

生态文明建设视角下的高标准农田建设适宜性评价^①

陈 麟¹, 吴克宁^{1,2*}, 冯 喆¹, 于 兵¹, 宋恒飞¹

(1 中国地质大学(北京)土地科学技术学院, 北京 100083; 2 国土资源部土地整治重点实验室, 北京 100035)

摘 要: 在全面推进生态文明建设的当下, 中国的耕地保护工作进入数量、质量、生态“三位一体”保护新时代, 以耕地质量提升为中心的高标准农田建设对生态保护和修复的作用意义重大。本文以吉林省梅河口市为研究区, 结合农用地等别更新、土地利用现状调查、土壤普查报告及实地调查采样数据, 从耕地的自然禀赋、基础设施状况、空间特征和生态环境质量 4 个方面选取耕层质地、排水条件、田块规模、土壤综合污染指数等 14 个指标, 运用贝叶斯概率模型对高标准农田建设进行适宜性评价, 以期对梅河口市高标准农田建设项目规划布局与选址提供技术服务支撑。研究表明: ①在高标准农田建设中, 耕地坡度、障碍层距地表深度、有机质含量、有效土层厚度、田间道路通达度、土壤微生物生物量碳和土壤综合污染指数 7 个指标对高标准农田建设适宜性的影响程度较大; ②根据后验概率结果, 将梅河口市耕地划分为 4 个不同程度的建设适宜性区, 今后高标准农田建设首先在优先建设区开展, 同时后备建设区为其提供了可靠的保证; ③耕地本底质量和基础设施条件良好状况下, 应引入土壤微生物生物量碳、生物丰度系数和土壤综合污染指数等指标从生态保护的角度进一步划分建设适宜性程度。本文旨在实现生态服务功能和生产功能同步提升, 从而为生态文明建设的理论思考和实践创新提供科学依据。

关键词: 生态环境; 高标准农田建设; 贝叶斯概率模型; 适宜性评价

中图分类号: S282 **文献标识码:** A

党的十九大报告提出建设生态文明是中华民族永续发展的千年大计, 必须树立尊重自然、顺应自然、保护自然的生态文明理念, 其本质就是在总结人与自然关系历史的基础上对人与自然发展规律认识的升华, 把可持续发展提升到绿色发展高度^[1-5]。为推进“生产、生活、生态”空间协调发展、转变绿色发展方式, 构建山水林田湖草生命共同体, 土地整治被赋予更多使命, 凸显出土地生态服务价值功能, 其本质上服从并服务于生态文明建设^[6]。高标准农田建设作为土地整理的一种重要形式, 是提升农业综合生产能力、保证农村协调发展、优化国土空间布局和保障国家粮食安全的有效途径^[7]。在新的发展理念下, 高标准农田建设不再局限于耕地数量与质量问题, 更要切实改善和保护农田生态环境, 从而促进资源节约型、环境友好型和低碳经济型社会建设, 如何真正实现数量、质量、生态三位一体是对自然资源部门保护耕地、落实生态文明所提出的战略要求, 也是现在及未来工作中亟待解决的重要问题^[8-11]。目前的高标准农田建

设主要侧重于耕地质量的优质性和工程建设的经济成本^[12-13], 对生态环境的影响考虑较少, 极大程度地抑制其发挥生态效应, 也增加了生态破坏的风险。如何在高标准农田建设中统筹考虑对生态环境的影响, 更好地服务于山水林田湖草生命共同体的构建, 是当前研究的重点和趋势所在^[14-18]。

目前学界针对高标准农田建设适宜性评价进行了较为深入的研究, 但是仍然存在不足之处。在评价指标方面, 一些研究并没有考虑生态环境对建设适宜性的影响, 或者只从宏观角度选取农田防护林等指标, 并没有从微观角度考虑土壤理化性质对生态环境的影响, 如微生物生物量碳含量和重金属含量等指标^[19], 也没有考虑整治工程对其水土资源平衡、景观生态环境的影响, 如生物丰度系数、植被覆盖率等指标^[20]; 在评价方法方面, 目前主要采用耦合协调度模型、改进突变级数模型、自组织神经网络模型^[21-26]等, 但在确定指标权重时, 或多或少引入了专家打分, 从而使评价结果增加了主观性。贝叶斯概率模型是由统计学

基金项目: 国家自然科学基金项目(40971127)资助。

* 通讯作者(wukening@cugb.edu.com)

作者简介: 陈麟(1994—), 男, 山东日照人, 硕士研究生, 主要从事土地资源评价与利用规划研究。E-mail: 1520398439@qq.com

中的贝叶斯理论发展起来的,在各科研领域已经得到了推广和应用^[27-28],并且结合 GIS 技术的贝叶斯理论在充分利用现有数据集进行空间分析和客观计算权重等方面有着独特的优势。

基于此,本文以吉林省梅河口市为研究区,运用贝叶斯概率模型,从生态文明建设视角进行高标准农田建设适宜性评价,划分不同适宜程度的高标准农田建设区,并对不同分区的影响因素进行分析,以实现高标准建设定量评价,为高标准农田建设项目的规划布局与选址提供技术服务支撑,实现生态服务功能和生产功能同步提升,从而为生态文明建设的理论思考和实践创新提供重要依据。

1 研究区概况及数据来源

1.1 研究区概况

梅河口市,位于吉林省东南部、通化市北部、长白山西麓、辉发河上游,125°15′~126°03′E,42°08′~43°02′N,地处松辽平原与长白山区的过渡地带,总面积 2 174.6 km²。横贯腹地的辉发河、一统河流域两岸属平原和丘陵区,西南和东北部属低山丘陵区,地势西南和东北两端稍高,中部较低,构成了“六山一水三分田”的土地资源结构,总观地势平缓,梯度不大。梅河口市境内山地多为灰棕壤、暗棕壤,山前台地多为白浆土,山前洼地的洪积扇区多发育为沼泽土、草甸土,河流沿岸高河漫滩的低阶地为冲积土、水稻土。

根据 2017 年度梅河口市土地变更调查数据结果,2017 年末梅河口市耕地面积为 122 429.11 hm²,占农用地面积的 66.18%,而农业人口为 32 万人,农业人口人均耕地面积 0.31 hm²,随着外出务工人员数的逐年增加,人均耕地面积也在逐年增加,土地粗放经营导致的产出低下的问题也愈加明显。

1.2 数据来源

本次高标准农田建设适宜性评价涉及的相关数据主要包括:2017 年梅河口市土地变更调查数据;

2017 年梅河口市耕地质量等别更新数据;梅河口市高标准农田建设项目文本及数据库;梅河口市第二次土壤普查报告及土壤图;测土配方施肥数据;野外实地调研采样数据。

1.3 数据处理

为保证本次评价研究的统一性和完整性,本次评价选取耕地图斑为评价单元;通过调查得知,梅河口市 2017 年高标准农田建设项目虽然已经完成了质量建设,提升了耕地质量,但是在土地变更调查和耕地

质量等别更新成果中还未进行更新,故选取研究区内所有耕地整治前的现状值作为评价指标值,以此来证明高标准农田建设与否是由建设前所处的条件决定。

在 ArcGIS10.2 平台上将各评价指标图层进行统一的空间投影处理;叠加高标准农田建设项目区界线图层和耕地图层,得到已建设耕地图层和未建设耕地图层;将建设图层(包括已建设耕地图层和未建设耕地图层)与耕地质量等别更新数据叠加,获取图层中各耕地图斑的评价指标值,包括耕地坡度、排水条件、灌溉保证率;将建设图层与土壤图叠加,并结合第二次土壤普查报告,根据土种类型进行评价指标赋值,包括土壤质地、有效土层厚度、障碍层距地表深度;利用测土配方施肥数据在 ArcGIS 平台上进行空间插值,得到有机质含量和土壤养分元素评价指标值;将建设图层与土地利用现状图层进行叠加,提取公路、农村道路等线状地物,水域、草地和林地等图斑,通过计算获取田间道路通达度、生物丰度系数和植被覆盖率;将外业采集的土样采用氯仿熏蒸浸提法测定土壤微生物生物量碳含量和用 XOS-Rocksand 土壤重金属测试仪检测 8 种重金属元素,在 ArcGIS 平台上进行空间插值。

2 研究方法

2.1 研究思路

高标准农田建设是以现有的耕地利用状况为基础,考虑高标准农田所发挥的生产、生活和生态功能,选取相应的评价指标,通过耕地质量等别更新数据、土地利用现状数据、测土配方施肥数据、土壤图以及实地调研等多种方式获取评价指标数据,建立高标准农田建设适宜性评价指标体系,借助贝叶斯概率模型,以已建设为高标准农田的耕地作为训练样本,确定各指标对高标准农田建设是否发生的影响大小,再根据其影响程度对未建设区的农田建设适宜性评价进行修正,进而根据后验概率大小体现建设的适宜程度,更加精确地划分高标准农田建设适宜性区域。

2.2 贝叶斯概率模型

贝叶斯概率方法是基于贝叶斯定理而发展起来用于系统地阐述和解决统计问题的方法^[29-31]。该方法的核心为贝叶斯公式,其基本形式如下:

$$P(A|B) = \frac{P(A)P(B|A)}{P(B)} \quad (1)$$

式中: $P(A)$ 是事件 A 的先验概率,它是由已知的先验信息获取的最初概率,即研究区内已经完成高标准农田建设的面积占总耕地面积的比例; $P(A|B)$ 为事件 A

在条件 B 的情况下发生的后验概率,而 $P(B|A)$ 为已发生事件 A 中存在条件 B 的概率; $P(B)$ 为随机变量条件 B 的概率。由此可知, $P(A|B)$ 也可以解释为:在条件 B (评价指标)存在的情况下,事件 A (开展高标准农田建设)发生的概率。

根据贝叶斯公式,可得后验几率的表达形式:

$$O(A|B) = \frac{P(A|B)}{P(\bar{A}|B)} = \frac{P(A)P(B|A)}{P(B)P(A|B)} \quad (2)$$

$$= \frac{P(A)P(B|A)}{P(\bar{A})P(B|\bar{A})} = O(A) \frac{P(B|A)}{P(B|\bar{A})}$$

式中: $O(A|B)$ 为后验几率; A 为事件不发生, $O(A) = P(A)/P(\bar{A})$, $P(A)+P(\bar{A})=1$ 。

权重的确定参考 Agterberg 提出的证据权重方法^[32-35],对公式(2)取自然对数得出其对数线性公式,可得因子影响权重 W^+ 和 W^- 。

$$W^+ = \ln \frac{P(B|A)}{P(B|\bar{A})} \quad (3)$$

$$W^- = \ln \frac{P(\bar{B}|A)}{P(\bar{B}|\bar{A})} \quad (4)$$

如果因子和事件呈正相关,则 W^+ 为正, W^- 为负,相反,因子和事件呈负相关,则 W^+ 为负, W^- 为正,如果事件与因子不存在关系,则 $W^+=W^-=0$,后验概率等于先验概率。

每个指标因子权重都有正权重和负权重,因此定义对比度 C 来衡量指标因子与高标准农田建设事件的空间联系大小。对比度 C 值绝对值越大表明指标因子与高标准农田建设相关性越强,指标影响权重越大,若 C 为正值,表明其正相关,若 C 为负值,表明其负相关。

$$C = W^+ - W^- \quad (5)$$

当存在 n 个相互独立因子时,存在 $2n$ 种不同的组合,其表达形式为:

$$\ln O(A|B_1, B_2, \dots, B_n) = \ln O(A) + \sum_{i=1}^n W_{B_i} \quad (6)$$

式中: W_{B_i} 为因子 B_i 存在或者不存在的权重值。

其后验概率为:

$$P(A|B_1, B_2, \dots, B_n) = \frac{O(A)e^{\sum_{i=1}^n W_{B_i}}}{1 + O(A)e^{\sum_{i=1}^n W_{B_i}}} \quad (7)$$

2.3 耕地整治适宜性评价指标体系

评价指标选取时应遵循差异性、主导性和现实性原则。新时期,生态文明建设对高标准农田建设提出新的要求,本文在考虑遵循自然资源禀赋、实施针对性整治、挖掘农田生态价值功能、发展生态农业、注

重景观生态保护、实现山水田林湖草综合整治的要求下,根据梅河口市独特的自然、社会经济和生态条件,在考虑耕地的生产和生活功能的同时,注重发挥其生态功能,融合生态文明理念,充分考虑水土资源平衡,生态环境保持工程建设,从耕地的自然禀赋、基础设施状况、空间特征和生态环境质量 4 个方面选取 14 个指标^[7]。自然禀赋即耕地的地力条件,决定耕地的生产能力,是耕地质量的核心,选择耕层质地、有效土层厚度、障碍层距地表深度、有机质含量和土壤养分元素 5 个指标^[36-37];基础设施状况是耕地的外部条件,决定耕地生产能力的实现程度,同时也是高标准农田建设的重要内容,选择排水条件、灌溉保证率和田间道路通达度 3 个指标;空间特征是指耕地地块所处的空间位置及形态,选择耕地坡度和田块规模 2 个指标;生态环境质量影响农业生产质量和农产品品质,也是耕地可持续利用和自我净化能力的重要表征,包含生态和环境两方面。生态质量主要是指耕地系统在本质上作为一种陆地生态系统所能呈现出的水源涵养、土壤保持、气候调节、空气净化等生态系统功能服务状况^[38]。而土壤微生物生物量碳、生物丰度系数和植被覆盖率指标能够表征耕地系统的土壤生物活性、水土资源平衡、生物多样性、气候调节、防风固沙等生态系统功能,因此生态质量方面选取上述 3 个指标;耕地受到污染会导致其净化能力丧失,进而造成环境净污能力下降,对土壤结构和生态环境造成巨大破坏,因此环境质量方面选取土壤综合污染指数指标^[39]。最终构建高标准农田建设适宜性评价指标体系,具体如表 1 所示。

3 结果与分析

3.1 独立性检验成果

各评价指标之间相互独立是贝叶斯概率模型适用的前提条件。在 SPSS 软件平台上,根据克拉姆系数计算公式进行卡方检验^[40],得到各评价指标之间的独立性检验结果(克拉姆系数)如表 2。由表 2 可知,评价指标体系中的 14 个评价指标之间的相关性系数均小于 0.5,满足独立性检验,符合贝叶斯概率模型的适用条件。

3.2 权重计算结果

根据梅河口市土地利用现状数据和高标准农田建设项目统计,梅河口市耕地总面积为 122 429.11 hm²,已经完成高标准农田建设的面积为 7 836.29 hm²,可得先验概率为 0.064 0,然后在 ArcGIS 平台上分别计算已完成高标准农田建设中变量出现的概率($P(B|A)$)、已完成高标准农田建设中变量未出现的概率($P(\bar{B}|A)$)、未

开展高标准农田建设中变量出现的概率($P(B|\bar{A})$)和未开展高标准农田建设中变量未出现的概率($P(\bar{B}|\bar{A})$)。最后根据公式(4)、(5)、(6)，确定各评价指标分级对应的权重以及相关参数，结果见表 3。

表 1 梅河口市高标准农田建设适宜性评价指标体系
Table 1 Suitability assessment index system for high-standard farmland construction in Meihekou City

评价指标	级别	含义描述
耕地坡度(B_1)	1 级	田面坡度 $<2^\circ$
	2 级	田面坡度 $2^\circ \sim 10^\circ$
	3 级	田面坡度 $10^\circ \sim 15^\circ$
	4 级	田面坡度 $15^\circ \sim 25^\circ$
耕层质地(B_2)	1 级	壤土，包括前苏联卡庆斯基制的砂壤、轻壤和中壤
	2 级	黏土，包括前苏联卡庆斯基制的黏土和重壤
	3 级	砂土，包括前苏联卡庆斯基制的紧砂土和松砂土
	4 级	砾质土，即按体积计，直径 $>1 \sim 3 \text{ mm}$ 的砾石等粗碎屑含量 $>10\%$ ；包括前苏联卡庆斯基制的强石质土
有效土层厚度(B_3)	1 级	$\geq 150 \text{ cm}$
	2 级	$100 \sim 150 \text{ cm}$
	3 级	$60 \sim 100 \text{ cm}$
	4 级	$30 \sim 60 \text{ cm}$
障碍层距地表深度(B_4)	1 级	$60 \sim 90 \text{ cm}$
	2 级	$30 \sim 60 \text{ cm}$
	3 级	$<30 \text{ cm}$
有机质含量(B_5)	1 级	$\geq 40 \text{ g/kg}$
	2 级	$30 \sim 40 \text{ g/kg}$
	3 级	$20 \sim 30 \text{ g/kg}$
	4 级	$10 \sim 20 \text{ g/kg}$
	5 级	$6 \sim 10 \text{ g/kg}$
	6 级	$<6 \text{ g/kg}$
土壤养分元素(B_6)	1 级	土壤养分综合评价指数 ≥ 90 ，表示土壤养分丰富
	2 级	$90 >$ 土壤养分综合评价指数 ≥ 75 ，表示土壤养分较丰富
	3 级	$75 >$ 土壤养分综合评价指数 ≥ 60 ，表示土壤养分中等
	4 级	$60 >$ 土壤养分综合评价指数 ≥ 45 ，表示土壤养分较缺乏
	5 级	土壤养分综合评价指数 C 养综 <45 ，表示土壤养分缺乏
排水条件(B_7)	1 级	有健全的干、支、斗、农排水沟道(包括抽排)，无洪涝灾害
	2 级	排水体系(包括抽排)基本健全，丰水年暴雨后有短期洪涝发生(旱作区田面积水 $1 \sim 2 \text{ d}$ ，水稻区田面积水 $1 \sim 3 \text{ d}$)
	3 级	排水体系(包括抽排)一般，丰水年大雨后有洪涝发生(旱作区田面积水 $2 \sim 3 \text{ d}$ ，水稻区田面积水 $3 \sim 5 \text{ d}$)
	4 级	无排水体系(包括抽排)，一般年份在大雨后发生洪涝(旱作区田面积水 $\geq 3 \text{ d}$ ，水稻区田面积水 $\geq 5 \text{ d}$)

续表 1

评价指标	级别	含义描述
灌溉保证程度(B ₈)	1 级	充分满足
	2 级	基本满足，有良好的灌溉系统，在关键需水生长季节有灌溉保证
	3 级	一般满足，有灌溉系统，但在大旱年不能保证灌溉
	4 级	无灌溉条件，包括旱地与望天田
田间道路通达度(B ₉)	1 级	≥80，村庄田间路、生产路布局合理，通达度高，农业运输机械基本能到达每个田块
	2 级	≥40 且 <60，村庄田间路、生产路布局较合理，通达度一般，农业运输机械能达到一部分田块
	3 级	≥40 且 <60，村庄田间路、生产路布局较合理，通达度一般，农业运输机械能达到一部分田块
	4 级	<40，村庄田间路、生产路布局不合理，通达度差，不能满足机械化运输要求
田块规模(B ₁₀)	1 级	≤2，田块形状规整
	2 级	>2 且 ≤4，田块形状较规整
	3 级	>4 且 ≤6，田块形状较复杂，较不规整
	4 级	>6，田块形状复杂，不规整
土壤微生物生物量碳(B ₁₁)	1 级	根据采样调查所测得微生物生物量碳含量数据，结合试点区域实际情况采用自然断点法分为 4 级
	2 级	
	3 级	
	4 级	
土壤综合污染指数(B ₁₂)	1 级	土壤重金属环境质量评价指数 $P_{\pm} \leq 1$ ，土壤清洁
	2 级	$1 < P \leq 2$ ，土壤轻微污染
	3 级	$2 < P \leq 3$ ，土壤轻度污染
	4 级	$3 < P \leq 5$ ，土壤中度污染
	5 级	$P > 5$ ，土壤重度污染
生物丰度系数(B ₁₃)	1 级	>0.7 且 ≤ 1
	2 级	>0.4 且 ≤ 0.7
	3 级	>0.1 且 ≤ 0.4
	4 级	≤ 0.1
植被覆盖率(B ₁₄)	1 级	>60%
	2 级	>45% 且 ≤ 60%
	3 级	>30% 且 ≤ 45%
	4 级	>10% 且 ≤ 30%
	5 级	≤ 10%

3.3 适宜性评价结果

根据公式(7)计算梅河口市未开展高标准农田建设耕地图斑的后验概率,概率值的大小代表高标准农田建设适宜性的高低,其值区间为 0~1,数值越大,

代表高标准农田建设适宜性越高。由此,得到梅河口市高标准农田建设适宜性分布图,具体情况见图 1。根据类内差异最小,类间差异最大原则^[41],在 ArcGIS 平台对梅河口市高标准农田建设适宜性分布情况采

表 2 独立性检验中各指标之间的克朗姆系数
Table 2 Kram coefficients between indicators in independence test

	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	B ₇	B ₈	B ₉	B ₁₀	B ₁₁	B ₁₂	B ₁₃	B ₁₄
B ₁	—	0.213	0.413	0.321	0.297	0.164	0.447	0.294	0.307	0.253	0.098	0.042	0.033	0.261
B ₂	—	—	0.171	0.225	0.203	0.156	0.371	0.406	0.062	0.031	0.264	0.109	0.172	0.121
B ₃	—	—	—	0.277	0.134	0.098	0.087	0.127	0.109	0.063	0.092	0.086	0.073	0.077
B ₄	—	—	—	—	0.076	0.089	0.064	0.066	0.093	0.102	0.134	0.090	0.085	0.113
B ₅	—	—	—	—	—	0.261	0.082	0.091	0.097	0.083	0.314	0.199	0.378	0.401
B ₆	—	—	—	—	—	—	0.091	0.094	0.082	0.062	0.211	0.107	0.292	0.273
B ₇	—	—	—	—	—	—	—	0.403	0.207	0.197	0.076	0.081	0.172	0.123
B ₈	—	—	—	—	—	—	—	—	0.111	0.204	0.297	0.133	0.199	0.270
B ₉	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.331	0.059	0.071	0.079	0.066
B ₁₀	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.067	0.051	0.088	0.103
B ₁₁	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.145	0.334	0.373
B ₁₂	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.190	0.136
B ₁₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.412
B ₁₄	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

表 3 各评价指标权重相关参数表
Table 3 Correlation coefficients between weights of evaluation indexes

评价指标	级别	$P(B/A)$	$P(B/\bar{A})$	$P(\bar{B}/A)$	$P(\bar{B}/\bar{A})$	W^+	W^-	C
B ₁	1	0.454 8	0.360 4	0.545 2	0.639 6	0.232 5	-0.159 6	0.392 1
	2	0.458 5	0.518 1	0.541 5	0.481 9	-0.122 1	0.116 5	-0.238 7
	3	0.086 7	0.117 3	0.913 3	0.882 7	-0.302 0	0.034 1	-0.336 1
	4	0.000 0	0.004 2	1.000 0	0.995 8	—	0.004 2	—
B ₂	1	0.191 7	0.368 6	0.808 3	0.631 4	-0.653 8	0.247 0	-0.900 8
	2	0.661 4	0.532 2	0.338 6	0.467 8	0.217 3	-0.323 3	0.540 6
	3	0.146 8	0.096 8	0.853 2	0.903 2	0.416 6	-0.057 0	0.473 5
	4	0.000 0	0.002 3	1.000 0	0.997 7	—	0.002 3	—
B ₃	1	0.913 7	0.791 7	0.086 3	0.208 3	0.143 3	-0.881 4	1.024 7
	2	0.052 7	0.092 7	0.947 3	0.907 3	-0.564 2	0.043 1	-0.607 3
	3	0.033 6	0.113 5	0.966 4	0.886 5	-1.218 9	0.086 4	-1.305 3
	4	0.000 0	0.002 1	1.000 0	0.997 9	—	0.002 1	—
B ₄	1	0.989 0	0.972 1	0.011 0	0.027 9	0.017 2	-0.929 1	0.946 3
	2	0.011 0	0.027 9	0.989 0	0.972 1	-0.929 1	0.017 2	-0.946 3
	3	0.000 0	0.000 0	1.000 0	1.000 0	—	0.000 0	—
B ₅	1	0.000 0	0.002 2	1.000 0	0.997 8	—	0.002 2	—
	2	0.194 7	0.137 4	0.805 3	0.862 6	0.348 2	-0.068 7	0.416 8
	3	0.463 8	0.694 4	0.536 2	0.305 6	-0.403 6	0.562 3	-0.965 9
	4	0.341 5	0.166 0	0.658 5	0.834 0	0.721 7	-0.236 4	0.958 0
	5	0.000 0	0.000 0	1.000 0	1.000 0	—	0.000 0	—
	6	0.000 0	0.000 0	1.000 0	1.000 0	—	0.000 0	—

续表 3

评价指标	级别	$P(B/A)$	$P(B/\bar{A})$	$P(\bar{B}/A)$	$P(\bar{B}/\bar{A})$	W^+	W^-	C
B ₆	1	0.356 7	0.462 7	0.643 3	0.537 3	-0.260 1	0.180 0	-0.440 1
	2	0.600 8	0.466 8	0.399 2	0.533 2	0.252 3	-0.289 4	0.541 7
	3	0.042 5	0.069 3	0.957 5	0.930 7	-0.489 4	0.028 4	-0.517 8
	4	0.000 0	0.001 2	1.000 0	0.998 8	-	0.001 2	-
	5	0.000 0	0.000 0	1.000 0	1.000 0	-	0.000 0	-
B ₇	1	0.285 7	0.443 6	0.714 3	0.556 4	-0.440 0	0.249 8	-0.689 9
	2	0.571 9	0.477 1	0.428 1	0.522 9	0.181 2	-0.200 0	0.381 2
	3	0.142 4	0.079 3	0.857 6	0.920 7	0.585 7	-0.071 0	0.656 8
	4	0.000 0	0.000 0	1.000 0	1.000 0	-	0.000 0	-
B ₈	1	0.314 5	0.354 1	0.685 5	0.645 9	-0.118 8	0.059 6	-0.178 3
	2	0.000 0	0.000 0	1.000 0	1.000 0	-	0.000 0	-
	3	0.000 0	0.000 0	1.000 0	1.000 0	-	0.000 0	-
	4	0.685 5	0.645 9	0.314 5	0.354 1	0.059 6	-0.118 8	0.178 3
B ₉	1	0.999 2	0.991 3	0.000 8	0.008 7	0.008 0	-2.428 5	2.436 5
	2	0.000 8	0.008 3	0.999 2	0.991 7	-2.381 4	0.007 6	-2.389 0
	3	0.000 0	0.000 1	1.000 0	0.999 9	-	0.000 1	-
	4	0.000 0	0.000 3	1.000 0	0.999 7	-	0.000 3	-
B ₁₀	1	0.660 2	0.711 4	0.339 8	0.288 6	-0.074 7	0.163 3	-0.238 0
	2	0.305 0	0.277 5	0.695 0	0.722 5	0.094 6	-0.038 9	0.133 5
	3	0.034 7	0.010 4	0.965 3	0.989 6	1.209 4	-0.024 9	1.234 4
	4	0.000 1	0.000 7	0.999 9	0.999 3	-1.948 2	0.000 6	-1.948 8
B ₁₁	1	0.038 8	0.006 5	0.961 2	0.993 5	1.788 4	-0.033 1	1.821 5
	2	0.044 9	0.022 3	0.955 1	0.977 7	0.700 8	-0.023 4	0.724 3
	3	0.406 9	0.394 2	0.593 1	0.605 8	0.031 7	-0.021 2	0.052 9
	4	0.509 3	0.577 0	0.490 7	0.423 0	-0.124 8	0.148 4	-0.273 2
B ₁₂	1	0.996 3	0.979 4	0.003 7	0.020 6	0.017 1	-1.715 3	1.732 4
	2	0.003 7	0.020 6	0.996 3	0.979 4	-1.715 3	0.017 1	-1.732 4
	3	0.000 0	0.000 0	1.000 0	1.000 0	-	0.000 0	-
	4	0.000 0	0.000 0	1.000 0	1.000 0	-	0.000 0	-
	5	0.000 0	0.000 0	1.000 0	1.000 0	-	0.000 0	-
B ₁₃	1	0.000 0	0.000 0	1.000 0	1.000 0	-	0.000 0	-
	2	0.010 6	0.020 8	0.989 4	0.979 2	-0.678 1	0.010 4	-0.688 6
	3	0.789 6	0.797 1	0.210 4	0.202 9	-0.009 4	0.036 0	-0.045 4
	4	0.199 8	0.182 1	0.800 2	0.817 9	0.092 7	-0.021 9	0.114 6
B ₁₄	1	0.000 0	0.000 0	1.000 0	1.000 0	-	0.000 0	-
	2	0.005 3	0.013 8	0.994 7	0.986 2	-0.956 0	0.008 6	-0.964 6
	3	0.223 2	0.149 8	0.776 8	0.850 2	0.398 6	-0.090 3	0.488 9
	4	0.769 7	0.823 9	0.230 3	0.176 1	-0.068 0	0.268 1	-0.336 2
	5	0.001 8	0.012 5	0.998 2	0.987 5	-1.960 5	0.010 8	-1.971 3

用自然断点法进行分类，得到后验概率的临界值，并结合实地情况划分为 4 个不同程度的建设适宜性区：①高标准农田优先建设区；②高标准农田建设后备区；③高标准农田有条件建设区；④高标准农田不适

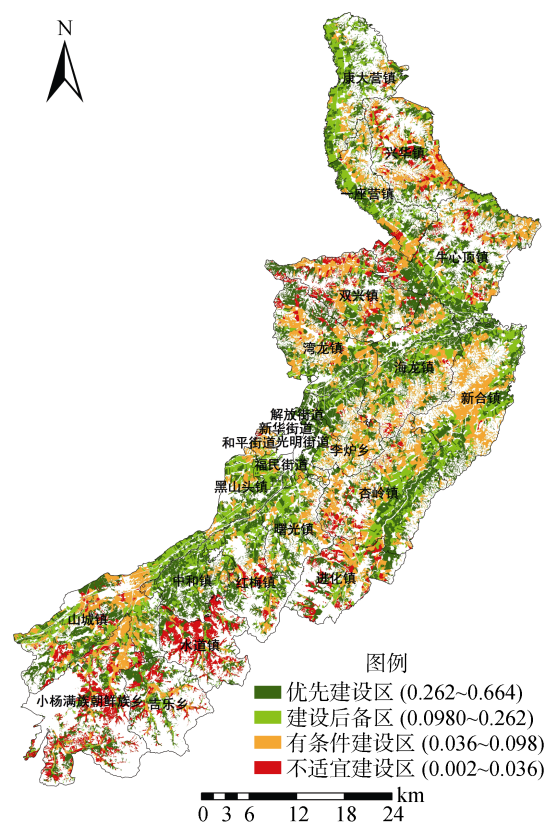


图 1 梅河口市高标准农田建设适宜性分布图
Fig.1 Suitability distribution map of high standard farmland construction in Meihoukou City

宜建设区。

高标准农田优先建设区, 后验概率在 0.262 ~ 0.644, 面积为 8 056.32 hm^2 , 占未开展高标准农田建设耕地总面积的 7.03%, 主要分布在梅河口市中部的湾龙镇、双兴镇、海龙镇和杏岭镇, 西南部的山城镇和中和镇, 位于辉发河和一统河流域两岸的河漫滩和河流二级阶地。该区地势平坦, 空间延展性好, 田间基础设施完善, 便于机械化作业, 土壤类型主要为水稻土和冲积土, 有效土层较厚, 耕层质地为黏壤质, 无障碍层; 生态环境优势明显, 土壤微生物含量高, 土壤生物活性好, 生物多样性和景观多样性丰富, 植被覆盖率高, 防风固沙、农田保护作用明显。

高标准农田建设后备区, 后验概率在 0.098 ~ 0.262, 面积为 51 883.03 hm^2 , 占未建设高标准农田耕地总面积的 45.28%, 分布在辉发河、一统河和大沙河流域沿岸, 途径东北部的康大营镇、一座营镇、牛心顶镇, 中部的中和镇、黑山头镇、杏岭镇和新合镇等。该区地势较平坦, 主要分布在河流二级阶地, 少数分布在东北部或西南部的台地和岗坡地, 土种类型有水稻土、新积土和冲积土, 土层较厚, 无障碍层; 位于城镇周边的耕地受人干扰影响较大, 生物多样性

和景观多样性低于距城镇较远的耕地, 但整体生态环境优势较明显, 土壤微生物含量较高, 生物活性较好。

高标准农田有条件建设区, 后验概率在 0.036 ~ 0.098, 面积为 35 761.81 hm^2 , 占未建设高标准农田耕地总面积的 31.21%, 主要分布在中部的台地和东北部的山地缓坡, 由于该区域土壤类型多为白浆土, 存在白浆层, 有效土层较薄, 肥力较差, 而在整治工程中, 改良白浆土的主要方法有深耕打破心土层或逐步加深耕作层, 工程量巨大, 耗费财力, 是整治的重点和难点。

高标准农田不可建设区, 后验概率在 0.002 ~ 0.036, 面积为 18 891.66 hm^2 , 占未建设高标准农田耕地总面积的 16.49%, 主要分布在西南部和东北部的低山丘陵区, 地势较高, 坡度较大, 土壤类型主要为灰棕壤和暗棕壤, 表层土壤质地为砂壤, 有效土层较薄, 肥力较差; 灌溉保证率低, 路网稀疏, 道路通达度较差; 生态环境适中, 生物活性一般, 生物多样性和景观多样性较好。

4 结论

1) 本研究从数量、质量、生态三位一体的角度, 以影响高标准农田建设的因素在已完成区和未开展区的发生概率为基础, 采用贝叶斯概率模型, 运用证据权重法对梅河口市的高标准农田建设适宜性评价的指标权重进行研究, 结果表明, 耕地坡度、障碍层距地表深度、有机质含量、有效土层厚度、田间道路通达度、土壤微生物生物量碳和土壤综合污染指数 7 个指标对高标准农田建设适宜性的影响程度较大。对于高标准农田建设的选址, 决策者更愿意选择地势平坦、空间延展性好、土层深厚、土壤肥沃、没有障碍层限制、交通方便、通达度高、生物特性优质、没有污染的区域开展建设。

2) 本研究借助贝叶斯概率模型, 利用已建成高标准农田所处的条件来指导其他耕地顺利开展高标准农田建设, 最后通过计算出来的后验概率大小表示建设的适宜程度, 通过自然断点法划分高标准农田建设适宜性, 包括高标准农田优先建设区、高标准农田建设后备区、高标准农田有条件建设区和高标准农田不适宜建设区。根据划分结果, 梅河口市今后高标准农田建设首先在优先建设区开展, 同时后备建设区为其提供了可靠的保证。

3) 本研究通过对 4 个分区的主要限制因素进行对比分析可知, 在耕地本底质量和基础设施条件良好状况下, 引入土壤微生物生物量碳、植被覆盖率、生物丰度系数和土壤综合污染指数指标为细划建设适宜性分区

提供科学依据。但在基础条件较差的区域,表征生态环境指标无法对适宜性划分结果起到主导性作用,对区域划分影响较小,这也是本文研究的不足之处。

参考文献:

- [1] 徐强. 我国土地整治与生态文明建设存在的问题与对策研究[J]. 中国集体经济, 2018(35): 22-23
- [2] 王敬, 高世昌. 土地生态整治助推绿色发展[J]. 中国土地, 2018(3): 35-37
- [3] 赵德芳. 基于生态文明视角下西安市生态承载力评价分析研究[J]. 环境科学与管理, 2018, 43(3): 143-147
- [4] 王飞, 石祖梁, 王久臣, 等. 生态文明建设视角下推进农业绿色发展的思考[J]. 中国农业资源与区划, 2018, 39(8): 17-22
- [5] 肖义, 黄寰, 邓欣昊. 生态文明建设视角下的生态承载力评价——以成渝城市群为例[J]. 生态经济, 2018, 34(10): 179-183, 208
- [6] 李华, 龚健. 生态文明背景下的土地整治思考[J]. 中国土地, 2018(11): 45-46
- [7] 宋文. 基于耕地综合质量的高标准农田建设与监测研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2018
- [8] 谭少军. 基于生态适宜性评价的西南丘陵区土地整治工程布局研究[J]. 地理研究, 2018, 37(4): 659-677
- [9] 李义龙, 廖和平, 张亚飞, 等. 乡村振兴背景下镇域高标准农田建设条件及发展模式研究[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2019, 41(2): 90-99
- [10] 孙正东. 安徽省生态高标准农田建设规范初探[J]. 土壤, 2016, 48(6): 1063-1067
- [11] 冯锐, 吴克宁, 王倩. 四川省中江县高标准基本农田建设时序与模式分区[J]. 农业工程学报, 2012, 28(22): 243-251
- [12] 王晨, 汪景宽, 李红丹, 等. 高标准基本农田区域分布与建设潜力研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(Z2): 226-229
- [13] 方勤先, 严飞, 魏朝富, 等. 丘陵区高标准基本农田建设条件及潜力分析——以重庆市荣昌县为例[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2014, 39(3): 122-130
- [14] 未红红, 张慧, 张毅功. 高标准基本农田建设时序与分区研究[J]. 土壤通报, 2015, 46(3): 526-532
- [15] 周琳琳, 朱嘉伟, 王海帆, 等. 高标准基本农田分区建设研究——以舞阳县为例[J]. 中国农学通报, 2018, 34(19): 159-164
- [16] 宋文, 吴克宁, 张敏, 等. 基于村域耕地质量均匀度的高标农田建设时序分区[J]. 农业工程学报, 2017, 33(9): 250-259
- [17] 赵素霞, 牛海鹏, 张合兵, 等. 高标准农田生态位障碍因子诊断模型建立与应用[J]. 农业机械学报, 2018, 49(1): 194-202
- [18] 朱传民, 黄雅丹, 姚治国, 等. 基于生态位理论的曲周县高标准基本农田建设研究[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2018, 54(3): 321-326
- [19] 齐虹凌, 元野, 刘世丰, 等. 安徽省黟县农田耕层土壤中微量元素含量研究[J]. 土壤, 2017, 49(6): 1280-1284
- [20] 陶睿. 重庆市土地整治工程布局生态适宜性评价研究[D]. 重庆: 西南大学, 2017
- [21] 陈宁丽. 高标准基本农田建设项目区优选研究[D]. 河南焦作: 河南理工大学, 2016
- [22] 谭少军, 邵景安, 张琳, 等. 西南丘陵区高标准基本农田建设适宜性评价与选址——以重庆市垫江县为例[J]. 资源科学, 2018, 40(2): 310-325
- [23] 徐小千, 汪景宽, 李双异, 等. 基于生态位理论的东北黑土区耕地整治适宜性评价——以公主岭市为例[J]. 中国生态农业学报, 2018, 26(3): 432-441
- [24] 张合兵, 赵素霞, 陈宁丽, 等. 基于耦合协调度模型的高标准农田建设项目区优选研究[J]. 农业机械学报, 2018, 49(8): 161-168
- [25] 孙茜, 牛海鹏, 雷国平, 等. 高标准农田建设区域划定与项目区选址研究[J]. 农业机械学报, 2016, 47(12): 337-346
- [26] 郝瑞卿, 关侠, 郝旭久, 等. 基于自组织神经网络的耕地自然质量评价方法及其应用[J]. 农业工程学报, 2014, 30(23): 298-305
- [27] 陈小祥. 基于贝叶斯概率城市土地利用动态变化模拟研究[D]. 长沙: 中南大学, 2007
- [28] 陈梦成, 方苇, 杨超, 等. Bayes 统计学与 MCMC 方法——Metropolis-Hastings(M-H)算法的 Matlab 程序实现[J]. 华东交通大学学报, 2018, 35(1): 1-8
- [29] 刘付勇, 高贤强, 张著. 基于改进贝叶斯概率模型的推荐算法[J]. 计算机科学, 2017, 44(5): 285-289
- [30] 吴涛, 刘喜, 李大垣, 等. 基于贝叶斯理论的钢筋混凝土框架中节点抗剪强度计算[J]. 工程力学, 2015, 32(3): 167-174
- [31] 王哲. 现代贝叶斯统计学理论与方法研究[J]. 价值工程, 2012, 31(1): 276-277
- [32] 李磊, 杨小芬. 河南省上宫-吉家洼矿集区基于 MRAS 证据权重法的成矿预测[J]. 华南地质与矿产, 2018(2): 1-8
- [33] 李强, 邹志友, 王昱凯. 证据权重法在中天山沙垄地区金矿成矿预测的应用[J]. 桂林理工大学学报, 2018(3): 401-409
- [34] 马玉宽, 赵安, 姚忠. 运用证据权重与确定性系数合成模型进行钉螺-环境因子的空间关系研究[J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26(9): 1446-1455
- [35] Agterberg F. A modified weights-of-evidence method for regional mineral resource estimation[J]. Natural Resources Research, 2011, 20(2): 95-101
- [36] 李卫东, 陈永波, 黄光昱, 等. 恩施州耕地土壤剖面理化特征及养分分布变化规律[J]. 土壤, 2018, 50(6): 1134-1138
- [37] 杜佩颖, 张海涛, 郭龙, 等. 平原丘陵过渡区土壤有机质空间变异及其影响因素[J]. 土壤学报, 2018, 55(5): 1286-1295
- [38] 杜国明, 孙晓兵, 王介勇. 东北地区土地利用多功能性演化的时空格局[J]. 地理科学进展, 2016, 35(2): 232-244
- [39] 谢龙涛, 潘剑君, 白浩然, 等. 基于 GIS 的农田土壤重金属空间分布及污染评价——以南京市江宁区某乡镇为例[J/OL]. 土壤学报: 1-10[2019-02-28]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1119.P.20190103.0927.002.html>
- [40] 吕世杰, 许茂发, 任佳, 等. 卡方独立性检验的实践与可操作性研究[J]. 统计与管理, 2015(5): 41-44
- [41] 武增海, 李涛. 高新技术开发区综合绩效空间分布研究——基于自然断点法的分析[J]. 统计与信息论坛, 2013, 28(3): 82-88

Suitability Evaluation of High Standard Farmland Construction from Perspective of Ecological Civilization Construction

CHEN Lin¹, WU Kening^{1,2*}, FENG Zhe¹, YU Bing¹, SONG Hengfei¹

(1 School of Land Science and Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2 Key Laboratory of Land Remediation, Ministry of Land and Resources, Beijing 100035, China)

Abstract: At the moment of comprehensively promoting the construction of ecological civilization, China's arable land protection work has entered a new era of "three-in-one" protection of quantity, quality and ecology. The promotion of high-standard farmland construction with the improvement of cultivated land quality is of great significance to ecological protection and restoration. In order to provide the technical services for planning layout and site selection of the high standard farmland construction project in Meihekou City of Jilin Province, combined with agricultural land renewal, land use status survey, soil survey report and field survey sampling data, from the natural endowment, infrastructure status, spatial characteristics and ecological environment quality of cultivated land, 14 indicators were selected which included plough layer texture, drainage condition, field size and soil comprehensive pollution index, and the Bayesian probability model was used to evaluate the suitability of high standard farmland construction. The results showed that in the construction of high standard farmland, the slope of cultivated land, depth of the barrier layer, organic matter content, thickness of the effective soil layer, accessibility of the field road, soil microbial carbon and soil comprehensive pollution index had a great influence on the suitability of high-standard farmland construction. According to the posterior probability results, the cultivated land in Meihekou City was divided into four different levels of construction suitability areas. In the future, the construction of high-standard farmland should first be carried out in the priority construction area. At the same time, the reserve construction area could provide a reliable guarantee. Under the good conditions of cultivated land background quality and infrastructure, the indicators such as soil microbial biomass carbon, biological abundance coefficient and soil comprehensive pollution index could be introduced for further dividing construction suitability from the perspective of ecological protection. This paper provide scientific bases in theoretical thinking and practical innovation of ecological civilization construction to realize the simultaneous improvement of ecological service functions and production functions and the effective mode of target integration.

Key words: Ecological environment; High standard farmland construction; Bayesian probability model; Suitability evaluation