

规模化畜禽养殖场粪便养分数据空间化表征方法*

阎波杰¹ 潘瑜春²

(1. 闽江学院地理科学系, 福州 350108; 2. 国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100097)

摘要: 针对目前进行规模化养殖场粪便养分分配, 主要以行政单元为单位将规模化养殖统计数据总量按农田面积简单分配, 认为所有的农用地之间都是均匀的, 而忽视了农用地块之间存在差异性的问题, 利用 GIS 空间分析技术, 结合农用地地块间的空间差异性以及规模养殖畜禽粪便作为肥料施用的特殊性, 构建了规模化畜禽养殖统计数据空间化算法, 并结合农用地最大养分负荷, 实现从规模畜禽养殖统计数据到区域畜禽粪便养分供给的空间化转换, 最后以福州市闽侯县上街镇为例进行了算法的实际应用。结果表明研究区农用地氮、磷最大养分负荷分别为 169.994 kg/hm² 和 34.973 kg/hm²。无论是畜禽养殖粪便氮养分还是磷养分, 都未超过算法设定的阈值。

关键词: 规模化养殖场 粪便养分 空间差异性 养分负荷 空间化

中图分类号: P208; S181 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)11-0154-05

引言

畜禽养殖业的快速发展, 产生了大量的畜禽养殖粪便, 尤其是规模化养殖场, 产生的畜禽养殖粪便量更多, 这些畜禽养殖粪便处理得当可成为有用的有机肥料返田使用, 若处理不当就可能成为环境污染的重要源头^[1-2]。目前, 规模养殖的相关问题引起了研究者的高度重视, 开展了一系列以规模畜禽养殖粪便统计数据为基础的相关研究^[3-11], 这些研究主要集中在大尺度上以行政单元为单位将规模化养殖统计数据总量按农田面积简单分配, 该分配方法认为一个区域的规模化养殖是均匀分布的, 若在小尺度上分析, 其结果必然与实际会有较大的差异, 无法体现区域内部的差异性。基于区域的规模化养殖分布不均匀的思维, 阎波杰等^[12]利用空间插值方法对畜禽养殖数据进行了空间化的探索。但由于地块间的空间差异性以及畜禽粪便的特殊性, 肥料施用不满足地理学第一定律 (Tobler's first law), 空间自相关性弱, 因此, 现有的空间插值方法无法准确地将畜禽粪便养分向农用地养分转化。

本文利用 GIS 空间分析技术, 结合农用地地块间的空间差异性, 结合规模养殖畜禽养殖粪便作为肥料施用的特殊性, 构建规模化畜禽养殖统计数据空间化算法, 并利用 SuperMap GIS 软件和 C# 编程语言实现将畜禽养殖规模数据分摊到农用地地块中, 解

决从规模化畜禽养殖到区域畜禽粪便养分供给的空间化转换。

1 规模化畜禽养殖统计数据空间化算法

根据规模养殖畜禽养殖粪便作为肥料施用到农用地的影响因素, 并参考作者前期研究成果^[13], 进行了模型的重新构建, 主要利用德尔菲法确定规模化畜禽养殖场与农用地的最短实际自然距离、农用地面积、农用地类型、农用地坡度和规模化畜禽养殖场到农用地的运输经济性作为影响规模化养殖畜禽粪便养分空间化的主要因素, 并利用层次分析法确定各影响因素的权重。其构建的规模化畜禽养殖统计数据空间化算法为

$$Q = \sum_{i=1}^m P_m \left(\frac{\lambda_1}{o_i \sum_{i=1}^n \frac{1}{o_i}} + \frac{\lambda_2 s_i}{\sum_{i=1}^n s_i} + \lambda_3 e_i + \lambda_4 f_i + \lambda_5 g_i \right) \tag{1}$$

为防止养分分配过量导致环境污染, 农用地最大养分负荷不能超过一定的阈值, 由于国内还未有这样的标准, 本文参考欧盟的标准 (单位面积农用地氮负荷和磷负荷分别为 170、35 kg/hm²)^[14-15], 具体的计算公式为

$$\frac{Q}{S} \leq f_{\max} = \begin{cases} 35 \text{ kg/hm}^2 & (\text{磷}) \\ 170 \text{ kg/hm}^2 & (\text{氮}) \end{cases} \tag{2}$$

收稿日期: 2013-12-05 修回日期: 2013-12-31

* 国家自然科学基金资助项目 (41271232)、福建省青年科技人才创新资助项目 (2011J05115)、福建省中青年骨干教师教育资助项目 (JA13259)、福州市科技资助项目 (2013-S-109) 和闽江学院育苗资助项目 (YKY1105)

作者简介: 阎波杰, 副教授, 博士, 主要从事地理信息系统应用和农业信息化研究, E-mail: yanbj_2008@163.com

式中 Q ——某农用地从规模化畜禽养殖场得到的养分总量
 S ——农用地面积
 P_m ——某规模化畜禽养殖场养分
 o_i ——某规模化畜禽养殖场与其最经济运输距离范围内某农用地之间的最短实际自然距离
 s_i ——某农用地面积
 e_i ——某农用地类型对应的值
 f_i ——某规模化畜禽养殖场到农用地的运输经济性
 g_i ——某农用地坡度
 λ_1 ——规模化畜禽养殖场与农用地的最短实际自然距离对规模化畜禽养殖统计数据空间化的影响权重
 λ_2 ——农用地面积对规模化畜禽养殖统计数据空间化的影响权重
 λ_3 ——农用地类型对规模化畜禽养殖统计数据空间化的影响权重
 λ_4 ——某畜禽养殖场到农用地的运输经济性的权重
 λ_5 ——农用地坡度对规模化畜禽养殖统计数据空间化的影响权重
 n ——某规模化畜禽养殖场最经济运输距离范围内农用地数目
 m ——某农用地获得养分的畜禽养殖粪便养分源个数

规模化畜禽养殖统计数据空间化实现还涉及到如下算法：

(1)空间实际自然距离计算算法

$$D = \sum_{i=0}^c \sqrt{(x_i - x_{i+1})^2 + (y_i - y_{i+1})^2} \quad (3)$$

式中 D ——规模养殖场到某农用地之间的实际自然距离
 c ——规模养殖场到某农用地之间可近似被分成的直线段数目

(x_i, y_i) 、 (x_{i+1}, y_{i+1}) ——直线段的端点坐标
该计算方法主要解决某规模养殖场到某农用地之间各条道路的实际自然距离。

(2)Dijkstra 最短路径算法^[16-18]

Dijkstra 算法的基本思路是：假设网络 $W(V, U)$ 每个结点 v_i 都有一对标号 t_i, p_i ，其中 d_i 是从起点 v_a 到点 v_i 的最短路径的长度（结点到其本身的长度为 0，结点间不连通的长度为 $+\infty$ ）； p_i 则是从起点 v_a 到点 v_i 的最短路径中点 v_i 的前一结点。则求解从起点 v_a 到点 v_i 的最短路径算法的基本过程如下：

①初始化：起点 a 设置为： $t_a = 0, p_a = \text{null}$ ；其他点 i ： $t_i = +\infty, p_i = \text{null}$ ；标记起点 $k = a$ ，其他所有点设为未标记。
②距离计算：计算从所有已标记的点 k 到与其直接连接的所有其他未标记的点 i 的距离 t_{ki} ，并令

$$t_i = \min[t_i, t_k + t_{ki}] \quad (4)$$

③选取下一点：从上述结点集中，选取 t_i 最小所对应的点为最短路径中的下一结点 j ，并作标记。
④找到 j 的前一点：从已标记的点中找到直接连接到点 j 的点 x ，作为前一点，设置为： $j = x$ 。
⑤标记点 j ：如果所有的点均已标记，则最短路径寻找结束；否则记 $k = j$ ，转第②步继续。

Dijkstra 算法是基于畜禽养殖粪便的最大经济运输距离范围内，结合上述空间实际自然距离计算结果，确定某畜禽养殖场到某可施用畜禽养殖粪便的农用地之间的最短距离。

(3)缓冲区分析算法^[19]

$$H = \{x | d(x, a) \leq r\} \quad (5)$$

式中 H ——缓冲区分析的范围
 r ——缓冲区半径，其取值是畜禽养殖粪便最经济运输距离，该值与畜禽养殖粪便种类密切相关
 d_i ——某规模化畜禽养殖场与其最经济运输距离范围内某农用地之间的距离

缓冲区算法在文中主要是确定规模养殖场基于最经济运输距离能将畜禽养殖粪便运输到达耕地的范围，并提取范围内所有的农用地。

2 规模化畜禽养殖统计数据空间化实现的思路及流程

利用 GIS 强大的空间分析能力并结合 SuperMap GIS 软件和 C # 编程语言编程实现了将规模畜禽养殖粪便统计数据向农用地养分转换，即实现规模畜禽养殖粪便统计数据的空间化。具体步骤如下：获取规模畜禽养殖场的空间位置坐标（利用 GPS 技术采集）和农用地质心的空间位置坐标（利用 ArcGIS 10 软件计算提取）。利用排泄系数法计算规模养殖场畜禽养殖养分量。以该空间位置为中心，以最经济运输距离为半径进行空间缓冲分析。判断该缓冲区内的农用地数目。利用空间实际自然距离计算算法分别计算规模畜禽养殖场到农用地的空间实际距离之间的所有道路段长度。利用 Dijkstra 算法确定某畜禽养殖场到某可施用畜禽养殖粪便的农用地之间的最短空间实际距离。按规模化畜禽养殖统计数据空间化算法将规模畜禽养殖场产生的畜禽养殖粪便养分分配到空间缓冲分析内的

农用地。同理,其他的规模养殖场的畜禽养殖粪便养分也进行相似分配。最后,汇总各农用地获得的养分。计算农用地养分负荷。检验农用地养分负荷是否大于所允许的最大负荷。其具体的实现算法流程如图 1 所示。

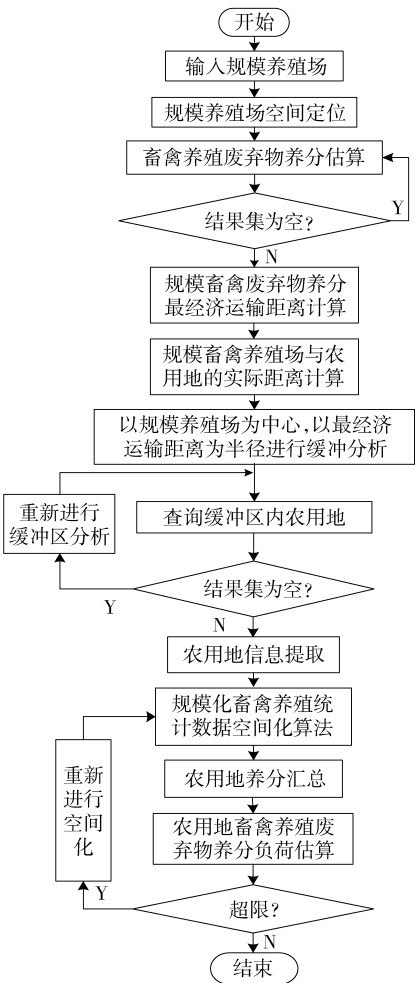


图 1 规模化畜禽养殖统计数据空间化流程图

Fig. 1 Flow of specialization of statistical data of scale raising farms

3 案例应用

选择福建省闽侯县上街镇为试验区域,该区域地处福州市城郊区域,交通方便,紧靠消费市场,各类不同规模的养殖场较多。区域内采用 Q5GIS 采集器及实地调查获得 58 个不同类型和规模的规模养殖场,其中以养猪和养鸭为主要畜禽养殖品种。参考相关文献利用排泄系数法及畜禽养殖粪便养分含量系数估算规模养殖场的畜禽养殖养分^[20-22],以这些规模畜禽养殖场为畜禽养殖粪便养分源并根据规模化畜禽养殖统计数据空间化算法,进行规模养殖场畜禽粪便养分的空间化。本文共采集 1 096 块农用地地块,结合上街镇畜禽养殖场粪便作为有机肥的施肥习惯主要采集耕地、菜地、园地和农业设施

用地 4 种类型。

其中 58 个规模养殖场畜禽养殖粪便氮养分的计算主要经过以下几个步骤:通过 Q5GIS 采集器获取实际规模畜禽养殖场的空间面积。由于大部分规模化养殖场按照一定的畜禽养殖行业标准进行设计,因此,参照作者前期研究的成果可利用规模化养殖的空间面积,结合面积比例法,可获得规模畜禽养殖场的畜禽养殖统计数据^[9]。基于上述畜禽养殖统计数据,利用排泄系数法可获得 58 个规模养殖场畜禽养殖氮养分量。由于不是所有规模化养殖场都按照一定的畜禽养殖行业标准进行设计,因此估算的规模养殖场畜禽养殖氮养分量与实际的统计数据或多或少存在一定的偏差,但该偏差基本不影响本研究的算法验证。

本文假设前提是规模养殖场粪便全部直接用于还田,则根据规模化畜禽养殖统计数据空间化算法将 58 个不同类型和规模的规模养殖场畜禽养殖粪便进行空间化分配,具体计算结果见图 2、3。农用地中畜禽养殖粪便氮养分含量平均值为 22. 727 kg,最大值为 90. 187 kg,最小值为 3. 665 kg,其中农用地氮最大养分负荷为 169. 994 kg/hm²。农用地中畜禽养殖粪便磷养分含量平均值为 15. 861 kg,最大值为 119. 755 kg,最小值为 0. 753 kg,农用地磷最大养分负荷为 34. 973 kg/hm²。无论是畜禽养殖粪便氮养分,还是磷养分都未超过算法设定的阈值。因此,通过该算法可将规模养殖场畜禽养殖粪便养分无污染地施用于其最大经济运输距离范围内的农用地,任一块农用地接受到的畜禽养殖粪便均未超过其最大畜禽养殖粪便养分负荷且可体现区域内农用地之间接受畜禽养殖粪便养分存在的空间差异性。

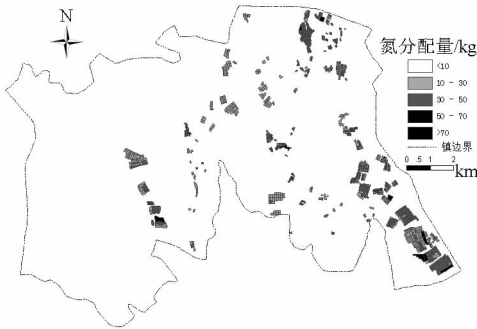


图 2 规模化畜禽养殖场粪便氮空间化分配结果图

Fig. 2 Result of specialization of nitrogen of scale raising farms

4 结束语

利用 GIS 空间分析技术,结合空间实际自然距离计算算法、Dijkstra 算法、空间缓冲区分析、农用地地块间的空间差异性,及规模养殖畜禽养殖粪便作为

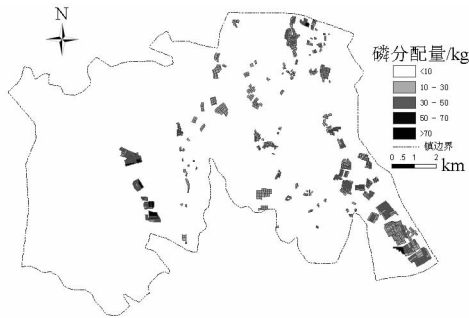


图 3 规模化畜禽养殖场粪便磷空间化分配结果图

Fig.3 Result of specialization of phosphorous of scale raising farms

肥料施用的特殊性,构建了规模化畜禽养殖统计数据空间化算法,并基于农用地最大养分负荷阈值,利用 SuperMap GIS 软件和 C#编程语言编程实现了将

规模畜禽养殖粪便统计数据向农用地的养分转换。实际应用表明该算法可实现畜禽养殖粪便养分的空间化,即研究区规模养殖场畜禽养殖粪便养分可无污染地施用于其最大经济运输距离范围内的农用地,任一块农用地接受到的畜禽养殖粪便均未超过其最大畜禽养殖粪便养分负荷且可体现区域内农用地之间接受畜禽养殖粪便养分存在的空间差异性,这一算法比以行政单元为单位将规模化养殖统计数据总量按农田面积简单分配所实现的养分分配方式更接近于实际。该结果可指导施肥者较合理地将畜禽养殖粪便施用于农用地,也可对畜禽养殖业生产空间布局、农业环境污染控制及区域土地资源优化配置等相关研究提供决策依据。

参 考 文 献

- 1 中国农业大学,上海市农业广播电视学校,华南农业大学. 家畜粪便学[M]. 上海:上海交通大学出版社,1997.
- 2 Bassanino M, Sacco D, Zavattaro L, et al. Nutrient balance as a sustainability indicator of different agro-environments in Italy[J]. Ecological Indicators, 2011, 11(2): 715 - 723.
- 3 Kohyama K, Hojito M, Sasaaki H, et al. Estimation of the amount of nutrients in livestock manure[J]. Soil Science and Plant Nutrition, 2006, 52(4): 576 - 577.
- 4 刘东,马林,王方浩,等. 中国猪粪尿 N 产生量及其分布的研究[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(4): 1591 - 1595.
Liu Dong, Ma Lin, Wang Fanghao, et al. Amount and distribution of N excretion from pig manure in China[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2007, 26(4): 1591 - 1595. (in Chinese)
- 5 Song K Y, Li Y, Ouyang W, et al. Manure nutrients of pig excreta relative to the capacity of cropland to assimilate nutrients in China[J]. Procedia Environmental Sciences, 2012, 13: 1846 - 1855.
- 6 王辉,董元华,张绪美,等. 集约化养殖畜禽粪便农用对土壤次生盐渍化的影响评估[J]. 环境科学, 2008, 29(1): 183 - 188.
Wang Hui, Dong Yuanhua, Zhang Xumei, et al. Risk of soil salinisation by application of concentrated animal manures[J]. Environmental Science, 2008, 29(1): 183 - 188. (in Chinese)
- 7 王辉,董元华,张绪美,等. 江苏省集约化养殖畜禽粪便盐分含量及分布特征分析[J]. 农业工程学报, 2007, 23(11): 229 - 233.
Wang Hui, Dong Yuanhua, Zhang Xumei, et al. Salinity contents and distribution of dry animal manures on intensified-farms in Jiangsu Province[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(11): 229 - 233. (in Chinese)
- 8 丁雄. 规模养殖废弃物生物质能综合利用工程能值分析[J]. 南昌大学学报:理科版, 2013, 37(3): 301 - 306.
Ding Xiong. Emergy synthesis for scale breeding waste biomass integrated utilization project [J]. Journal of Nanchang University: Natural Science, 2013, 37(3): 301 - 306. (in Chinese)
- 9 阎波杰,赵春江,潘瑜春,等. 规模化养殖畜禽粪便量估算及环境影响研究[J]. 中国环境科学, 2009, 29(7): 555 - 560.
Yan Bojie, Zhao Chunjiang, Pan Yuchun, et al. Estimation of the amount of livestock manure and its environmental influence of large-scaled culture based on spatial information[J]. China Environmental Science, 2009, 29(7): 555 - 560. (in Chinese)
- 10 朱建春,李荣华,张增强,等. 陕西规模化猪场猪粪与饲料重金属含量研究[J]. 农业机械学报, 2013, 44(11): 98 - 104.
Zhu Jianchun, Li Ronghua, Zhang Zengqiang, et al. Heavy metal contents in pig manure and feeds under intensive farming and potential hazard on farmlands in Shaanxi Province, China[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(11): 98 - 104. (in Chinese)
- 11 李文哲,徐名汉,李晶宇. 畜禽养殖废弃物资源化利用技术发展分析[J]. 农业机械学报, 2013, 44(5): 135 - 142.
Li Wenzhe, Xu Minghan, Li Jingyu. Prospect of resource utilization of animal faeces wastes[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(5): 135 - 142. (in Chinese)
- 12 阎波杰,吴文英,潘瑜春,等. 畜禽养殖废弃物统计数据空间化方法[J]. 江南大学学报:自然科学版, 2011, 10(6): 653 - 657.
Yan Bojie, Wu Wenying, Pan Yuchun, et al. Study on the specialization of statistical data of livestock and poultry raising[J]. Journal of Jiangnan University: Natural Science Edition, 2011, 10(6): 653 - 657. (in Chinese)
- 13 阎波杰,赵春江,潘瑜春. 畜禽废弃物养分资源分配方法研究——以北京市大兴区为例[J]. 资源科学, 2010, 32(5): 951 - 958.

Yan Bojie, Zhao Chunjiang, Pan Yuchun, et al. A study on the distribution of livestock manure nutrient resources[J]. Resources Science,2010,32(5):951-958. (in Chinese)

14 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.
Geng Wei, Hu Lin, Cui Jianyu, et al. Biogas energy potential for livestock manure and gross control of animal feeding in region level of China [J]. Transactions of the CSAE,2013,29(1):171-179. (in Chinese)

15 Oenema O, Van Liere E, Plette S, et al. Environmental effects of manure policy options in the Netherlands[J]. Water Science & Technology,2004,49(3):101-108.

16 张锦明,洪刚,文锐,等. Dijkstra 最短路径算法优化策略[J]. 测绘科学,2009,34(5):33-34,106.
Zhang Jinming, Hong Gang, Wen Rui, et al. Optimization strategies of the Dijkstra's shortest route algorithm[J]. Science of Surveying and Mapping, 2009, 34(5):33-34,106. (in Chinese)

17 王华. 基于 Dijkstra 算法的物流配送最短路径算法研究[J]. 计算机与数字工程,2011,39(3):48-50.
Wang Hua. Logistics distribution shortest path based on Dijkstra algorithm[J]. Computer & Digital Engineering,2011,39(3):48-50. (in Chinese)

18 郭仁忠. 空间分析[M]. 北京:高等教育出版社,2001.

19 崔爽,苏鸿,叶良松,等. 一种基于空间对象的缓冲区分析算法[J]. 地理与地理信息科学,2011,27(1):38-41.
Cui Shuang, Su Hong, Ye Liangsong, et al. A buffer analysis algorithm based on spatial object[J]. Geography and Geo-Information Science,2011,27(1):38-41. (in Chinese)

20 彭里,王定勇. 重庆市畜禽粪便年排放量的估算研究[J]. 农业工程学报,2004,20(1):288-292.
Peng Li, Wang Dingyong. Estimation of annual quantity of total excretion from livestock and poultry Chongqing Municipality [J]. Transactions of the CSAE,2004,20(1):288-292. (in Chinese)

21 全国农业技术推广服务中心. 中国有机肥料养分志[M]. 北京:中国农业出版社,1999.

22 杨飞,杨世琦,诸云强,等. 中国近 30 年畜禽养殖量及其耕地氮污染负荷分析[J]. 农业工程学报,2013,29(5):1-11.
Yang Fei, Yang Shiqi, Zhu Yunqiang, et al. Analysis on livestock and poultry production and nitrogen pollution load of cultivated land during last 30 years in China[J]. Transactions of the CSAE,2013,29(5):1-11. (in Chinese)

Research on Characterization Method of Statistical Data of Scale Raising Farms

Yan Bojie¹ Pan Yuchun²

(1. Department of Geography, Minjiang University, Fuzhou 350108, China

2. National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097, China)

Abstract: The present method for allocating the nutrient of livestock manure from the scale raising farms is simply allocating the total amount of statistical data of scale raising farms according to the area of farmland taking administration cell as unit. In this method, it is thought that there are no differences among the farmlands and the amount of statistical data of scale raising farms is only closely related to the area of farmland in a administration cell. The specialization algorithm of statistical data of scale raising farms was constructed based on the spatial differences among the farmlands and the particularity of livestock manure from the scale raising farms, when it applied as the fertilizer to farmland using theory and technique of GIS spatial analysis. With the maximum nutrient load of farmland, the statistical data of scale raising farms were transformed to the supply of regional nutrient of livestock manure. Finally, the specialization algorithm was carried out at the town of Shangjie to realize the application. The results of practical application show that the maximum values of nitrogen and phosphorus load of farmland were 169.994 kg/hm² and 34.973 kg/hm², which both were below the threshold value of 170 kg/hm² and 35 kg/hm² respectively. And it also shows that the method could reflect the spatial differences between the farmlands and was closer to the practical results of livestock manure than the present method.

Key words: Scale raising farms Nutrient from livestock manure Spatial difference Nutrient load Specialization