

# 四川省畜禽粪便排放时空分布及污染防控<sup>1</sup>

张晓华, 王 芳, 郑晓书, 许 鲜, 沈嘉妍

(四川农业大学管理学院, 四川 成都 611130)

**【摘要】:** 掌握畜禽粪便的时空分布, 有利于高效防控其污染环境的可能。采用排污系数法, 估算出 2000~2015 年间四川省畜禽粪便、COD 及氮磷产生量, 在此基础上, 分析了 2015 年四川省畜禽粪便的排放时空分布特征与畜禽粪便、氮、磷污染情况。结果表明: (1) 2000~2015 年, 四川省畜禽粪便平均产生量约 2.10 亿 t 猪粪当量, 其中猪、牛、家禽是当地环境威胁的主要畜禽种类; (2) 2015 年四川省产沼气潜力可观, 但大部分地区受到畜禽粪便污染, 其中德阳市、雅安市两地预警级别达 VI 级, 对环境影响严重; (3) 2015 年四川省氮、磷耕地负荷的平均值分别为  $78.45\text{kg}/\text{hm}^2$  和  $13.57\text{kg}/\text{hm}^2$ , 均低于欧盟的限量标准 (氮  $170\text{kg}/\text{hm}^2$ 、磷  $35\text{kg}/\text{hm}^2$ ), 但大部分地区面临氮、磷污染风险。其中成都市、德阳市、雅安市氮、磷污染风险均较高, 自贡市、泸州市等氮、磷污染风险整体不高, 但畜禽养殖量近 50% 环境容量, 这些地区应做好畜禽养殖总量控制及污染物消减措施。

**【关键词】:** 畜禽养殖; 粪便污染; 时空分布; 污染防控; 四川

**【中图分类号】:** X713

**【文献标识码】:** A

**【文章编号】:** 1004-8227 (2018) 02-0433-10

**【DOI】:** 10.11870/cjlyzyyhj201802023

畜禽养殖业促进了农村经济的发展与农民增收, 但随着畜禽养殖业的集约化程度不断提高, 畜禽粪便所带来的环境问题也越来越大。《第一次全国污染源普查公报》显示: 农业源已成为中国污染物的主要来源<sup>[1]</sup>, 其中畜禽养殖污染是重要组成部分。现阶段中国在畜禽粪便方面的研究主要集中在估算畜禽粪便产生量<sup>[2,3]</sup>、资源化利用<sup>[4,5]</sup>及畜禽粪便污染的危害与治理<sup>[6~9]</sup>等方面。学者们通常采用排污系数法来估算畜禽粪便产生量, 但上述方法存在两点不足: (1) 由于选用的排泄系数不同, 导致测算结果差异较大; (2) 在估算过程中, 未区分禽畜的出栏量与存栏量, 且对于环境承载能力的计算, 未将牧草地和林地纳入其中。近 10a 来, 有学者采用排污系数法估算了广西<sup>[10]</sup>、安徽<sup>[11]</sup>、河南<sup>[12]</sup>、海南<sup>[13]</sup>、湖北<sup>[14]</sup>、湖南<sup>[15]</sup>等地畜禽粪便排放量并评估了其对环境造成的影响。然而四川省这方面的研究还比较少, 目前仅有桂平婧等<sup>[16]</sup>采用阶段输出系数模型对四川省农业非点源污染负荷进行了估算与评价。

四川省作为禽畜养殖大省, 禽畜养殖面临较大的环境压力, 畜禽污染不仅影响到水、土壤、空气, 也影响到人类健康。由于区域、饲养量以及禽畜种类不同, 其排放量存在差异。因此, 本文采用排污系数法估算四川省 2000~2015 年畜禽粪便、氮、磷及 COD 的产生量, 在此基础上分析 2015 年四川省畜禽粪便的排放时空分布特征与畜禽粪便、氮、磷污染情况, 并为有效治理四川省畜禽粪便污染及实现畜牧业可持续发展提供科学依据。

## 1、研究方法

<sup>1</sup>[收稿日期]: 2017-07-06; [修回日期]: 2017-09-11

[基金项目]: 国家自然科学基金“中国生猪产业平稳供给机制研究”(71203150); 四川省社会科学研究“十三五”规划课题“环境干预政策下四川省畜牧业经济转型的对策研究”(SCI6B054)

[作者简介]: 张晓华 (1991~), 女, 硕士研究生, 研究方向为农业技术经济. E-mail: xiaohua520911@163.com

1.1 研究对象

以四川省 21 个市州为研究区域，使用 2000～2015 年的相关数据，研究各市州猪、牛、羊、马、家禽的粪便排放量。

1.2 数据来源

1.2.1 畜禽饲养量与饲养期

畜禽饲养量、耕地面积、牧草地面积的数据来源于 2016 年《四川统计年鉴》。

考虑到畜禽的生长期差异及避免重复计算，猪与家禽采用出栏量作为当年饲养量，牛、羊、马采用年末存栏量作为当年饲养量。由于中国暂未发布畜禽饲养期的数据，本文在综合相关文献基础上确定各类畜禽的饲养期：猪 199d，家禽 210d，牛、羊、马均为 365d<sup>[17~19]</sup>。

1.2.2 畜禽粪便排泄系数

畜禽粪便的排泄系数因畜禽品种、生长周期、饲养环境不同而存在差异，目前学术界并没有统一的标准。因此本文在综合比较相关研究的基础上，确定各类畜禽粪便日排系数与氮磷、COD 含量系数<sup>[2~21]</sup>见表 1。

表 1 畜禽粪便日排泄系数与氮、磷、COD 含量

排泄物	猪	牛	羊	马	家禽
粪量 (kg/头)	2.00	20.00	2.60	5.59	0.12
尿量 (kg/头)	3.30	10.00	—	2.88	—
总氮量 (g/头)	16.85	105.94	2.15	12.40	0.94
总磷量 (g/头)	3.88	11.33	0.46	1.60	0.15
COD 量 (g/头)	317.33	2533.97	0.46	37.00	10.28

1.3 估算方法

1.3.1 粪便产生量、总氮（磷）产生量、COD 量粪便产生量、总氮（磷）产生量、COD 总量的计算公式为：

$$Q = \sum_{i=1}^n N_i \times T_i \times P_i \tag{1}$$

式中：Q 为各类畜禽粪便排放量，万 t；N<sub>i</sub>为饲养量，万头/匹/羽；T<sub>i</sub>为饲养期，d；P<sub>i</sub>为日排泄系数，g/头或 kg/头；i 为第 i 种畜禽。

1.3.2 畜禽粪便的产沼潜力计算

畜禽粪便产沼气潜力的计算公式为：

$$E = Q \times W \times G \quad (2)$$

式中：E 为畜禽粪便产沼气潜力，亿 m<sup>3</sup>；Q 为 COD 产生量，亿 t；W 为 COD 去除率，W=80%；C 为产沼气系数，0.538m<sup>3</sup>·kg<sup>-1</sup>（以 COD 计）<sup>[22]</sup>。

### 1.3.3 猪粪当量计算

由于各类畜禽粪便的肥效不同，以各类粪便含氮量为基准统一换算为猪粪当量<sup>[23]</sup>，换算系数见表 2，猪粪当量的计算公式为：

猪粪当量=当年各类畜禽粪尿排泄量 x 换算系数 （3）

表 2 各类畜禽粪便猪粪当量换算系数

	猪粪	猪尿	牛粪	牛尿	家禽	羊粪	兔粪
氮（%）	0.65	0.33	0.45	0.80	1.37	0.80	1.16
猪粪当量换算系数	1.00	0.57	0.69	1.23	2.10	1.23	1.78

### 2.3.4 畜禽粪便负荷量承受程度的警报值 r 计算

畜禽粪便污染警报值分级见表 3。畜禽粪便负荷量承受程度的警报值 r，计算公式为：

$$r=q/p \quad (4)$$

式中：r 为畜禽粪便负荷量承受程度的警报值；q 为猪粪当量的耕地负荷，t/hm<sup>2</sup>；p 为有机肥理论最大适宜施肥量，通常取值 30t·hm<sup>2</sup>。

表 3 畜禽粪便污染警报值分级

r	<0.4	0.4~0.7	0.7~1	1.0~1.5	1.5~2.5	>2.5
对环境构成的污染威胁	无	稍有	有	比较严重	严重	很严重
分级级数	I	II	III	IV	V	VI

2.3.5 畜禽粪便氮/磷/COD 的环境负荷计算由于阿坝藏族羌族自治州、甘孜藏族自治州、凉山彝族自治州 3 地牧草地面积较大（占四川省牧草地总面积 80%以上），其对畜禽粪便的吸纳能力不容忽视，因此本文在计算环境负荷时考虑了这 3 个地区的牧草地面积。畜禽粪便氮/磷/COD 的环境负荷的计算公式为：

畜禽粪便氮/磷/COD 的环境负荷=畜禽粪便氮/磷/COD 总量÷耕地面积（含牧草地） （5）

### 2.3.6 畜禽养殖污染评估

单位耕地面积的畜禽粪便氮磷污染负荷量可间接反映畜禽养殖的污染状况。为便于比较与分析，将其它畜禽粪便总氮（磷）排放量折算为猪粪当量，畜禽养殖环境容量的计算公式为：

$$T_{N/P} = A \times C_{N/P} \quad (6)$$

$$PN = T_{N/P} / r \quad (7)$$

$$RN = \sum_{i=1}^n TN(P)_i / r \quad (8)$$

式中： $T_{N/P}$ 为耕地（含牧草地）总氮（磷）环境容量，万 t； $A$ 为耕地（含牧草地）总面积，万  $hm^2$ ； $C_{N/P}$ 为粪肥年施氮（磷）限量标准， $C_N=170kg \cdot hm^{-2}$ ， $C_P=35kg \cdot hm^{-2}$ ； $PN$ 为畜禽养殖环境容量，亿头猪当量； $r$ 为单位猪年粪便总氮（磷）排放量，万 t； $RN$ 为畜禽养殖实际数量，亿头猪当量； $TN(P)_i$ ，为第  $i$  种畜禽粪便年总氮（磷）排放量，万 t<sup>[24]</sup>。

### 3、结果与分析

#### 3.1 四川省 2000~2015 年畜禽粪便产生量、来源结构及耕地负荷

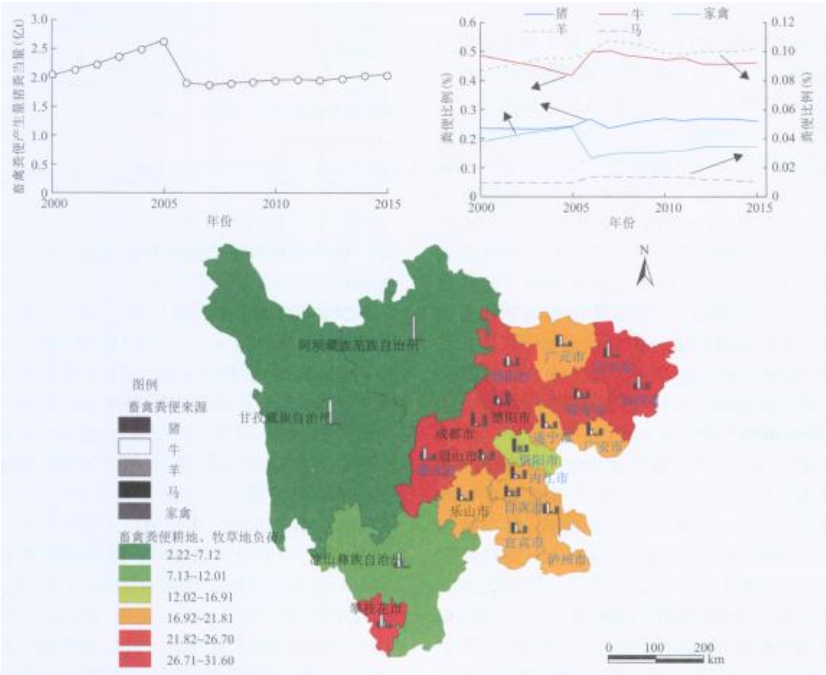


图 1 2000~2015 年四川省畜禽粪便产生量（a）、畜禽粪便来源组成（b）、2015 年四川省各地区畜禽粪便耕地负荷（c）

如图 1a 所示，2000~2015 年四川省畜禽粪便平均产生量约 2.10 亿 t 猪粪当量，其变化可以分为三个阶段：第一阶段（2000~2005 年），增长阶段。畜禽粪便猪粪当量从 2000 年的 2.05 亿 t 增长到 2.64 亿 t，年均增长率为 6.53%。这是受 2003 年的“非典”疫情影响，猪肉价格上涨，吸引大量社会闲余资本进入畜禽养殖业，畜禽养殖规模扩大。第二阶段（2005~2006 年），急剧减少阶段。从 2005 年的 2.64 亿 t 减少到 1.91 亿 t，净减少 0.73 亿 t，下降率为 27.65%。主要原因是 2006 年爆发的猪高热病，一时间造成养殖户和消费者的恐惧心理，导致畜禽需求减少。第三阶段（2006~2015 年），平稳阶段。从 2006 年的 1.91 亿 t 到 2015 年 2.04 亿吨，总体上比较平稳。主要原因是 2007 年以后，受疫情等多种因素影响导致畜禽有效供给不足，且 2008 年冰冻灾害、汶川地震及 2009 年的金融危机，大大加剧了畜禽价格上涨，养殖户便扩大养殖规模以增加利润，且 2008 年四川

省被列为育肥猪政策性保险试点省份，这大大增强了养殖户的抗风险能力，使四川省生猪业长期稳定发展<sup>[25]</sup>。

由图 1b 所示，四川省畜禽粪便的主要组成来源是牛、猪、家禽，其各年的粪便产生量占全年畜禽粪便总产生量的比例介于 41.42%~50.16%、22.97%~26.66%和 13.19%~23.93%，而羊、马各年畜禽粪便产生量占全省畜禽粪便总产生量的比例介于 0.90%~1.35%、8.62%~10.66%之间。四川省牛、猪、家禽对畜禽粪便产生量贡献较大，而羊、马的贡献较小。

如图 1c 显示，四川省畜禽粪便污染具有明显的区域分布特征，东部地区畜禽粪便耕地负荷较大，而西部地区及南部大部分地区相对较小。分析原因是四川东部大部分地区的经济较西部地区发达，畜禽产品需求量较大，耕地面积较小，对畜禽粪便的吸纳能力有限，导致畜禽粪便耕地负荷较大；而西部地区，畜禽饲养量虽远远大于东部地区，但牧草面积大，对畜禽粪便的吸纳能力强，因此西部地区对环境威胁不大。此外，四川省不同地区畜禽粪便的来源结构不同，其中粪便所占比重较大者即为威胁当地环境的畜禽种类。因此，猪、牛、家禽是四川省当地环境威胁的主要畜禽种类。西部地区及南部地区主要是牛（43.44%~91.07%）、猪（14.07%~29.26%）、羊（4.84%~26.20%），中部地区主要是猪（24.77%~48.65%）、家禽（22.62%~42.58%）、牛（9.14%~35.67%），东部地区主要是猪（37.15%~52.18%）、牛（9.07%~37.12%）、家禽（21.30%~31.52%），东北地区主要是牛（22.48%~53.42%）、猪（23.37%~47.83%）。

如表 4 所示，2015 年四川省畜禽粪便耕地负荷平均值为 20.43t/hm<sup>2</sup>，警报值为 0.68，分级级别为 n 级，表明畜禽粪便已对环境稍有污染。在各市州中只有阿坝藏羌族自治州、甘孜藏族自治州、凉山彝族自治州三地畜禽粪便产生量未造成区域污染，其余地区均受到不同程度的畜禽污染，其中德阳市、雅安市两地预警级别达 VI 级，即畜禽粪便污染较严重。主要原因是这些地区畜禽饲养量较大，耕地、牧草面积偏少。值得注意的是，尽管成都市、自贡市等预警级别达 III 级或 II 级，未对环境构成较严重的威胁，但其 R 值并不小，因此畜禽粪便污染防控工作不可忽视。

表 4 2015 年四川省 21 市州畜禽粪便耕地负荷及预警级别

市州	耕地负荷（t/hm <sup>2</sup> ）	R	对环境构成的污染威胁	分级级数
成都市	25.52	0.851	有	III
自贡市	20.48	0.683	稍有	II
攀枝花市	28.58	0.953	有	III
泸州市	19.39	0.646	稍有	II
德阳市	31.60	1.053	较严重	IV
绵阳市	24.85	0.828	有	III
广元市	19.01	0.634	稍有	II
遂宁市	19.2	0.64	稍有	II
内江市	18.57	0.619	稍有	II
乐山市	20.88	0.696	稍有	II
南充市	23.78	0.793	有	III
眉山市	22.15	0.738	有	III
宜宾市	18.35	0.612	稍有	II
广安市	20.46	0.682	稍有	II
达州市	27.35	0.912	有	II
雅安市	30.10	1.003	较严重	IV
巴中市	27.25	0.908	有	III
资阳市	16.66	0.555	稍有	II
阿坝藏羌族自治州	2.22	0.074	无	I

甘孜藏族自治州	2.93	0.098	无	I
凉山彝族自治州	9.86	0.329	无	I

### 3.2 四川省 2000~2015 年畜禽粪便 COD 产生量、及耕地负荷产沼气潜力

2000~2015 年四川省畜禽粪便 COD 平均产生量为 1549.99 万 t。如图 2a 所示，畜禽粪便 COD 产生量的变化趋势可分为 3 个阶段：第一阶段（2000~2005 年），增长阶段。从 200 年的 1541.76 万 t 增长到 1876.65 万 t，平均增长率为 5.05%。第二阶段（2005~2006 年），急剧减少阶段。从 2005 年的 1876.65 万 t 急剧下降至 1451.79 万 t，下降率为 22.64%。第三阶段（2006~2015 年），平稳阶段。从 2006 年的 1451.79 万 t 平稳增加至 2015 年 1512.46 万 t，总体上比较平稳。这与畜禽粪便产生量变化趋势一致，其变化原因也一致。

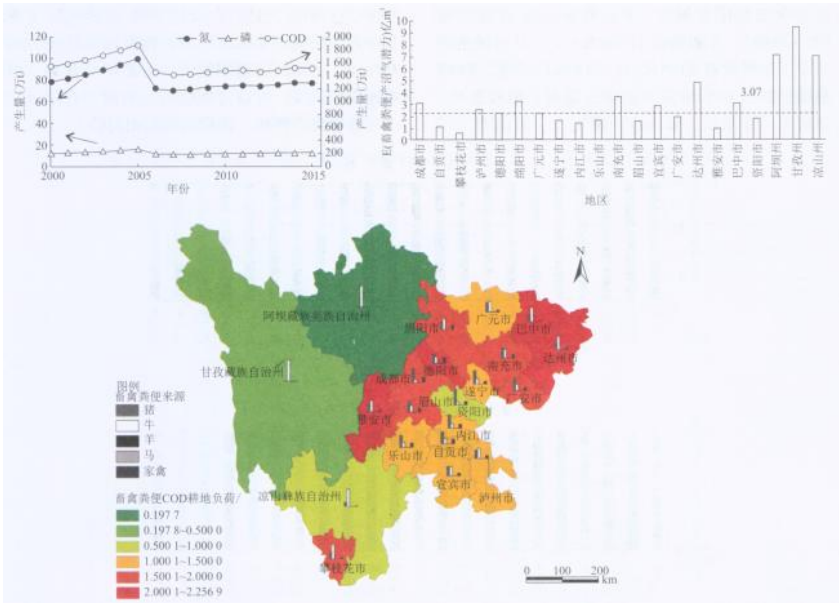


图 2 2000~2015 年四川省畜禽粪便 COD 产生量 (a)、2015 年四川省畜禽粪便产沼气潜力 (b) 及畜禽粪便 COD 耕地负荷 (c)

2015 年四川省产沼气潜力为 65.10 亿  $m^3$ ，折算成标煤 464.81 万 t 标准煤 ( $1m^3$  沼气=0.714kg 标煤)，相当于当年四川省天然气年消费量的 20.44%，可见四川省粪便能源潜力较为可观。如图 2b 所示，四川省各地区产沼气潜力平均值为 3.07 亿  $m^3$ ，其中产沼气潜力超过平均值的地区有成都市 (3.11 亿  $m^3$ )、绵阳市 (3.25 亿  $m^3$ )，南充市 (3.64 亿  $m^3$ )、达州市 (4.87 亿  $m^3$ )、巴中市 (3.08 亿  $m^3$ )、阿坝藏羌族自治州 (7.15 亿  $m^3$ )、甘孜藏族自治州 (9.47 亿  $m^3$ )、凉山彝族自治州 (7.06 亿  $m^3$ )。因此，这些地区可大力推动沼气工程建设，且配套种植作物，形成“畜—沼—作物”生态循环养殖模式，推动农牧循环的绿色发展。

如图 2c 所示，2015 年四川省 COD 耕地负荷较严重的是雅安市 (2.26t/hm<sup>2</sup>)、巴中市 (2.20t/hm<sup>2</sup>)、德阳市 (2.09t/hm<sup>2</sup>)、达州市 (2.06t/hm<sup>2</sup>)，均超过 2.0t/hm<sup>2</sup>，其 COD 贡献率较大的畜禽种类主要是牛 (31.62%~64.19%)、猪 (27.03%~42.08%)，其中德阳市除了牛 (31.62%)、猪 (42.08%) 贡献率较大，家禽的 COD 贡献率达 26.30%，居全省第一；而 2015 年 COD 平均耕地负荷介于 1.0~2t/hm<sup>2</sup> 之间的包括成都市、自贡市、攀枝花市、泸州市、绵阳市、广元市、遂宁市、内江市、乐山市、南充市、眉山市、宜宾市、广安市，其 COD 贡献率较大的畜禽种类主要是猪 (26.69%~62.93%)、牛 (13.20%~67.38%)；低于 1.0t/hm<sup>2</sup> 的有资阳市 (0.991/1<sup>12</sup>)、阿坝藏羌族自治州 (0.201/ hm<sup>2</sup>)、甘孜藏族自治州 (0.26t/hm<sup>2</sup>)、凉山彝族自治州 (0.64t/hm<sup>2</sup>)，其

COD 贡献率较大的畜禽种类主要是牛（78.71%~99.13%），另外凉山彝族自治州还包括猪（18.71%）。

3.3 耕地、牧草地总氮（磷）负荷

畜禽粪便中氮、磷作为肥料适用于农田可提高农作物产量，起到改良土壤的作用，但使用过量会使农作物减质<sup>[26]</sup>、减产及对农田、水体造成污染<sup>[27~29]</sup>。2000~2015 年，四川省氮、磷平均产生量分别为 79.27 万 t，12.33 万 t。如图 3a、图 3b 所示，2015 年四川省 21 市州畜禽粪便氮、磷贡献率较大的是猪、牛、家禽，尤其阿坝藏羌族自治州、甘孜藏族自治州、凉山彝族自治州 3 地牛的氮、磷贡献率最大，其中甘孜藏族自治州牛的氮贡献率达 96.80，磷贡献率达 94.79%，居全省畜禽粪便氮、磷贡献率第一。这是因为这些地区牛的词养量较大。

如图 3c 所示，2015 年四川省氮、磷耕地负荷的平均值分别为 78.45 和 13.57kg/hm<sup>2</sup>，均远低于欧盟的限量标准（单位面积农地总氮负荷 170kg/hm<sup>2</sup>、总磷负荷 35kg/hm<sup>2</sup>）。但从区域角度而言，四川省有 11 个地区单位面积总氮、磷负荷超过四川省平均值，包括成都市、攀枝花市、德阳市、绵阳市、乐山市、南充市、眉山市、广安市、达州市、雅安市、巴中市，这些地区主要分布在四川的东北部及中部，这是因为其经济相对发达，畜禽产品需求较大，畜禽饲养量大，但耕地面积偏少，对畜禽粪便的吸纳能力有限，从而导致畜禽粪便氮、磷耕地负荷相对较大。

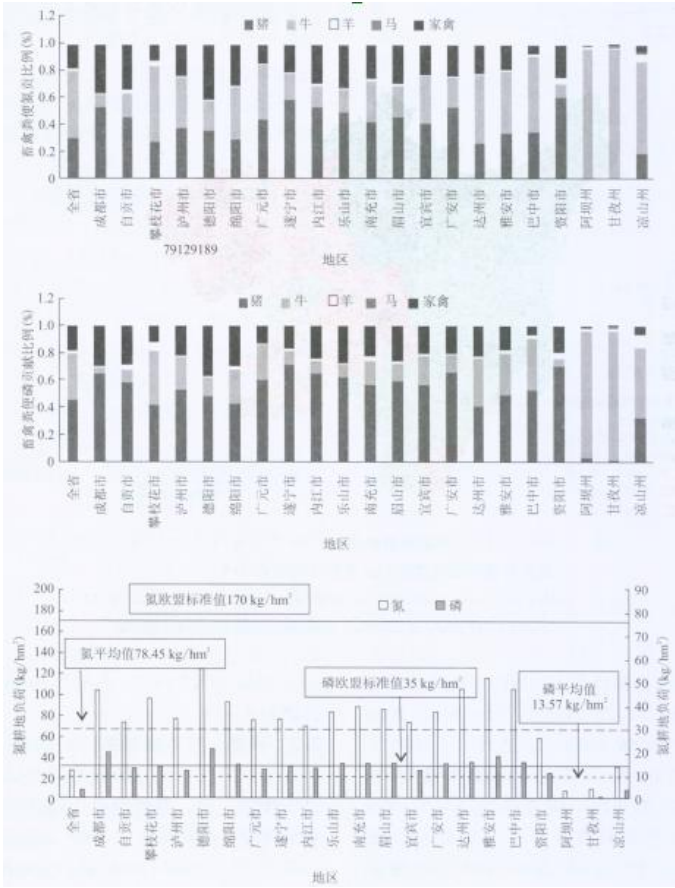


图 3 2015 年四川省各地区氮、磷贡献率（a、b）及氮、磷耕地负荷（c）

3.4 四川省畜禽粪便污染防治



为了便于计算与分析，将其它畜禽粪便总氮（磷）排放量折算为猪当量，以耕地（含牧草地）的氮磷承载力，计算出 2015 年四川省各地区畜禽养殖容量（以亿头猪当量计）、环境容量与实际养殖总量。由于耕地的氮磷养分并非都来自畜禽粪便，本文根据相关文献<sup>[30]</sup>，假定氮磷养分的 50%来源于畜禽粪便，将实际养殖总量与 50%环境容量比值作为风险指数，对 2015 年四川省各地区氮、磷污染风险进行评估，结果见表 5、图 4a、图 4b。

表 5 2015 年四川省各地区畜禽粪便养殖容量、50%环境容量、实际养殖量及污染风险指数

地区市州	养殖容量(亿头猪当量)		50%环境容量（亿头猪当量）		实际养殖量（亿头猪当量）		污染风险指数	
	以 N 计	以 p 计	以 N 计	以 p 计	以 N 计	以 p 计	以 N 计	以 p 计
成都市	0.21	0.19	0.11	0.10	0.13	0.11	1.23	1.16
自贡市	0.11	0.10	0.05	0.05	0.05	0.04	0.87	0.79
攀枝花市	0.04	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	1.14	0.84
泸州市	0.21	0.19	0.10	0.09	0.09	0.07	0.91	0.74
德阳市	0.13	0.11	0.06	0.06	0.09	0.07	1.47	1.25
绵阳市	0.23	0.20	0.11	0.10	0.12	0.09	1.10	0.87
广元市	0.18	0.16	0.09	0.08	0.08	0.06	0.89	0.74
遂宁市	0.14	0.12	0.07	0.06	0.06	0.05	0.91	0.85
内江市	0.14	0.12	0.07	0.06	0.06	0.05	0.83	0.77
乐山市	0.14	0.12	0.07	0.07	0.07	0.06	0.98	0.89
南充市	0.27	0.24	0.14	0.12	0.14	0.11	1.04	0.89
眉山市	0.12	0.11	0.06	0.05	0.06	0.05	1.01	0.9
宜宾市	0.25	0.22	0.12	0.11	0.11	0.08	0.87	0.72
广安市	0.16	0.14	0.08	0.07	0.08	0.06	0.98	0.89
达州市	0.28	0.25	0.14	0.12	0.17	0.12	1.24	0.93
雅安市	0.05	0.05	0.03	0.02	0.04	0.02	1.36	1.07
巴中市	0.16	0.15	0.08	0.07	0.10	0.07	1.24	0.94
资阳市	0.22	0.20	0.11	0.10	0.08	0.07	0.7	0.68
阿坝藏羌族自治州	4.26	3.81	2.13	1.90	0.21	0.10	0.10	0.05
甘孜藏族自治州	4.27	3.82	2.13	1.91	0.28	0.13	0.13	0.07
凉山彝族自治州	1.29	1.15	0.65	0.58	0.24	0.14	0.37	0.25

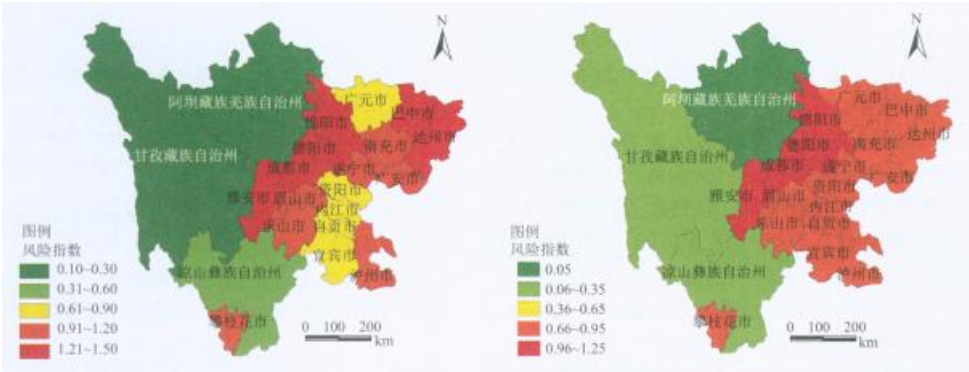


图 4 2015 年四川省 21 市州氮（a）、磷（b）污染风险



如表 5 所示，以总氮、磷为衡量标准，2015 年四川省实际养殖总量分别为 2.30 亿头猪当量、1.57 亿头猪当量，总量未超过 50%环境容量（6.99 亿头猪当量、6.23 亿头猪当量），其中成都市、德阳市、雅安市的实际养殖量超出 50%环境容量，且氮、磷污染风险指数都较高，超过 1。如图 4a、图 4b 显示，除阿坝藏羌族自治州、甘孜藏族自治州、凉山彝族自治州三地氮、磷污染风险较小，其余地区均面临氮、磷污染风险，其中成都市、德阳市等地氮污染风险较高，风险指数达 0.91~1.50，成都市、德阳市、绵阳市、雅安市磷污染风险较高，风险指数达 0.96~1.25；说明这些地区受氮、磷污染风险较高，应加强污染防控工作。

通过对四川省畜禽粪便排放时空及畜禽粪便污染状况的分析，可以看出，四川省除西部地区畜禽粪便污染及氮磷污染较小，其余地区均受到不同程度的污染。对于德阳市、雅安市等畜禽污染较严重的地区及成都市、攀枝花市等氮、磷污染风险较高的地区，应强制实行畜禽养殖总量控制，依据资源环境承载能力，科学地确定养殖品种与规模，优化畜牧业区域布局<sup>[31]</sup>；对于自贡市、泸州市等畜禽养殖接近 50%环境容量，但氮、磷污染风险整体不高的地区，应加强对点源的总量控制；对于阿坝藏羌族自治州、甘孜藏族自治州、凉山彝族自治州 3 地的畜禽污染与氮磷污染较小的地区，可根据其环境承载量适当扩大畜禽养殖规模，并采取政策措施防治环境污染。

## 5、结 论

（1）2000~2015 年四川省畜禽粪便平均猪粪当量约 2.10 亿 t，COD 平均产生量为 1549.99 万 t，氮、磷平均产生量分别为 79.27 万 t，12.33 万 t。其中牛、猪、家禽对畜禽粪便产生量贡献较大，其各年粪便量占全年畜禽粪便总量的比例介于 41.42%~50.16%、22.97%~26.66%和 13.19%~23.93%，而羊、马的贡献较小，仅介于 0.90%~1.35%、8.62%~10.66 之间。

（2）2015 年四川省畜禽粪便耕地负荷平均值为 20.43t/hm<sup>2</sup>，警报值为 0.68 分级级别为 II 级，畜禽粪便对环境稍有污染，但德阳市、雅安市两地畜禽粪便预警级别达 VI 级，对环境影响严重。且四川省畜禽粪便污染具有明显的区域分布特征，东部地区畜禽粪便耕地负荷较大，而西部地区及南部大部分地区相对较小。猪、牛、家禽作为当地环境威胁的主要畜禽种类，应是畜禽面源污染的重点控制对象。

（3）2015 年四川省产沼气潜力为 65.10 亿 m<sup>3</sup>，折合 464.81 万吨标准煤，全省产沼气潜力可观。其中成都市、绵阳市，南充市、达州市、巴中市、阿坝藏羌族自治州、甘孜藏族自治州、凉山彝族自治州 7 个地区产沼气潜力较大，可大力推动沼气工程建设，配套种植作物，形成“畜—沼—作物”生态循环养殖模式。

（4）2015 年四川省大部分地区受到氮、磷污染。其中成都市、德阳市、雅安市氮、磷污染风险均较高，应强制实行畜禽养殖总量控制，优化畜牧业区域布局；自贡市、泸州市等地氮、磷污染风险整体不高，但畜禽养殖量近 50%环境容量，应加强对点源的总量控制；阿坝藏羌族自治州、甘孜藏族自治州、凉山彝族自治州 3 地氮、磷污染均较小，可适当扩大养殖规模，并采取相应措施防止畜禽粪便污染。

### [参考文献]:

[1]石 嫣，程存旺，朱 艺，等. 中国农业源污染防治的制度创新与组织创新——兼析《第一次全国污染源普查公报》[J]. 农业经济与管理，2011（2）：27-37.

[2]孟祥海，程国强，张俊飏，等. 中国畜牧业全生命周期温室气体排放时空特征分析[J]. 中国环境科学，2014，34（8）：2167-2176.

[3]周天墨，付 强，诸云强，等. 中国分省畜禽产污系数优化及污染物构成时空特征分析[J]. 地理研究，2014，33（4）：

- [4]李 敏, 王海星. 农业废弃物综合利用措施综述[J]. 中国人口·资源与环境, 2012, v. 22; No. 141 (S1): 37-39.
- [5]国 辉, 袁红莉, 耿 兵, 等. 牛粪便资源化利用的研究进展[J]. 环境科学与技术, 2013 (5): 68-75.
- [6]林 源, 马 骥, 秦 富. 中国畜禽粪便资源结构分布及发展展望[J]. 中国农学通报, 2012, 28 (32): 1-5.
- [7]DIETZF J, HOOGERVORST NJ P .Towards a sustainable and efficient use of manure in agriculture : The Dutchcase[J].Environmental and Resource Economics, 1991, 1 (3): 313—332.
- [8]HOAR B R, ATWILL E R, FARVER T B , et al. Estimating maximum possible environmental loading mounts of cryptosporidium parvum attributable to adult beef cattle[J].Quantitative microbiology, 2000, 2 (1): 21-36.
- [9]蒋松竹, 蔡 琼, 李美娣, 等. 畜禽养殖污染防治的法律体系现状及思考[J]. 环境污染与防治, 2013, 35 (10): 93-98.
- [10]廖 青, 黄东亮, 江泽普, 等. 广西畜禽粪便产生量估算及对环境影响评价[J]. 南方农业学报, 2013, 44 (4): 627-631.
- [11]宋大平, 庄大方, 陈 巍. 安徽省畜禽粪便污染耕地、水体现状及其风险评价[J]. 环境科学, 2012, 33 (1): 110-116.
- [12]李冬梅, 姜翠玲, 孙敏华. 河南省畜禽粪便污染及耕地负荷时空变化特征分析[J]. 四川环境, 2014, 33 (5): 34-39.
- [13]刘 越, 孟海波, 沈玉君, 等. 海南省畜禽粪便资源分布及总量控制研究[J]. 中国农业科技导报, 2015, 17 (4): 114-121.
- [14]黄美玲, 夏 颖, 范先鹏, 等. 湖北省畜禽养殖污染现状及总量控制[J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26 (2): 209-219.
- [15]谭美英, 武深树, 邓云波, 等. 湖南省畜禽粪便排放的时空分布特征[J]. 中国畜牧杂志, 2011, 47 (14): 43-48.
- [16]桂平婧, 王 丰, 李善朴, 等. 基于阶段输出系数模型的农业非点源污染负荷估算与评价——以四川省为例[J]. 浙江农业学报, 2016, 28 (1): 110-118.
- [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.
- [18]易 秀, 叶凌枫, 刘意竹, 等. 陕西省畜禽粪便负荷量估算及环境承受程度风险评价[J]. 干旱地区农业研究, 2015, 33 (3): 205-210.
- [19]刘 忠, 段增强. 中国主要农区畜禽粪尿资源分布及其环境负荷[J]. 资源科学, 2010, 32 (5): 946-950.
- [20]王方浩, 马文奇, 窦争霞, 等. 中国畜禽粪便产生量估算及环境效应[J]. 中国环境科学, 2006, 26 (5): 614-617.
- [21]谭美英, 武深树, 邓云波, 等. 湖南省畜禽粪便排放的时空分布特征[J]. 中国畜牧杂志, 2011, 47 (14): 43-48.

---

[22]耿 维, 胡 林, 崔建宇, 等. 中国区域畜禽粪便能源潜力及总量控制研究[J]. 农业工程学报, 2013, 29 (1): 171-179.

[23]姚 升, 王光宇. 基于分区视角的畜禽养殖粪便农田负荷量估算及预警分析[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2016 (1): 72-84.

[24]朱建春, 张增强, 樊志民, 等. 中国畜禽粪便的能源潜力与氮磷耕地负荷及总量控制[J]. 农业环境科学学报, 2014, 33 (3): 435-445.

[25]谢安玲, 吴秀敏. 四川省生猪市场价格波动分析[J]. 经济研究导刊, 2013 (25): 96-98.

[26]索东让, 王 平. 河西走廊有机肥增产效应研究[J]. 土壤通报, 2002, 33 (5): 396-398\_

[27]张绪美, 董元华, 王 辉, 等. 中国畜禽养殖结构及其粪便N污染负荷特征分析[J]. 环境科学, 2007, 28 (6): 1311-1318.

[28]李 飞, 董锁成. 西部地区畜禽养殖污染负荷与资源化路径研究[J]. 资源科学, 2011, 33 (11): 2204-2211.

[29]王 奇, 陈海丹, 王会. 基于土地氮磷承载力的区域畜禽养殖总量控制研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27 (3): 279-284.

[30]黄美玲, 夏 颖, 范先鹏, 等. 湖北省畜禽养殖污染现状及总量控制[J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26 (2): 209-219.

[31]宁启文. 全国畜禽养殖废弃物资源化利用会议在长沙召开[N/OL]. 农民日报, 2017-06-28.

[http://7spzx.foodsl.com/show\\_2702563.htm](http://7spzx.foodsl.com/show_2702563.htm).