

# 赣州市农业面源污染的区域空间分异性研究

黄红兰<sup>1,2</sup> 曾斌<sup>2</sup> 王胜<sup>3</sup> 张露<sup>1\*</sup>

(1. 江西农业大学 园林与艺术学院, 江西 南昌 330045; 2. 江西环境工程职业学院, 江西 赣州 341000; 3. 江西省赣州市农业局, 江西 赣州 341000)

**摘要:** 采用清单分析方法, 构建“压力-响应”指标体系, 核算 2007 年赣州各行政区 18 个县市内农业面源污染中各种污染源(如化肥施用、有机肥施用、畜禽养殖、水产养殖、农村生活垃圾和土壤侵蚀等)对农业面源污染化学需氧量(COD)、全氮(TN)、全磷(TP)的排放负荷及其影响, 并探讨农业面源污染的污染源分配及其空间分布上的差异。结果表明: 2007 年赣州市农业面源污染引起的 COD、TN、TP 绝对排放量分别为  $31.31 \times 10^4$ 、 $7.06 \times 10^4$ 、 $2.11 \times 10^4$  t/年, 相应的等标排放量分别为  $1.48 \times 10^4$ 、 $7.06 \times 10^4$  和  $10.53 \times 10^4$  t/年, 对应的排放浓度分别是 9.39、2.11、0.65 mg/L。其农业面源污染的主要污染物为 TP、TN, 农业生产活动中畜禽养殖和化肥施用为主要污染源, 基于“压力-响应”指标核算分析, 赣州市主要污染区域是章贡区、南康市、信丰县、寻乌县、兴国县、于都县、龙南县、宁都县、瑞金市、赣县等区域; 多数核算数值显示都市圈 > 内圈 > 外圈, 都市圈的面源污染相对较严重。

**关键词:** 农业面源污染; 污染源; 压力; 响应

中图分类号: X501 文献标志码: A 文章编号: 1000-2286(2010)04-0835-07

## A Preliminary Study on Spatial Differences of Agricultural Non-Point Source Pollution in Ganzhou City, Jiangxi Province

HUANG Hong-lan<sup>1,2</sup>, ZENG Bin<sup>2</sup>, WANG Sheng<sup>3</sup>, ZHANG Lu<sup>1\*</sup>

(1. College of Landscap Architecture and Art, JAU, Nanchang 330045, China; 2. Jiangxi Environment Engineering Vocational College, Ganzhou 341000, China; 3. Bureau of Agriculture, Ganzhou City, Jiangxi Province, Ganzhou 341000, China)

**Abstract:** Based on the pressure-response index system, the discharge amounts and their impacts of COD, total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP) were accounted by the list analysis on the scale of 18 districts in Ganzhou City from the 8 sources of NPSP such as inorganic chemical fertilizers, organic fertilizers, crops straw, stockbreeding, aquiculture, domestic sewage, domestic wastes and soil erosion in 2007, which were used to study on the spatial differences and source distribution of the agriculture non-point source pollution (NPSP). The absolute discharge amounts of COD, TN and TP from NPSP were 313.1, 70.6, 21.1 thousand ton per year. The absolute discharge amounts of NPSP in equivalent standard were 14.8, 70.6, 105.3 thousand ton per year. The discharge concentrations of COD, TN and TP from NPSP were 9.39, 2.11, and 0.65 mg/L respectively. The water in the One-Hour Economic Circle was polluted more heavily than that in

收稿日期: 2010-05-12 修回日期: 2010-06-17

基金项目: 江西省自然科学基金项目(2007GQN0031)和赣州市社会科学界联合会资助项目(赣2009154)

作者简介: 黄红兰(1970-), 女, 博士生, 主要从事生态修复研究, E-mail: 2004honglan@163.com; \* 通讯作者: 张露, 教授, 博士生导师。

the inner circle and outside circle. The primary pollutants were TP and TN ,the primary pollution sources were stockbreeding and chemical inorganic fertilizers. Based on the pollution pressure – response system ,the primary contaminated districts were Zhanggong ,Nankang ,Xinfeng ,Xunwu ,Xingguo ,Yudou ,Longnan ,Ningdou , Ruijin and Ganxian Counties.

**Key words:** agricultural non – point source pollution; pollutant source; pressure; response

由于农业生产的广泛性和普遍性 ,农业面源污染日益突出。解析农业面源污染源、污染负荷以及制定并实施针对性的防控污染措施成为当今世界环境科学的热点研究。农业面源污染是我国当前面临的一大现实难题 ,在相当长的时期内将成为制约农业可持续发展的重要因素。我国 70% 以上的人口在农村 ,农业面源污染治理直接关系到农民的切身利益和生态农业的健康发展 ,关系到社会主义新农村的建设。

国内已有的研究应用数学模型法<sup>[1-6]</sup>、平均浓度法<sup>[7]</sup>、水质水量相关法<sup>[8]</sup>、综合调查法<sup>[9]</sup>、单元调查法<sup>[10]</sup>和清单法<sup>[11]</sup>等统计农业面源污染各指标 ,集中在化肥、农药、农膜等农用化学品使用水平、畜禽粪便排放量、水土流失等指标的源解析 ,侧重污染压力即人类活动给环境造成危害的论述 ,忽略了对环境质量如水体系统的影响研究。由联合国经济合作和开发组织与联合国环境规划署共同提出的“压力 – 响应”模型 ,将污染源分析和污染影响评价较好地形成证据链 ,解析了上述问题。为了贯彻赣州市绿色生态江西建设“十大工程”之“农村面源污染控制工程 ,江河源头及湖库保护工程和“七大专项整治行动”之“赣江源头保护区污染物零排放行动”等专项行动 ,评估和预测赣州农业面源污染的强度和潜在威胁 ,确定农业面源污染生产的敏感区域。本文采用清单分析方法 ,构建“压力 – 响应”指标体系 ,核算赣州 18 个县市各行政区内农业面源污染中各种污染源、污染物负荷 ,探讨农业面源污染的污染源分配及其空间分布上的差异 ,以期为编制赣州市农业面源污染防治规划提供科学依据。

# 1 研究方法

## 1.1 数据采集和经济圈区划

以市、县、区为单元 ,赣州共 18 个行政区域 ,各区域的基本信息见表 1。所有数据来自赣州市 2007 年农业统计年报、环境质量年报及其它相关报表 ,同时收集用于核算的必需参数。

依据“赣州市一小时城市经济圈”规划纲要(2006 年 3 月 26 日) ,将赣州 18 个县市行政区划为都市圈章贡区、南康市、赣县、于都县、兴国县、瑞金市;内圈信丰县、大余县、上犹县、安远县、定南县、全南县;外围圈崇义县、龙南县、宁都县、会昌县、寻乌县、石城县等区域(图 1)。

## 1.2 指标核算

根据“压力 – 响应”系统原理 ,污染区域的严重程度可以压力 – 响应模型表征 ,构建下列相应的指标体系:农业面源污染的污染源压力指标 ,如各种活动的污染物绝对实物排放量、绝对等标排放量及其衍生指标相对排放系数(如国土排放系数、人均排放系数等);农业面源污染的污染库响应指标 ,如测算各种活动的污染物排放之后的水质浓度及其衍生指标水质指数。

### 1.2.1 压力指标 (1) 实物排放量。



图 1 赣州市经济圈区划

Fig. 1 The zoning map of economic circle in Ganzhou City

表 1 各研究区域及其概况(2007 年)

Tab.1 Overview of every studied area in 2007

| 分区<br>Zone             | 农业种植情况 Agricultural planting |                            |  |  |                                    | 畜禽养殖情况 Livestock situation             |   |  | 水产<br>养殖情况<br>Aquacultural<br>situation |
|------------------------|------------------------------|----------------------------|--|--|------------------------------------|--|---|--|---|
|                        | 农业种植<br>面积/hm <sup>2</sup>   | 果业种植<br>面积/hm <sup>2</sup> | 年化肥施用量<br>/t Chemical<br>fertilizer<br>application | 年农药使用量<br>/t<br>Pesticide<br>application | 地膜使用量<br>/t<br>Film<br>application | 生猪养殖规模<br>/头<br>Pork breeding<br>scale | 牛养殖规模<br>/头<br>Cattle breeding<br>scale | 羊养殖规模<br>/头<br>Sheep breeding<br>scale |   |
|                        | Agricultural<br>area         | Fruit growing<br>area      | fertilizer<br>application                          | Pesticide<br>application                 | Film<br>application                | Pork breeding<br>scale                 | Cattle breeding<br>scale                | Sheep breeding<br>scale                |   |
| 赣州市 Ganzhou City       | 757 804                      | 167 434                    | 218 792  | 14 853                                   | 8 177                              | 2 298 683                              | 2 298 683                               | 836 717                                | 241 382                                 |
| 都市圈 Core circle        |                              |                            |  |  |                                    |  |   |  |   |
| 章贡区 Zhanggong District | 17 497                       | 1 959                      | 4 443  | 220                                      | 81                                 | 64 586                                 | 21 837                                  | 3 837                                  | 10 900                                  |
| 赣县 Ganxian County      | 54 976                       | 5 843                      | 12 531   | 758                                      | 725                                | 150 720                                | 56 260                                  | 790                                    | 10 522                                  |
| 南康市 Nankang City       | 65 465                       | 6 621                      | 19 653   | 703                                      | 122                                | 201 000                                | 52 900                                  | 0                                      | 22 668                                  |
| 于都县 Yudu County        | 73 843                       | 10 241                     | 18 309   | 1 842                                    | 1 367                              | 146 439                                | 73 993                                  | 260                                    | 20 398                                  |
| 兴国县 Xinguo County      | 78 942                       | 14 719                     | 13 701   | 1 196                                    | 472                                | 245 366                                | 73 871                                  | 739                                    | 19 386                                  |
| 瑞金市 Ruijin City        | 59 628                       | 8 727                      | 9 299  | 428                                      | 548                                | 160 040                                | 61 385                                  | 1 564                                  | 17 820                                  |
| 内圈 Inner circle        |                              |                            |  |  |                                    |  |   |  |   |
| 信丰县 Xingfeng County    | 68 931                       | 19 643                     | 16 815   | 953                                      | 1 463                              | 195 712                                | 124 151                                 | 105                                    | 22 051                                  |
| 上犹县 Shangyou County    | 25 055                       | 4 975                      | 6 649  | 248                                      | 159                                | 58 445                                 | 25 416                                  | 5 804                                  | 12 370                                  |
| 定南县 Dingnan County     | 16 732                       | 3 501                      | 4 427  | 75                                       | 99                                 | 211 326                                | 18 663                                  | 1 807                                  | 6 768                                   |
| 全南县 Quannan County     | 21 839                       | 3 920                      | 8 813  | 797                                      | 592                                | 48 537                                 | 28 092                                  | 1 253                                  | 8 335                                   |
| 安远县 Anyuan County      | 24 399                       | 16 564                     | 14 534   | 1 975                                    | 152                                | 92 138                                 | 39 579                                  | 5 298                                  | 4 400                                   |
| 宁都县 Ningdu County      | 94 391                       | 11 502                     | 22 917   | 1 954                                    | 1 009                              | 123 000                                | 92 500                                  | 1 250                                  | 23 402                                  |
| 外圈 Outside circle      |                              |                            |  |  |                                    |  |   |  |   |
| 大余县 Dayu County        | 27 296                       | 5 270                      | 7 219  | 555                                      | 204                                | 86 290                                 | 10 170                                  | 8 660                                  | 8 980                                   |
| 会昌县 Huichang County    | 40 208                       | 14 524                     | 17 482   | 967                                      | 474                                | 143 121                                | 47 321                                  | 3 185                                  | 14 380                                  |
| 寻乌县 Xunwu County       | 26 262                       | 26 668                     | 21 005   | 1 131                                    | 179                                | 94 451                                 | 36 238                                  | 11 749                                 | 7 640                                   |
| 石城县 Shicheng County    | 26 237                       | 3 728                      | 9 226  | 305                                      | 266                                | 66 614                                 | 13 323                                  | 0                                      | 11 652                                  |
| 崇义县 Chongyi County     | 11 050                       | 2 947                      | 5 011  | 584                                      | 21                                 | 40 108                                 | 33 516                                  | 49 790                                 | 11 620                                  |
| 龙南县 Longnan County     | 25 053                       | 6 082                      | 6 758  | 162                                      | 244                                | 170 790                                | 34 450                                  | 12 360                                 | 8 090                                   |

化肥施用排放量 = 耕地面积 × 单位耕地氮肥、磷肥的折纯施用量 × 污染物入河系数 (1)

作物秸秆污染排放量 = 某作物产量 × 某作物秸秆产出系数 × (1 - 秸秆利用率) × 秸秆养分含量 × 入河系数 (2)

畜禽养殖排放量 = 畜禽养殖总量 × 排泄系数<sup>[12]</sup> × 粪污中污染物平均含量<sup>[12]</sup> × 畜污中污染物入河系数<sup>[13]</sup> (3)

水产养殖排放量 = 淡水养殖产量 × 污染物排放系数<sup>[14]</sup> (4)

生活垃圾排放量 = 农村人口总数 × 人均垃圾产生系数 × 垃圾渗滤液中污染物平均含量 (5)

生活污水排放量 = 农村人口总数 × 人均排污系数 (6)

土壤侵蚀排放量( $W_i$ ) =  $S_i \times DA \times C_i \times 10^{-6}$  (7)

式中:  $W_i$  为水土流失带入河流的污染量(t/年);  $S_i$  为区域土壤年侵蚀量,即水土流失面积与侵蚀模数的乘积(t/年);  $DA$  为水体泥沙转移比,取 0.046;  $C_i$  为土壤中污染物背景值<sup>[15]</sup>(mg/kg)。化学需氧量 COD、全氮 TN、全磷 TP 分别取 15 000,100,20 g/t。

(2) 等标排放量及排放系数。统一按照地面水环境质量标准(GB3838-2002)中的Ⅲ类标准,计算各项活动中 COD、TN、TP 的等标排放量。即等标排放量 = 该污染物排放浓度 × 排水量 / 标准浓度 = 该污染物实物排放量 / 标准浓度; 等标排放系数(国土基) = 等标排放量 / 区域国土面积。

1.2.2 响应指标核算 污染物排放浓度 = 污染物实物排放量 / 区域水资源量。水质指数 = 污染物排放浓度 / 该污染物在 GB3838-2002 中Ⅲ类标准值。

## 2 结果与分析

### 2.1 赣州市农业面源污染的压力分析

2.1.1 污染物绝对排放量 核算数据显示,赣州市 2007 年度农业面源污染排放 COD、TN、TP 的实物

总量分别为  $31.31 \times 10^4$ 、 $7.06 \times 10^4$ 、 $2.11 \times 10^4$  t/年(表2)。3种污染物排放依次为都市圈 > 内圈 > 外圈。由于都市圈是以距离赣州城区约1 h路程划分,都市圈中的赣县、于都、兴国和瑞金均是赣州区域内农业种植面积较大的县或市,因而意外地表现为农业活动的绝对优势。另一方面,它与赣州工业近几年呈上升趋势但农、林、果、牧业依然是其主要经济成分相一致。这或许意味着在赣州都市圈内工业污染不严重的前提下,可以引入一些不污染或少污染的工业繁荣都市圈,以削弱农业活动带来的污染。

2.1.2 污染物等标排放量 2007年赣州市农业面源污染的绝对等标排放总量为  $19.07 \times 10^4$  t/年(表3),其中COD、TN、TP的等标排放量分别为  $1.48 \times 10^4$ 、 $7.06 \times 10^4$  和  $10.53 \times 10^4$  t/年;种植业、养殖业、农村生活、土壤侵蚀等的等标排放量分别为  $4.06 \times 10^4$ 、 $12.36 \times 10^4$ 、 $2.48 \times 10^4$ 、 $0.01 \times 10^4$  t/年,可见赣州农业面源污染主要由农业生产活动的养殖和种植业引起。

表2 赣州市农业面源污染实物排放量

Tab.2 The absolute discharge amount of NPSP in Ganzhou City

| 分区<br>Zone        | 绝对实物排放量/(t·年 <sup>-1</sup> )<br>Absolute discharge amount |          |          | 排放比例/%<br>Emission ratio |       |       |
|-------------------|---|----------|----------|--------------------------|-------|-------|
|                   | COD   | TN       | TP       | COD                      | TN    | TP    |
| 都市圈 Core circle   | 122 407.8   | 27 689.6 | 8 429.7  | 39.08                    | 32.52 | 28.4  |
| 内圈 Inner circle   | 101 840.2   | 23 676   | 7 040.8  | 39.23                    | 33.54 | 27.23 |
| 外圈 Outside circle | 88 904.9  | 19 223.6 | 5 607.1  | 39.99                    | 33.4  | 26.61 |
| 合计 Total          | 313 152.9   | 70 589.2 | 21 077.6 | 100                      | 100   | 100   |

表3 赣州市农业面源污染等标排放量

Tab.3 The absolute discharge amount of NPSP in equivalent standard in Ganzhou City

| 分区<br>Zone        | 排放总量/(t·年 <sup>-1</sup> )<br>Total emissions | 污染物等标排放量/(t·年 <sup>-1</sup> )<br>Emissions of pollutants in equivalent standard |          |           | 污染源等标排放量/(t·年 <sup>-1</sup> )<br>Emissions of pollution source in equivalent standard |                 |               |                      |
|-------------------|--|---|----------|-----------|---|-----------------|---------------|----------------------|
|                   |  | COD   | TN       | TP        | 种植业<br>Planting   | 养殖业<br>Breeding | 村生活<br>Living | 土壤侵蚀<br>Soil erosion |
| 都市圈 Core circle   | 75 926.3                                     | 6 088.4   | 27 689.6 | 42 148.3  | 17 001.1  | 47 304.9        | 11 573.5      | 46.8                 |
| 内圈 Inner circle   | 63 079.1                                     | 4 300.1   | 23 676   | 35 103    | 11 268.9  | 43 012.6        | 7 194.4       | 36.1                 |
| 外圈 Outside circle | 51 663.8                                     | 4 405   | 19 223.6 | 28 035.2  | 12 297.2  | 33 302.5        | 6 032         | 32.1                 |
| 合计 Total          | 190 669.2                                    | 14 793.5  | 70 589.2 | 105 286.5 | 40 567.2  | 123 620         | 24 799.9      | 115                  |

## 2.2 赣州市农业面源污染的响应分析

2007年,赣州市因农业面源污染造成的水质综合指数为2.87,进入严重程度的污染水平。都市圈的章贡区TP、TN的水质指数分别为6.6、4.14,均已达到严重污染水平;COD为1.09,显示处在临界警戒水平。都市圈的各区域污染相对较重,除COD值外,均达到中等程度污染水平或以上。外圈中综合指数最高的寻乌县,处于严重程度污染。值得注意的是,赣州最南端龙南县已进入农业面源污染的严重程度级别;崇义县综合指数1.7,排在第18位。

赣州市因农业面源污染排放COD、TN、TP的浓度分别是9.39、2.11、0.65 mg/L,N、P 2种污染物均超过地面水环境质量三级标准(表4)。大多数污染物浓度显示,都市圈均较内圈、外圈大,说明人口密度越大,经济越发达,污染越严重。

## 2.3 赣州市主要农业面源污染物和污染源解析

按照各污染物或污染源的等标污染负荷比从大到小排序,分别累计百分比,大于80%的污染物或污染源列为主要污染物或主要污染源。并依据等标排放量计算等标负荷比与累计等标负荷比(表5)。根据“80%”原则,赣州市2007年农业面源污染的主要污染物是TP和TN,其等标污染负荷比分别为55.862%和38.211%;主要污染源是畜禽养殖和化肥施用,其等标污染负荷比分别为66.35%和20.04%。

表4 农业面源污染物浓度与水质指数

Tab.4 The pollutants concentration and water pollution index

| 分区<br>Zone             | 污染物浓度/(mg·L <sup>-1</sup> )<br>Pollutants concentration |      |      | 水质指数<br>Water pollution index |      |      |               |                 |
|------------------------|---|------|------|-------------------------------|------|------|---------------|-----------------|
|                        | COD   | TN   | TP   | COD                           | TN   | TP   | 平均指数          | 综合指数            |
|                        |   |      |      |                               |      |      | Average index | Composite index |
| 都市圈 Core circle        | 13.2  | 2.42 | 0.89 | 0.66                          | 2.42 | 4.43 | 2.51          | 3.68            |
| 章贡区 Zhanggong District | 21.78   | 4.14 | 1.32 | 1.09                          | 4.14 | 6.6  | 3.94          | 5.91            |
| 赣县 Ganxian County      | 9.02  | 1.67 | 0.64 | 0.45                          | 1.67 | 3.2  | 1.77          | 2.57            |
| 南康市 Nankang City       | 16.83   | 2.83 | 1.1  | 0.84                          | 2.83 | 5.5  | 3.06          | 4.46            |
| 于都县 Yudu County        | 11.09   | 2    | 0.79 | 0.55                          | 2    | 3.95 | 2.17          | 3.16            |
| 兴国县 Xingguo County     | 10.55   | 2.04 | 0.78 | 0.53                          | 2.04 | 3.9  | 2.16          | 3.12            |
| 瑞金市 Ruijin City        | 9.97  | 1.86 | 0.69 | 0.5                           | 1.86 | 3.45 | 1.94          | 2.86            |
| 内圈 Inner circle        | 9.17  | 1.75 | 0.63 | 0.46                          | 1.75 | 3.14 | 1.78          | 2.61            |
| 信丰县 Xingfeng County    | 12.07   | 2.38 | 0.92 | 0.6                           | 2.38 | 4.6  | 2.52          | 3.64            |
| 上犹县 Shangyou County    | 7.9   | 1.46 | 0.52 | 0.4                           | 1.46 | 2.6  | 1.49          | 2.19            |
| 定南县 Dingnan County     | 7.83  | 1.54 | 0.54 | 0.39                          | 1.54 | 2.7  | 1.54          | 2.25            |
| 全南县 Quannan County     | 9.09  | 1.72 | 0.56 | 0.46                          | 1.72 | 2.8  | 1.66          | 2.48            |
| 安远县 Anyuan County      | 8.2   | 1.51 | 0.53 | 0.41                          | 1.51 | 2.65 | 1.52          | 2.23            |
| 宁都县 Ningdu County      | 9.95  | 1.89 | 0.7  | 0.5                           | 1.89 | 3.5  | 1.96          | 2.87            |
| 外圈 Outside circle      | 10.25   | 1.69 | 0.62 | 0.51                          | 1.69 | 3.08 | 1.76          | 2.54            |
| 大余县 Dayu County        | 17.8  | 1.3  | 0.41 | 0.89                          | 1.3  | 2.05 | 1.41          | 2.12            |
| 会昌县 Huichang County    | 9.02  | 1.6  | 0.57 | 0.45                          | 1.6  | 2.85 | 1.63          | 2.46            |
| 寻乌县 Xunwu County       | 9.68  | 2.43 | 0.99 | 0.48                          | 2.43 | 4.95 | 2.62          | 3.55            |
| 石城县 Shicheng County    | 9.29  | 1.65 | 0.55 | 0.46                          | 1.65 | 2.75 | 1.62          | 2.45            |
| 崇义县 Chongyi County     | 6.05  | 1.18 | 0.41 | 0.3                           | 1.18 | 2.05 | 1.18          | 1.7             |
| 龙南县 Longnan County     | 9.71  | 1.98 | 0.77 | 0.49                          | 1.98 | 3.85 | 2.11          | 2.98            |
| 合计 Total               | 9.39  | 2.11 | 0.65 | 0.47                          | 2.11 | 3.15 | 2.01          | 2.87            |

表5 赣州市农业面源污染等标污染负荷比

Tab.5 Pollutant loading of NPSP in equivalent standard in Ganzhou City

| 污染源<br>Pollutant source     | 污染物 Pollutants |        |       | 合计负荷比/%<br>Total load ratio | 累计负荷比<br>Cumulative load ratio |
|-----------------------------|----------------|--------|-------|-----------------------------|--------------------------------|
|                             | TP             | TN     | COD   |                             |                                |
| 畜禽养殖 Breeding               | 41.01          | 20.99  | 4.35  | 66.35                       | 66.35                          |
| 化肥施用 Chemical fertilizer    | 6.11           | 13.93  | 0     | 20.04                       | 86.39                          |
| 生活污水排放 Dormitory sewage     | 7.59           | 1.88   | 1.27  | 10.74                       | 97.13                          |
| 生活垃圾排放 Dormitory wastes     | 0.53           | 0.06   | 0.09  | 0.68                        | 97.81                          |
| 有机肥施用 Organic fertilizer    | 0.43           | 0.85   | 0.17  | 1.45                        | 99.26                          |
| 农作物秸秆 Crops straw           | 0.17           | 0.15   | 0.002 | 0.322                       | 99.582                         |
| 水产养殖 Aquiculture            | 0.02           | 0.35   | 0.002 | 0.372                       | 99.954                         |
| 土壤侵蚀 Soil erosion           | 0.002          | 0.001  | 0.043 | 0.046                       | 100                            |
| 合计负荷比 Total load ratio      | 55.862         | 38.211 | 66.35 | 100                         |                                |
| 累计负荷比 Cumulative load ratio | 55.862         | 94.073 | 100   |                             |                                |

2.4 赣州市农业面源污染严重程度的区域空间分异性分析

赣州各县市的综合污染“压力”排名从大到小依次排列(表 6):章贡区、南康市、信丰县、寻乌县、兴国县、于都县、龙南县、宁都县、瑞金市、赣县、全南县、会昌县、石城县、定南县、安远县、上犹县、大余县和崇义县。其种植业污染严重的区域为章贡区、信丰县、寻乌县等;养殖污染严重的区域为安远县、定南县、兴国县、宁都县、崇义县、章贡区、上犹县、石城县、于都县、大余县等。除了养殖业污染,都市圈中各区域污染均排在前 10 位。综合污染“响应”排名前列的有章贡区、南康市、信丰县、寻乌县、于都县、兴国县、龙南县、宁都县、瑞金市、赣县等(表 4) 都市圈均名列其中,其中章贡区、南康市的水质污染指数列于榜首。赣州各区域的压力与响应排名比较一致,其农业面源污染程度存在较大的空间分异性,多数指标显示都市圈、内圈、外圈;综合这二者态势,确立赣州市农业面源污染严重区域为章贡区、南康市、信丰县、寻乌县、兴国县、于都县、龙南县、宁都县、瑞金市、赣县等,都市圈均在其中。

值得注意的是,外圈的寻乌县和龙南县分别因种植污染、养殖污染较严重进入了严重污染区。崇义的大多数指标较低,但由于其养殖污染名列第 5 而面临严重污染预警。

表 6 赣州市农业面源污染国土等标排放系数

Tab. 6 The discharge coefficient of NPSP in equivalent standard bases on land area in Ganzhou City

| 分区<br>Zone             | 排放系数/(t·hm <sup>-2</sup> )<br>Discharge coefficient | 污染物等标排放系数/(t·hm <sup>-2</sup> )<br>Discharge coefficient in equivalent<br>standard for pollutants |      |      | 污染源等标排放系数/(t·hm <sup>-2</sup> )<br>Discharge coefficient in equivalent<br>standard for pollutant source |          |        |              |
|------------------------|---|---|------|------|---|----------|--------|--------------|
|                        |   | COD   | TN   | TP   | 种植业   | 养殖业      | 农村生活   | 土壤侵蚀         |
|                        |   |   |      |      | Planting  | Breeding | Living | Soil erosion |
| 都市圈 Core circle        | 5.81  | 0.51  | 1.9  | 3.4  | 1.53  | 3.35     | 0.83   | 0.1          |
| 章贡区 Zhanggong District | 9.15  | 0.84  | 3.2  | 5.11 | 2.8   | 5.19     | 1.15   | 0.01         |
| 赣县 Ganxian County      | 4.11  | 0.35  | 1.3  | 2.46 | 0.89  | 2.62     | 0.51   | 0.09         |
| 南康市 Nankang City       | 6.89  | 0.65  | 2.19 | 4.05 | 2.3   | 3.26     | 1.28   | 0.05         |
| 于都县 Yudu County        | 5.02  | 0.43  | 1.55 | 3.04 | 1.14  | 2.89     | 0.91   | 0.08         |
| 兴国县 Xinguo County      | 5.04  | 0.41  | 1.57 | 3.06 | 0.91  | 3.45     | 0.49   | 0.19         |
| 瑞金市 Ruijin City        | 4.52  | 0.39  | 1.44 | 2.69 | 1.11  | 2.69     | 0.65   | 0.07         |
| 内圈 Inside circle       | 4.13  | 0.36  | 1.35 | 2.42 | 0.96  | 2.67     | 0.44   | 0.06         |
| 信丰县 Xingfeng County    | 5.88  | 0.47  | 1.84 | 3.57 | 1.01  | 4.18     | 0.61   | 0.08         |
| 上犹县 Shangyou County    | 3.43  | 0.31  | 1.13 | 1.99 | 0.92  | 1.93     | 0.54   | 0.04         |
| 定南县 Dingnan County     | 3.6   | 0.31  | 1.19 | 2.1  | 0.65  | 2.52     | 0.39   | 0.04         |
| 全南县 Quannan County     | 3.83  | 0.35  | 1.32 | 2.16 | 1.15  | 2.35     | 0.29   | 0.04         |
| 安远县 Anyuan County      | 3.5   | 0.32  | 1.16 | 2.02 | 0.97  | 2.09     | 0.37   | 0.07         |
| 宁都县 Ning County        | 4.56  | 0.39  | 1.46 | 2.71 | 1.07  | 2.96     | 0.42   | 0.11         |
| 外圈 Outside circle      | 3.97  | 0.37  | 1.27 | 2.33 | 1.04  | 2.53     | 0.34   | 0.06         |
| 大余县 Dayu County        | 3.26  | 0.69  | 1.01 | 1.56 | 1.12  | 2.01     | 0.09   | 0.04         |
| 会昌县 Huichang County    | 3.81  | 0.35  | 1.26 | 2.2  | 1.21  | 2.09     | 0.43   | 0.08         |
| 寻乌县 Xunwu County       | 5.53  | 0.19  | 1.68 | 3.66 | 1.25  | 3.87     | 0.34   | 0.07         |
| 石城县 Shicheng County    | 3.68  | 0.36  | 1.27 | 2.05 | 1.36  | 1.74     | 0.53   | 0.05         |
| 崇义县 Chongyi County     | 2.7   | 0.23  | 0.91 | 1.56 | 0.64  | 1.8      | 0.2    | 0.06         |
| 龙南县 Longnan County     | 4.85  | 0.37  | 1.53 | 2.95 | 0.63  | 3.67     | 0.5    | 0.05         |
| 合计 Total               | 4.64  | 0.41  | 1.51 | 2.72 | 1.18  | 2.85     | 0.54   | 0.07         |

3 结 论

(1) 2007 年赣州市农业面源污染引起的 COD、TN、TP 绝对排放量分别为  $31.31 \times 10^4$ 、 $7.06 \times 10^4$ 、 $2.11 \times 10^4$  t/年,相应的等标排放量分别为  $1.48 \times 10^4$ 、 $7.06 \times 10^4$  和  $10.53 \times 10^4$  t/年。

(2) 2007 年赣州市因农业面源污染引起 COD、TN、TP 的排放浓度分别是 9.39、2.11、0.65 mg/L, TN、TP 均已达到严重污染水平, COD 显示为临界警戒水平。多数核算数值显示都市圈 > 内圈 > 外圈,都市圈的面源污染相对较严重。

(3) 2007 年赣州市农业面源污染的主要污染物为 TP 和 TN,其污染负荷比分别为 55.862% 和 38.211%; 主要污染源是畜禽养殖和化肥施用,其污染负荷比分别为 66.35% 和 20.04%。

(4) 2007年赣州各区域的农业面源污染程度存在较大的空间分异性,多数指标显示都市圈、内圈、外圈。综合污染的“压力”和“响应”指标排名比较一致,最终确定赣州市农业面源污染主要区域:章贡区、南康市、信丰县、寻乌县、兴国县、于都县、龙南县、宁都县、瑞金市、赣县。

## 4 讨 论

(1) 赣州农业面源污染主要来自畜牧业与种植业生产,属于生产型污染。因此,赣州市农业面源污染防治的主要任务是减少畜禽养殖比重,以土地消纳容量确定较合理的养殖容量;倡导畜禽生态养殖,提高畜禽粪便的资源化利用率,发展畜—沼—果生态种植模式;同时加大现存养殖污水的治理力度。

(2) 本文大部分数据来源于各种相关统计年报资料;污染源出自化学肥料损失、有机肥料损失、作物秸秆遗弃、畜禽养殖、水产养殖、生活污水排放、生活垃圾排放、土壤侵蚀等与农事生产有关的活动;污染物只核算COD、TN、TP等3种;人数限于乡村住户,镇内建成区住户没做统计,难免存在农业面源污染严重程度被低估的可能。另一方面,赣南村民有着良好传统,注重畜禽粪便资源化利用,如近些年推广的畜禽粪便能源化——沼气开发,发展畜—沼—果生态种植模式,随着沼气用户逐年增加,对减少畜禽养殖污染物的贡献将越来越突出。遗憾的是,这一生态模式中畜禽养殖污染物利用的数据统计资料还不尽详细,本次核算没有予以冲减这部分资源化利用的畜禽养殖污染物对水体生态系统的影响,因而在某种程度上可能高估畜禽养殖业的影响判定。而对于农业面源污染的响应核算是基于污染物或污染源对各区域地表水资源的均匀释放,实际上,各区域地表水资源分布是非常不均的。在以后的研究中将尝试以流域为单位,进一步探究赣州市农业面源污染的空间分异规律。

### 参考文献:

- [1] Hassen M, Fekadu Y, Gete Z. Validation of agricultural non-point source (AGNPS) pollution model in Kori watershed, South Wollo [J]. *Ethiopia International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2004, 6(2): 97-109.
- [2] Nigussie H, Fekadu Y. Testing and evaluation of the agricultural non-point source pollution model (AGNPS) on Augucho catchment, western Hararghe, Ethiopia [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2003, 99(1): 201-212.
- [3] Grunwalda S, Norton L D. Calibration and validation of a non-point source pollution model [J]. *Agricultural Water Management*, 2000, 45(1): 17-39.
- [4] Scheren P A G M, Zanting H A, Lemmens A M C. Estimation of water pollution sources in Lake Victoria, East Africa: Application and elaboration of the rapid assessment methodology [J]. *Journal of Environmental Management*, 2000, 58(4): 235-248.
- [5] Grunwald S, Frede H G. Using the modified agricultural non-point source pollution model in German watersheds [J]. *Catena*, 1999, 37(3): 319-328.
- [6] 胡雪涛, 陈吉宁, 张天柱. 非点源污染模型研究 [J]. *环境科学*, 2002, 23(3): 124-128.
- [7] 李怀恩. 估算非点源污染负荷的平均浓度法及其应用 [J]. *环境科学学报*, 2000, 20(4): 397-400.
- [8] 洪小康, 李怀恩. 水质水量相关法在非点源污染负荷估算中的应用 [J]. *西南理工大学学报*, 2000, 16(4): 384-386.
- [9] 钱秀红. 杭嘉湖平原农业非点源污染的调查评价及控制对策研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2001.
- [10] 赖斯芸, 杜鹏飞, 陈吉宁. 基于单元分析的非点源污染调查评估方法 [J]. *清华大学学报: 自然科学版*, 2004, 44(9): 1184-1187.
- [11] 陈敏鹏, 陈吉宁, 赖斯芸. 中国农业和农村污染的清单分析与空间特征识别 [J]. *中国环境科学*, 2006, 26(6): 751-755.
- [12] 王莉玮. 重庆市农业面源污染的区域分异与控制 [D]. 重庆: 西南大学, 2005.
- [13] 国家环境保护总局. 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: 77-78.
- [14] 陈洪波. 三峡库区水环境农业非点源污染综合评价与控制对策研究 [D]. 北京: 中国环境科学研究院, 2006.
- [15] 牟树森, 青长乐. 环境土壤学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1993: 207.