谱系图

中度污染主要集中在河北省中南部的沧州市、衡水市、保定市、邯郸市和石家庄市五座城市,其等标污染负荷平均值为 4 764.868 亿  $\text{m}^3$ 。属于轻度污染的城市有 5 座,分别是秦皇岛市、廊坊市、张家口市、邢台市和承德市。这些地区大多注重发展旅游业,相较其他城市的产业结构不相同,所以农业生产规模也更小由此带来的农业面源污染也就更低。

## 5 结论

(1)通过清单分析法,分别计算了 COD、TN、TP 3 种污染物的排放量,基于 4 个污染账户对比不同行政区的污染物排放量。畜禽养殖账户污染物排放总量为 79.779 万 t,石家庄市在畜禽养殖账户占比中最大。在农业种植方面,总排放量达到 0.681 万 t,其中保定市的种植业污染物排放总量最大为 889.489 t。水产养殖污染账户 4 914.116 万 t,唐山市的排放量达到 2 980.464 万 t。农村生活排污的排放总量达到 113.919 万 t,保定市的排放量占比最大,总量为 17.800 万 t。

(2)2020 年河北省农业面源污染各污染物的排放量为,COD 4 201.815 万 t,总氮排放量为 1 797.998 万 t,总磷排放量为 108.681 万 t。由于地理环境和产业结构的差异,COD 主要来源于水产养殖,同时因为唐山市的渔盐产业的快速发展导致 COD 的排放量增大。承德市因其发达的旅游业以及毗邻首都的特殊地理位置,从而使其 3 种污染物的排放总量在 11 个行政区中最低。

(3)依照等标污染负荷的计算公式,2020 年

河北省 3 种污染物的等标污染负荷由大到小排列为  $\text{TN} > \text{TP} > \text{COD}$ 。11 个行政区的等标污染负荷由高到低依次为唐山市>邯郸市>石家庄市>保定市>廊坊市>沧州市>张家口市>衡水市>邢台市>秦皇岛市>承德市,4 个账户的等标污染负荷比由大到小排列以此为水产养殖>生活排污>畜禽养殖>农业种植。进一步说明河北省农业面源污染的主要因素是水产养殖和农村生活排污。

(4)运用 SPSS 进行系统聚类分析,根据各行政区的污染账户的等标污染负荷,将其换分为重度污染、中度污染和轻度污染 3 种类型。重度污染包括唐山市,中度污染包括沧州市、衡水市、保定市、邯郸市和石家庄市,轻度污染包括秦皇岛市、廊坊市、张家口市、邢台市和承德市。

## 参考文献:

- [1] 李峥赫,刘信宝.建立“水-草-畜”生态经济循环模式治理富营养水体的研究[J].中国资源综合利用,2023,41(1):63-66.
- [2] 邵志江,刘美娥.国土综合整治与生态修复中农业面源治理策略与措施[J].国土与自然资源研究,2022(5):31-34.
- [3] 冯帅.论农业面源污染防治中碳汇制度的构建[J].法学,2023(7):148-163.
- [4] 翟紫剑,苏航,孟令玺.农业面源污染的危害与治理[J].生态经济,2021,37(6):9-12.
- [5] 杨秀玉,魏秀文.农业产业集聚、农业面源污染与农业绿色发展:基于空间异质性视角[J].江苏农业科学,2022,50(1):244-252.
- [6] 喻智健,龚亚珍.协调推进农业农村碳达峰碳中和[N].中国社会科学报,2022-07-20(003).
- [7] 张友国.构建生态文明新格局:释义与路径探索[J].中国人口·资源与环境,2023,33(7):9-17.
- [8] 李秀芬,朱金兆,顾晓君,等.农业面源污染现状与防治进展[J].中国人口·资源与环境,2010,20(4):81-84.
- [9] 何奇龙,唐娟红,罗兴,等.政企农协同治理农业面源污染的演化博弈分析[J].中国管理科学,2023,31(7):202-213.
- [10] 王丽,王萌,耿润哲.基于农业面源污染风险区的生态保护红线优化方法分析[J].中国环境监测,2023,39(3):41-49.
- [11] 武淑霞,刘宏斌,刘申,等.农业面源污染现状及防控技术[J].中国工程科学,2018,20(5):23-30.
- [12] 张永强,蒲晨曦,张晓飞,等.畜牧业面源污染防治政策分析[J].生态经济,2018,34(2):195-200.

- [13] 郭利京,黄振英. 淮河生态经济带农业面源污染空间分布及治理研究[J]. 长江流域资源与环境, 2021, 30(7): 1746-1756.
- [14] 庞燕,项颂,储昭升,等. 洱海流域农业用地与入湖河流水质的关系研究[J]. 环境科学, 2015, 36(11): 4005-4012.
- [15] 高新昊,江丽华,刘兆辉,等. 山东省农村地区地下水硝酸盐污染现状调查与评价[J]. 中国农业气象, 2011, 32(1): 89-93.
- [16] 胡静锋. 重庆市农业面源污染测算与空间特征解析[J]. 中国农业资源与区划, 2017, 38(1): 135-144.
- [17] 林铭香,林勤保,马仕成,等. 定制猫眼彩盒的生命周期评价分析[J]. 包装工程, 2020, 41(21): 125-130.
- [18] 段智源,王学良,何萍. 基于生命周期评价的楚雄市水稻生产环境影响评价[J]. 南方农业, 2020, 14(14): 172-176.
- [19] 贾陈忠,乔扬源. 基于等标污染负荷法的山西省农业面源污染特征研究[J]. 中国农业资源与区划, 2021, 42(3): 141-149.
- [20] 陈玉成,杨志敏,陈庆华,等. 基于“压力-响应”态势的重庆市农业面源污染的源解析[J]. 中国农业科学, 2008(8): 2362-2369.
- [21] 卢少勇,张萍,潘成荣,等. 洞庭湖农业面源污染排放特征及控制对策研究[J]. 中国环境科学, 2017, 37(6): 2278-2286.
- [22] 谢经朝,赵秀兰,何丙辉,等. 汉丰湖流域农业面源污染氮磷排放特征分析[J]. 环境科学, 2019, 40(4): 1760-1769.
- [23] 蔡金洲,范先鹏,黄敏,等. 湖北省三峡库区农业面源污染解析[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(7): 1421-1430.
- [24] 丘丽清,吴根义,李想,等. 基于等标污染负荷强度的海南省农村面源污染特征研究[J]. 农业资源与环境学报, 2023, 40(1): 55-63.
- [25] 曹彦龙,李崇明,阚平. 重庆三峡库区面源污染源评价与聚类分析[J]. 农业环境科学学报, 2007, 151(3): 857-862.

## Spatiotemporal Characteristics of Agricultural Non-Point Source Pollution of Hebei Province Based on Inventory Analysis Method

WANG Xingyu<sup>1</sup>, MA Yan<sup>1,2</sup>

(1. School of Management, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430048, China; 2. Key Research Base of Humanities and Social Sciences of Universities in Hubei Province/Food Safety Research Center, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430048, China)

**Abstract:** In order to investigate the current situation, characteristics, pollution intensity and temporal and spatial distribution of agricultural non-point source pollution in Hebei Province. The paper analyzed the discharge of COD, TN and TP pollutants in 11 administrative regions of Hebei Province in 2020 by using inventory analysis method and equivalent pollution load method, and established four pollution accounts to calculate the standard pollution loads of non-point agricultural source pollution from four pollution sources of livestock and poultry breeding, agricultural planting, aquaculture and rural domestic sewage. The spatial distribution characteristics were drawn and cluster analysis was carried out. The results showed that the discharge of livestock and poultry breeding was 797 790 t, agricultural planting 6 811 t, aquaculture 49 141 160 t and rural domestic sewage 1 139 190 t in Hebei Province. In 2020, the discharge of three kinds of pollutants from agricultural non-point sources in Hebei Province was 42 018 150 t of COD, 7 979 980 t of total nitrogen and 1 086 810 t of total phosphorus, and the total discharge was 51 084 950 t. The equivalent pollution load of the three pollutants was TN>TP>COD from small to large, and according to the pollution account, it was divided into aquaculture>rural domestic pollution>livestock and poultry breeding>agricultural planting. According to the calculation, the equivalent pollution load of Tangshan City was the highest, and that of Chengde City was the lowest. Through systematic cluster analysis, the administrative regions were divided into three categories as heavy pollution, moderate pollution and light pollution. Conclusion agricultural non-point source pollution was very serious in Hebei Province in 2020, in which COD discharge was the largest, and Tangshan was the most serious. The pollutants mainly come from aquaculture account. Agricultural non-point source pollution was a serious problem in Hebei Province, and the main problem areas were concentrated in the central and eastern parts of Hebei Province.

**Keywords:** agricultural non-point source pollution; equal standard pollution load method; list analysis; clustering method; Hebei Province