

王翠婷, 童 童, 汤萌萌, 等. 基于莫兰指数的丘陵地区高标准农田建设时序分区——以安徽省滁州市凤阳县为例[J]. 江苏农业学报, 2024, 40(1): 83-92.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2024.01.009

基于莫兰指数的丘陵地区高标准农田建设时序分区——以安徽省滁州市凤阳县为例

王翠婷, 童 童, 汤萌萌, 江文娟, 丁琪洵, 王 强, 马友华

(安徽农业大学资源与环境学院, 安徽 合肥 230036)

摘要: 推进高标准农田建设是提升长江中下游丘陵地区耕地质量的重要举措。为了使高标准农田建设有序、高效地进行, 以安徽省滁州市凤阳县为例, 基于莫兰指数, 结合耕地质量、灌溉排水能力的空间分布, 以地块为最小单元划分高标准农田建设区域。结果表明: 凤阳县耕地质量等级为中等, 平均等级为 4.367 等; 全县耕地质量等级呈现显著的空间正相关性, 其中有 73.45% 的耕地呈现显著的空间自相关性。灌溉排水能力的可改善程度可分为 1~9 级, 依据耕地质量等级的空间相关性和灌溉排水能力可改善程度, 将高标准农田建设时序划分为优先建设区、次级建设区、后备建设区和暂不建设区, 其中优先建设区为空间相关性为高-低(HL)型且灌溉排水能力可改善程度较大的区域。采用研究区高标准农田建设实施案例对研究结果进行验证, 耕地质量等级提升程度较大的区域均处于优先建设区和次级建设区。研究结果对于高标准农田建设的选址具有一定的参考和应用价值, 可为有序和高效推进高标准农田建设和提升耕地质量提供参考。

关键词: 高标准农田; 莫兰指数; 建设时序; 灌溉排水能力

中图分类号: F327 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2024)01-0083-10

Temporal zoning of high-standard farmland construction in hilly areas based on Moran index——taking Fengyang County as an example

WANG Cui-ting, TONG Tong, TANG Meng-meng, JIANG Wen-juan, DING Qi-xun, WANG Qiang, MA You-hua

(College of Resources and Environment, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China)

Abstract: Promoting the construction of high-standard farmland is an important measure to improve the quality of cultivated land in hilly areas in the middle and lower reaches of the Yangtze River. In order to reasonably define the construction time sequence of high-standard farmland, Fengyang County was taken as an example, and based on Moran index, combined with the spatial distribution of cultivated land quality and irrigation and drainage capacity, the construction time sequence of high-standard farmland with plot as the smallest unit was divided. The results showed that the cultivated land quality grade in Fengyang County was medium, with an average grade of 4.367. The cultivated land quality level in the county showed significant positive spatial correlation, and 73.45% of cultivated land showed significant spatial autocorrelation. The improvement degree of irrigation and drainage capacity could be divided into 1-9 levels. According to the spatial correlation of cultivated land quality grade and the improvement degree of irrigation and drainage capacity, the construction

time sequence of high-standard farmland was divided into priority construction area, secondary construction area, reserve construction area and temporary no construction area. The priority construction area was the area with high-low(HL) type spatial correlation and the irrigation and drainage capacity could be improved greatly. The case of

收稿日期: 2022-11-16

基金项目: 安徽省科技重大专项(202003a06020002)

作者简介: 王翠婷(1999-), 女, 江西赣州人, 硕士研究生, 从事耕地质量提升与信息技术方面的研究。(E-mail) 1374536116@qq.com

通讯作者: 马友华, (E-mail) yhma@ahau.edu.cn

high standard farmland construction in the study area was verified in this study. The regions with a large improvement in the quality of cultivated land were all in the priority and secondary construction areas. The results of this study have certain reference and application value in the site selection of high standard farmland, and can provide reference for orderly and efficient promotion of the construction of high-standard farmland and improvement of cultivated land quality.

Key words: high-standard farmland; Moran index; construction sequence; irrigation and drainage capacity

耕地是重要的不可再生资源,随着经济的发展和城市化进程的加快,大量基本农田和优质耕地被占用,同时耕地质量显著下降^[1],由此引起的空间变化也进一步加大了耕地保护的难度。因此,研究耕地资源的空间分布格局,对于促进耕地空间保护的布局及后续的合理利用具有重要参考价值。此外,目前中国进行土地整治的目标已经转变为增加耕地数量与提高耕地质量。国土部门于 2003 年颁布了《农用地分等规程》并建立了耕地质量等别数据库,原农业部于 2008 年颁布《耕地地力评价技术规程》,形成了县域尺度的耕地质量等级成果,并首次提出“建设一批高标准农田”。2019 年农业农村部依据《耕地质量等级》(GB/T 33469-2016)组织完成了全国范围内九大区的耕地质量调查评价工作。由此可见,中国耕地质量评价体系的发展较为全面且契合中国的实际情况,为区域性的耕地保护指明了方向。《2019 年全国耕地质量等级公报》中指出,长江中下游地区的丘陵山区立地条件较差,田间基础设施较差,此类区域应继续推进高标准农田建设^[2]。由此可见,合理地建设高标准农田是有效提升耕地质量的重要举措。

高标准农田是一定时期内通过土地整治建设形成的集中连片、设施配套、高产稳产、生态良好、抗灾能力强且与现代农业生产和经营方式相适应的基本农田^[3-4]。截至 2020 年底,中国已完成 5.33×10^7 hm^2 的高标准农田建设任务,并提出到 2022 年要完成 6.67×10^7 hm^2 高标准农田的建设目标^[5]。近年来,高标准农田面临优质农田开发殆尽的情况,故大力推进中低产田的改造应成为未来高标准农田的建设趋势^[6]。中低产田的改造工程应以农田水利建设为基础,结合不同区域和土壤障碍类型的特点进行。但是,整治难度大、选址困难等^[7]依旧是高标准农田建设中不可避免的问题。因此,如何科学地进行高标准农田的选址是今后高标准农田建设和研究的重点。

目前,研究者对高标准农田建设的相关研究主

要集中在建设时序、障碍因素和工程整治等方面,评价方法也多有创新,如引入生态位理论、熵权法等,还包括结合多种方法^[8-9]构建评价模型对高标准农田建设区域进行分区等。耕地质量在空间上的分布并不是独立存在的,受地形地貌和耕地利用方式等条件的影响,在空间上存在集聚性或异质性,因此人们对耕地质量空间特性的关注逐年增加。张贞等^[10]首次采用空间自相关的分析方法探究耕地质量的空间分布规律,此外很多研究者通过分析耕地质量的空间集聚性和异质性分布及其变化,制定耕地保护的差异化分区或进行基本农田的划定^[11-14]。杨建宇等^[15-16]在对耕地质量进行评价的基础上,结合局部空间自相关分析,将全县按行政村尺度进行高标准农田建设的分区。多数研究均由研究者确定指标权重、构建评价模型,由于各个区域的障碍因子不同,因而在一定程度上缺乏客观性及在一定区域内推广的意义,并且耕地质量评价与调查均以耕地图斑为最小单位进行,但是上述分区研究均基于省(市、县)或行政村尺度进行。

《高标准农田建设通则》对高标准农田建设后的灌溉能力和排水能力作出了明确要求,相关研究发现,灌溉能力和排水能力在障碍因子中属于易改善的指标^[15],基于此,本研究以国家标准中沿用的耕地质量评价体系为基础,结合耕地质量等级的空间自相关性^[16]和灌溉排水能力的可改善程度的空间分布,以耕地图斑为最小单元,划定高标准农田的建设时序,分为优先建设区、次级建设区、后备建设区和暂不建设区,并利用高标准农田建设的实际案例对分区结果进行验证,以期今后长江中下游丘陵区高标准农田建设的时序及科学选址提供参考。

1 研究区概况与数据

1.1 研究区概况

安徽省凤阳县处于淮河南岸和江淮分水岭之间,属江淮丘陵区。全县东西长 74.9 km,南北宽 49.6 km,地势由北向南呈三级阶梯状逐级抬升,耕地细碎

而分散。凤阳县的地形可分3个地貌类型,细分为5个地貌单元。南部为丘陵区,丘冲相间,坡度一般为 $10^{\circ}\sim 35^{\circ}$,由老梨山-白云山和猴尖山-三姐山2组带状丘陵组成,海拔为150~250 m。中部岗地坡度和缓,岗、塍、冲地形明显,地势开始下降至二级阶地,包括九华山、蚂蚁山、洪山以南,老梨山、老青山、白云山以北,西抵刘府、严桥,东至小溪河。北部为冲积平原,地势低洼平坦,绝大多数已被开垦为耕地。浅洼平原在凤阳县欢山、煤山以西,瑶河、天河以东地区,海拔低于50 m,一般为16~34 m。当地气候属北亚热带半湿润季风气候,气候温和,四季分明,雨量适中,全县农田有效灌溉面积为 $4.21\times 10^4\text{ hm}^2$,但由于降雨量分布不均,常造成旱涝灾害。

凤阳县属长江中下游农畜水产区,地形以丘陵、高岗丘陵为主,耕地面积广阔,受地形等基础条件制约,灌溉、排水条件较差,平均耕地质量等级较低。每年的高标准农田建设面积较大,为高标准农田建设的重要县(区)。研究区内新建高标准农田的项目区涉及大庙镇、大溪镇、小溪河镇、官塘镇、刘府镇、总铺镇、西泉镇、殷涧镇8个镇,地貌类型大多为丘陵或高岗丘陵,且项目区内的大部分耕地均为中低产田。

1.2 数据来源

研究基础数据包括:(1)基于凤阳县2018年度国土变更调查结果获取耕地图斑、土地利用类型及权属单位、面积等。(2)凤阳县土壤图。根据凤阳县第二次全国土壤普查纸质土壤图矢量化形成。(3)土壤样品检测数据。通过实地采样,委托有检测资质的单位分析土壤有机质含量、有效磷含量、速效钾含量、pH值和土壤重金属铬、镉、铅、汞和砷含量。(4)通过实地调查获取调查样点的田间利用状况、基础设施等情况。

1.3 研究方法

1.3.1 耕地质量等级评价 依据国家于2016年发布的《耕地质量等级》(GB/T 33469-2016),利用地理信息系统软件(ArcGIS)和县域耕地资源管理信息系统平台进行研究区耕地质量评价与高标准农田耕地质量评价。其中新建高标准农田采样点位的布设与养分检测依据《高标准农田建设通则》(GB/T 30600-2022),按照每 66.67 hm^2 高标准农田设置1个采样点的密度进行采样点布设,高标准农田建设前后的耕地质量评价均依据《耕地质量等

级》(GB/T 33469-2016)进行。对项目区 $3\,333.33\text{ hm}^2$ 高标准农田建设前的土地先进行 66.7 hm^2 1个采样点布点采样,共计50个采样点,在高标准农田建设完成后对整个项目区的 $6\,000\text{ hm}^2$ 耕地进行 66.7 hm^2 1个采样点布点采样,共计90个采样点,建设前后的采样时间间隔近7个月,分别对建设前后的高标准农田项目区进行耕地质量评价。

本研究区属于长江中下游农畜水产区,根据专家评分法及层次分析法确定的长江中下游农畜水产区评价模型的指标、权重和隶属度^[17-18],指标体系包括耕地地力、土壤健康状况、田间基础设施3个方面。耕地质量评价中的指标体系和权重(表1)均参考《耕地质量等级》(GB/T 33469-2016)。耕地地力是由土壤立地条件、自然属性等构成的耕地生产能力;土壤健康状况通常用清洁程度和生物多样性表示;田间基础设施主要包括灌溉能力、排水能力和农田林网化。

采用累加法计算每个评价单元的综合耕地质量指数,公式如下:

$$IFI = \sum (F_i \times C_i)$$

式中: IFI 为耕地质量综合指数; F_i 为第*i*个因素的评语(分值); C_i 为第*i*个因素的组合权重。

表1 凤阳县耕地质量评价因子及权重

Table 1 Evaluation factors and weights of cultivated land quality in Fengyang County

目标层 准则层	目标层 因子权重 (B_i)	指标层 (C)	指标层 因子权重 (C_i)	组合权重 ($B_i C_i$)
立地条件	0.139 6	地形部位	0.707 7	0.098 8
		农田林网化	0.292 3	0.040 8
剖面性状	0.146 7	有效土层厚度	0.281 5	0.041 3
		质地构型	0.353 1	0.051 8
		障碍因素	0.365 4	0.053 6
耕层理化性质	0.184 6	耕层质地	0.431 7	0.079 7
		容重	0.302 3	0.055 8
		pH	0.266 0	0.049 1
土壤养分	0.238 0	有机质含量	0.513 0	0.122 1
		有效磷含量	0.237 4	0.056 5
		速效钾含量	0.249 6	0.059 4
健康状况	0.068 0	生物多样性	0.507 4	0.034 5
		清洁程度	0.492 6	0.033 5
农田管理	0.223 0	灌溉能力	0.488 3	0.108 9
		排水能力	0.511 7	0.114 1

将耕地质量划分为1~10个等级,其中1等地耕地质量最好,10等地耕地质量最差。依据田块产能,高产田为1~3等地,中产田为4~6等地,低产田为7~10等地,其中中低产田应作为高标准农田的重点建设区域。研究区地处江淮丘陵区,境内丘陵分布广泛,地形部位、坡度对耕地质量的影响较大,且当地的土壤条件与丘陵地形导致耕地排水不畅,以上评价指标都是影响耕地质量的重要因素。除此之外,施用有机肥也属于高标准农田建设中提升耕地地力的重要措施,短时间大量施用有机肥会对土壤有机质等养分含量起到提升作用。

1.3.2 灌溉排水能力综合得分 2022年新颁布的《高标准农田建设通则》中,对于灌溉排水工程各部分建设内容进行了修订。研究发现,灌溉排水能力在高标准农田建设中属于易改善的指标,且灌溉排水能力在耕地质量评价中所占指标权重较大,是高标准农田建设中对耕地质量等级提升具有较大影响的因素。其中灌溉排水能力提升的理论最大值与灌溉排水能力现有得分有关^[19],因此从理论上讲,在灌溉排水能力综合得分较低的情况下,高标准农田建设对灌溉排水能力的提升程度更大,可改善程度更高。

1.3.3 局部空间自相关分析 通过研究地理事物的某一属性值与其相邻要素的空间相关性,可以判断该事物与相邻要素之间是否具有相应的变化关系^[20-22],若为正相关,则表明该事物与其相邻要素存在一致的变化关系,若为负相关,则表明该事物与其相邻要素存在相反的变化关系。本研究利用 ArcGIS 计算莫兰指数 (Moran's I),探究县域尺度的耕地质量等级在空间上的相关性,并以其作为划分高标准农田建设改良区域的依据。

局部空间自相关性是指某一空间单元 S 与其邻域空间单元 S_i 就某一属性在局部空间上表现出的相关性程度^[14-16],其中 Local Moran's I (局部莫兰指数)的模型如下:

$$I_{\alpha} = Z_{\alpha} \sum_{\beta=1}^B \omega_{\alpha\beta} \cdot Z_{\beta};$$

其中,

$$Z_{\alpha} = (x_{\alpha} - \bar{x}) / \sqrt{\frac{1}{A} \sum_{\alpha=1}^A (x_{\alpha} - \bar{x})^2}$$

式中: I_{α} 为空间位置 α 局部空间自相关指数值; Z_{α} 为空间位置 α 的观测值标准化后的值; $\omega_{\alpha\beta}$ 为 α

与 β 之间的邻近关系,即空间权重; B 为与空间位置 α 相邻接的样本数; x_{α} 为空间位置 α 的实际观测值; A 为空间单元位置的数量。

2 结果与分析

2.1 凤阳县耕地质量评价结果

凤阳县耕地质量评价结果表明,凤阳县全县耕地被分为1~9等,平均耕地质量等级为4.367等。从整体情况来看,凤阳县总体耕地质量为中等,中低产田面积较大,可提升空间较高。高产田面积占全县耕地总面积的34.07%,主要分布在北部平原区的枣巷镇、府城镇、刘府镇、西泉镇等;中产田面积所占比例最高,占全县耕地总面积的50.94%,主要分布在中部和西南部丘陵区的板桥镇、小溪河镇、官塘镇和武店镇;低产田面积占全县耕地总面积的14.99%,主要分布在东部丘陵区的黄湾乡、总铺镇和红心镇。凤阳县耕地质量等级评价结果见表2,凤阳县耕地质量等级分布见图1。

表2 凤阳县不同耕地质量等级农田对应的面积及占比

Table 2 Area and proportion of farmland with different cultivated land quality grades in Fengyang County

耕地等级	面积 (hm ²)	面积占比 (%)
1等地	2 230.07	2.06
2等地	9 997.38	9.24
3等地	24 627.71	22.77
4等地	26 841.11	24.82
5等地	18 960.71	17.53
6等地	9 285.68	8.59
7等地	11 921.63	11.02
8等地	3 776.48	3.49
9等地	519.78	0.48
总计	108 160.54	100.00

根据耕地质量等级划分标准,凤阳县的地形部位包含平原低阶、平原中阶、平原高阶、丘陵下部、丘陵中部、丘陵上部6种,其中丘陵地区农田面积占比80.05%,且丘陵中部、丘陵下部和平原低阶农田的低产田面积较大,凤阳县的地形分布如图2所示,不同地形部位农田高、中、低产田的分布情况见表3。

凤阳县耕地质量调查与评价结果表明,制约凤阳县耕地质量提升的主要原因如下:凤阳县中低产

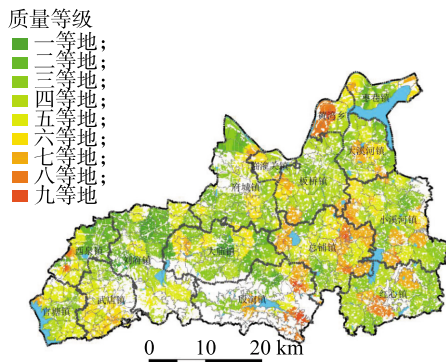


图1 凤阳县耕地质量等级分布

Fig.1 Distribution of cultivated land quality grade in Fengyang County

田面积较大,地形以高岗丘陵、丘陵为主,地形起伏较大,排水不畅,总体上的可耕性和机械化水平较差,耕作条件不便,土体较深厚,但土壤耕层较浅,尤其是黏质土壤如砂姜黑土、黏盘黄褐土,在耕层下有

明显的犁底层,部分田块出现小沟被填平、大沟淤塞的现象,并且田间灌溉水利设施落后,因此凤阳县耕地质量提升的重点应为丘陵地区的中低产田。

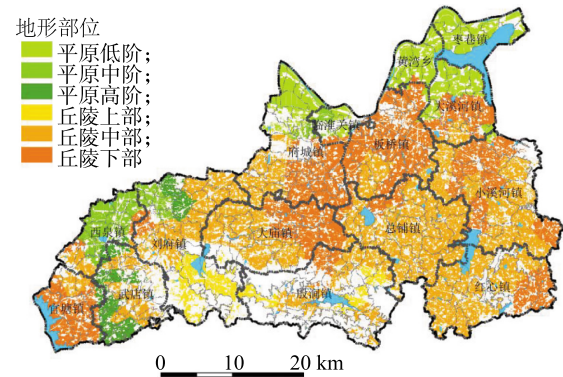


图2 凤阳县地形部位分布

Fig.2 Distribution map of terrain in Fengyang County

表3 凤阳县不同地形部位高、中、低产田的分布情况

Table 3 Distribution of high, medium and low yield fields in different terrain parts of Fengyang County

等级	平原低阶		平原中阶		平原高阶		丘陵下部		丘陵中部		丘陵上部	
	面积 (hm ²)	占比 (%)	面积 (hm ²)	占比 (%)	面积 (hm ²)	占比 (%)	面积 (hm ²)	占比 (%)	面积 (hm ²)	占比 (%)	面积 (hm ²)	占比 (%)
高产田	5 137.99	42.51	3 223.08	61.82	1 053.36	24.64	14 381.19	43.06	12 589.45	25.77	469.03	10.84
中产田	5 033.85	41.65	1 769.87	33.95	3 172.86	74.23	17 405.29	52.11	24 290.65	49.72	3 413.40	78.87
低产田	1 915.14	15.84	220.43	4.23	48.12	1.13	1 613.31	4.83	11 975.22	24.51	445.20	10.29

2.2 凤阳县灌溉排水能力可改善程度分布

在耕地质量评价中,根据指标权重与综合得分将凤阳县耕地的灌溉排水能力分为1~9级,随着灌溉排水能力综合得分逐渐降低,可改善程度逐渐增加。图3中,红色区域的灌溉排水能力得分最低,可改善程度最高。若对灌溉排水能力得分较高的区域进行高标准农田建设,实施增设排水沟渠、新建灌溉设施等工程,可改善程度较小,但对灌溉排水能力得分较低的区域进行灌溉、排水设施的改善,提升效果较好,因此新建高标准农田应着重选择灌溉排水能力得分较低的区域,理论上的预期效果较好。

2.3 凤阳县耕地质量局部空间自相关分析

以耕地图斑为最小单元,利用 ArcGIS 对凤阳县耕地质量等级进行局部空间自相关分析。依据耕地质量的空间相关性,将凤阳县耕地划分为4种区域类型,根据不同显著性又分为正相关类型的高-高

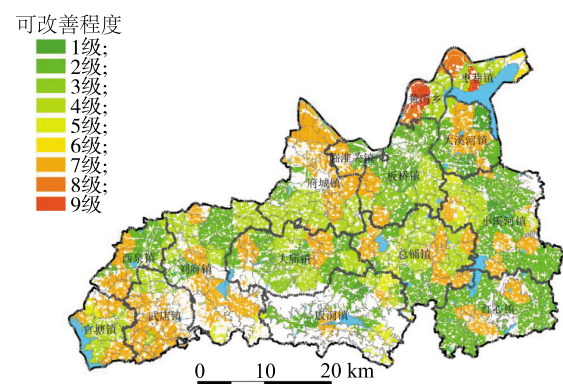


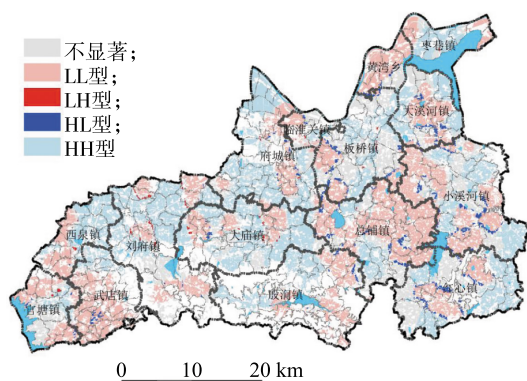
图3 凤阳县灌溉排水能力可改善程度分布

Fig.3 Distribution of irrigation and drainage capacity evaluation scores in Fengyang County

(HH)、低-低(LL)型和负相关的高-低(HL)、低-高(LH)型(图4)。对于呈正相关关系的HH型、LL型,HH型区域的综合耕地质量较高,且周边均为耕

地质量较高的耕地,表现出一定的聚集型,因此应对此区域进行重点保护,LL 型区域的耕地质量综合情况较低,空间关系较为稳定,应视其灌溉排水能力的可改善程度高,应选择对其优先进行整体改良和整治。

对于呈负相关关系的 HL 和 LH 型,其中 HL 型区域表示中部耕地质量较高的耕地被耕地质量较低的耕地包围,根据空间极化的理论,中间耕地质量较高的耕地容易被周围质量较低的耕地影响,导致耕地质量下降。故此类耕地区域被认定为需优先进行改良的区域,应及时对周边低质量耕地进行改良,遏制中部耕地质量较高区域被周围耕地质量较低区域影响而表现出下降的趋势;LH 型区域与 HL 型区域耕地质量分布情况相反,耕地质量较高的区域包围中心耕地质量较低的区域,若灌溉排水能力可改善程度也较高,可适当加以促进,加速中心区域的耕地质量提升。



HL 型:高-低;LL 型:低-低;LH 型:低-高;HH 型:高-高。

图 4 凤阳县耕地质量聚类特征分布

Fig.4 Distribution of clustering characteristics of cultivated land quality in Fengyang County

聚类结果(图 4)显示,凤阳县耕地质量空间自相关性显著的耕地面积占全县耕地面积的 76.19%。在耕地质量呈现显著空间自相关的耕地地块中,呈正相关分布的耕地面积占 73.45%,呈负相关分布的耕地面积占 2.74%;凤阳县耕地质量的空间分布总体呈显著正相关。HH 型主要分布在凤阳县北部的府城镇、大庙镇和板桥镇,LL 型主要分布在凤阳县东南部的总铺镇,LH 型零星分布在官塘镇、西泉镇、刘府镇和大庙镇,HL 型在大溪河镇、小溪河镇、红心镇和板桥镇等乡(镇)有少量分布。

2.4 高标准农田建设时序划定结果

对研究区的高标准农田中今后拟建设区域进行

划定,建立适宜的划分标准,以解决高标准农田的选址问题。结合灌溉和排水能力的空间分布,根据空间极化理论及空间自相关结果分析得出,周边耕地对中心耕地会发生同化作用,为了有效抑制周边低产田对中心高产田的同化作用,将研究区范围内的耕地根据建设高标准农田的迫切程度和建设时序划分为优先建设区、次级建设区、后备建设区和暂不建设区等 4 个区域(表 4),可为今后建设高标准农田的选址提供参考,从而有效提升耕地质量(图 5)。

表 4 高标准农田建设区域类型的划分

Table 4 Classification of high-standard farmland construction area in Fengyang County

区域类型	空间自相关类型	耕地质量分布	灌溉排水能力	区域名称
I	HL 型	中心高产田,周边低产田	低	优先建设区
II	LL 型 LH 型	低产田 中心低产田,周边高产田	低	次级建设区
III	HH 型	高产田	低	后备建设区
	LH 型、HL 型	中心低产田,周边高产田; 中心高产田,周边低产田	高	后备建设区
IV	HH 型、LL 型	高产田;低产田	高	暂不建设区

HL 型:高-低;LL 型:低-低;LH 型:低-高;HH 型:高-高。

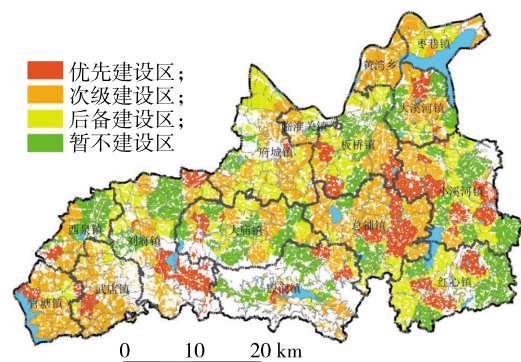


图 5 高标准农田建设时序分区

Fig.5 Comprehensive zoning map of high-standard farmland construction

表 4 中,Ⅰ类区域为优先建设区,开展高标准农田建设的迫切程度最高。该区域的空间自相关类型为 HL 型且灌溉排水能力综合得分较低,应及时抑制周边低产田对中心高产田的影响,可改良程度最高、最迫切,预期改良效果最明显。Ⅱ类区域为次级建设区,按空间自相关类型包含 LL 型区域、LH 型区域,这类区域的灌溉排水能力综合得分较低,可改良程度较高。空间自相关类型为 LL 型的区域,耕

地质量等级的空间分布呈正相关,在此区域内建设高标准农田,周边的耕地质量提升也会带动中心耕地的质量提升;对于空间自相关类型为 LH 型的区域,周边耕地质量较高的区域会对中心耕地质量较低的区域产生影响,若加以促进,可带动中心区域耕地质量的提升,故此类区域能带来的综合效果更为显著。Ⅲ类区域为后备建设区,包括 2 种情况:空间自相关类型为 HH 型、灌溉排水能力综合得分较低的区域;空间自相关类型为 LH 型或 HL 型、灌溉排水能力综合得分较高的区域。其中空间自相关类型为 HH 型的区域耕地质量较高,不是重点改良的区域,但是由于该区域灌溉排水能力得分较低,也有改良的需求;空间自相关类型为 LH、HL 型的区域的耕地质量较低,但灌溉排水能力得分较高,因此耕地质量可提升的空间不高,也可作为后备耕地资源。其他被归为Ⅳ类区域,为暂不建设区,包括空间自相关类型为 HH 型、LL 型且灌溉排水能力综合得分较高的区域,该区域空间关系稳定,且灌溉排水能力的可改善程度不高,该区域应当作为保护耕地资源。

2.5 凤阳县高标准农田建设效果

凤阳县高标准农田建设的主要措施如下:对于灌溉、路网等农田基础设施,通过土地平整优化田块布局,满足大中型农业机械进出地块的需要^[23-25]。同时施用有机肥,对土壤进行培肥改良,调节土壤的理化性质和通透性^[26-29]。

凤阳县新建高标准农田项目区包括小溪河镇项目区、官塘镇项目区、总铺镇项目区、殷涧镇项目区、刘府镇项目区、西泉镇项目区、大溪河镇项目区和大庙镇项目区 8 个,涉及 8 个乡(镇)及 12 个行政村,均属丘陵和高岗丘陵地区,项目区在高标准农田建设前的平均耕地质量等级分布如表 5 所示,平均耕地质量等级为 5.98 等,属于偏低水平。田块产能分布如图 6 所示,可以看出,本次新建高标准农田的选址基本符合要求,除西泉镇有少量高产田分布外,其他乡(镇)的耕地均为中产田或低产田,初步判断具有高标准农田建设的需求。

高标准农田建设后,项目区内的耕地质量均得到不同程度的提升,各乡(镇)建设前后的耕地质量等级如表 6 所示,提升等级为建设前耕地质量等级与建设后耕地质量等级的差值,尤其是小溪河镇、官塘镇、总铺镇 3 个乡(镇)项目区,在高标准农田建设后,耕地质量得到明显提升,但大庙镇、大溪河镇、西泉镇提升

的等级不高,尤其是大庙镇在建设前耕地质量等级较低,但建设后并没有达到预期的提升效果。因此,在进行高标准农田建设选址的过程中,不仅需要结合当地耕地质量等级,选择耕地质量较低的区域,还应当考虑当地耕地质量提升的限制因素。

将高标准农田建设的项目区落到本研究划定的高标准农田建设时序底图上,发现高标准农田的项目区在 4 个区域均有分布,详见图 7。其中处于优先建设区的面积约为 207 hm²,占项目区总面积的 3.45%,大部分位于小溪河镇;处于次级建设区的耕地面积较大,约为 2 164 hm²,占项目区总面积的 36.06%;处于后备建设区的耕地面积约为 338 hm²,仅占项目区总面积的 5.63%;处于暂不建设区的面积最大,约为 3 292 hm²,占项目区总面积的 54.86%。

在高标准农田建设后耕地质量得到显著提升的总铺镇、小溪河镇、官塘镇项目区,大部分建设区域均处于优先建设区和次级建设区;在耕地质量提升程度较小的大庙镇、西泉镇项目区,建设区域主要处在后备建设区、暂不建设区。从本次高标准农田建设的提升成果来看,高标准农田的建设选址不仅应重点选取中低产田区域,还需考虑当地耕地质量的限制因素是否为高标准农田建设后可以得到显著改善的因素,否则会影响耕地质量提升的效果。本研究制定的高标准农田建设时序分区,可为今后高标准农田建设选址提供有效参考,便于有针对性地开展高标准农田的建设。

3 讨论

本研究结果表明,凤阳县的耕地质量等级偏低,平均耕地质量等级为 4.367 等,中产田面积占比高达 50.94%,且主要位于丘陵地区,机械化水平较低,耕地肥力低、易涝且灌溉设施缺乏。耕地质量提升的主要对象是当地丘陵地区的中低产田。凤阳全县耕地的质量等级具有较强的空间相关性,呈正相关关系的 HH 型、LL 型占比较大,呈负相关关系的 HL 型、LH 型分布较少且分散。针对凤阳县高标准农田建设的迫切程度,将其划分成优先建设区、次级建设区、后备建设区和暂不建设区 4 个区域。结合灌溉排水能力、耕地质量等级空间的相关性,对高标准农田建设的次序进行划定,能够更加科学合理地

表 5 高标准农田建设前的耕地质量等级分布

Table 5 Distribution of cultivated land quality grade before the construction of new high-standard farmland

耕地类型	耕地质量等级	总项目区(建设前)	
		面积(hm ²)	占比(%)
高产田	3	312.13	5.20
中产田	4	459.15	7.65
	5	1 223.88	20.40
	6	1 717.50	28.63
低产田	7	1 725.37	28.76
	8	481.36	8.02
	9	80.61	1.34
总计		6 000.00	100.00

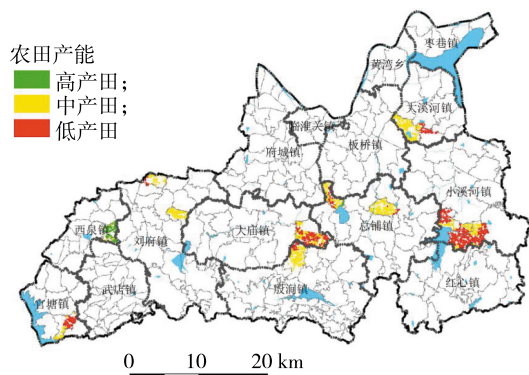


图 6 高标准农田项目区农田产能分布

Fig.6 Farmland productivity distribution in high-standard farmland project area

表 6 各乡(镇)耕地高标准农田建设前后耕地质量等级分布

Table 6 Distribution of cultivated land quality level before and after the construction of high-standard farmland in each township (town)

乡(镇)名	耕地质量等级		
	建设前	建设后	提升
大庙镇	6.49	6.32	0.17
大溪河镇	5.90	5.68	0.22
官塘镇	6.50	5.60	0.90
刘府镇	5.53	5.27	0.26
西泉镇	3.29	3.09	0.20
小溪河镇	6.99	5.85	1.14
殷涧镇	5.57	5.05	0.52
总铺镇	5.15	4.57	0.58
总计	5.98	5.38	0.60

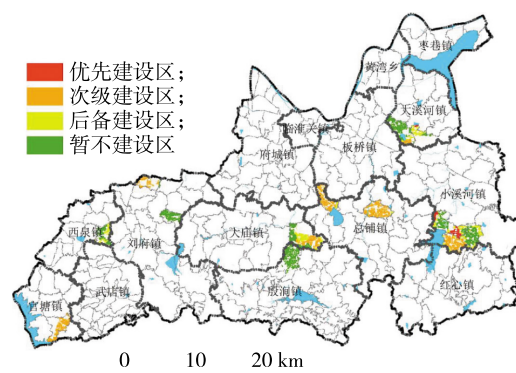


图 7 高标准农田项目区建设的时序分布

Fig. 7 Construction sequence distribution of high-standard farmland project areas in Fengyang County

当今对于高标准农田建设选址和保护分区等研究的最小单元多集中在行政村等级^[30-33],杨君等^[34]基于地块尺度建立农业空间保护分区,但在局部空间自相关的研究中依旧采用加权法研究行政村尺度的农业空间保护分区,本研究以耕地地块为研究的最小单元,在一定程度上减少了行政村内部农田属性差异较大对研究结果的影响,可为今后高标准农田建设的选址提供直接的、更加精确的依据。

研究者在建立适宜的高标准农田建设模型中做了许多尝试,如引入各项生态属性、土壤属性、田间设施^[35-39]等指标,其中冯锐等^[40]构建了限制因素的指标,共构建了76种限制因素组合类型的分区;陈麟等^[41]将土壤理化性质对生态环境的影响纳入高标准农田适宜性评价中,但是建立的模型多针对某一县域尺度的研究区域,无法在广泛区域内推行,例如在基础条件较差的区域,生态区域性评价作用减弱后则无法进行区域划分,进而失去了实践和推广的意义。本研究基于莫兰指数,以耕地质量评价结果和在高标准农田建设中得到显著改善的灌溉能力、排水能力作为划分依据,以期探究可在一定范围内得到高标准农田建设前的选址方法,最大程度地让高标准农田建设发挥对耕地质量的提升效果。

在今后的研究中,可收集丘陵地区其他县(区)高标准农田建设前后的耕地质量数据和资料,丰富实证成果,进一步验证该分区方法是否可在长江中下游丘陵地区其他县(区)应用,并作为高标准农田建设区域划定的有效参考。

参考文献:

- [1] 吴 飞,濮励杰,许 艳,等. 耕地入选基本农田评价与决策[J]. 农业工程学报,2009,25(12):270-277.
- [2] 佚名. 2019 年全国耕地质量等级情况公报[J]. 中国农业综合开发,2020(6):6-12.
- [3] 师 诺,赵华甫,任 涛,等. 高标准农田建设全过程监管机制的构建研究[J]. 中国农业大学学报,2022,27(2):173-185.
- [4] 董 飞,赵 伟. 高标准基本农田建设区域划定——以重庆市南岸区为例[J]. 水土保持研究,2020,27(2):344-349,356. DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2020.02.048.
- [5] 钱凤魁,张琳琳,办振兴,等. 高标准基本农田建设中的耕地质量与立地条件评价研究[J]. 土壤通报,2015,46(5):1049-1055. DOI:10.19336/j.cnki.trtb.2015.05.004.
- [6] 王 珂,李 玲,黎 鹏. 基于生态安全和粮食安全的高标准农田建设研究[J]. 生态与农村环境学报,2021,37(6):706-713. DOI:10.19741/j.issn.1673-4831.2020.0781.
- [7] 王媛玲,赵庚星,王庆芳,等. 丘陵区土地整理对土壤理化性状的影响[J]. 农业工程学报,2011,27(9):311-315.
- [8] 宋安安,王慧敏,郑艳东,等. 太行山区耕地整理适宜性评价及障碍因子诊断——以河北省涞源县为例[J]. 中国农业资源与区划,2017,38(10):45-53.
- [9] 赵振庭,孔祥斌,张雪靓,等. 基于多维超体积生态位的高标准生态农田建设分区方法[J]. 农业工程学报,2022,38(13):253-263.
- [10] 张 贞,魏朝富,尚 慧. 丘陵山区耕地质量的空间格局分析[J]. 长江流域资源与环境,2010,19(8):901-907.
- [11] 李志芳,王 锐,沈新磊. 基于质量指数和空间自相关分析的耕地保护分区研究[J]. 土壤通报,2021,52(4):785-792. DOI:10.19336/j.cnki.trtb.2020090201.
- [12] 刘 洋,余建新,向冬蕾,等. 基于局部空间自相关的思茅区耕地利用保护综合分区[J]. 水土保持研究,2020,27(1):183-188,196. DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2020.01.026.
- [13] 郭 敏,李淑杰. 基于局部空间自相关的耕地质量空间集聚性和保护分区——以吉林省九台市为例[J]. 江苏农业科学,2017,45(3):206-210. DOI:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.03.057.
- [14] 任 平,吴 涛,周介铭. 基于 GIS 和空间自相关模型的耕地空间分布格局及变化特征分析——以成都市龙泉驿区为例[J]. 中国生态农业学报,2016,24(3):325-334. DOI:10.13930/j.cnki.cjea.151091.
- [15] 杨建宇,杜贞容,杜振博,等. 基于耕地质量评价和局部空间自相关的高标准农田划定[J]. 农业机械学报,2017,48(6):109-115.
- [16] 熊昌盛,谭 荣,岳文泽. 基于局部空间自相关的高标准基本农田建设分区[J]. 农业工程学报,2015,31(22):276-284.
- [17] 毕 玮,党小虎,马 慧,等. “藏粮于地”视角下西北地区耕地适宜性及开发潜力评价[J]. 农业工程学报,2021,37(7):235-243.
- [18] DEVECI M, ÖZCAN E, JOHN R, et al. A study on offshore wind farm siting criteria using a novel interval-valued fuzzy-rough based Delphi method[J]. Journal of Environmental Management, 2020, 270:110916.
- [19] 张天恩,李子杰,费 坤,等. 高标准农田建设对耕地质量的影响及灌排指标的贡献[J]. 农业资源与环境学报,2022,39(5):978-989. DOI:10.13254/j.jare.2021.0332.
- [20] ANSELIN L. Local indicators of spatial association—LISA[J]. Geographical Analysis, 1995, 27(2):93-115.
- [21] RODRIGUEZ-GALLEGO L, ACHKAR M, CONDE D. Land suitability assessment in the catchment area of four Southwestern Atlantic coastal lagoons: multicriteria and optimization modeling[J]. Environmental Management, 2012, 50(1):140-152.
- [22] JUN K S, CHUNG E S, SUNG J Y, et al. Development of spatial water resources vulnerability index considering climate change impacts[J]. Science of the Total Environment, 2011, 409(24):5228-5242.
- [23] 李少帅,郎文聚,张 燕,等. 基于空间分异的高标准农田建设空间特征判别系统设计与实现[J]. 农业工程学报,2020,36(6):253-261.
- [24] LIU C, FRAZIER P, KUMAR L, et al. Catchment-wide wetland assessment and prioritization using the multi-criteria decision-making method TOPSIS[J]. Environmental Management, 2006, 38(2):316-326.
- [25] 李 赓,吴次芳,曹顺爱. 划定基本农田指标体系的研究[J]. 农机化研究,2006(8):46-48.
- [26] 王 婕,魏朝富,刘卫平,等. 基于土地整治的山地丘陵区耕地质量潜力测算[J]. 西南大学学报(自然科学版),2018,40(7):122-132. DOI:10.13718/j.cnki.xdzt.2018.07.018.
- [27] 夏敏峰,余慧敏,李 爽,等. 基于生态位的鄱阳湖平原区高标准农田建设障碍因子诊断[J]. 中国农业大学学报,2021,26(7):182-190.
- [28] 徐 康,金晓斌,吴定国,等. 基于农用地分等修正的土地整治项目耕地质量评价[J]. 农业工程学报,2015,31(7):247-255.
- [29] 王晓青,史文娇,孙晓芳,等. 黄淮海高标准农田建设项目综合效益评价及区域差异[J]. 农业工程学报,2018,34(16):238-248,300.
- [30] 郑新奇,杨树佳,象伟宁,等. 基于农用地分等的基本农田保护空间规划方法研究[J]. 农业工程学报,2007(1):66-71,292.
- [31] 郭力娜,张凤荣,曲衍波,等. 基于分等因素组合的农用地整理类型分区[J]. 农业工程学报,2010,26(9):308-314,390.
- [32] 文高辉,杨钢桥,李 岩,等. 农地整治对耕地细碎化的治理效果及其原因分析——以湖北省江夏、咸安、通山三区(县)为实

- 证[J]. 中国土地科学, 2016, 30(9): 82-89.
- [33] 周君华, 游碧君, 詹寄任, 等. 复杂地貌类型区耕地质量时空分异及影响因素[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2021, 50(6): 824-831. DOI: 10.13323/j.cnki.j.fafu(nat.sci.). 2021.06.016.
- [34] 杨 君, 邵劲松, 周鹏全, 等. 基于地块尺度的耕地质量级别变化及农业空间保护——以岳阳市岳阳楼区为例[J]. 经济地理, 2021, 41(11): 185-192. DOI: 10.15957/j.cnki.jjdl.2021.11.020.
- [35] 汪晓燕, 赵小敏, 郭 熙, 等. 基于空间自相关的贵溪市耕地保护分区研究[J]. 浙江农业学报, 2017, 29(3): 489-497.
- [36] 仇 勇, 王建成, 徐恒柱, 等. 中小城市高标准农田建设研究及效果分析[J]. 水利水电技术(中英文), 2022, 53(增刊1): 488-491. DOI: 10.13928/j.cnki.wrahe.2022.S1.082.
- [37] 谢晓彤, 朱嘉伟. 耕地质量影响因素区域差异分析及提升途径研究——以河南省新郑市为例[J]. 中国土地科学, 2017, 31(6): 70-78.
- [38] 信桂新, 杨朝现, 杨庆媛, 等. 用熵权法和改进 TOPSIS 模型评价高标准基本农田建设后效应[J]. 农业工程学报, 2017, 33(1): 238-249.
- [39] AGTERBERG F. A modified weights-of-evidence method for regional mineral resource estimation[J]. Natural Resources Research, 2011, 20(2): 95-101.
- [40] 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.
- [41] 陈 麟, 吴克宁, 冯 喆, 等. 生态文明建设视角下的高标准农田建设适宜性评价[J]. 土壤, 2019, 51(4): 803-812. DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2019.04.023.

(责任编辑: 徐 艳)