

郝守宁, 付意成. 林芝市农业面源污染负荷时空变化与分布特征[J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(7): 1308–1315.

HAO Shou-ning, FU Yi-cheng. Spatio-temporal changes and distribution characteristics of pollutant loads from agricultural non-point sources in Nyingchi, Tibet[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2017, 36(7): 1308–1315.

林芝市农业面源污染负荷时空变化与分布特征

郝守宁¹, 付意成^{2*}

(1. 西藏农牧学院, 西藏 林芝 860000; 2. 中国水利水电科学研究院, 北京 100038)

摘要:为分析西藏林芝地区的农业面源污染形势与特征, 基于林芝市 2000—2015 年的农业统计资料, 应用输出系数模型估算了该地区农业面源污染总氮(TN)、总磷(TP)年输出负荷。并对农村生活污水、农田化肥、畜禽养殖三类污染源分别进行了分析。结果表明: TN、TP 均呈现逐年平稳上升的趋势; 农业面源污染高负荷区主要集中在工布江达县、波密县和林芝县, 而农业面源污染负荷强度最高的行政区为米林县; 农业面源污染负荷的三大营养源贡献中畜禽养殖输出负荷的贡献率随时间的推移有明显增加的趋势, 90%的农业面源污染负荷来源于畜禽养殖和农田化肥; 林芝市农牧业发达地区农业面源污染形势不容乐观, 须大力开展防控工作, 以改善该地区农业面源污染日趋严重的状况。

关键词: 农业面源; 总氮; 总磷; 林芝地区; 分布特征

中图分类号: X592 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-2043(2017)07-1308-08 doi:10.11654/jaes.2017-0499

Spatio-temporal changes and distribution characteristics of pollutant loads from agricultural non-point sources in Nyingchi, Tibet

HAO Shou-ning¹, FU Yi-cheng^{2*}

(1. XiZang Agriculture and Animal Husbandry College, Nyingchi 860000, China; 2. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

Abstract: This paper is aimed at analyzing the trends and characteristics of agricultural non-point source pollution in Nyingchi, Tibet. The annual emission loads of total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP) from the agricultural non-point source pollution were estimated by applying the export coefficient model to the statistical data of agriculture in Nyingchi from 2000—2015. The agricultural non-point source pollution can be caused by rural domestic sewage, application of chemical fertilizers, and livestock and poultry breeding. TN and TP showed a steady upward trend year by year. The loads of agricultural non-point pollution were higher in the Gongbujiangda, Bomi, and Nyingchi counties, whereas that in the Milin county was the highest. The pollution load of TN and TP owing to livestock and poultry breeding showed a significant increasing trend with time among the three nutrient sources. Overall, 90% of the agricultural non-point source pollution load resulted from livestock and poultry breeding and the application of chemical fertilizers. Importantly, the situation of the agricultural non-point source pollution in Nyingchi is not optimistic, especially in the developed areas of agriculture and animal husbandry. It is necessary to carry out prevention and control measures for improving the situation of agricultural non-point source pollution in this district.

Keywords: agricultural non-point source; TN; TP; Nyingchi; distribution characteristics

收稿日期: 2017-04-06

作者简介: 郝守宁(1986—), 男, 河南滑县人, 讲师, 从事流域水资源管理与保护研究。E-mail: 645427848@qq.com

基金项目: 西藏农牧学院高层次人才科研启动费项目(RC201503); 国家自然科学基金项目(51409269); 西藏自治区科技厅重点科研项目(2015XZ01G34); 西藏自治区科技厅地区基金项目(2016ZR-15-3)

Project supported: The Special Foundation for Young Scientists of XiZang Agriculture and Animal Husbandry College(RC201503); The National Natural Science Foundation of China(51409269); The Key Program Scientific of the Science and Technology of Tibet, China(2015XZ01G34); The Scientific Research Fundation of the Science and Technology of Tibet, China(2016ZR-15-3)

农业面源污染是由沉积物、废料、农药、致病菌等不确定污染源引起的对水体、河流、湖泊、大气等生态系统的污染^[1]。农业面源污染的发生没有固定的排污口,其污染源主要借助降雨或排水过程将地表存留污染物带走导致水体富营养化^[2],危及饮用水安全^[3],使土壤板结^[4],破坏生物多样性和生态系统平衡^[5]等。与点源污染相比,我国农业面源污染具有排放分散、隐蔽、随机、复杂、不易检测等特点,加之单位面积上的污染负荷较小,从而导致人们往往忽视农业面源污染的宏观效应,已有的研究成果显示,农业面源污染是导致国内外区域水环境污染的重要原因之一^[6]。近几年随着西藏经济快速发展,城镇化步伐加快,人口及牲畜养殖量增加,农业生产面临着严峻的资源紧张和生态环境问题,农业面源污染对西藏生态安全屏障建设的影响也日益突出。因此,研究农业面源污染的来源、输出负荷,并据此制定控制对策与防治措施具有重大意义。

国内外很多科研工作者对流域农业面源污染进行了一系列的研究和探讨,面源污染负荷的估算方法主要包括监测法^[7]、输出系数法^[8-9]、排污系数法^[10]以及模型法^[11]等,估算模型的选定取决于研究区域所搜集资料的完整程度。很多国外开发的面源污染负荷计算模型的参数校准和验证较为复杂,国内多数流域和地区缺乏长时间序列监测资料,从而导致很多模型在国内应用受到局限^[12]。输出系数法所需参数较少、应用性强,特别适合在缺乏资料的条件下采用^[13],被国内学者应用于很多研究区域,在三峡库区大宁河流域^[14]、大辽河流域^[15]、长江流域^[16-17]、鄱阳湖流域^[18]、呼兰河流域^[19]等地区都得到了较好的应用效果。本研究以林芝地区为研究区域,采用输出系数模型,对林芝地区2000—2015年的农村生活污水、农田化肥、畜禽养殖三类污染源年总氮(TN)、总磷(TP)负荷进行估算,并探讨研究区域内农业面源污染负荷的时空分布特征与变化趋势,为林芝地区农业面源污染的防治规划和措施的制定提供科学依据。

1 研究区概况

林芝市处于西藏东南部,雅鲁藏布江中下游流域,该地区气候宜人,降雨量丰富,气象资料显示年均降雨量接近800 mm,素有“西藏江南”之美称,市中心所在地八一街道距离自治区首府拉萨市400多公里。东与昌都地区和云南省交界,西与拉萨市和山南地区相连,北与那曲地区毗邻,南与缅甸、印度两国接

壤,东西长646.7 km,南北宽353.2 km,边境线长约1 006.5 km,幅员面积11.7万km²。平均海拔3000 m,而最低处却只有152 m,是世界陆地垂直地貌落差最大的地带,平均海拔低于西藏其他地区。地区辖林芝、工布江达、朗县、米林、波密、察隅和墨脱7个县,居民除藏族以外,还有门巴族、珞巴族、怒族、独龙族、傈僳族、纳西族、白族以及未确认民族成份的僜人。畜牧业与农业是林芝市农牧民的主要经济来源,截至2015年末,林芝市的总人口数为21.24万,其中农业人口13.89万,占总人口的65%;耕地面积1.8万hm²,菜地面积1 465.41 hm²,草场面积1 032.76 hm²;养殖大牲畜41.7万头、猪24.3万头、羊6.6万只、家禽26.2万只。受地形地貌条件的影响,区内居民傍河而居,依河而耕地,耕地灌溉施肥以氮肥和磷肥为主,区内牲畜以行政村为单位实行规模化养殖。林芝市国土资源局数据显示:区内未利用土地面积与常年积雪的高山林地面积之和占全区土地总面积的75.23%,耕地面积占全区土地面积的0.17%左右,而居民用地仅为4453 hm²,研究区内人口及养殖密度虽低,但伴随西部开发的加速、旅游业的发展,加之区内人口、牲畜的不断增加,林芝已成为以畜牧业为主导产业的生态脆弱区,农业面源污染是林芝市生态环境的一个极大挑战。

2 材料及方法

2.1 输出系数模型

随着面源污染对人类的影响越来越大,人们对面源污染的研究也在不断深入。输出系数模型在早期的应用是假定所有土地利用类型的输出系数都相等^[20],这种建立在假设的基础上计算出的结果往往与实际情况相差较大,经过长期的探索研究,1996年Johnes等^[20]在早期输出系数模型的基础上进行了改进,对农业人口生活污水的排放及牲畜的输出系数的确定方法进行了改进,同时考虑植物的固氮、氮的空气沉降等因素,提高了模型在流域面源污染负荷研究中的灵敏性。在国内,蔡明等^[21]对该输出系数模型做了进一步的改进,应用中充分考虑水文因素的影响,使其对区域不同年份的TN、TP负荷估算结果更加准确,本次研究采用的改进输出系数模型考虑了水文因素的影响,输出系数模型如下:

$$L_i = \alpha \times \sum_{i=1}^n E_{ij} A_i + P$$

式中: L_j 为营养物质 j 的总流失量; α 为降雨影响因子,即研究区域内降雨量影响系数; E_{ij} 为污染物 j 在

第 i 种土地利用类型中的输出系数或第 i 种畜禽的排放系数或人口的输出系数; A_i 为第 i 类土地利用类型的面积或第 i 种牲畜的数量或人口数量; P 为降雨输入的营养物质总量, 本文主要对不同农业面源污染源的负荷进行比较, 未考虑此项的影响。

2.2 输出系数选取

输出系数选用是输出系数模型的核心, 也是最重要、最难以确定的参数, 输出系数选取是否合理与准确直接影响研究区域面源污染负荷的估算精确度^[2]。林芝地区位于雅鲁藏布江中下游流域, 受藏族生活风俗的影响, 区内不存在水产养殖, 根据模型的选取及流域特点将流域农业面源污染源分为农村生活污水、农田种植流失、畜禽养殖流失三大类。各污染源估算过程中不同的土地利用状况、农村人畜数量、化肥使用量以及作物种植方式, 会导致选用不同的输出系数, 对牲畜的输出系数选用依据其种类、数量和分布情况进行确定, 人口输出系数则主要依据生活污水的排放和处理状况进行选定。农村废水一般多采用化粪池进行收集和处理, 作为农家肥使用, 故此估算过程中的参数均采用化粪池处理后的排放系数。根据《第一次全国污染源普查城镇生活源产排污系数手册》中的分区, 以及城镇生活污染源污染物排放系数, 结合林芝市农村生活特点进行相应的系数调整。农业种植习惯、降雨、地形等因素导致不同区域的农田化肥流失存在较大的差异, 本研究中通过查询文献数据库、研究报告等资料, 结合研究区域的相关农田径流监测数据, 参考《第一次全国污染源普查农业污染源肥料流失系数手册》的研究成果, 建立农田化肥流失负荷估算方法, 估算过程中, 综合考虑流域内主要耕地类型、种植类型、耕作方式、土壤类型、地形地貌对参数选择的影响。区内畜禽养殖是主导产业, 且养殖方式是以行政村为单位的规模养殖, 依据畜禽污染物排泄

系数及畜禽粪便处理状况估算畜禽养殖污染物流失量。依据上海环保局 2000 年对集约化畜禽养殖场污染情况的调查结果, 及国家环保总局在 2000 年对全国 23 个省、自治区、直辖市规模化畜禽养殖业污染情况的调查结果, 确定研究区域内输出系数, 见表 1 和表 2。

2.3 数据获取

利用输出系数模型对农业面源污染负荷进行估算时, 除了采用研究区域输出系数数据外, 还需要各污染源的统计数据和研究区的空间数据, 包含研究区域内的不同土地利用类型面积、畜禽养殖年存栏量以及农业人口数量。空间数据来源于中国科学院地理科学与自然资源研究所的县级行政区矢量数据。通过查阅 2001—2016 年林芝市统计年鉴, 受当地资料条件限制, 整理汇集了林芝市 8 年的统计数据, 如表 3 所示。

3 结果与分析

3.1 各县污染负荷强度估算

林芝地区 7 个县的人口密集程度、交通状况以及

表 1 畜禽粪便、农村居民生活污水流失率(%)

Table 1 Loss rate of sewage from livestock breeding and rural residents(%)

污染物	牛粪	猪粪	羊粪	家禽粪	农业人口
TN	5.50	5.25	5.20	8.42	0.58
TP	5.68	5.34	5.30	8.47	7.52

表 2 不同土地利用类型流失系数

Table 2 Loss coefficients of various land utilization modes

污染物	耕地	菜地	草地
TN	0.421	0.488	0.598
TP	0.069	0.024	0.052

表 3 林芝地区 2000—2015 年农业土地利用、畜禽养殖及人口情况

Table 3 Agricultural land area, livestock breeding and population from 2000 to 2015 in Nyingchi

年份	农业用地面积/hm ²			畜禽养殖量				农业人口/人
	耕地	菜地	草地	大牲畜/万头	猪/万头	羊/万只	家禽/万只	
2000	17 500.89	715.43	200	35.57	11.211	16.17	12.68	111 104
2005	17 270.48	1 066.43	367.76	38.17	16.4	11.94	14.79	119 536
2010	17 310.3	1 423.93	777	42.05	21.52	9.4	29.55	131 805
2011	17 680	1 440.09	877.16	42.1	21.94	9.13	27.32	133 808
2012	18 125.68	1 472.21	888.79	41.18	22.45	7.69	29.16	135 386
2013	17 945.69	1 477.58	1 008.7	41.4	22.44	6.93	25.23	137 290
2014	17 997.91	1 531.22	1 032.76	41.69	24.34	6.64	26.16	138 855
2015	18 002.13	1 465.41	1 032.76	41.7	24.3	6.6	26.2	138 915

土地利用结构各不相同,加之各县经济发展水平的差异,导致林芝地区7个县内的污染负荷强度也不尽相同。基于研究区域的统计数据,应用输出系数模型模拟计算,同时对比分析7个县的氮、磷负荷强度,结果见图1。

2000—2015年期间林芝地区7个县的农业面源污染TN、TP年负荷存在显著的空间分异特征,各县年负荷的变化也存在差异,污染高负荷区主要集中在工布江达县、波密县、林芝县等3个县级行政区,这与林芝地区的农业人口及其畜禽养殖分布基本相符。该3个县级行政区内人口占研究区总农业人口的54.6%,且农业人口分布相对集中,同时该3个县的草场生产较为发达,畜禽养殖量较其他县多,总体来说农业面源污染TN、TP年输出负荷与农业人口数量及畜禽养殖量有着密切的关系。拉林铁路及拉林高速公路的修建,更为3个县的交通提供了便利,农牧民的生活水平也随之提高,大量农村生活污水及粪便缺少基础设施治理对策,加之散养畜禽随时随地的排泄,造成此区域TN、TP高负荷分布;其次3个县占有研

究区42.8%的耕地面积,研究区内农业生产活动发达,土地利用率高,化肥、农药施用量的逐年增加及水土流失等原因使耕地内大量未被吸收的氮、磷严重流失也是造成该研究区内TN、TP高负荷分布的因素。墨脱县是研究区内TN、TP负荷分布最低的行政区,主要原因是墨脱县地处世界第一的雅鲁藏布大峡谷的深处,至今是全中国最后一个不通公路的县,农业人口数量、耕地面积及畜禽养殖量远远低于研究区内的其他行政区。就三类污染源来讲,林芝地区畜禽养殖营养源产排比较大,相对于整个林芝地区农业面源污染负荷而言,拉林高速路沿途的行政区是整个林芝地区农业面源污染物年输出较为严重的区域。

3.2 TN、TP年输出负荷空间分布变化

3.2.1 不同污染源TN、TP的年输出负荷变化

本文研究区的农业面源污染源由农村生活污水、农田化肥流失、畜禽养殖三类营养源组成,将研究区域的统计数据及表1、表2的输出系数带入公式(1),并将单位换算成t,估算林芝地区2000—2015年各污染源的TN、TP年输出负荷,见表4。结果表明,2000—2015年TN、TP年输出负荷具有相似的规律:TN的年输出总负荷明显地呈逐年增加的趋势;TP的年输出总负荷虽然从2011年之后有减少和增加的波动,但从长时间段看TP的年输出负荷总体上也呈上升的趋势。三类不同营养源中,农村生活污水、畜禽养殖两大营养源对TN、TP的贡献量虽差别较大但具有相同的规律,贡献量均随着时间的推移而增加;营养源畜禽养殖流失对研究区TN的贡献量与另两类营养源存在同样的规律,而对研究区TP的贡献量总体上虽也为上升趋势,但期间有下降的年份,这与研究区内随着市场需求而改变耕地种植类型有直接关系。2015年研究区内营养源畜禽养殖流失与农田化肥流失对TN、TP年输出负荷总和分别是农村生活废水贡献量的12倍与25倍,是林芝地区的主要营养源,也是日后研究区内整治的主要对象。

3.2.2 不同污染源TN、TP贡献率的空间变化

农业面源污染负荷的分布及空间变化与研究区内土地利用类型、农村人口数量及畜禽养殖量等密切相关,因此农业面源污染负荷的产排具有很强的空间性。本研究借助GIS空间分析平台,将三类营养源对TN、TP的贡献量估算成果添加到相应行政区划图的属性列表中,然后利用GIS强大的空间分析功能得出不同污染源对研究区内TN、TP贡献率的空间变化专题图,非常直观地表达出研究区内不同污染源的时空

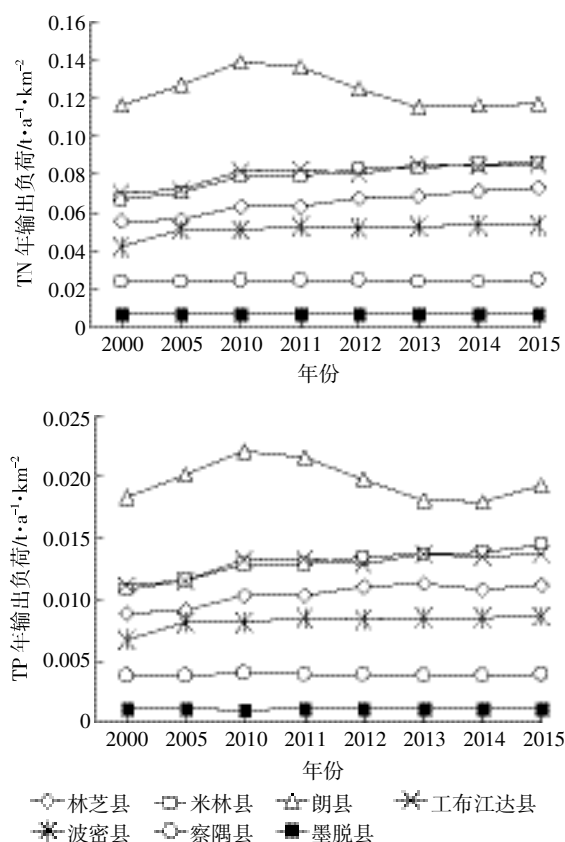


图1 林芝地区各县TN、TP负荷对比

Figure 1 Contrast on loads of TN and TP in different counties in Nyingchi

表4 林芝地区2000—2015年各污染源TN、TP年输出负荷(t)

Table 4 Annual emission load of TN/TP from various pollution sources from 2000 to 2015 in Nyingchi(t)

污染物	年份	污染源			总负荷
		农田种植流失	农村生活污水	畜禽养殖流失	
TN	2000	1 879.53	304.96	1 973.31	4 157.80
	2005	1 921.84	328.10	2 144.34	4 394.27
	2010	2 006.88	361.78	2 390.98	4 759.63
	2011	2 024.08	367.28	2 394.79	4 786.14
	2012	2 048.67	371.61	2 350.07	4 770.35
	2013	2 063.25	376.83	2 359.29	4 799.37
	2014	2 096.63	381.13	2 386.74	4 864.50
	2015	2 130.46	383.03	2 411.18	4 924.67
TP	2000	308.05	23.52	332.01	663.58
	2005	314.98	25.31	364.41	704.69
	2010	328.92	27.90	409.36	766.18
	2011	331.74	28.33	410.29	770.35
	2012	335.77	28.66	403.47	767.89
	2013	338.16	29.06	404.88	772.10
	2014	325.17	29.40	411.00	765.56
	2015	338.11	30.31	423.17	791.59

分布及其变化特征,不同营养源对TN贡献率见图2,对TP贡献率见图3。

图2及图3结果表明,2000—2015年来自农村生活污水、农田化肥流失、畜禽养殖的TN、TP年输出负荷与研究区TN、TP年输出负荷空间变化规律十分相似,除了墨脱县、察隅县、朗县,其他行政区内三类营养源的贡献量与TN、TP的年输出总负荷均呈逐年增加的趋势。2000—2015年三类营养源的TN输出及空间分布组成也存在差异,林芝县、工布江达县及朗县TN负荷主要来源为畜禽养殖;米林县TN负荷最初主要来源为农田化肥,而到2015年主要污染源变为畜禽养殖;其他3个县TN负荷主要来自农田化肥;由图2结果得出,畜禽养殖对米林县的TN贡献率变化最为明显,其他行政区内各污染源贡献率虽有变化但不明显。2000—2015年三类营养源的TP输出及其空间分布组成与研究区TN的规律相似。各行政区内不同污染源的年贡献量及TN、TP的年负荷虽不尽相同,但存在共同规律:各行政区TN、TP的主要来源为畜禽养殖和农田化肥,该两类污染源的TN、TP贡献量之和在各行政区都超过总量的90%。研究区内不同污染源的空间分布及贡献量随时间的推移而发生变化,图2及图3结果显示研究区内墨脱县、朗县及察隅县TN、TP的年输出负荷没有随时间推移而呈上升趋势,这与该3个行政区的交通情况较差、农

村人口基数少、土地利用率低等条件有直接关系;米林县、工布江达县及林芝县TN、TP的年输出负荷随时间推移有明显的上升趋势,该3个行政区地理位置优越,交通便利、社会经济发展迅速,从而导致TN、TP的年输出负荷增加。

3.3 TN、TP年输出负荷强度空间分布

面源污染负荷的产排具有很强的空间性,根据研究区7个县2015年TN、TP年输出负荷,借助GIS空间分析平台采用非监督分类、颜色渲染等手段分析各行政区平均负荷强度分布专题图(图4),更直观地表达TN、TP的空间产排特性。图4结果显示,米林县的TN、TP负荷强度最高,远远高出全区平均水平,成为林芝地区的面源污染重点治理行政区;察隅县与墨脱县TN、TP负荷强度远低于全区水平,且两者TN、TP总负荷量一直保持着较低的增速,为区内环境最好地域;林芝县及工布江达县TN、TP负荷强度虽低于米林县,但高于全区平均水平,考虑其TN、TP年负荷变化趋势,两者污染相对严重。为此,应该对米林县、林芝县及工布江达县内的畜禽养殖、农田化肥污染源采取必要的预防控制措施。

4 讨论

由于西藏高原生态区没有农业面源污染的研究区域可供参考,本次农业面源污染输出负荷估算中,

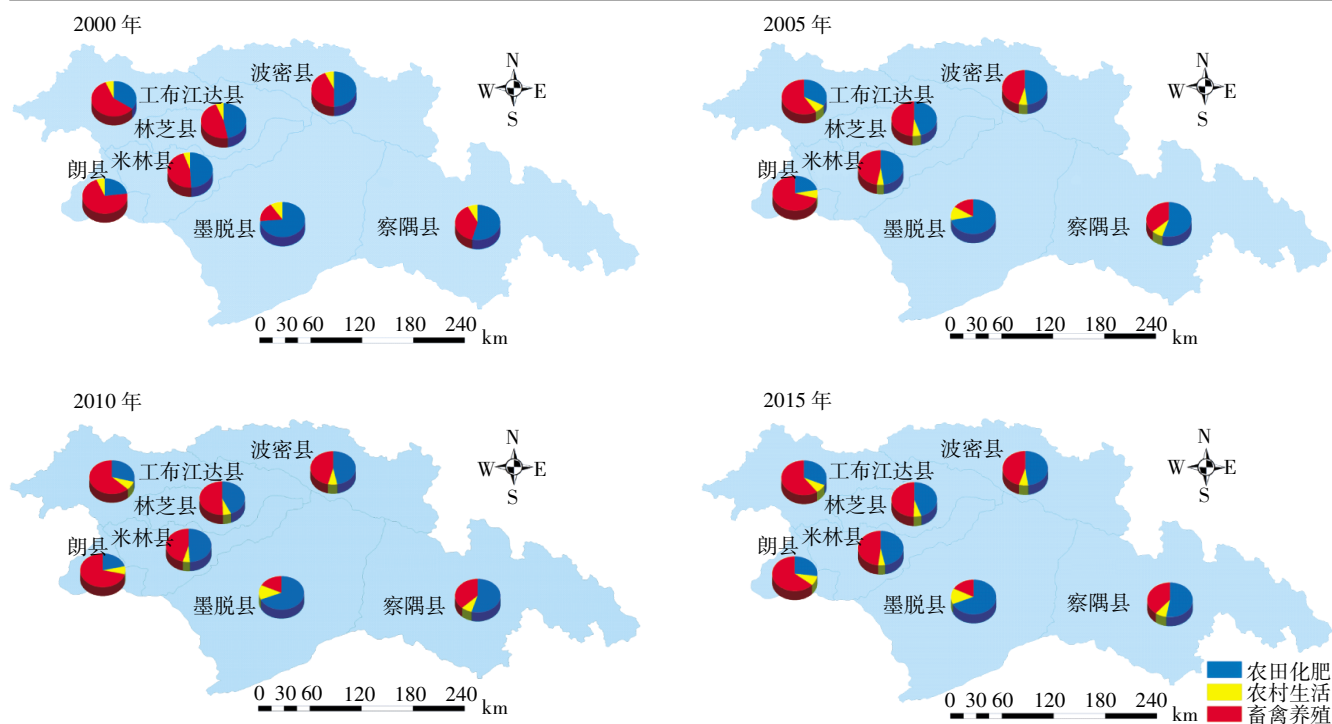


图 2 林芝地区 2000—2015 年不同污染源 TN 负荷空间分布

Figure 2 Loads of TN from various source pollution in 2000,2005,2010 and 2015 in Nyingchi

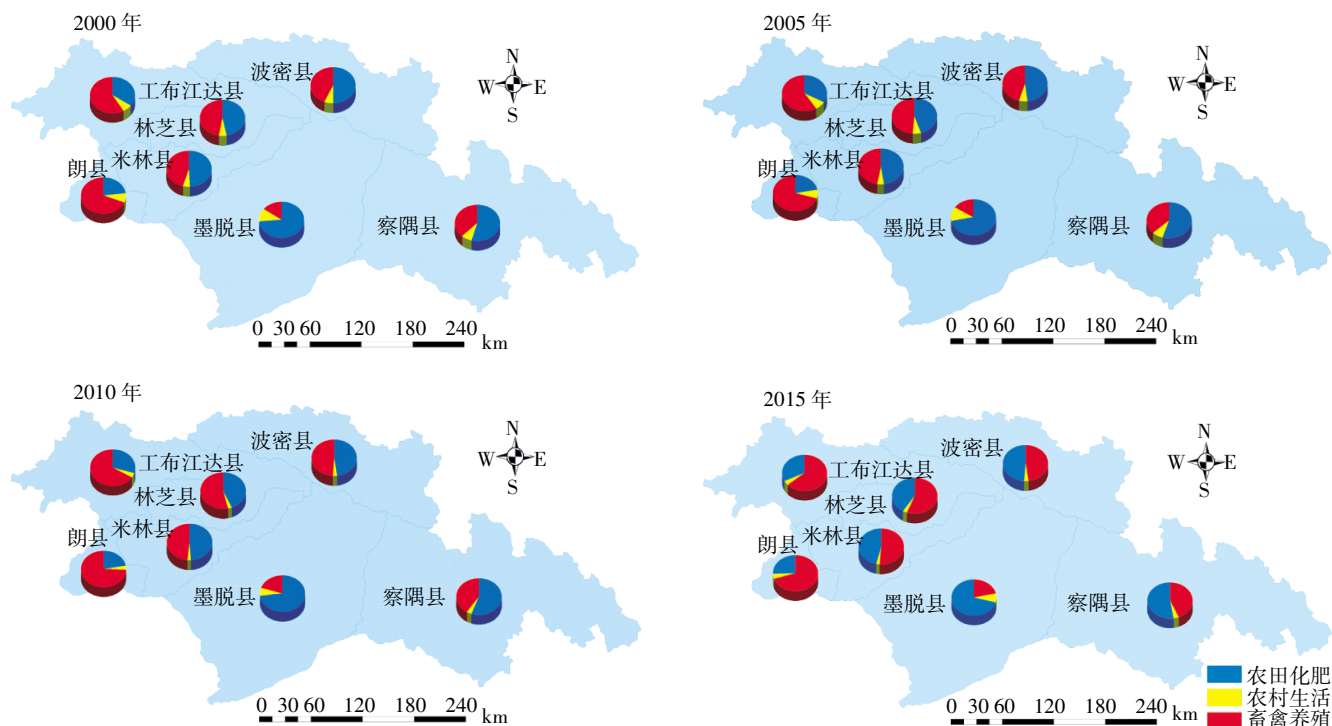


图 3 林芝地区 2000—2015 年不同污染源 TP 负荷空间分布

Figure 3 Loads of TP from various pollution source in 2000,2005,2010 and 2015 in Nyingchi

是根据《第一次全国污染源普查城镇生活源产排污系数手册》,参考《第一次全国污染源普查农业污染源肥料流失系数手册》的研究成果,以及农业面源污染研

究的文献资料来选取该区域的输出系数,结果虽无法得到有效验证,但成果与实地踏勘结果基本相符。将本研究结果与三峡库区及哈尔滨地区的农业面源污

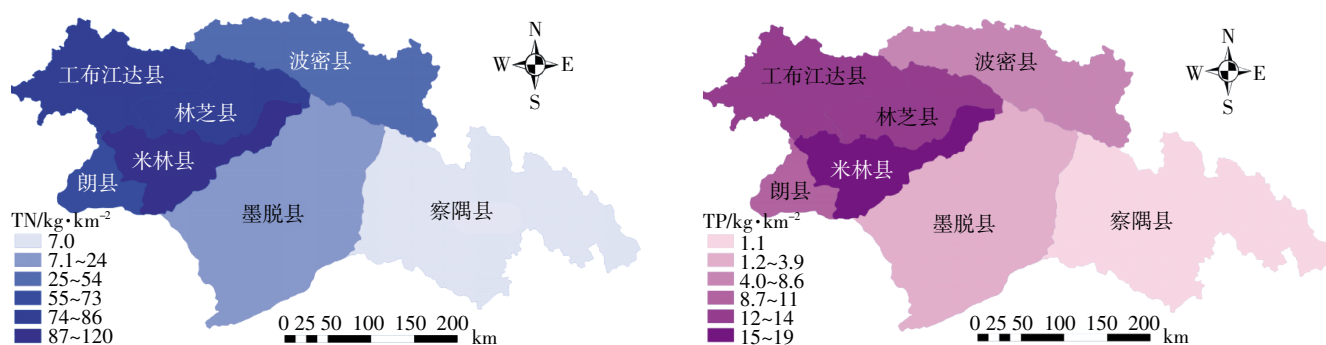


图4 林芝地区2015年TN、TP年负荷空间强度分布图

Figure 4 Spatial distribution of TN and TP loads in Nyingchi in 2015

染研究成果作以比较:农业面源污染源研究对象同为生活污水、农田种植、畜禽养殖;林芝地区污染物TN和TP的单位面积年输出负荷虽低于三峡库区和哈尔滨地区,但年输出负荷总量及空间分布的特征和影响因素与三峡库区及哈尔滨地区的规律相同,研究区污染物TN和TP的年输出负荷均随着农村人口、畜禽养殖量及农田种植面积的增加呈逐年上升的趋势。

本次研究污染指标只考虑了TN和TP,污染源只涉及了农村生活、农田化肥、畜禽养殖三类污染源,未考虑农药、农膜和农村生活垃圾等污染源以及 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、COD、 BOD_5 等污染指标。研究区内水资源较为丰富,河网密集,但缺乏水质监测分析数据,未能将区内农村水质监测评价与农业面源污染排放进行响应分析。因此在今后的研究中,应将区内农业面源污染时空特征研究与区内社会经济、人类活动特征以及水质监测分析结果等因素结合起来,建立起基于时空尺度的林芝市农业面源污染与农村水质监测的动态响应系统,从而深入分析区内各类污染源时空特征,完善西藏生态区农业面源污染问题的研究体系,为西藏生态安全屏障建设提供一定的参考。

5 结论

本文利用输出系数模型,对林芝地区2000—2015年农业面源污染TN、TP年输出负荷进行了估算和空间分析,结果表明:

(1)林芝地区农业面源污染TN、TP年输出总负荷呈逐年上升的趋势,尤其是米林县、林芝县及工布江达县TN、TP年输出总负荷增速尤为明显。

(2)畜禽养殖和农田化肥是林芝地区农业面源污染最大的影响因素,是TN、TP最主要的来源。

(3)林芝地区农业面源污染较为严重的行政区为米林县、林芝县和工布江达县,是今后的重点防治

区域。

在仅为2.38万 hm^2 的耕地与居住面积内,林芝地区2015年污染物TN、TP的年输出负荷分别为4924.67、791.59 t,且区内农业面源污染年输出负荷呈稳步上升的趋势,农业面源污染形势日益严峻,故开展对该地区的农业面源污染防控工作已刻不容缓。应合理规划畜禽养殖区域和规模,优化农业种植结构,科学施肥,减少化肥的流失,健全农村污染处理措施,提高农民环保意识,从而有效地改善林芝地区农业面源污染现状,保护雅江流域的生态环境。

参考文献:

- [1] 匡敬义. 舒城县农业面源污染现状及治理对策[J]. 现代农业科技, 2015(9):226-227.
KUANG Qi-yi. Status quo of agricultural non-point pollution in Shucheng County and its control strategies[J]. *Modern Agricultural Sciences and Technology*, 2015(9):226-227.
- [2] 刘亚琦, 刘加珍. 聊城市农业面源污染的问题与治理措施分析[J]. 河北农业科学, 2015, 19(2):82-86.
LIU Ya-qi, LIU Jia-zhen. Analysis on the problems and countermeasures of agricultural non-point source pollutions in Liaocheng City[J]. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2015, 19(2):82-86.
- [3] 张维理, 冀宏杰, Kolbe H, 等. 中国农业面源污染形势估计及控制对策 II. 欧美国家农业面源污染状况及控制[J]. 中国农业科学, 2004, 37(7):1018-1025.
ZHANG Wei-li, JI Hong-jie, Kolbe H, et al. Estimation of agricultural non-point source pollution in China and the alleviating strategies II. Status of agricultural non-point source pollution and the alleviating strategies in European and American countries [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(7):1018-1025.
- [4] 安娜. 辽宁省农业面源污染现状及管控措施[J]. 现代农业科技, 2015(21):212-213.
AN Na. Current situation and management measures for agricultural non-point source pollution in Liaoning Province[J]. *Modern Agricultural Sciences and Technology*, 2015(21):212-213.
- [5] 宫晓敏. 农业面源污染对滨岸带微生物群落的影响研究[D]. 山东农

- 业大学, 2013.
- GONG Xiao-min. Study on impacts of agricultural non-point source pollution on microbial community in riparian zone[D]. Shandong Agricultural University, 2013.
- [6] 林雪原, 荆延德, 孙笑笑, 等. 潍坊市农业面源污染评价及控制对策[J]. 曲阜师范大学学报(自然科学版), 2015, 41(4): 84-88.
- LIN Xue-yuan, JING Yan-de, SUN Xiao-xiao, et al. Evaluation and control strategies of agricultural non-point source pollution in Weifang City[J]. *Journal of Qufu Normal University*, 2015, 41(4): 84-88.
- [7] 应兰兰, 侯西勇, 路晓, 等. 我国非点源污染研究中输出系数问题[J]. 水资源与水工程学报, 2010, 21(6): 90-95.
- YING Lan-lan, HOU Xi-yong, LU Xiao, et al. Discussion on the export coefficient method in non-point source pollution studies in China[J]. *Journal of Water Resources & Water Engineering*, 2010, 21(6): 90-95.
- [8] 茆峰, 苏馈足, 康加廷, 等. 基于改进输出系数法的矿区重金属面源污染负荷核算模型[J]. 环境科学研究, 2012, 25(2): 207-211.
- MAO Feng, SU Kui-zu, KANG Jia-ting, et al. Research on heavy metal load accounting in mining areas using improved export coefficient method[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2012, 25(2): 207-211.
- [9] 姚锡良. 农村非点源污染负荷核算研究[D]. 华南理工大学, 2012.
- YAO Xi-liang. Study of the rural non-point source pollution load calculation[D]. South China University of Technology, 2012.
- [10] 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.
- [11] 朱立安, 王继增, 胡耀国, 等. 畜禽养殖非点源污染及其生态控制[J]. 水土保持通报, 2005, 25(2): 40-43.
- ZHU Li-an, WANG Ji-zeng, HU Yao-guo, et al. Non-point sources pollution from livestock and poultry and ecological control[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2005, 25(2): 40-43.
- [12] 陈媛, 郭秀锐, 程水源, 等. SWAT模型在三峡库区流域非点源污染模拟的适用性研究[J]. 安全与环境学报, 2012, 12(2): 146-152.
- CHEN Yuan, GUO Xiu-rui, CHENG Shui-yuan, et al. On the applicability of SWAT model to the non-point source pollution in the watershed of the Three-Gorge Reservoir[J]. *Journal of Safety & Environment*, 2012, 12(2): 146-152.
- [13] 王和意, 刘敏, 刘巧梅, 等. 城市降雨径流非点源污染分析与研究进展[J]. 城市环境与城市生态, 2003, 16(6): 283-285.
- WANG He-yi, LIU Min, LIU Qiao-mei, et al. Analysis and research progress on urban rainfall runoff non-point source pollution[J]. *Urban Environment & Urban Ecology*, 2003, 16(6): 283-285.
- [14] 田甜, 刘瑞民, 王秀娟, 等. 三峡库区大宁河流域非点源污染输出风险分析[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(6): 185-190.
- TIAN Tian, LIU Rui-min, WANG Xiu-juan, et al. Risk assessment of nitrogen and phosphorus export in Daning River of Three Gorges Reservoir Area[J]. *Environmental Science & Technology*, 2011, 34(6): 185-190.
- [15] 刘瑞民, 何孟常, 王秀娟. 大辽河流域上游非点源污染输出风险分析[J]. 环境科学, 2009, 30(3): 663-667.
- LIU Rui-min, HE Meng-chang, WANG Xiu-juan. Risk assessment of nitrogen and phosphorus export in upper reach of Daliao River Watershed[J]. *Environmental Science*, 2009, 30(3): 663-667.
- [16] 马亚丽, 敖天其, 张洪波, 等. 基于输出系数模型濠溪河流域泸县段面源分析[J]. 四川农业大学学报, 2013, 31(1): 53-59.
- MA Ya-li, AO Tian-qi, ZHANG Hong-bo, et al. Non-point source analysis of Laixi River Basin in Luxian County based on output coefficient model[J]. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 2013, 31(1): 53-59.
- [17] 刘瑞民, 沈珍瑶, 丁晓雯, 等. 应用输出系数模型估算长江上游非点源污染负荷[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(2): 677-682.
- LIU Rui-min, SHEN Zhen-yao, DING Xiao-wen, et al. Application of export coefficient model in simulating pollution load of non-point source in upper reach of Yangtze River Basin[J]. *Journal of Agro-Environmental Science*, 2008, 27(2): 677-682.
- [18] 陆建忠, 陈晓玲, 肖靖靖, 等. 改进的输出系数法在农业污染源估算中的应用[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2012, 46(3): 373-378.
- LU Jian-zhong, CHEN Xiao-ling, XIAO Jing-jing, et al. Application of improved export coefficient model in estimation of agricultural source pollutant[J]. *Journal of Huazhong Normal University (Nat Sci)*, 2012, 46(3): 373-378.
- [19] 张立坤, 香宝, 胡钰, 等. 基于输出系数模型的呼兰河流域非点源污染输出风险分析[J]. 农业环境科学学报, 2014, 33(1): 148-154.
- ZHANG Li-kun, XIANG Bao, HU Yu, et al. Risk assessment of non-point source pollution in Hulan River Basin using an output coefficient model[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2014, 33(1): 148-154.
- [20] Johnes P J, Heathwaite A L. Modeling the impact of land use change on water quality in agricultural catchments[J]. *Hydrological Processes*, 1997, 11(3): 269-286.
- [21] 蔡明, 李怀恩, 庄咏涛, 等. 改进的输出系数法在流域非点源污染负荷估算中的应用[J]. 水利学报, 2004, 35(7): 40-45.
- CAI Ming, LI Huai-en, ZHUANG Yong-Tao, et al. Application of modified export coefficient method in polluting load estimation of non-point source pollution[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2004, 35(7): 40-45.
- [22] 李怀恩, 庄咏涛. 预测非点源营养负荷的输出系数法研究进展与应用[J]. 西安理工大学学报, 2003, 19(4): 307-312.
- LI Huai-en, ZHUANG Yong-tao. The export coefficient modeling approach for load prediction of nutrient from nonpoint source and its application[J]. *Journal of Xi'an University of Technology*, 2003, 19(4): 307-312.