

基于 GIS 的畜禽养殖废弃物土地处理适宜性评价研究

曾 悦^{1,2}, 洪华生¹, 王卫平¹, 曹文志¹, 陈能汪¹

(1. 厦门大学教育部海洋环境科学重点实验室, 环境科学研究中心, 福建 厦门 361005; 2. 福建省闽江学院化学系, 福建 福州 350011)

摘 要: 以福建省龙岩市新罗区铁山镇为研究区域, 对畜禽养殖废弃物土地处理的适宜性进行了评价。主要探讨了评价因子的遴选以及因子量化过程, 通过目标定位比较法确定因子权重, 利用地理信息系统技术的空间分析功能及图形和属性结合, 将区域自然、环境、社会和经济等多因素通过指数加和模型实现了对畜禽养殖废弃物土地处理适宜性的评价。结果表明, 该研究区域有 24.05 % 的土地适宜施用畜禽养殖废弃物, 同时根据相应的适宜程度建议采用不同的管理措施。

关键词: 畜禽养殖废弃物; 土地处理适宜性; 目标定位比较法; 地理信息系统; 指数加和模型

中图分类号: X713, X87 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672 – 2043(2005)03 – 0595 – 05

GIS – Based Evaluation of Suitability for Application of Animal Wastes on Land

ZENG Yue^{1,2}, HONG Hua-sheng¹, WANG Wei-ping¹, CAO Wen-zhi¹, CHEN Neng-wang¹

(1. Key Laboratory of Marine Environment Science of Ministry of Education, Environmental Science Research Center, Xiamen University, Xiamen 361005, China; 2. Department of Chemistry, Minjiang Institute, Fuzhou 350011, China)

Abstract: Application of animal wastes on land is an effective approach to recycle potential agricultural pollutants, while achieving agricultural sustainability. Overall suitability for animal waste application in fields may vary depending on various site characteristics, including the changes of biophysical, environmental, social and economic factors. This paper presents a method of evaluating land suitability of animal waste application based on geographic information system in Tieshan Town, Xinluo County, Longyan City, Fujian Province, China. The approach includes a procedures of splitting entire region to establish proper evaluating cell, selection of reasonable evaluating factors and quantifying these factors with objective – orientated comparative method. The method has primarily taken land use effects, soil type and fertility, topography, proximity to roads and surface water bodies, and other political issues into consideration. Finally, application of GIS techniques, including multicriteria spatial analysis as well as combination of graph and attribute, are used to evaluate the land suitability based on weighted linear combination model. The results indicated that only 24.05% of the area was found to be suitable for animal waste application, while most of which was distributed in a valley along a mainstream because of hilly characteristics of the site. The high, medium and low suitability sites accounted for 0.28%, 5.61% and 18.16% respectively. Different management measures, which are implemented to reduce nutrient losses, should be adjusted according to various degrees of the site suitability. The outcome of integral evaluation provided scientific support and theory base for both government policy – makers and farmers. This approach based on GIS could also be used as an example for other regions where may encounter similar environmental problems from the application of animal waste are present.

Keywords: animal waste; site suitability of land application; objective orientated comparison(OOC); GIS; weighted linear combination model (WLC).

畜禽粪便还田作为肥料,是世界各国农业处理畜禽养殖废弃物的传统做法,在改良土壤、提高农业产量方面取得了很好的效果^[1,2]。虽然目前还有包括化学、生物、工程等(例如沼气发酵、堆肥处理、加工作为饲料等)各种处理养殖废弃物的技术方法可供利用,但由于粪肥还田方法技术投资少,环境经济效益好,即便在发达国家这种方法仍得到广泛应用^[3]。

畜禽养殖废弃物土地处理系统受到地形、土壤属性、土地利用、与河流和居民区的距离等区域性因素的影响,有着明显的地域差异性。在敏感区域施用粪肥会引发农业非点源污染以及恶臭污染,既造成环境污染又影响周边居民生活。因此,要正确施用粪肥,实现养殖业可持续发展,必须综合考虑自然、环境、社会和经济等因素,从中遴选粪肥施用的适宜区域。地理信息系统(GIS)是一种强大的空间数据管理和分析工具,现已广泛应用资源管理、环境监测、灾害评估、城市与区域规划等研究领域^[4]。鉴于遴选适宜区域涉及到空间因素以及多影响因素的叠加,因此有必要引入 GIS 技术,以此为辅助手段,进行畜禽养殖废弃物土地处理适宜性的评价研究。

1 方法与步骤

1.1 研究区概况

研究区龙岩市新罗区铁山镇位于福建省九龙江流域的上游,面积 127.89 km²,属南方典型红壤区,境内低山,地形复杂,土地形态多样,主要河流龙津溪为九龙江北溪上源,铁山镇地形详见图 1。近年来该镇养殖业迅猛发展,至 2002 年生猪存栏达 61 335 头,家禽 1 664 400 羽。由于大多数畜禽养殖场位于河道附近,大量养殖废弃物随冲洗水直接进入地表水体,水环境污染问题日趋严重。因此选择该区域作为研究区,分析该区域废弃物土地处理能力,对保护环境、促进养殖业可持续发展具有重要的意义。

1.2 基础数据库的建立

收集图形资料:土壤图 1:50 000,2002 年末 TM 卫片,DEM(25 m×25 m)。对 TM 卫片解译(分辨率 30 m×30 m)采用非监督分类方法进行图像分类。利用桌面 GIS 软件 MapInfo,通过屏幕数字化完成地图数字化录入、编辑和拼接,建立龙岩市新罗区铁山镇畜禽养殖废弃物土地处理适宜性评价基础数据信息库。

1.3 评价单元的划分

本文是基于量化为主的畜禽养殖废弃物土地

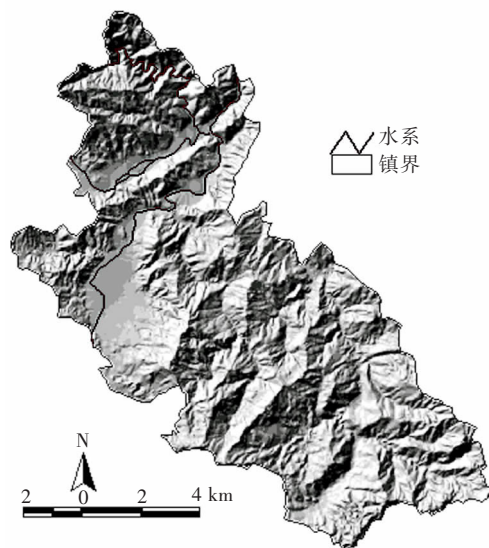


图 1 研究区福建省龙岩市新罗区铁山镇地形示意图

Figure 1 Diagram for the studied area: Tieshan town, Xinluo County, Longyan City, Fujian Province, China

处理适宜性评价,评价过程包含大量的图形空间叠加与代数、逻辑运算等。栅格方式采用点对点的运算,可以极容易地进行加、减、乘、除、乘方、开方、对数等方面的运算,结果只是栅格中数值发生变化,其位置则保持相对不变,而且计算速度很快。以上优点使得栅格数据方式在 GIS 的空间分析中占有很重要的地位^[5]。为此,本文根据评价精度(1:50 000),将研究区域划分为 476 037 个 25 m×25 m 的栅格,即 476 037 个畜禽养殖废弃物土地处理评价单元。每 1 个栅格既是信息提取的源泉,又是评价结果显示的单元。

1.4 评价因子的选取及其量化分级

进行畜禽养殖废弃物土地处理适宜性评价时,不可能也没有必要将所有的影响因子都考虑进去,必须选取那些能够充分代表自然、环境、社会经济因素的评价因子。因此,我们在分析已有的研究成果、结合野外典型区域调查和走访当地科技人员及农户的基础上,并根据现有的国内外废弃物土地处理技术及养殖业污染管理的法律法规,遴选了土地利用、与城镇居民距离、与河流距离、土壤、坡度、与道路距离、与养殖场距离、土壤肥力等 8 项作为畜禽养殖废弃物土地处理适宜性评价因子,见表 1。

由于评价因子都有一定的适宜范围,在此适宜范围内,随着因子的强度变化,其适宜程度也各不相同。为了衡量各因子的适宜程度,我们将某一评价因子对满足畜禽养殖废弃物土地处理的最适宜程度与

表 1 养殖废弃物土地处理评价因子的排除标准以避免敏感区域的环境风险

Table 1 Exclusionary criteria applied to input factors to avoid risks involved in animal waste application in sensitive agricultural fields		
评价因子	评价标准	相关文献
土地利用/植被	耕地、果园、竹林可施用粪肥,其他不可施用	参考现有管理措施
与城镇居民区距离	最小距离不得小于 250 m,越远越好	[6][7][8]
与河流距离	与地表水体距离不得小于 100 m,越远越好	[6][7][8]
土壤	对高降雨区、坡地及沙质容易产生径流和渗透性较强的土壤,不宜施用粪肥或粪肥用量过高	畜禽养殖业污染防治技术规范
坡度	小于 25 度,越小越好	中华人民共和国水土保持法
与道路距离	25 m 范围内不得施用,越近越好	[6][7][8]
与养殖场距离	大于 100 m,小于粪肥的经济运输距离 1300 m	[6][7][8]
土壤肥力	在确定粪肥的最佳用量时需要对土壤肥力和粪肥肥效进行测试评价,并应符合当地环境容量的要求。粪肥施用区域土壤可利用磷小于 1 254 mg · kg ⁻¹ 。磷含量越少越好。	畜禽养殖业污染防治技术规范;[9]

不适宜程度理解为 1 和 0 两种特殊情形,其余则处于连续过渡的中间状态。这样,任意评价单元对评价因子的适宜程度都可以用[0, 1]间的数值来表示。即当评价因子值越大表示畜禽养殖废弃物土地处理适宜程度越高(如,距离河流和城镇居民点距离越远越好),则采用计算式(1)

$$F_i = \frac{R_i - R_{\min}}{R_{\max} - R_{\min}} \tag{1}$$

评价因子值越小,表示畜禽养殖废弃物土地处理适宜程度越高(如坡度、与道路距离),则采用式(2)

$$F_i = 1 - \frac{R_i - R_{\min}}{R_{\max} - R_{\min}} \tag{2}$$

式中: F_i 为评价单元分级; R_i 为评价单元赋值; $R_{\max}$ 为最大值; $R_{\min}$ 为最小值。

必须说明的是,某些评价因子在一定条件下,其对畜禽养殖废弃物土地处理适宜度为零,这表明在该条件下,畜禽养殖废弃物不能施用,而且人工很难改变这种条件。因此本文在适宜性评价时规定,某评价因子一旦满足表 1 中的临界条件,无论其他因子的条件如何好,皆视为废弃物不适宜施用区域,划分出这些区域为非评价区。同时,从环保和经济角度出发,鉴于该区域属丘陵地区,低山上种植了竹等经济作物,高于 500 m 的山地农户不会施用畜禽养殖废弃物,因

表 2 目标定位比较法确定的各评价因子权重

Table 2 Determination of the weights of input factors using the an objective oriented comparison method											
评价因子	目标									总和	权重
	A	B	C	D	E	F	G	H	I		
土地利用/植被	1	1/2	0	1	1/2	0	1	0	0	4	4/24 = 0.17
与城镇邻近	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1/24 = 0.04
与水系邻近	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1/24 = 0.04
土壤质地	1/2	1/2	1	1	1	0	1	0	0	5	5/24 = 0.21
坡度	1	1/2	0	1	1/2	0	0	0	0	3	3/24 = 0.12
与道路邻近	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1/24 = 0.04
与养殖场邻近	0	0	0	0	0	1	0	1	1	3	3/24 = 0.13
土壤肥力	1	1	1	1	1	1/2	1/2	0	0	6	6/24 = 0.25
总和										24	$\Sigma = 1$

注: A 为减少地表水污染; B 为减少对地下水污染; C 为减少土壤污染; D 为减少养分地表径流失; E 为减少养分淋失; F 为避免过度施用粪肥; G 为提高养分利用率; H 为减少粪肥施用费用; I 为减少大气污染(恶臭)。评分标准: 0 为无贡献; 1/2 为部分贡献; 1 为主要贡献。

此将这些区域也定为非评价区。

1.5 评价因子权重的确定

参评因子对评价影响的大小, 主要根据权重的不同来体现。确定权重的方法很多, 本文采用“目标定位比较”法(Objective oriented comparison, OOC)^[6], 该方法的目标和分数通过专家咨询法确定。各个因素的权重和评价等级见表 2。

1.6 构建畜禽养殖废弃物土地处理适宜性评价模型

针对评价目标, 根据已确定的各因子 S_i 值与权重 W_j , 建立如下数学模型即指数加和法 (Weighted Linear Combination, WLC) 来确定土地处理的适宜性级别:

$$S_i = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n F_{ij} W_j \tag{3}$$

式中： S_i 为评价单元的畜禽养殖废弃物土地处理适宜度； m 为评价目标数； F_j 为第 j 各因子的土地处理适宜度； W_j 为第 j 个因子的权重值； n 为评价因子的个数。

1.7 畜禽养殖废弃物土地处理适宜性评价分级

本文为便于计算和统计，将适宜度扩大 100 倍，即适宜度范围为 0 ~ 100 之间。评价单元的适宜性 S_i 值，即为该评价单元畜禽养殖废弃物土地处理适宜程度。这些数值从高到低是渐变的，其没有截然的界线。本文根据土地适宜性分析的习惯方法，将评价结果分为适宜与不适宜 2 大类。

不适宜类即为划分出来的非评价区域。适宜类中利用 ArcView GIS 中的相等组距函数分为 3 类，根据适宜程度高低分为最适宜级、中等适宜级和临界适宜级。具体的技术流程见图 2。

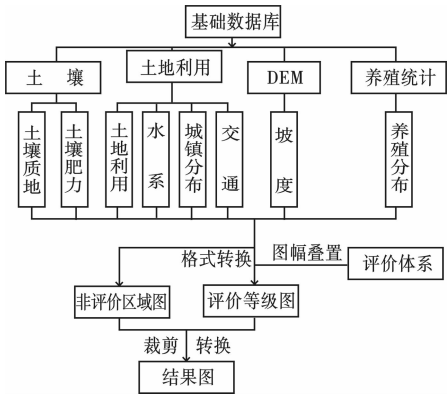


图 2 畜禽养殖废弃物土地处理适宜性评价技术流程图
Figure 2 Technical flowchart of evaluation of land suitability for animal waste application

2 结果与分析

依据上述方法在 GIS 支撑下进行畜禽养殖废弃物土地处理适宜性评价，形成龙岩市新罗区铁山镇畜禽养殖废弃物土地处理的适宜性评价图，见图 3，评价的统计结果见表 3。结果表明，铁山镇适宜施用畜禽养殖废弃物的土地共 30.75 km²，占总土地面积的 24.05 %。从中可看出综合考虑自然、环境、社会和经济等因素后，适宜施用养殖废弃物的土地面积并不多。但该区域以低山丘陵为主，因此能够有 24.05 % 的面积施用养殖废弃物已经比较理想。从图 3 可见，适宜区域基本分布在河谷地带，其中高度和中度适宜区大多分布在主要干流龙津溪两岸。

根据畜禽养殖废弃物土地处理适宜程度，提出相应管理措施，减少养分流失。

(1) 高度适宜区，面积 0.36 km²，占全镇土地总面

表 3 畜禽养殖废弃物土地处理适宜性评价结果

Table 3 Results of the suitability evaluation of animal wastes application in Tieshan town

等级	面积/km ²	比例/%
高度适宜	0.36	0.28
中度适宜	7.17	5.61
临界适宜	23.22	18.16
不适宜	97.14	75.95
总面积	127.89	100

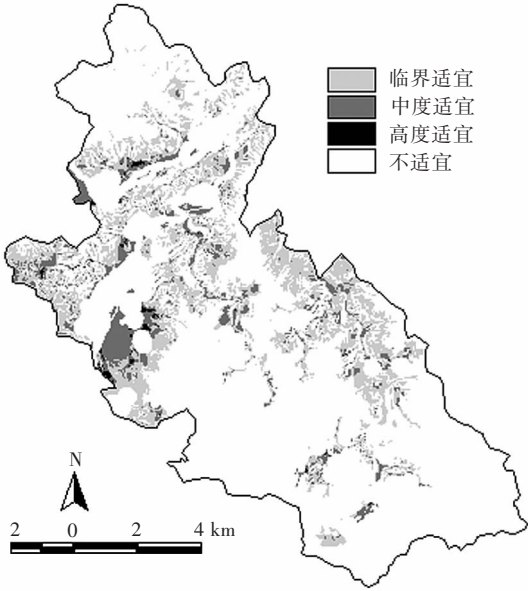


图 3 畜禽养殖废弃物土地处理适宜性评价图

Figure 3 Sites suitable for animal waste application in Tieshan town
积的 0.28 %。由于该区域的自然地理条件，高度适宜区域面积少，而且零星分散在河谷地带。对于该区域施用粪肥时要注意废弃物施用的适时性，避免在多雨时施用，同时将 1 次大量施用改为多次少量施用^[11]。

(2) 中度适宜区，面积 7.17 km²，占全镇土地总面积的 5.61 %。在该区域应尽量采用减少地表径流产生的管理措施，如将畜禽养殖废弃物施用在犁过的土地，畜禽养殖废弃物深施，翻耕入土，以减少地表流失和氨挥发、恶臭等影响到周边居民^[12]。

(3) 临界适宜区，面积 23.22 km²，占全镇土地总面积的 18.61 %。临界适宜区占了适宜区的绝大部分，虽然这些区域可施用养殖废弃物，但由于适宜程度低，在施用除了以上适宜区的管理措施，还必须考虑其他减缓管理措施。比如，设置植被过滤带、沿等高线建立拦截坝等^[12、13]。

3 讨论

(1) 基于量化的区域畜禽养殖废弃物土地处理

适宜性评价,经过现场调查、专家咨询,选取评价因子及其量化处理,并确定因子权重及构建适宜性评价数学模型,在该区域地理信息系统的支持下,将自然、环境、社会和经济属性有机地结合起来,最终得出评价结果。该适宜结果反映了畜禽养殖废弃物土地处理适宜程度及不同适宜度土地的空间分布规律。评价方法快速、准确。评价和制图过程全部依靠地理信息系统支撑,为区域畜禽养殖废弃物土地处理适宜性评价提供了有效的方法和模式。

(2) 畜禽养殖废弃物土地处理适宜性分析中将评价因子量化的方法,不仅解决了运用地理信息系统进行适宜性评价中的因子量化处理问题,而且较好地反映了适宜性评价的模糊性与渐变性的特点,提高了评价结果的科学性与合理性。

(3) 本研究的不足之处是评价因子的权重以及评价因子的量化处理过程中还存在着一定的主观性。为解决此问题,一方面必须开展畜禽养殖废弃物土地处理评价因子与环境效应之间复杂关系的长期试验和大量调查研究,从中掌握其规律;另一方面,借鉴前人的研究成果,通过比较和类比,寻找适合研究区域特点的规律。

(4) 目前对环境和资源的宏观评价、规划和管理研究,由于研究区域范围广,涉及因素多,数据量大,所以使得传统方法很难适应。随着目前计算机技术的发展,在研究中应引入地理信息系统的空间数据管理和分析功能,以及遥感技术的数据获取和更新手段,以加强环境科学研究在技术方法及手段上的进一步拓展。

参考文献:

[1] 王新谋. 家畜粪便学[M]. 上海:上海交通大学出版社,1997.

- [2] Choudhary M, Bailey L D, Grant C A. Review of the use of swine manure in crop production: effects on yield and composition and on soil and water quality[J]. *Waste Management and Research*, 1996, 14: 581 – 595.
- [3] He C, Shi C. A preliminary analysis of animal manure distribution in Michigan for nutrient utilization[J]. *Journal of the American Water Resources Association*, 1998, 34(6): 1341 – 1354.
- [4] 樊红,翟建军. ARCVIEW GIS 应用与开发技术[M]. 武汉:武汉大学出版社,2003.
- [5] Church R L. Geographical information systems and location science[J]. *Computers and Operations Research*, 2002, 29: 541 – 562.
- [6] Basnet B B, Apan A A, Raine S R. Geographic information system based manure application plan[J]. *Journal of Environmental Management*, 2002, 64: 99 – 113.
- [7] Toronto, Protecting water quality – Biosolids beneficial use program. http://www.city.toronto.on.ca/water/protecting_quality/biosolids/index.htm. 2004 – 04 – 20.
- [8] Ministry of Environment and Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Ontario, Canada. Guidelines for the utilization of biosolids and other wastes on agricultural land. <http://www.gov.on.ca/OMAFRA/english/environment/biosolids/guide.htm>. 2004 – 04 – 20.
- [9] Sharpley A, Tunney H. Phosphorus research strategies to meet agricultural and environmental challenges of the 21st century[J]. *Journal of Environmental Quality*, 2000, 29: 176 – 181.
- [10] Vorhauer C F, Hamlett J M. GIS: A tool for siting farm ponds[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1996, 51(5): 434 – 438.
- [11] Eghball B, Power J F. Beef cattle feedlot manure management[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1994, 49: 113 – 122.
- [12] Liu F, Mitchell C C, Odom J W, et al. Effects of swine lagoon effluent application on chemical properties of a loamy sand[J]. *Bioresource Technology*, 1998, 63: 65 – 73.
- [13] Safley Jr L M. Managing animal wastes: best management practices [J]. *Journal of Soil and Water Conservation, Nutrient Management Special Supplement*, 1994, 49: 57 – 61.