

引用格式: 罗莎莎, 王旭东, 赖庆标, 许标文. 东南丘陵山区市域农业生产适宜性分析及空间优化调控——以福建省三明市为例[J]. 山地学报, 2022, 40(6): 932-942.

LUO Shasha, WANG Xudong, LAI Qingbiao, XU Biaowen. Suitability analysis and spatial optimization of agricultural production in urban areas of southeast hilly area: a case study of Sanming, Fujian province, China [J]. Mountain Research, 2022, 40(6): 932-942.

东南丘陵山区市域农业生产适宜性分析及 空间优化调控

——以福建省三明市为例

罗莎莎¹, 王旭东², 赖庆标², 许标文^{1*}

(福建省农业科学院 农业经济与科技信息研究所, 福州 350003; 2. 福建省地质测绘院, 福州 350005)

摘要: 以资源环境承载力为基础, 科学评价农业生产适宜性和优化农业生产空间, 对保障生态安全、资源安全和粮食安全具有重要意义。已有关于农业生产功能指向的资源环境承载力和国土空间开发适宜性评价的研究指标体系选取因素考虑不全面, 对东南丘陵山区市域尺度的农用地适宜性分析和农业生产空间优化调控的研究较少, 且评价方法忽视了适宜性影响因素间相对重要性的比较, 不利于科学评价农业生产适宜性。本研究以福建省三明市为例, 构建适用于丘陵山区的农业生产适宜性评价指标体系, 采用因素间相对比较的判断矩阵进行因素综合集成, 将适宜性评价结果划分为 5 个等级, 并对农业生产空间提出格局优化和调控建议。结果表明: (1) 三明市农业生产资源环境承载力空间分布具有“西高东低”特征, 承载力较高及以上等级的面积占比为 44.83%, 主要分布于西部的建宁、宁化和清流县; (2) 三明市农业生产适宜和较适宜区域占比为 25.61%, 与资源环境承载力较高及以上区域分布基本对应, 主要分布在平原、盆地等缓坡平坦地区。根据各区县农业生产适宜性评价结果和农业发展现状, 将农业生产空间划分为粮食优势生产区、城郊农业区和特色农产品区, 并提出相应布局优化和调控策略。本研究可为丘陵地区农业生产适宜性评价提供科学依据, 也可为农业生产空间优化调控策略提供理论基础。

关键词: 农业生产适宜性; 优化调控; 资源环境承载力; 东南丘陵山区; 福建省

中图分类号: K901、F323

文献标志码: A

随着中国工业化和城镇化发现进程加快, 城镇开发边界不断扩张, 农用地不断被挤占, 导致农用地面积减少、质量下降, 耕地资源受到严重影响, 从而威胁到中国生态安全、资源安全和粮食安全^[1]。在此背景下, 科学划定和优化农业生产空间的保护界限尤为迫切, 其对缓解城镇开发建设用地和农村建设用地之间的潜在矛盾和冲突、有效保障生态安全、

资源安全和粮食安全具有重要意义^[2]。

目前关于优化农业生产空间格局的研究方法主要有区域农业生产优势度评价^[3]、重金属超标评价^[4]、生态位适宜性评价^[5]、单种作物种植适宜性评价^[6]以及资源环境承载力和国土空间开发适宜性评价^[2,7-11]等方法。其中, 资源环境承载力和国土空间开发适宜性评价能全面反映出农用地本底条

收稿日期(Received date): 2022-06-15; 改回日期(Accepted date): 2022-12-06

基金项目(Foundation item): 福建省农业科学院自由探索科技创新项目(ZYTS202228)。[Free Exploration of Scientific and Technological Innovation Program of Fujian Academy of Agricultural Sciences(ZYTS202228)]

作者简介(Biography): 罗莎莎(1990-), 女, 福建省龙岩市人, 硕士, 助理研究员。主要研究方向: 农村与区域发展。[LUO Shasha (1990-), female, born in Longyan, Fujian province, M. Sc., assistant researcher, research on rural and regional development] E-mail: luoshasha315@163.com

* 通讯作者(Corresponding author): 许标文(1981-), 男, 硕士, 副研究员。主要研究方向: 农村发展管理。[XU Biaowen (1981-), male, M. Sc., associate professor, research on management of rural development] E-mail: 13596447@qq.com

件和社会经济基础条件,有利于科学评价农业生产适宜性,为优化农业生产空间提供可靠依据。但关于农业生产功能指向的资源环境承载力和国土空间开发适宜性评价的研究仍存在以下不足:(1)评价方法强调因子的绝对权重或是简单叠加^[7-8,11-20],忽视了影响因素间相对重要性的比较;(2)评价指标体系普遍较为简单^[12,19],多为单一评价土地的自然条件^[13,17-18],缺乏综合反映特定区域自然条件和资源特点的指标,未能全面体现土地用于支撑农业生产的基础条件;(3)研究尺度以跨区域^[10]、省域^[2,17,22]和县域^[12,14-15,20]居多,作为中观尺度的中国东南丘陵山区市域农用地适宜性分析和农业生产空间优化调控的研究较少。

福建省地处中国东南典型丘陵山区,农用地挤占问题在尤为凸显^[23-24]。一方面,丘陵地区不但林地多、耕地少,而且由于地形起伏较大,切割破碎,缺乏优质连片的农业用地;另一方面,人类日益扩张的活动范围和不断增加的生产建设需要导致人地关系较为紧张。基于此,需要发挥市级层面在省级和县级层面农业生产空间划定工作的中间协调作用^[25],科学评价资源环境承载力和农用地生产适宜性,并据此对农业生产空间进行优化调控。目前关于东南丘陵山区的市域农用地适宜性评价和农业生产空间优化相关的研究,仅涉及部分市域的优势农业空间识别和农业生产适宜性分析^[1,26],未开展农业生产空间优化研究,缺乏更多案例研究以供相似地区参考。福建省三明市作为福建省粮食主产区和“中国绿都”,对保障福建省的粮食安全和生态安全发挥着举足轻重的作用。对三明市农业生产适宜性进行评价,可以进一步丰富市级尺度研究案例,有效优化当地农业生产空间布局,确保三明市农业生产空间的数量和质量。

本研究以福建省三明市为例运用空间分析手段,采用资源环境承载力和国土空间开发适宜性评价方法,通过因素间相对比较的判断矩阵将各因素叠加综合集成,评价农业生产适宜性。在此基础上提出农业生产空间布局优化和调控建议,以为优化调整丘陵地区市域农业生产空间提供依据。

1 研究区概况及数据来源

1.1 研究区概况

三明市位于 $116^{\circ}22' \sim 118^{\circ}39'E, 25^{\circ}30' \sim 27^{\circ}07'N$,地处福建省西部山区的闽赣交界,属亚热带海洋性季风气候,地势从西北、西南往东北倾斜,地貌类型丰富。全市降水空间分布呈不均匀性,年降水量西北部(明溪、宁化、清流、将乐、泰宁、建宁)多于东南部(梅列、三元、大田、尤溪、沙县、永安),受地形地势影响,地势陡峭地区的地表径流可利用率较低,且降水储存能力较差。三明市属于亚热带季风气候区,光照时间长,气温较高,年平均日照时数可达 $1727.1 \sim 1897.5$ h,年平均太阳辐射能可达 120 kcal/cm^2 ,属于日照资源较丰富地区。2019年,三明市全域山地占总面积 82.78% ,耕地占 8.35% ,水域及其他占 8.87% ,有“八山一水一分田”之称。三明市是福建省粮食主产区,耕地以水田为主,水田面积为 1804.03 km^2 ,占耕地总量的 94.06% ,境域粮食生产以水稻为主,为杂交水稻制种全国优势产区。2019年,全市制种面积 16466.67 hm^2 、产量 $4900 \times 10^4 \text{ kg}$,分别占全国的 17.9% 、 20.6% 。建宁县成为国家级杂交水稻制种第一超级大县,泰宁县和宁化县制种面积均已超过现有国家级制种大县标准,其中泰宁县水稻制种面积居全省第2位。

1.2 数据来源

研究数据年份为2019年,数据来源包括三明市自然资源、农业、水利、环保、气象等部门公开的资料,以及国家地球系统科学数据共享平台(<http://www.geodata.cn/>)等科学网站可下载的土地资源、水资源、生态环境、气候气象和交通区位等数据,各指标数据统一转换为精度 $30 \text{ m} \times 30 \text{ m}$ 的栅格数据,具体数据来源及处理过程见表1。

2 研究方法

2.1 构建评价指标体系

借鉴农用地有关的资源环境承载力评价和适宜性分析研究成果^[1-2,7-10],将农业生产空间资源环境承载力评价从土地资源、水资源、气候条件、环境容量和气象灾害5个因素选取坡度、土壤有机质含

表1 农业生产适宜性评价指标体系

Tab.1 Evaluation index system, of suitability for agricultural production

目标层	因素层(内涵)	指标层	指标数据来源及处理过程	
资源环境承载力	土地资源 (反映土地适用于耕种的程度)	坡度	ArcGIS10.2 软件计算地形坡度。	
		土壤有机质含量	指存在于土壤中的所有含碳的有机物质。根据 1:25 万土壤地球化学数据,参考土地质量地球化学评价规范(DZ/T0295-2016)进行分级。	
		耕地破碎度	指耕地的在空间上呈现的分散程度,借鉴景观格局研究思路,以乡镇为单元,以耕地图斑为选取平均地块面积、地块密度、地块数量破碎化三个指标进行标准化后,加权求和得到耕地破碎度指数,再采用自然断点法划分等级。	
	水资源 (反映农业生产的供水能力)	降雨量	多年平均降雨量。	
		工程性缺水调节能力	指因缺乏水利设施导致空间蓄水能力差,采用水资源总量和坡降比两项指标进行集成,集成准则与 2.3.1 单因素集成一致。	
	气候条件 (反映光热条件对农业生产的支撑能力)	≥ 0 °C 活动积温	基于三明市各气象站点长时间序列气温观测资料,统计 ≥ 0 °C 活动积温,通过空间插值得到三明市全域活动积温分布情况,利用 ≥ 0 °C 活动积温反映区域热条件。	
		日照时数	采用三明市 2009—2018 年十年平均日照时数,通过三明市各气象站点进行空间插值。坡面的朝向对日照时数有较大影响,因此采用坡向对日照时数评价结果进行修正,修正准则与 2.3.1 单因素集成一致。	
	环境容量 (反映土壤质量对农业生产的支撑能力)	土壤污染物含量	根据多目标区域地球化学表层土壤调查点数据,通过空间插值得到土壤污染物含量分布图层,依据《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB15618-2018),当土壤中污染物含量 \leq 风险筛选值、 $>$ 风险筛选值且 \leq 风险管制值、 $>$ 风险管制值时,相应划分为低、中、高 3 个等级。	
	适宜性	气象灾害(反映气象灾害发生对农业生产造成损失的风险程度)	灾害风险指数	福建省多年气象灾害次数,将其赋值到对应的县(市、区),制成气象灾害风险分布栅格图,通过重分类,确定种植业功能指向的气象灾害评价结果。
		空间形态(反映农业规模生产的程度)	耕地连片程度	用连片程度反映耕地的空间形态。
区位条件(反映农业生产的便捷程度)		到道路距离	用国道、省道、县道和乡道表示各级道路,用距道路距离表示耕作的便捷程度。	
		耕作距离	用耕地距居民点距离表示耕作距离。	
生产条件 (反映保证农业生产的灌溉的程度)		灌溉保证率	采用灌溉水源量和沟渠密度 2 个指标进行评价,以各小流域单元内水库面积表征灌溉水源量的空间分布,按分位数法将水资源总量进行分级;沟渠密度考虑农业水利设施分布条件,采用线密度测算,搜索半径设置为 1000 m,最后集成灌溉保证率结果。	

量、耕地破碎度、降雨量、工程性缺水调节能力、 ≥ 0 °C 活动积温、日照时数、土壤污染物含量和灾害风险指数 9 项指标,适宜性评价从空间形态、区位条件和生产条件 3 个因素选取耕地连片程度、到道路距离、耕作距离和灌溉保证率 4 项指标,具体指标数据来源及处理过程见表 1。

2.2 集成方法

基于层次分析法建立判断矩阵,并成对比较的升降级方法把绝对判断转化成相对判断,以提高准

确性。通过因素间相对比较的判断矩阵将各因素叠加进行综合集成,操作思路为:根据表 1 的数据处理结果和三明市实际情况,确定各指标分级标准(表 2),并构建资源环境承载力和适宜性各因素集成矩阵或集成准则。首先,分别将土地资源、水资源、气候条件等因素的指标等级根据 2.2.1 单因素集成矩阵或集成准则逐步进行修正,再根据 2.2.2 资源环境承载力集成方法进行综合集成,得到资源环境承载力初判结果。同理,区位条件进行单因素集成后,

表2 三明市农业生产适宜性评价指标分级标准

Tab.2 Grading standard of evaluation indexes in Sanming

因素层	指标层	单位	分级标准				
			高	较高	中等	较低	低
土地资源	坡度		<2°	2°~6°	6°~15°	15°~25°	>25°
	土壤有机质含量	g·kg ⁻¹	≤10	10~20	20~30	30~40	>40
	耕地破碎度		低	较低	中等	较高	高
水资源	降雨量	mm	≥1200	800~1200	400~800	200~400	<200
	工程性缺水调节能力		高	较高	中等	较低	低
气候条件	≥0℃活动积温	℃	≥7600	5800~7600	4000~5800	1500~4000	<1500
	日照时数	h	高	较高	中等	较低	低
环境容量	土壤污染物含量	mg·kg ⁻¹	低		中等		高
气象灾害	灾害风险指数		低	较低	中等	较高	高
空间形态	耕地连片程度	hm ²	≥400	250~400	150~250	80~150	<80
区位条件	到主干道距离	km	<0.50	0.50~1.00	1.00~1.50	1.50~2.00	≥2.00
	耕作距离	m	<200	200~500	500~1000	1000~2000	≥2000
生产条件	灌溉保证率	km·km ⁻²	高	较高	中等	较低	低

将资源环境承载力初判结果结合空间形态、区位条件和生产条件因素根据2.2.3适宜性集成方法进行修正和集成,得到农业生产适宜性评价结果。

表2中,坡度、降雨量、活动积温、耕地连片程度的分级标准参考《资源环境承载能力和国土空间开发适宜性评价技术指南(试行)》;土壤有机质含量分级标准参考《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T0295-2016);土壤污染物含量分级标准参考《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB15618-2018);灾害风险指数分级标准参考陈家金等^[27]关于福建省农业气象灾害风险评价结果;耕地破碎度、工程性缺水调节能力、日照时数、灌溉保证率采用自然断点法、分位数法进行分级;到主干道距离、耕作距离采用专家经验法、自然断点法进行分级。

2.2.1 单因素集成准则

因素层内包含2个及以上指标的,根据资源环境承载能力和国土空间开发适宜性评价的要求,进行单因素集成。以第1个指标分级为初判结果,利用第2个指标进行修正,修正准则为:修正指标等级为高的,将初判结果提升1级(最高级别保持不变);修正指标等级为低的,将初判结果降低1级(最低级别保持不变);其余等级保持不变。第3个

及后续指标以此类推,得到单因素集成结果。

2.2.2 资源环境承载力集成方法

农业生产空间资源环境承载能力集成方法:(1)首先构建水土资源评价的判别矩阵(表3),根据矩阵集成得到水土资源基础条件。(2)在农业生产水土资源条件基础上,对于气候条件好的区域,水土资源条件初判结果提升1级(最高级别保持不变);气候条件为差的区域,水土资源条件初判结果降低1级(最低级别保持不变);气候条件较好、中等和较差等级的区域,根据三明市各县统计年鉴数据,种植业年收成变化量较小,因此该部分区域评价结果保持不变。(3)纳入环境容量因素,土壤污染对种植业生产具有一票否决性,单因素评价中将土

表3 水土资源基础参考判别矩阵

Tab.3 Referential judgment matrix for water and land resources condition

水资源条件	土地资源条件				
	高	较高	中等	较低	低
好	好	好	较好	一般	差
较好	好	好	较好	较差	差
一般	好	较好	一般	差	差
较差	较好	一般	较差	差	差
差	一般	一般	差	差	差

壤中污染物含量大于风险管制值的区域划分为最低等级。因此,土壤环境容量评价结果为低值的区域,将前3个因素集成等级调整为低等级;土壤环境容量评价结果为中等级的区域,将前3个因素集成等级下降1级(等级最低的维持不变)。(4)纳入气象灾害因素,对气象灾害风险性高的区域,将前4个因素集成等级为好的调整为较好等级。最后将三明市农业生产空间资源环境承载能力评价结果通过自然断裂点法划分为高、较高、中等、较低和低5个等级(图1)。

2.2.3 适宜性集成方法

在农业生产空间资源环境承载能力评价的基础上,采用空间形态、区位条件、生产条件3个因素进行修正和集成。集成方法:(1)对于空间形态等级高和较高的区域,将承载能力提升1级(最高级别保持不变);空间形态等级低的区域,将承载能力降低1级(最低级别保持不变);等级为中等和较低的区域保持不变。(2)对于区位条件等级高的区域,将承载能力提升1级(最高级别保持不变);区位条件等级低的区域,将承载能力降低1级(最低级别保持不变);等级为较高、中等和较低的区域保持不变。(3)对于生产条件等级高的区域,将承载能力提升1级(最高级别保持不变);生产条件等级低的区域,将承载能力降低1级(最低级别保持不变);等级为较高、中等和较低的区域保持不变。最后将

农业生产适宜性评价结果通过自然断裂点法划分为适宜、较适宜、一般适宜、较不适宜和不适宜5个等级。需要说明的是,虽然指标分级参考现行标准和已有文献,并结合区域实际情况划分为五个等级,使每个指标能较准确地体现评价区域的现实情况,但在集成过程中,需要结合影像和土地利用数据确定各单因素或指标不同等级的修正方法,确保集成结果符合地方实际情况,因此会出现中间等级区域保持不变的情况。

3 结果分析

3.1 资源环境承载力结果分析

三明市农业生产功能指向的资源环境承载力总体上呈现西高东低分布格局,空间上较为集聚。承载力高和较高等级地区主要集中在地势平缓、光热条件和土壤环境好的西部山间盆地区域;承载力较低和低等级地区主要集中在海拔高、坡度陡、光热条件差、土壤污染系数高和气象灾害频发的区域(图1)。

按照资源环境承载力评价结果,进一步将三明市各区县不同等级的面积和比值进行统计,结果见表4。承载力高和较高等级的区域面积占比为44.83%。其中,位于西南、西北部的建宁、宁化和清流县的承载力高和较高等级区域面积占比均高于

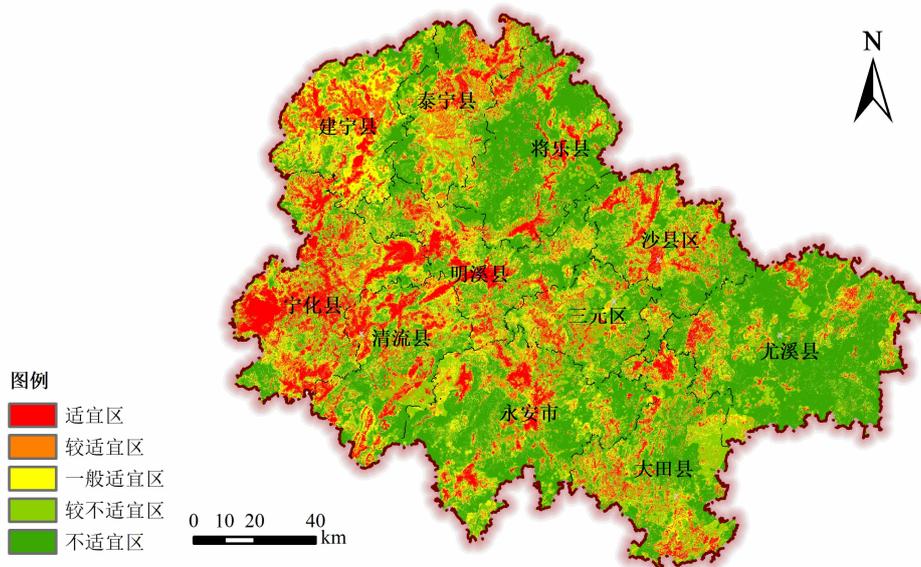


图1 三明市农业生产空间资源环境承载力评价

Fig. 1 Resources and environmental carrying capacity of agricultural production space in Sanming

60%,依次为77.50%、77.22%和62.68%,表明这些地区高于半数的土地资源环境状况良好,具有较好的农业生产基础。从单因素评价结果看,上述地区具有土壤污染物含量低、降雨量相对较丰富和土壤有机质平均含量处于中等及以上水平的特点,其中建宁和宁化县的耕地破碎度低,宁化和清流县的光热条件能达到一年三熟有余,农业功能指向的资源条件优势明显。对于这部分区县,要注重保护土地环境,防止土壤污染,降低自然灾害发生频率。其余区县的承载力高和较高等级区域面积占比除了明溪县(58.16%),都低于全市平均比重(46.82%)。承载力低和较低等级区域面积占比较高的为尤溪、将乐和大田县,分别为68.68%、55.92%和55.92%。这些地区相对来说降雨量较低、土壤环境容量较低以及光热条件仅达到一年一熟至两熟,尤其尤溪和大田县的耕地破碎度明显高于其他地区,农业功能指向的水土资源条件处于劣势。对于这部分区县,要加强土壤环境污染治理,完善农田水利设施,提高土地对农业生产的承载能力。

3.2 适宜性评价结果分析

三明市农业生产适宜性评价结果总体呈现“大分散、小集聚”的空间分布格局(图2),适宜、较适宜区与资源环境承载力较高等级及以上区域分布基本

对应。适宜和较适宜区主要分布在平原、盆地等缓坡平坦地区,该区域具备良好的农业生产资源环境、区位和生产条件;一般适宜区的田块连片程度、耕种距离和交通便捷程度一般,具备一定的农业生产条件;较不适宜和不适宜区多为高山地区,存在地形较陡、区位条件较差和水利设施配套不足等问题,不具备从事农业生产的条件。

根据农业生产适宜性评价结果,进一步将三明市各区县不同等级的面积和比值进行统计(表5),发现三明市西部地区的农业生产适宜和较适宜区面积明显高于东部地区。适宜和较适宜区域面积占比为25.61%,大于当前耕地和园地等农用地面积,表明该区域适宜农业生产的用地仍有拓展空间,可为耕地补划和耕地储备区域划定提供依据。其中,宁化县的适宜和较适宜区面积比重超过该县土地面积的1/2,清流和建宁县也占1/3左右,这些地区农业灌溉可用水量及沟渠密度较大,耕地集中连片程度高于其他地区,具有较高的农业生产适宜性,这与宁化和建宁县身为杂交水稻制种大县的现状高度匹配。永安、将乐和尤溪县农业生产适宜和较适宜区的面积不到1/5,该地区降雨量相对匮乏,耕地集中连片程度较低,导致土地空间形态和生产条件较差,较不利于农业生产。

表4 三明市各区县农业生产空间资源环境承载力评价

Tab. 4 Evaluation of resources and environmental carrying capacity in different counties in Sanming

地区	低		较低		中等		较高		高	
	面积/km ²	比值/%								
三元区	348.70	30.24	196.64	17.05	182.33	15.81	315.30	27.34	110.15	9.55
明溪县	235.71	13.60	257.71	14.87	231.76	13.37	646.92	37.33	361.10	20.83
清流县	355.05	19.63	188.32	10.41	131.75	7.28	669.19	36.99	464.78	25.69
宁化县	126.43	5.25	212.12	8.80	210.40	8.73	831.75	34.51	1029.29	42.71
大田县	798.29	35.79	449.11	20.13	451.76	20.25	432.09	19.37	99.47	4.46
尤溪县	1255.94	36.77	1090.00	31.91	442.76	12.96	525.83	15.39	101.34	2.97
沙县	429.61	23.89	315.63	17.55	306.88	17.07	502.22	27.93	243.75	13.56
将乐县	549.32	24.49	704.94	31.43	282.03	12.57	478.87	21.35	227.65	10.15
泰宁县	252.92	16.52	344.85	22.53	240.15	15.69	692.52	45.25	0.15	0.01
建宁县	66.08	3.85	174.52	10.16	146.11	8.50	1331.52	77.49	0.18	0.01
永安市	764.82	26.08	428.98	14.63	501.76	17.11	785.76	26.80	450.93	15.38
总计	5182.88	22.56	4362.83	18.99	3127.68	13.61	7211.98	31.39	3088.80	13.44

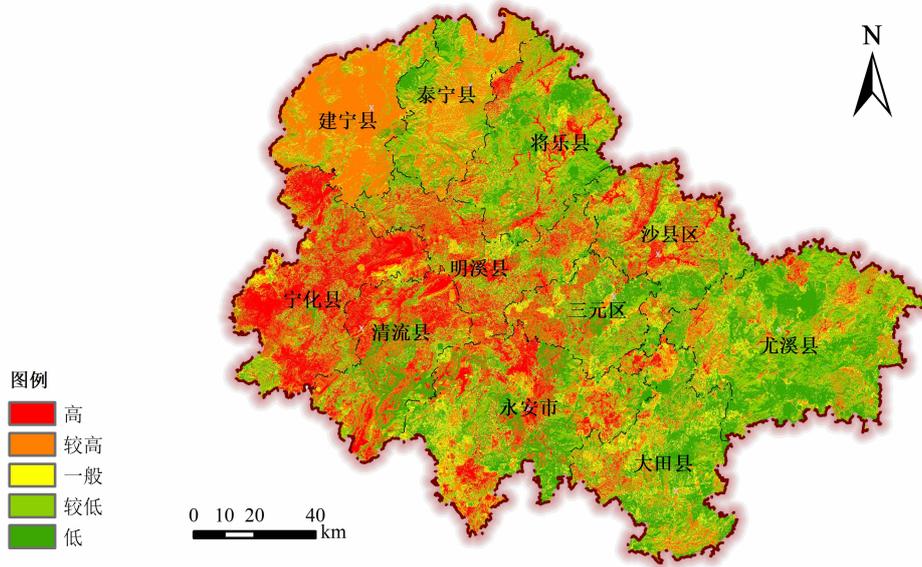


图2 三明市农业生产适宜性评价

Fig.2 Suitability for agricultural production in Sanming

表5 三明市各区县农业生产适宜性评价

Tab.5 Evaluation of suitability for agricultural production in different counties in Sanming

地区	不适宜区		较不适宜区		一般适宜区		较适宜区		适宜区	
	面积/km ²	比值/%								
三元区	370.69	32.19	304.20	26.42	220.54	19.15	173.65	15.08	82.42	7.16
明溪县	579.19	33.48	258.70	14.95	400.81	23.17	270.34	15.63	220.85	12.77
清流县	461.84	25.59	340.35	18.86	353.56	19.59	358.78	19.88	289.93	16.07
宁化县	333.72	13.89	292.04	12.15	499.70	20.80	566.34	23.57	711.00	29.59
大田县	718.84	32.27	663.70	29.79	375.79	16.87	269.99	12.12	199.34	8.95
尤溪县	2095.88	61.40	623.08	18.25	359.60	10.53	206.84	6.06	128.18	3.75
沙县	690.18	38.43	336.28	18.72	324.89	18.09	265.39	14.78	179.25	9.98
将乐县	1237.03	55.25	372.57	16.64	266.59	11.91	179.80	8.03	182.93	8.17
泰宁县	389.89	25.53	312.05	20.43	339.07	22.20	320.87	21.01	165.47	10.83
建宁县	315.53	18.41	286.74	16.73	550.42	32.12	332.91	19.43	228.19	13.31
永安市	1308.28	44.71	612.16	20.92	466.28	15.93	327.44	11.19	212.19	7.25
总计	8501.06	37.07	4401.87	19.20	4157.25	18.13	3272.36	14.27	2599.76	11.34

3.3 农业生产空间优化与调控策略

根据《福建省主体功能区规划》，宁化、清流、建宁、明溪、尤溪和将乐县的主体功能定位均为农产品主产区，涵盖了不同农业生产适宜区。因此，从全市范围来看，在保障生态功能不受破坏的前提下，根据不同农业生产适宜区的特点，因地制宜布局现代农业，优化农业生产空间是当前紧迫的任务。具体分区如下：

(1)粮食优势生产区。主要分布在西北部的建宁和泰宁县，以及西南部的宁化、清流和明溪县，该区域农业生产适宜和较适宜地区占比较大。调控策略：一是利用良好的农作物种植环境和生产条件，充分发挥耕地的生产功能，在西北部发挥杂交水稻制种大县优势、西南部加强名特优水稻种植，保障粮食安全；二是完善农业基础设施配套，提高农作物种植机械化水平，提高农用地利用效率；三是加大农业绿

色生产技术推广力度,控制农田面源污染,保障农用地生态系统服务功能;四是在保障粮食播种面积前提下,在西南部适度发展花卉、水果等特色产业,提高农民收入。

(2)城郊农业区。主要分布在中部的三元、沙县、永安和将乐县(区),该区域农业生产一般适宜区面积占比较大。调控策略:一是充分发挥功能定位和区位条件,发展城郊都市农业,加快建设为城市农副产品高效生产基地,并注重生态、高新技术的应用,开发立体农业、智慧农业等新业态新模式,满足城市居民对优质农产品的需求;二是整合农田景观和乡村旅游资源,积极发展乡村休闲农业,满足人们对于田园风光的追求与向往;三是进一步挖掘土地生产力,根据约束农业生产适宜性的因子,针对性开展土地平整、集中连片整治、土壤污染治理等,提高土地节约集约利用水平。

(3)特色农产品区。主要分布在东部的尤溪和大田县,该区域农业生产不适宜和较不适宜区的面积占比较大。调控策略:一是优先以种植茶叶、食用菌和林竹为主,同时把绿色生态作为发展原则,严格控制化肥农药投入使用,防止土壤环境质量下降;二是改善农业生产条件,并鼓励发展农产品产地初加工等生产配套设施,降低高山区域农业生产成本;三是加强水土流失治理,将坡度较大或位于生态保护区范围内等确实不具备农业生产条件的地块,按退出方式处理。

4 结论与讨论

4.1 结论

本研究以福建省三明市为例,构建适用于丘陵山区的农业生产适宜性评价指标体系,采用因素间相对比较的判断矩阵和集成方法对农业生产适宜性进行评价。将三明市农业生产适宜性评价结果划分为适宜、较适宜、一般适宜、较不适宜和不适宜5个等级,并对农业生产空间提出格局优化和调控建议。结论如下:

(1)三明市农业生产空间资源环境承载力空间分异特征明显。总体上呈现西高东低的分布特征,空间上较为集聚。高和较高等级的栅格数占比为44.83%,主要集中在地势平缓、光热条件和土壤环境好的区域;较低和低等级地区主要集中在海拔高、

坡度陡、光热条件差、土壤污染系数高和气象灾害频发的区域。位于三明市西南、西北部的建宁、宁化和清流县的承载力高和较高等级区域面积占比均高于60%,农业资源环境具有明显比较优势。

(2)三明市农业生产适宜和较适宜区总体呈现“大分散、小集聚”的分布特点,与资源环境承载力较高等级及以上区域分布基本对应。适宜和较适宜区域面积占比为25.61%,主要分布在平原、盆地等缓坡平坦地区;一般适宜区田块连片程度、耕种距离和交通便捷程度一般,具备一定的农业生产条件;较不适宜和不适宜区多为高山地区,存在地形较陡、区位条件较差和水利设施配套不足等问题,不具备从事农业生产的条件。

(3)差异化选择农业生产模式和农用地调整策略。结合各区县现状,在农业生产适宜性评价的基础上,将三明市农业生产空间划分为粮食优势生产区、城郊农业区和特色农产品区,并提出相应调控策略。

4.2 讨论

在确定资源环境承载力等级的基础上,科学评价农业生产功能指向的用地适宜性,符合当前“三生空间”划定的要求。相较于周侃^[2]等对福建省农业生产空间的评价,本研究在市级层面选取县域作为评价单元,在适宜性评价部分也采用相对重要性判断集成方法,将影像与县域土地利用数据纳入集成过程统筹考虑,更好地满足空间治理地方化和精细化的需求。同时,选取“耕地破碎度”“耕地连片程度”和“工程性缺水调节能力”等指标,较能准确突出东南丘陵山区农业用地小而散的特色。

关于水土资源基础参考判别矩阵并非完全对称,原因是土地资源和水资源对种植业的影响不同。土地资源条件好的区域具有地势平坦和土壤质量高的特点,可通过工程手段进行外部引水的方式弥补水资源的不足;然而水资源丰富但土地资源条件较差的区域一般位于高山陡崖,难以通过工程手段对地形和土壤质量等因素进行改造,即便改造完成,气候条件、区位条件和交通条件等因素也会成为种植业发展的限制因素,因此水土资源集成矩阵一般难以做到完全对称。

适宜性评价是一个动态过程,区域的资源环境承载力在不同时间阶段具有不同程度的变化,科技进步可促使资源环境承载力处于不断优化的状态,

从而影响适宜性的改变。本研究由于数据获取的难度较大,暂无法进行动态的时空分析,未来在资源环境承载力和国土空间开发适宜性评价过程中,应将科技进步和要素流动等因素纳入考虑范围,推动空间规划和空间治理的过程化和动态监测实施化^[28]。

参考文献(References)

- [1] 苏鹤放,曹根榕,顾朝林,等. 市县“双评价”中优势农业空间划定研究:理论、方法和案例[J]. 自然资源学报, 2020, **35**(9): 1839 - 1852. [SU Hefang, CAO Genrong, GU Chaolin, et al. The superior agricultural space demarcation based on the evaluation of resources and environmental carrying capacity and territorial spatial development suitability at municipality and county levels: Theories, methods and study of two cases [J]. Journal of Natural Resources, 2020, **35**(9): 1839 - 1852] DOI: 10.31497/zrzyxb.20200807
- [2] 周侃,李九一,王强. 基于资源环境承载力的农业生产空间评价与布局优化——以福建省为例[J]. 地理科学, 2021, **41**(2): 280 - 289. [ZHOU Kan, LI Jiuyi, WANG Qiang. Evaluation on agricultural production space and layout optimization based on resources and environmental carrying capacity: A case study of Fujian province [J]. Scientia Geographica Sinica, 2021, **41**(2): 280 - 289] DOI: 10.13249/j.cnki.sgs.2021.02.011
- [3] 南国卫,孙虎,宋永永. 基于虚拟水战略的黄土高原地区农业生产空间布局优化——以榆林市为例[J]. 经济地理, 2017, **37**(10): 197 - 205. [NAN Guowei, SUN Hu, SONG Yongyong. Optimization of agricultural production spatial distribution in Loess Plateau based on virtual water strategy: A case study of Yulin city [J]. Economic Geography, 2017, **37**(10): 197 - 205] DOI: 10.15957/j.cnki.jjdl.2017.10.025
- [4] 刘霏璐,吴克宁,李晨曦,等. 区域农用地土壤重金属超标评价与种植适宜分区[J]. 土壤通报, 2016, **47**(6): 1490 - 1498. [LIU Peilu, WU Kening, LI Chenxi, et al. Heavy metal contamination evaluation and planting suitable zoning for soils in regional agricultural land [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2016, **47**(6): 1490 - 1498] DOI: 10.19336/j.cnki.trtb.2016.06.31
- [5] 蔡海生,陈艺,张学玲. 基于生态位理论的富硒土壤资源开发利用适宜性评价及分区方法[J]. 生态学报, 2020, **40**(24): 9208 - 9219. [CAI Haisheng, CHEN Yi, ZHANG Xueling. Suitability evaluation and zoning method research on development and utilization of selenium-rich soil resources based on niche theory [J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, **40**(24): 9208 - 9219] DOI: 10.5846/stxb202002110229
- [6] 毛留喜,赵俊芳,徐玲玲,等. 我国“镰刀弯”地区春玉米种植的气候适宜性与调整建议[J]. 应用生态学报, 2016, **27**(12): 3935 - 3943. [MAO Liuxi, ZHAO Junfang, XU Lingling, et al. Climatic suitability of spring maize planted in the “sickle bend” area of China and regulation suggestion [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2016, **27**(12): 3935 - 3943] DOI: 10.13287/j.1001-9332.201612.026
- [7] 付晶莹,郜强,江东,等. 黑土保护与粮食安全背景下齐齐哈尔市国土空间优化调控路径[J]. 地理学报, 2022, **77**(7): 1662 - 1680. [FU Jingying, GAO Qiang, JIANG Dong, et al. Optimal regulation of spatial planning in the context of black soil preservation and food security in Qiqihar [J]. Acta Geographica Sinica, 2022, **77**(7): 1662 - 1680] DOI: 10.11821/dlxb202207007
- [8] 李娅,谭秋,王丽双,等. 县域农业土地利用适宜性评价与优化研究——以山西省原平市为例[J]. 中国农业资源与区划, 2022, **43**(1): 91 - 99. [LI Ya, TAN Qiu, WANG Lishuang, et al. Research on suitability evaluation and optimization of agricultural land use in county region: A case study of Yuanping city, Shanxi province [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2022, **43**(1): 91 - 99] DOI: 10.7621/cjarrp.1005-9121.20220110
- [9] 姜华,唐晓华,杨利亚,等. 基于土地资源的市县多要素国土空间开发适宜性评价研究——以湖北省宜昌市为例[J]. 中国地质, 2020, **47**(6): 1776 - 1792. [JIANG Hua, TANG Xiaohua, YANG Liya, et al. Suitability evaluation of land space development based on land resources: A case study of Yichang city in Hubei province [J]. Geology in China, 2020, **47**(6): 1776 - 1792] DOI: 10.12029/gc20200614
- [10] 刘琼,杨楠,高萌萌,等. 面向国土空间规划的农业生产适宜性评价——以辽中平原为例[J/OL]. 中国农业资源与区划. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3513.S.20220517.1433.010.html> [LIU Qiong, YANG Nan, GAO Mengmeng, et al. Evaluation of agricultural production suitability for territory spatial planning: A case study of Liaozhong plain [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3513.S.20220517.1433.010.html>]
- [11] 叶英聪,孙凯,匡丽花,等. 基于空间决策的城镇空间与农业生产空间协调布局优化[J]. 农业工程学报, 2017, **33**(16): 256 - 266 [YE Yingcong, SUN Kai, KUANG Lihua, et al. Spatial layout optimization of urban space and agricultural space based on spatial decision-making [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2017, **33**(16): 256 - 266] DOI: 10.11975/j.issn.1002-6819.2017.16.034
- [12] 李茂森,王继军,陈超,等. 基于GIS的安塞县南沟流域农用地生态适宜性评价[J]. 水土保持研究, 2018, **25**(1): 237 - 242. [LI Maosen, WANG Jijun, CHEN Chao, et al. Ecological suitability evaluation of agricultural land in Xiannangou Watershed of Ansai using GIS system [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2018, **25**(1): 237 - 242] DOI: 10.13869/j.cnki.rswc.2018.01.039
- [13] 闫潍虹,衣华鹏,程振龙,等. 基于DEM的烟台市农用地适宜性评价[J]. 水土保持通报, 2016, **36**(6): 210 - 215 + 222. [YAN Weihong, YI Huapeng, CHENG Zhenlong, et al.

- Evaluation of land suitability in Yantai city based on DEM [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2016, **36**(6): 210 – 215 + 222] DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2016.06.036
- [14] 奉婷, 张凤荣, 李灿, 等. 基于耕地质量综合评价的县域基本农田空间布局[J]. *农业工程学报*, 2014, **30**(1): 200 – 210. [FENG Ting, ZHANG Fengrong, LI Can, et al. Spatial distribution of prime farmland based on cultivated land quality comprehensive evaluation at county scale [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2014, **30**(1): 200 – 210] DOI: 10.3969/j.issn.1002-6819.2014.01.026
- [15] 王亚华, 袁源, 张小林, 等. 城乡结合部基本农田空间布局方法研究——以南通市港闸区为例[J]. *中国土地科学*, 2011, **25**(2): 79 – 84. [WANG Yahua, YUAN Yuan, ZHANG Xiaolin et al. Method on spatial allocation of primary farmland in rural-urban fringe: A case study of Gangzha district in Nantong city [J]. *China Land Science*, 2011, **25**(2): 79 – 84] DOI: 10.13708/j.cnki.cn11-2640.2011.02.008
- [16] PRAMANIK M K. Site suitability analysis for agricultural land use of Darjeeling district using AHP and GIS techniques [J]. *Modeling Earth System Environment*, 2016, **2**(56): 1 – 22. DOI: 10.1007/s40808-016-0116-8
- [17] AKINCI H, OZALP A Y, TURGUT B. Agriculture land use suitability analysis using GIS and AHP technique [J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2013, **97**: 71 – 82. DOI: 10.1016/j.compag.2013.07.006
- [18] FEIZIZADEH B, BLASCHKE T. Land suitability analysis for Tabriz county, Iran: A multi-criteria evaluation approach using GIS [J]. *Journal of Environmental Planning and Management*, 2013, **56**: 1 – 23. DOI: 10.1080/09640568.2011.646964
- [19] 徐雯雯, 宁晓刚, 王浩, 等. 基于GIS的城镇、农业、生态空间分区与国土开发风险识别——以陕西省南泥湾景区为例[J]. *地域研究与开发*, 2021, **40**(3): 127 – 132 + 139. [XU Wenwen, NING Xiaogang, WANG Hao, et al. Research on spatial partition of ecological-urban-agricultural land and risk analysis of land development: A case study of Nanniwan area in Shaanxi province [J]. *Areal Research and Development*, 2021, **40**(3): 127 – 132 + 139] DOI: 10.3969/j.issn.1003-2363.2021.03.022
- [20] 朱寿红, 殷少美, 唐伟, 等. 基于资源承载力的农用地适宜性评价——以广陵区为例[J]. *江西农业学报*, 2021, **33**(1): 117 – 122. [ZHU Shouhong, YIN Shaomei, TANG Wei, et al. Suitability evaluation of agricultural land based on resource carrying capacity: A case study of Guangling district [J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2021, **33**(1): 117 – 122] DOI: 10.19386/j.cnki.jxnyxb.2021.01.20
- [21] 王继人, 钟昌标, 王玲玲, 等. 2000—2017年湖南省土地耕作适宜性、气候生产潜力与LUCC过程动态特征[J]. *山地学报*, 2019, **37**(2): 252 – 262. [WANG Jiren, ZHONG Changbiao, WANG Lingling, et al. The dynamic features of land cultivation suitability, climatic potential productivity and LUCC process from 2000 to 2017 in Hunan province, China [J]. *Mountain Research*, 2019, **37**(2): 252 – 262] DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000419
- [22] 周璐红, 曹瑞超, 王盼婷. 基于土地资源承载力的农业生产适宜性评价——以陕西省为例[J]. *生态经济*, 2022, **38**(9): 125 – 130. [ZHOU Luhong, CAO Ruichao, WANG Panting. Suitability evaluation of agricultural production based on the carrying capacity of land resources: Taking Shaanxi province as an example [J]. *Ecological Economy*, 2022, **38**(9): 125 – 130]
- [23] 王佳韡, 伍世代, 王强, 等. 南方山地丘陵区资源环境承载力监测预警技术方法探讨——以福建省为例[J]. *地理科学*, 2019, **39**(5): 847 – 856. [WANG Jiawei, WU Shidai, WANG Qiang, et al. Early-warning technical methods of the resources and environment carrying capacity in southern mountainous region: A case study of Fujian province [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2019, **39**(5): 847 – 856] DOI: 10.13249/j.cnki.sgs.2019.05.016
- [24] 王海平, 陈志峰, 许标文, 等. 福建省粮食安全及其评价研究[J]. *福建农业学报*, 2015, **30**(12): 1207 – 1213. [WANG Haiping, CHEN Zhifeng, XU Biaowen, et al. Quantitative evaluation of food security in Fujian province [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2015, **30**(12): 1207 – 1213] DOI: 10.19303/j.issn.1008-0384.2015.12.014
- [25] 岳隽, 范朋灿. 新时期国土空间治理的价值传导与目标演进——市县国土空间规划指标体系的响应[J]. *热带地理*, 2021, **41**(4): 676 – 684. [YUE Jun, FAN Pengcan. Value transmission and goal evolution of territorial spatial governance in the New Era: Response of the territorial spatial planning index system at the city and county scale [J]. *Tropical Geography*, 2021, **41**(4): 676 – 684] DOI: 10.13284/j.cnki.rddl.003359
- [26] 傅幸之. 市县级国土空间农业生产适宜性评价方法优化[J]. *规划师*, 2020(8): 20 – 25. [FU Xingzhi. Improving agricultural production suitability evaluation of national land use and space at city and county levels [J]. *Planners*, 2020(8): 20 – 25] DOI: 10.3969/j.issn.1006-0022.2020.08.003
- [27] 陈家金, 王加义, 黄川容, 等. 基于AHP-EWM方法的福建省农业气象灾害风险区划[J]. *自然灾害学报*, 2016, **25**(3): 58 – 66. [CHEN Jiajin, WANG Jiayi, HUANG Chuanrong, et al. Risk division of agro-meteorological disasters in Fujian province based on AHP-EWM method [J]. *Journal of Natural Disasters*, 2016, **25**(3): 58 – 66] DOI: 10.13577/j.jnd.2016.0307
- [28] 郝庆, 邓玲, 封志明. 国土空间规划中的承载力反思: 概念、理论与实践[J]. *自然资源学报*, 2019, **34**(10): 2073 – 2086. [HAO Qing, DENG Ling, FENG Zhiming. Carrying capacity reconsidered in spatial planning: Concepts, methods and applications [J]. *Journal of Natural Resources*, 2019, **34**(10): 2073 – 2086] DOI: 10.31497/zrzyxb.20191005

Suitability Analysis and Spatial Optimization of Agricultural Production in Urban Areas of Southeast Hilly Area: A Case Study of Sanming, Fujian Province, China

LUO Shasha¹, WANG Xudong², LAI Qingbiao², XU Biaowen^{1*}

(1. Institute of Agricultural Economics and Information, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350003, China;

2. Fujian Geological Surveying and Mapping Institute, Fuzhou 350005, China)

Abstract: A scientific assessment of the suitability of agricultural production and relevant optimization of agricultural production space in accordance with the carrying capacity of resources and environment of interest is of great significance for ensuring ecological security, resource security, and food security. Some well-known performance metrics designed to assess the suitability of land space development for agricultural production purpose based on the carrying capacity of resources and environment were not comprehensive, none of them in connection with the urban areas of southeast hilly areas; and most of them were hardly performed on a scale of a municipality, without comparison of statistical significance of indices, which were not benefit for justification of evaluation processes. In this study, it took Sanming of Fujian province, a hilly and mountainous city in southeastern China as a case study to construct a performance metrics for evaluating the suitability of agricultural production. It introduced a judgment matrix with relative comparison among factors to integrate the indices. The results of the suitability assessment were graded into five levels, and suggestions were made for optimizing the pattern of the agricultural production space and regulating. The results show that: (1) The spatial distribution of the carrying capacity of resources and environment for agricultural production resources in Sanming city had a pattern of “high in the west and low in the east”, where 44.83% of the areas with high resource carrying capacity and above were mainly distributed in Jianning, Ninghua and Qingliu counties in the west. (2) The proportion of areas suitable and sub-suitable to agricultural production in Sanming was 25.61%; they were mainly distributed in flat areas with gentle undulation, such as plains and basins, which basically corresponded to the distribution of areas with high resource carrying capacity and above. According to our suitability evaluations and the present orientations of agricultural development in each district and county of Sanming, agricultural production space could be classified into three zones: advantageous-grain-production area, suburban-agriculture-area, and specialty-agriculture-product area. Accordingly, layout optimization and regulation strategies for agricultural production in Sanming were put forward. This study can provide a scientific basis for the suitability evaluation of agricultural production in hilly areas of southern China and build a theoretical foundation for optimization and regulation strategies of agricultural production space.

Key words: analysis of agricultural production suitability; optimization control; resources and environmental carrying capacity; the southeast hilly region; Fujian Province