

周晓琴, 杨 乐, 杨令飞. 新疆农业面源污染物排放量估算及分析[J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(7): 1300–1307.

ZHOU Xiao-qin, YANG Le, YANG Ling-fei. Estimation and analysis of emissions from agricultural non-point source pollution in Xinjiang[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2017, 36(7): 1300–1307.

新疆农业面源污染物排放量估算及分析

周晓琴, 杨 乐*, 杨令飞

(石河子大学农学院, 新疆 石河子 832003)

摘 要:为了掌握新疆农业面源污染特征,以种植业和规模化养殖业为研究对象,根据新疆地区 2005—2014 年的农业统计资料,结合第一次全国污染源普查数据,采用源强系数法,估算了该区域农业面源污染物排放量,并分析了其空间分布特征。结果表明,10 年间,新疆地区农业面源污染排放量整体呈逐年上升趋势,2014 年该区域农业面源排放总量达到 13.9 万 t,种植业源和养殖业源分别占 44.78%和 55.22%;化学需氧量(COD)和总氮(TN)是该区域农业面源污染的主要污染物,分别占污染物总量的 49.2%和 47%;牛和旱田分别是 COD 和 TN 的最大贡献源。新疆地区农业面源污染空间分布差异较大,主要集中在伊犁哈萨克自治州、新疆生产建设兵团、喀什地区、昌吉回族自治州和阿克苏地区。

关键词:农业面源污染;排放量;估算;新疆

中图分类号:X592 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2017)07-1300-08 doi:10.11654/jaes.2016-1457

Estimation and analysis of emissions from agricultural non-point source pollution in Xinjiang

ZHOU Xiao-qin, YANG Le*, YANG Ling-fei

(College of Agriculture, Shihezi University, Shihezi 832003, China)

Abstract: The objective of this study was to analyze the current situation and characteristics of agricultural non-point source (ANPS) pollution in Xinjiang. This case study considered pollutant emissions from cropland, as well as those from livestock and poultry production. Pollutant emissions from ANPS were estimated using the source intensity coefficient method, based on farming statistics between 2005 and 2014 and the First National Pollution Source Census. The results showed that the emission of ANPS pollution increased annually. The total discharge of ANPS was 1.39×10^5 t in 2014. Cropland accounted for 44.78% of the emissions, whereas livestock and poultry production accounted for 55.22%. Chemical oxygen demand (COD) and total nitrogen (TN) were the main pollutants, accounting for 49.2% and 47% of the total, respectively. Cattle and dryland crop production were the largest contributors to ANPS pollution, accounting for 55.34% of COD and 80.13% of TN. The ANPS pollution exhibited significant spatial distribution patterns in Xinjiang. The main areas contributing to ANPS pollution were the Ili Kazak Autonomous Prefecture, the Xinjiang Production and Construction Corps, the Kashi Prefecture, the Changji Hui Autonomous Prefecture, and the Aksu Prefecture.

Keywords: agricultural non-point source pollution; emission load; estimate; Xinjiang

收稿日期:2016-11-18

作者简介:周晓琴(1990—),女,甘肃武威人,硕士研究生,主要从事农业资源利用。E-mail:13239935125@163.com

*通信作者:杨 乐 E-mail:yl_shzu@163.com

基金项目:国家科技支撑计划(2012BAD14B10);国家自然科学基金青年科学基金(41401349);石河子大学高层次人才项目(RCSX201719)

Project supported: The National Key Technology Research and Development Program of the Ministry of Science and Technology of China(2012BAD14B10); The Young Scientists Fund of the National Natural Science Foundation of China(41401349); The Foundation for the High-caliber Talents of Shihezi University, China(RCSX201719)

随着点源污染控制力度的增强,面源污染对水体的有害影响凸显,已成为影响全球水环境质量的关键因子^[1],许多国家已经开始关注面源污染导致水质恶化的问题。目前美国约有 67%的湖泊水库和 53%的河流水质恶化是由面源污染引起;而在欧洲,55%受面源污染的地表水的污染物源于农业^[2-3]。我国是农牧业生产大国,在农业生产和畜禽养殖过程中,化肥的过量施用及畜禽粪便的直接排放,使得氮、磷等物质通过地表径流、淋洗和土壤侵蚀等方式进入水体,加剧了农业面源污染的风险^[4]。2010 年我国第一次污染源普查公报显示,农业面源已超过工业源,成为水体中化学需氧量(COD)、总氮(TN)和总磷(TP)的主要排放源,分别占总排放量的 43.7%、57.2%和 67.4%,是导致主要河流、湖泊和水库水质恶化的重要原因,对生态环境功能、人体健康和经济发展造成了严重的影响^[5-6]。

新疆自然资源独特,是我国重要的粮、棉、畜产品生产基地,以“高投入、高能耗”为主要特征的生产方式,使农牧业生产取得了长足的进步,但也引起了区域农业面源污染问题,严重制约绿洲农牧业的可持续发展和新农村建设^[7-8]。目前,我国对农业面源污染研究较为薄弱,主要集中在黄河、长江、太湖等流域以及北京、哈尔滨等一些经济发展较快的区域^[9-13];由于农业面源污染在时空上具有高度变异性,其随机、分散的特点导致监测模拟困难,难以定量与治理^[14]。因此,针对干旱区开展农业面源污染源解析及空间分布特征研究,有利于从源头上消减和控制农业面源污染。而采用源强系数法形式简单、参数较少、操作简便易行,又具有一定的精度,在缺少实地监测数据的条件下,能够在一定程度上对区域面源污染源污染现状和特征进行定量^[15-16]。基于此,本研究以新疆绿洲区种植业和规模化养殖业为研究对象,结合第一次全国污染源普查资料,采用源强系数法估算该地区农业面源污染中 COD、氨氮、TN 和 TP 的排放量,并对该区域农业面源污染排放特征进行分析,为进一步掌握新疆农业面源污染特征和科学防控提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 研究范围

依据行政区划,区域分布以乌鲁木齐市、克拉玛依市、吐鲁番地区、哈密地区、昌吉回族自治州、伊犁哈萨克自治州、塔城地区、阿勒泰地区、博尔塔拉蒙古自治州、巴音郭楞蒙古自治州、阿克苏地区、克孜勒苏

柯尔克孜自治州、喀什地区、和田地区 and 新疆生产建设兵团为单位,分析该区域的农业面源污染特征。

1.2 数据来源

以新疆地区种植业和规模化养殖业为研究对象,将种植业按照土地利用类型划分为旱田、水田和园地,依据《中国统计年鉴》和《新疆统计年鉴》,获取 2005—2014 年新疆地区旱田、水田和园地的面积以及牲畜出栏量和存栏量数据。其中,种植业中 TN、氨氮和 TP 的流失系数采用“第一次全国污染源普查:农业污染源肥料流失系数手册”中西北干旱半干旱区的参数,见表 1。

表 1 种植业污染物流失系数(kg·hm⁻²)

Table 1 Loss coefficient of planting(kg·hm⁻²)

土地类型	TN	氨氮	TP
旱田	9.62	0.3	0.12
水田	0.3	0.15	—
园地	7.52	0.44	0.36

考虑到畜禽养殖周期差异,根据环保部确定的牛、羊、猪和家禽养殖周期^[17],结合“第一次全国污染源普查:畜禽养殖业源产排污系数手册”中西北区的参数,计算获得研究区畜禽粪便年排泄系数(表 2);依据第一次全国污染源普查资料,新疆地区牛、羊、猪和家禽的规模化养殖比例分别为 26%、20.8%、50.5%和 53.5%,而牛、羊、猪和家禽粪便处理利用率分别为 41%、38%、47%和 46%;考虑到降雨和地形差异,参考已有研究资料,新疆地区的畜禽粪便流失系数为 15%^[18]。

表 2 畜禽粪便排泄系数[kg·头(只)⁻¹·a⁻¹]

Table 2 Livestock and poultry excreta parameters(kg·pc⁻¹·a⁻¹)

畜禽种类	COD	TN	氨氮	TP
牛	955	48.43	1.96	4.58
羊	4.40	2.28	0.57	0.45
猪	64.17	6.60	1.40	0.86
家禽	4.90	0.41	0.29	0.13

1.3 农业面源污染物排放量的估算

种植业污染物排放量和规模化畜禽养殖源污染物排放量的计算公式如下:

$$P_i = A_j \times L_{ij} \quad (1)$$

$$L_{pi} = B_i \times R_i \times E_i \times (1 - T_i) \times L \quad (2)$$

式中: P_i 为种植业的污染物 i 排放量,kg; A_j 为第 j 种土地利用类型的面积,hm²; L_{ij} 为污染物 i 在第 j 种土

地利用类型中的流失系数, $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$; L_{pi} 为养殖业第 i 种污染物排放量, kg ; B_i 为第 i 种畜禽的养殖量, 头或只; R_i 为第 i 种畜禽的规模化养殖比例; E_i 为第 i 种畜禽粪便排泄系数, $\text{kg} \cdot \text{头}(\text{只})^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$; T_i 为第 i 种畜禽粪便处理利用率; L 为畜禽污染物流失系数。

2 结果与分析

2.1 新疆种植业污染物排放特征

根据 2005—2014 年新疆地区农作物播种面积, 结合表 1 中种植业污染物流失系数, 利用公式(1)估算得到该区域种植业污染物排放量, 如表 3 所示。10 年来, 新疆绿洲区种植业污染物排放总量呈逐年增加的趋势。与 2005 年相比, 2014 年污染物排放总量增加了 53.19%, 其中旱田、水田和园地污染物排放量分别增加了 48.63%、8.36% 和 95.82%。旱田污染物排放总量最高, 与新疆地区气候水文有关, 即主要以旱作农业为主; 园地污染物排放量增加幅度最大, 则与 2007 年国家开始实施“巩固退耕还林成果专项规

划”, 新疆地区大力推广特色林果基地建设, 林果种植面积显著增加有关。

从污染物排放类型分析, 2014 年种植业中 TN、氨氮和 TP 的排放量比 2005 年分别增加了 52.96%、55.75% 和 61.88%, TP 的排放量增幅较大。2014 年, TN、氨氮和 TP 排放量分别占种植业污染物排放总量的 95.13%、3.29% 和 1.58%, TN 是种植业中首要污染物。从土地利用类型分析, 以 2014 年为例, 旱田、水田和园地的污染物排放量分别占种植业污染物排放总量的 87.51%、0.05% 和 12.44%, 由此可知, 旱田是新疆地区种植业污染物的主要贡献源, TN 则是种植业中需优先控制的污染物。

2.2 新疆规模化养殖业污染物排放特征

新疆是我国畜禽养殖主要省区, 随着“定居兴牧”、“退牧还草”工程的推进, 规模化养殖比例不断提高, 畜禽养殖污染集中化趋势更加显著, 且规模化养殖是农业污染源减排重点领域, 因此有必要开展新疆地区规模化畜禽养殖污染物排放特征分析。从图 1 可

表 3 2005—2014 年新疆种植业污染物排放量(t)

Table 3 Pollutant emissions from planting in Xinjiang between 2005 and 2014(t)

年份	旱田			水田		园地			总排放量
	TN	氨氮	TP	TN	氨氮	TN	氨氮	TP	
2005	35 209.07	1 098.57	439.43	20.78	10.39	3 584.50	207.49	171.71	40 741.94
2006	39 504.09	1 232.58	493.03	20.40	10.20	3 778.47	218.71	181.00	45 438.48
2007	39 726.10	1 239.50	495.80	21.29	10.64	4 565.89	264.29	218.73	46 542.24
2008	42 458.97	1 324.77	529.91	21.23	10.61	5 380.89	311.47	257.77	50 295.62
2009	44 145.45	1 377.39	550.96	21.75	10.88	6 307.26	365.09	302.14	53 080.92
2010	45 110.70	1 407.51	563.00	20.08	10.04	7 452.78	431.40	357.02	55 352.53
2011	47 237.34	1 473.86	589.55	21.18	10.59	7 442.18	430.78	356.51	57 561.99
2012	48 600.65	1 516.40	606.56	20.77	10.38	7 628.85	441.59	365.45	59 190.65
2013	52 036.00	1 623.59	649.44	20.19	10.09	7 018.86	406.28	336.23	62 100.68
2014	52 329.93	1 632.76	653.10	22.52	11.26	7 019.01	406.29	336.24	62 411.11

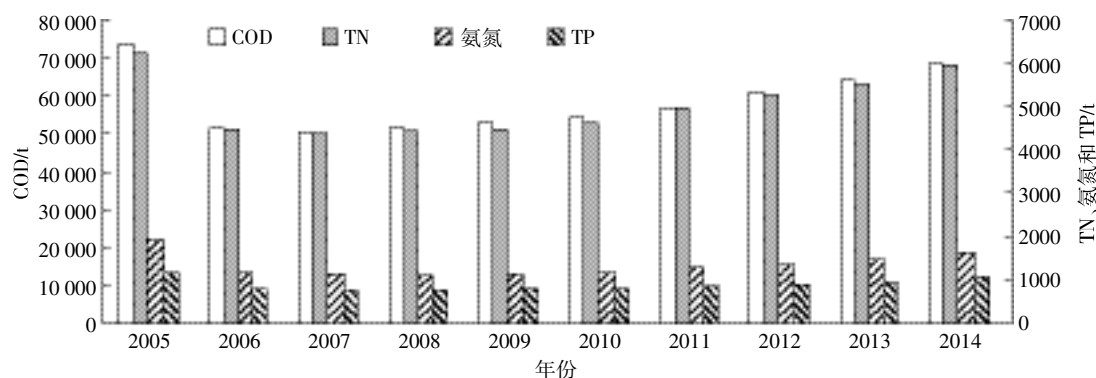


图 1 2005—2014 年新疆规模化养殖畜禽污染物排放量

Figure 1 Pollutant emissions from large-scale livestock and poultry production in Xinjiang between 2005 and 2014

以看出,10 年来,新疆规模化养殖业污染物排放总量呈现先下降后逐渐上升的趋势,2005 年为 8.32 万 t,而在 2007 年下降到 5.64 万 t,此后呈现缓慢上升的趋势,2014 年增加到 7.70 万 t,与全国畜禽养殖业发展趋势一致。在 1994 年到 2005 年期间,随着肉、蛋、奶的消费需求迅速提升,畜禽养殖量急剧增加,2005 年畜禽养殖量达到最高,随后经历了家禽、猪和牛等人畜共患病事件,导致畜禽养殖业损失巨大,而社会需求呈现下降,再加上养殖经营成本上升,2006 年新疆地区规模化养殖量急剧下降,导致污染物排放量下降;2007 年后,畜禽疾病得到有效防治,消费需求增加,畜禽养殖数量持续上升,养殖结构向规模化方向发展。

从畜禽污染源类别分析,与 2005 年相比,2014 年新疆地区猪和羊的污染物排放总量分别增加了 23.83%和 7.97%,而牛和家禽的污染物排放总量分别降低了 4.01%和 29.71%;牛、羊、猪和家禽的污染物排放总量分别占畜禽养殖污染物总排放量的 51.98%、6%、18.11%和 23%,牛在规模化畜禽养殖业

中排放污染物总量最高,其次为家禽和猪,而羊的污染贡献最小。从污染物类型分析,COD、TN、氨氮和 TP 的排放总量分别为 6.84 万、0.594 万、0.163 万 t 和 0.105 万 t,其中,COD 占畜禽污染物排放总量的 88.81%,而 TP 的总排放量最小。

结合不同畜禽类型,分析 2014 年污染物排放贡献率可知,牛、羊、猪和家禽的 COD 贡献率分别为 55.34%、4.14%、17.92%和 22.60%,牛是 COD 排放的首要贡献源;而 TN 贡献方面,牛也是主要排放源,其他畜禽排放量无较大变化;家禽是氨氮的首要排放源,占总排放量的 56.22%;对 TP 排放分析可知,家禽和羊的贡献率分别为 39.21%和 27.71%(图 2)。由此可知,牛是新疆地区规模化畜禽养殖主要污染源,而 COD 是规模化畜禽养殖的首要污染物。

2.3 新疆种植业及规模化养殖业污染排放区域空间格局

研究表明,化肥的不合理施用是农业面源污染中 TN 和 TP 的主要贡献源^[9]。近年来,农户为了提高经济效益而过量施用化肥,新疆棉花种植农户的化肥施

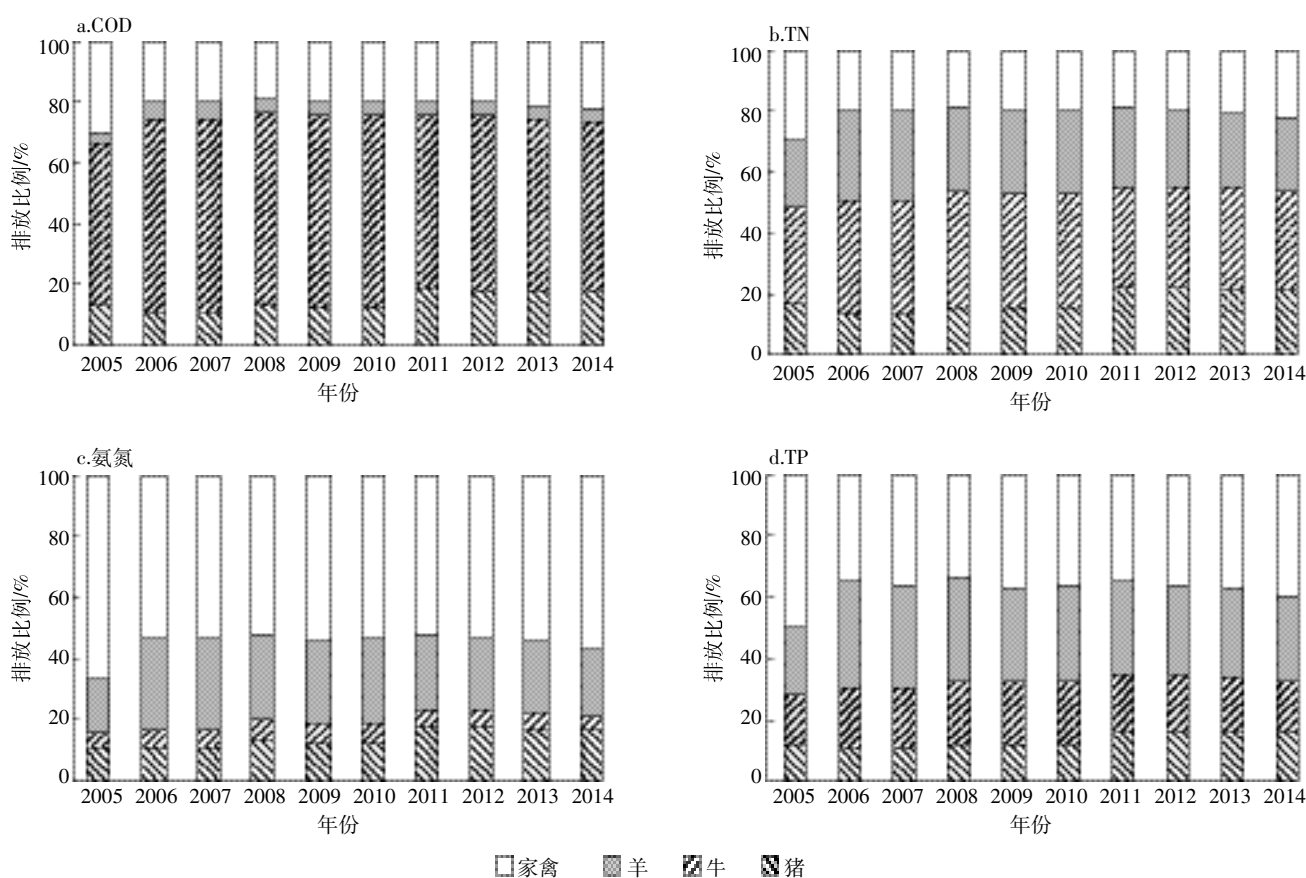


图 2 2005—2014 年新疆规模化养殖畜禽污染物主要污染源排放比例

Figure 2 The main sources of emitted pollutants from livestock and poultry production in Xinjiang from 2005 to 2014

用量平均达到了 $610.20 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 远远超过了发达国家公认的 $225 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的警戒线^[20], 进一步加剧了新疆地区农业面源污染风险。图3所示为2014年新疆各地州市种植业污染物排放情况, 新疆生产建设兵团、喀什地区、伊犁哈萨克自治州、塔城地区和阿克苏地区是该区域的主要排污贡献源, 其污染物排放总量分别为1.06万、1.02万、0.99万、0.83万t和0.73万t, 占全区种植业污染物排放总量的74.13%, 其中TN排放量分别占17%、16.31%、15.87%、13.27%和11.71%, 氨氮排放量分别占17.33%、16.74%、15.18%、12.31%和12.21%, TP排放量分别占17.83%、17.64%、13.79%、10.68%和13.01%。而克拉玛依市、乌鲁木齐市、哈密地区、克孜勒苏柯尔克孜自治州和吐鲁番地区5个地州市的污染物排放总量仅占全区种植业污染物排放总量的3.83%。

“十一五”期间是新疆规模化畜禽养殖快速发展时期, 从空间分布看, 养殖业与种植业污染分布较一致。规模化养殖畜禽污染物排放主要集中在伊犁哈萨克自治州、昌吉回族自治州、新疆生产建设兵团和喀什地区, 其污染物排放总量分别为1.50万、1.21万、0.81万t和0.78万t (图4), 占该区域养殖业总排放量的22.24%、18.01%、12.02%和11.52%, 这4个地州畜禽养殖COD、TN、氨氮和TP的排放量分别占全区养殖业污染物排放量的61.73%、57.62%、60.11%和58.40%。而克拉玛依市、博尔塔拉蒙古自治州、吐鲁番地区、克孜勒苏柯尔克孜自治州和哈密地区的排放总量仅占全区养殖业污染物排放量的5.36%。

2.4 2014年新疆农业面源污染物排放分析

整体来看, 2014年新疆地区农业面源污染物排放总量为13.9万t, 其中种植业污染物排放总量为

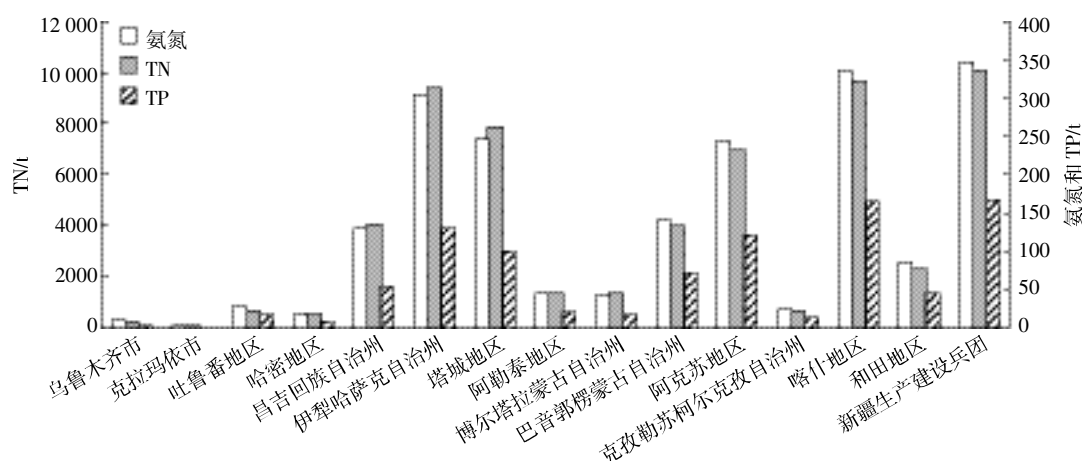


图3 2014年新疆各地州市种植业污染物排放量

Figure 3 Pollutant emissions from cropland in different municipalities of Xinjiang in 2014

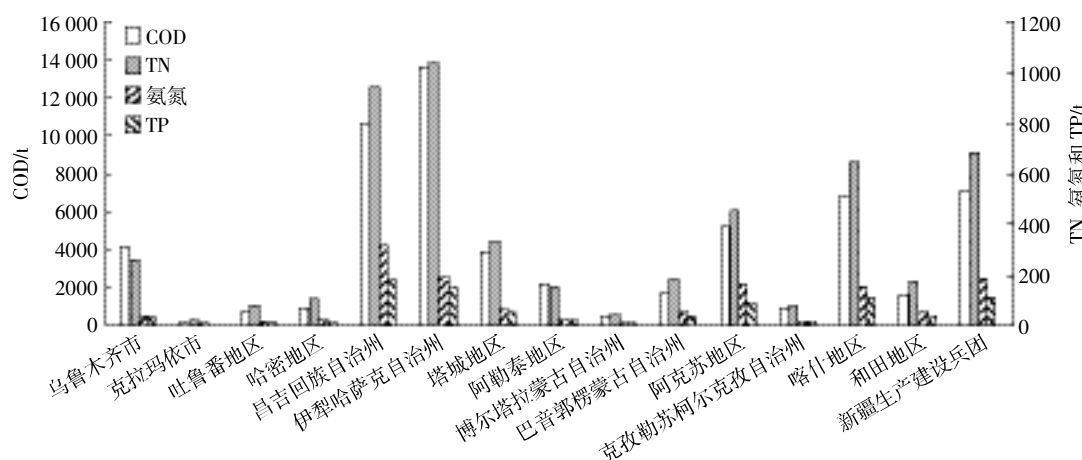


图4 2014年新疆各地州市规模化养殖畜禽污染物排放量

Figure 4 Pollutant emissions from large-scale livestock and poultry production in different municipalities of Xinjiang in 2014

6.24 万 t,规模化养殖畜禽污染物排放总量是 7.70 万 t, 畜禽污染源对该区域农业面源贡献率达 55.22%。从污染物类型分析,COD 和 TN 的排放量分别为 6.84 万 t 和 6.53 万 t,分别占全区农业面源污染物排放总量的 49.2%和 47%,是新疆地区农业面源的主要污染物,其中牛排放的 COD 占 55.34%,是该区域农业源 COD 的主要贡献源,而旱田排放的 TN 占农业源总氮排放量的 80.13%,是该区域农业源 TN 排放的主要污染源。由《新疆统计年鉴》资料可知,本研究中估算的 COD 排放量可达 2014 年新疆全区 COD 排放总量的 22.5%,TN 的排放量可达全区总排放量的 37.8%,农业面源已成为新疆地区不可小觑的污染源之一。

由图 5 可知,新疆地区农业面源污染空间分布差异较大,农业面源污染物排放总量贡献率最大的是伊犁哈萨克自治州,占 18.75%,最小的是克拉玛依市,占 0.24%;伊犁哈萨克自治州、新疆生产建设兵团、喀什地区、昌吉回族自治区和阿克苏地区 5 个地州的农业面源污染物排放量占全区的 69.96%,是新疆地区农业面源污染物的主要贡献地区。从区域分布格局分析,需重点关注上述地区的农业面源污染防控。

3 讨论

近年来,由于新疆地区农牧业的迅速发展,农业面源污染物逐年增加,从 2005 年到 2014 年农业面源污染物的排放增加了 12.43%,主要为种植业污染物排放量增加,尤其是旱田中总氮的排放量已达到全区农业源总氮排放的 80.13%,已成为该区域主要的农业面源污染物之一。因此,对于种植业,需要着重加强

对旱田总氮的环境监控和治理。目前,畜禽养殖对新疆地区农业面源污染贡献率最大,其排放的 COD 已成为该区农业面源污染的主要污染物,而牛的粪便是规模化养殖业 COD 排放的主要贡献源。因此,从污染防治的角度分析,可重点加强对新疆地区牛粪尿的资源化利用与管理。

新疆属于干旱半干旱区,农牧业发展主要集中在绿洲地区,具有较高的一致性和集中性,农业面源污染主要集中在伊犁哈萨克自治州、新疆生产建设兵团、喀什地区、昌吉回族自治区和阿克苏地区,而克拉玛依市、博尔塔拉蒙古自治州、吐鲁番地区、克孜勒苏柯尔克孜自治州和哈密地区农业面源污染程度较低。由于农牧业污染源具有地域一致性,在农业面源污染防控方面需要重点关注这 5 个地区;同时,采用农牧结合的方式,循环利用畜禽粪尿,减少种植业的化肥投入,既可以减少畜禽污染排放量,又能减少种植业化肥流失污染。

农业面源污染过程复杂,具有高度的时空变异性,再加上部分统计数据和排放因子的缺乏,导致其污染估算的不确定性。本研究采用源强系数法,对新疆农业面源污染进行估算,新疆地区种植业面积和牲畜出栏量、存栏量的数据均来自各级统计年鉴,流失系数、排污系数和规模化养殖比例均来自第一次全国污染源普查资料的区域系数,来源较为可靠,其不确定性相对较小。但由于相关数据的缺少,在农业面源污染估算过程中未考虑降雨等气候变化对污染物排放的影响,也没有涉及污染物的迁移转化过程的影响,导致估算结果存在一定的不确定性。因此,可在今

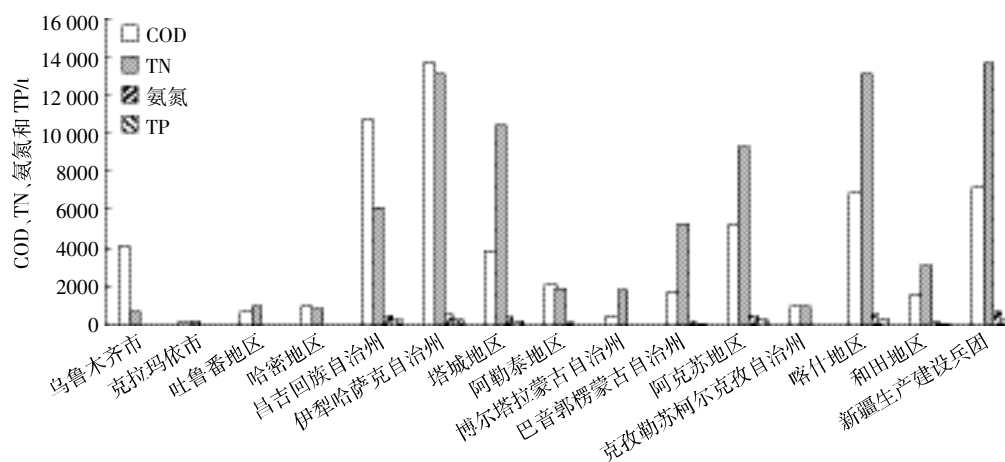


图 5 2014 年新疆各地州市农业面源污染物排放量

Figure 5 Emission of agricultural non-point source pollution from different municipalities of Xinjiang in 2014

后的研究中结合实地监测数据校正相应参数,将有助于提高农业面源污染估算的可靠性。

4 结论

(1)2005—2014年,新疆地区农业面源污染排放量整体呈逐年上升趋势,其中,种植业污染物排放量增加了53.19%,而规模化养殖畜禽污染物排放量呈现先下降后上升的趋势。

(2)2014年新疆农业面源污染物排放总量为13.9万t,其中种植业污染物排放总量为6.24万t,而规模化养殖畜禽污染物排放总量为7.70万t,畜禽污染源对该区域农业面源污染贡献率达55.22%。

(3)COD和总氮是新疆地区农业面源污染的主要污染物,其排放量分别为6.84万t和6.53万t,共占农业面源污染物总量的95.90%。牛是农业源COD的主要贡献源,排放的COD占全区农业源的55.34%,而旱田排放TN占农业源总氮排放的80.13%,是该区域农业源总氮排放的主要污染源。

(4)新疆地区农业面源污染空间分布差异较大,农牧业污染源具有地域一致性,伊犁哈萨克自治州、新疆生产建设兵团、喀什地区、昌吉回族自治州和阿克苏地区5个地州是该区域农业面源污染物排放的主要贡献地区。

参考文献:

- [1] Keller A A, Chen X L, Fox J, et al. Attenuation coefficients for water quality trading[J]. *Environmental Science & Technology*, 2014, 48(12): 6788–6794.
- [2] Zhang T, Ni J P, Xie D T. Assessment of the relationship between rural non-point source pollution and economic development in the Three Gorges Reservoir Area[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2016, 23(8): 8125–8132.
- [3] Volk M, Liersch S, Schmidt G. Towards the implementation of the European water framework directive? Lessons learned from water quality simulations in an agricultural watershed[J]. *Land Use Policy*, 2009, 26(3): 580–588.
- [4] 魏 莎, 马 林, 江荣风, 等. 基于 NUFER 模型的生猪养殖氮磷利用效率及排放时空变化[J]. 农业工程学报, 2016, 32(13): 190–196. WEI Sha, MA Lin, JIANG Rong-feng, et al. Use efficiency and emission spatial-temporal variability of nitrogen and phosphorus for pig production in Beijing[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016, 32(13): 190–196.
- [5] 高懋芳, 邱建军, 刘三超, 等. 基于文献计量的农业面源污染研究发展态势分析[J]. 中国农业科学, 2014, 47(6): 1140–1150. GAO Mao-fang, QIU Jian-jun, LIU San-chao, et al. Status and trends of agricultural diffuse pollution research based on bibliometrics[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2014, 47(6): 1140–1150.
- [6] Zhang R, Wu F C, Liu C Q, et al. Characteristics of organic phosphorous fractions in different trophic sediments of lakes from the middle and lower reaches of Yangtze River region and Southwestern Plateau, China[J]. *Environment Pollution*, 2008, 152(2): 366–372.
- [7] 杨 乐, 邓 辉, 李国学, 等. 新疆绿洲区秸秆燃烧污染物释放量及固碳减排潜力[J]. 农业环境科学学报, 2015, 34(5): 988–993. YANG Le, DENG Hui, LI Guo-xue, et al. Pollutant releases from crop residue burning and carbon emission mitigation potential by biochar in Xinjiang oasis[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2015, 34(5): 988–993.
- [8] 徐丽萍, 杨其军, 王 玲, 等. 新疆地区农业面源污染空间分异研究[J]. 水土保持通报, 2011, 31(4): 150–153. XU Li-ping, YANG Qi-jun, WANG Ling, et al. Spatial variation of agricultural non-point pollution in Xinjiang Area[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2011, 31(4): 150–153.
- [9] 张爱平, 杨世琦, 易 军, 等. 宁夏引黄灌区水体污染现状及污染源解析[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(6): 1295–1301. ZHANG Ai-ping, YANG Shi-qi, YI Jun, et al. Analysis on current situation of water pollution and pollutant sources in Ningxia Yellow River irrigation region[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2010, 18(6): 1295–1301.
- [10] 马广文, 王业耀, 香 宝, 等. 长江上游流域土地利用对面源污染影响及其差异[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(4): 791–797. MA Guang-wen, WANG Ye-yao, XIANG Bao, et al. Diversity and effect of diffuse source pollution load caused by land use change in the upper reach of Yangtze River Basin, China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2012, 31(4): 791–797.
- [11] Zhu Q D, Sun J H, Hua G F, et al. Runoff characteristics and non-point source pollution analysis in the Taihu Lake Basin: A case study of the town of Xueyan, China[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2015, 22(19): 15029–15036.
- [12] 刘亚琼, 杨玉林, 李法虎. 基于输出系数模型的北京地区农业面源污染负荷估算[J]. 农业工程学报, 2011, 27(7): 7–12. LIU Ya-qiong, YANG Yu-lin, LI Fa-hu. Estimation of pollution loads from agricultural nonpoint sources in Beijing region based on export coefficient modeling approach[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2011, 27(7): 7–12.
- [13] 孙秀秀, 包丽颖, 郁亚娟, 等. 哈尔滨地区农业面源污染负荷估算与分析[J]. 安全与环境学报, 2015, 15(5): 300–305. SUN Xiu-xiu, BAO Li-ying, YU Ya-juan, et al. Estimation and analysis of the pollution loads from the agricultural non-point source in Harbin region[J]. *Journal of Safety and Environment*, 2015, 15(5): 300–305.
- [14] 刘 坤, 任天志, 吴文良, 等. 英国农业面源污染防控对我国的启示[J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(5): 817–823. LIU Kun, REN Tian-zhi, WU Wen-liang, et al. Prevention and control of agricultural non-point source pollutions in UK and suggestions to China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2016, 35(5): 817–823.
- [15] 李 娜, 韩维峰, 沈梦楠, 等. 基于输出系数模型的水库汇水区农业面源污染负荷估算[J]. 农业工程学报, 2016, 32(8): 224–230.

- LI Na, HAN Wei-zheng, SHEN Meng-nan, et al. Load evaluation of non-point source pollutants from reservoir based on export coefficient modeling[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016, 32(8):224-230.
- [16] 胡芸芸,王永东,李廷轩,等. 沱江流域农业面源污染排放特征解析[J]. 中国农业科学, 2015, 48(18):3654-3665.
- HU Yun-yun, WANG Yong-dong, LI Ting-xuan, et al. Characteristics analysis of agricultural non-point source pollution on Tuojiang River Basin[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(18):3654-3665.
- [17] 国家环境保护总局自然生态保护司. 全国规模化畜禽养殖业污染情况调查及防治对策[M]. 北京:中国环境科学出版社, 2002: 14-103.
- Department of Natural and Ecology Conservation, State Environmental Protection Administration. Investigation on the pollution situation of the scale animal and poultry and its prevention[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2002: 14-103.
- [18] 马国霞, 於方, 曹东, 等. 中国农业面源污染物排放量计算及中长期预测[J]. 环境科学学报, 2012, 32(2):489-497.
- MA Guo-xia, YU Fang, CAO Dong, et al. Calculation of agricultural non-point source pollution emission in China and its long-term forecast[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2012, 32(2):489-497.
- [19] 闵继胜, 孔祥智. 我国农业面源污染问题的研究进展[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2016(2):62-66.
- MIN Ji-sheng, KONG Xiang-zhi. Research development of agricultural non-point source pollution in China[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University(Social Sciences Edition)*, 2016(2):62-66.
- [20] 玛衣拉·吐尔逊, 甫祺娜依·尤力瓦斯, 阿西亚·托乎提. 农户过量施用化肥行为的影响因素分析:以新疆棉花种植户为例[J]. 棉花学报, 2016, 28(6):619-627.
- Mayila Tuerxun, Fuqinayi Youliwasi, Asiya Tuohuti. Impact factors of excessive household fertilization: A case study of cotton growing in Xinjiang[J]. *Cotton Science*, 2016, 28(6):619-627.