

考虑粮食安全和耕地质量的县域基本农田空间布局优化

郭贯成, 韩小二

(南京农业大学公共管理学院, 南京 210095)

摘要: 基于粮食安全优化区域耕地空间布局, 以期为粮食安全和耕地保护提供参考。该研究以河南省柘城县为例, 从人口发展的角度出发, 建立灰色-BP 网络组合模型, 预测 1999—2025 年柘城县人口数量以及耕地需求量; 其次, 从六种粮食消费途径采用折算法计算粮食需求量与粮食安全系数; 随后, 根据基本农田空间布局优化的要求, 从生产条件、区位条件、景观条件以及政策条件 4 个方面构建耕地质量评价体系, 并使用加权指数和法计算耕地综合质量分; 最后, 根据粮食安全对耕地数量的要求以及质量评价结果, 优化柘城县基本农田空间布局。结果表明: 1) 柘城县在 1990—2005 年属于粮食紧张阶段, 2005—2019 年属于粮食盈余阶段, 虽整体上实现粮食安全, 但从粮食消费结构上看依然存在“隐性饥饿”风险; 2) 柘城县耕地综合质量分在 29.57~92.87 之间, 均值为 59.53, 综合质量较优; 3) 粮食安全保护区耕地质量较好, 是保障粮食安全的核心, 建议纳入基本农田范畴; 粮食安全缓冲区虽然耕地质量优势相对减弱, 但限制因素较为单一, 也应纳入基本农田范畴; 城镇发展规划区围绕城镇中心环状布局, 建议作为城镇建设空间; 土地综合整治区分布零散、集聚度不高, 不适宜作为基本农田, 建议作为基本农田的备选区。

关键词: 农田; 分区; 粮食安全; 基本农田; 灰色-BP 网络组合模型; 评价与预测

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2021.07.031

中图分类号: F301

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2021)-07-0252-09

郭贯成; 韩小二. 考虑粮食安全和耕地质量的县域基本农田空间布局优化[J]. 农业工程学报, 2021, 37(7): 252-260.

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2021.07.031 <http://www.tcsae.org>

Guo Guancheng, Han Xiao'er. Spatial layout optimization of basic farmland considering food security and cultivated land quality at county scale[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2021, 37(7): 252-260. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2021.07.031 <http://www.tcsae.org>

0 引言

“洪范八政, 食为政首”, 在错综复杂的国际背景下, 粮食安全再度成为人们关注的重点。海关数据显示: 2020 年 1—6 月中国进口粮食 5 050.20 万 t, 折合 192.45 万亿美元, 主要于依赖美国、加拿大等国家。为了“把饭碗牢牢端在中国人自己手中”, 《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年和二〇三五年远景目标的建议》中提出了“粮食安全是治国理政的头等大事, 深入实施‘藏粮于地、藏粮于技’战略”的要求。基本农田是保障国家粮食安全的根本, 也是落实“最严格耕地保护制度”的核心。但在基本农田保护区建设过程中, 耕地空间与生态脆弱、重金属污染空间叠重性很高, 且与水资源空间高度不吻合^[1]。因此, 如何在保障粮食安全的基础上, 优化基本农田空间是当前及未来研究的要点。

基本农田是按照一定时期的人口和社会经济发展对农产品的需求, 依据土地利用总体规划确定的不得占用的耕地。国外研究的优质农田与中国基本农田的内涵相

近, 故极具借鉴意义。20 世纪 20 年代初, 美国提出土地潜力分类系统, 成为国际上第一个优质农田的划定框架^[2]。1981 年美国基于土地潜力分类系统提出 LESA 土地质量评价体系, 并基于该体系判定优质农田^[3]。近年来, 国内对基本农田划定进行了深入探讨, 取得较为成熟的研究成果, 但仍有一些不足之处, 主要体现在以下几个方面: 从耕地质量评价体系来看, 已有研究主要从土壤质量^[4]、立地条件^[5]、空间形态^[6]等方面构建评价体系, 对于耕地政策条件考虑相对不足; 从研究视角来看, 已有研究主要从农用地分等定级成果的应用^[7]、耕地生产能力^[8]、模型优化布局^[9]以及规划管制^[10]等方面进行了积极探索, 但把粮食安全与基本农田划定两个视角联立的综合研究较少; 从划定结果上看, 已有研究主要采取改进突变级数模型^[11]、物-场模型^[12]、局部 Moran's I 指数^[13]、综合评价法^[14]优化耕地空间布局, 多基于综合质量最优的原则“自上而下”的进行基本农田建设分区。虽然已有文献尝试在基于耕地需求“自下而上”确定基本农田^[15], 但结果缺乏弹性, 没有实现长效的粮食安全。鉴于此, 本文将粮食安全和基本农田划定相联立并作为逻辑主线, 以河南省柘城县为研究对象, 从生产条件、区位条件、景观条件以及政策条件构建质量评价体系, 基于人口发展理论探究不同时期粮食安全对耕地“质”与“量”的要求, 优化县域基本农田空间布局, 以期为保障区域粮食安全以及加强耕地保护提供一定的借鉴。

收稿日期: 2020-10-21 修订日期: 2021-02-09

基金项目: 国家社科基金重大项目(17ZDA076); 国家社科基金重点项目(20AGL024)

作者简介: 郭贯成, 博士, 教授, 博士生导师。主要研究方向为土地经济与政策、不动产评估与管理。Email: ggc@njau.edu.cn

3) 根据柘城县人口特征, 选用出生率、死亡率以及性别比重等因素作为训练集, 将残差序列 e_k 输入改进后的 BP 神经网络模型, 得到残差序列 \hat{e}_k ;

4) 将灰色预测模型得到的预测序列 $\hat{X}_1^{(0)}$ 与残差序列 \hat{e}_k 相加, 得到灰色-BP 网络组合模型预测的人口值 X_1 。

2.3 粮食安全分析

2.3.1 粮食需求量

柘城县作为粮食主产区, 粮食消费结构包括居民口粮、饲料用粮、工业用粮、种子用粮、仓储损耗、商品粮调出六大消费途径(式(1))^[19]。但统计资料对于各个途径粮食消费数据没有详细的统计。鉴于此, 本文采用折算法^[20]计算粮食消耗量。

TGD = P + F + I + S + L + O (1)

式中 TGD (Total Grain Demand) 为粮食需求量, t; P 为居民口粮, t; F 为饲料用粮, t; I 为工业用粮, t; S 为种子用粮, t; L 为仓储损耗, t; O 为商品粮调出, t。

1) 居民口粮即直接粮食消费, 属于食物需求。本文根据人均粮食需求量与柘城县人口数量计算居民口粮。由于部分年鉴统计的是原粮, 故参考肖国安^[21]的研究, 将成品粮折算原粮的系数设定为 1:1.4; 2) 饲料用粮即肉禽蛋奶转化用粮消费, 主要用于养殖业, 属于非食物需求。本文按照国际通用的饲料粮转化率, 确定粮肉比为: 猪肉 1:4、牛羊肉 1:2、家禽 1:2、蛋类 1:2.5、水产品 1:1^[22]。此外, 参考隆国强^[23]的研究, 饲料粮的需求量需要乘以 74%; 3) 工业用粮是指粮食作为主要原料或辅料的生产行业的粮食消耗量, 属于非食物需求。本文参考肖国安^[21]的研究将工业用粮折算比设定为白酒 1:2.3、啤酒 1:0.172、味精 1:24、酒精 1:3, 其他工业用粮按照上述产业用粮总量的 25% 计算; 4) 种子用粮是指不同作物的种子用粮量, 主要由播种面积所决定, 属于非食物需求。本文参考姚成胜等^[24]研究按照稻谷 75 kg/hm²、玉米 75 kg/hm²、大豆 75 kg/hm²、小麦 150 kg/hm²、其他 150 kg/hm² 的标准计算种子用粮数量; 5) 仓储损耗是指粮食生产、储运和加工等损耗, 属于非食物需求。本文参照肖国安研究^[21], 结合柘城县实际情况, 仓储损耗按照总产量的 2% 计算; 6) 商品粮调出是指用于商业贸易的粮食, 主要用于保障区域外的粮食安全, 属于非食物需求。本文参考胡业翠等^[15]研究, 以人均 31.40 kg 的标准计算。

2.3.2 粮食安全系数

国际研究通常使用本年粮食结转库存量占下年粮食消费数量的比重作为“粮食安全系数”衡量区域粮食供应能力, 按照国际惯例“粮食安全系数”的临界区间为 [0.17, 0.18]。若粮食安全系数低于此区间, 该地区粮食供给将产生危机。本文参照有关研究^[25], 将“粮食安全系数”(Food Security Rate, FSR) 定义为粮食总需求与粮食实际产量的比值, 具体计算过程如式(2)。

FSR = TGP / TGD × 100% (2)

式中 FSR 为粮食安全系数; TGP (Total Grain Production)

为粮食实际产量, t。当 FSR=0 时, 表明粮食体系处于绝对不安全阶段, 粮食完全依靠外界输入; 当 0<FSR<1 时, 表示粮食安全处于危机状态, FSR 越接近 0 说明该区域粮食安全状态越差; 当 FSR=1 时, 表示该区域尽管粮食供给大于粮食需求, 但随着人口数量的发展, 粮食危机再次发生的概率较高, 粮食安全处于紧张阶段; 当 FSR>1 时, 粮食体系处于盈余阶段, FSR 越大说明该区域粮食供给能力越强, 粮食危机发生的概率越小。

2.4 耕地质量评价体系

2.4.1 指标选择

本文构建的耕地质量评价体系除生产条件、区位条件、景观条件之外, 还将政策条件纳入耕地评价中, 实现了农田格局与制度环境协调一致, 政策环境融入基本农田空间。鉴于此, 本研究从生产条件、区位条件、景观条件、政策条件 4 个方面, 构建质量评价体系, 并采用组合赋权法^[26]确定各个指标权重(表 1)。

Table 1 Cultivated land quality evaluation system				
一级指标 First level index	二级指标 Second level index	指标性质 Index direction	确定方法 Determine method	权重 Weights
生产条件 Production conditions x_1	土壤肥力 x_{11}	+	农用地分等定级成果	0.21
	水源丰富度 x_{12}	+	河流网络密度分析	0.05
	耕作便利度 x_{13}	+	田间道网络密度分析	0.06
	灌溉便利度 x_{14}	+	沟渠网络密度分析	0.05
区位条件 Location conditions x_2	距城镇距离 x_{21}	—	地块与城镇图斑近邻分析	0.10
	距村庄距离 x_{22}	—	地块与村庄图斑近邻分析	0.05
	距公路距离 x_{23}	—	地块与公路图斑近邻分析	0.07
景观条件 Landscape conditions x_3	连片性 x_{31}	+		0.09
	规整度 x_{32}	+	几何计算	0.06
	破碎度 x_{33}	—		0.06
政策条件 Policy conditions x_4	政策接受度 x_{41}	+	柘城县省级现代农业产业园批示; 原基本农田划定成果	0.19

1) 生产条件

生产条件反映的是耕地粮食生产能力^[27]。生产条件不光包含耕地自然属性, 还包含基础设施完备程度。其中, 自然属性是耕地质量的基础, 也是农业生产的决定性因素。因此, 在耕地自然属性方面, 本研究参照《农用地分等规程》中测算自然质量分的思路, 选择“土壤肥力”和“水源丰富度”两个指标; 此外, 在获取耕地本底情况的基础上, 选择指标“耕作便利度”和“灌溉便利度”, 用以反映地块在田间道、沟渠等设施完备程度的差异。

2) 区位条件

区位条件反映的是农户利用耕地可行性及生产要素进出的便捷度^[28]。在利用可行性方面, 本研究选取“距城镇距离”和“距公路距离”两项指标; 在生产要素进出便捷度方面, 选择“距村庄距离”指标。这 3 个指标均是扩散性指标, 参考《农用地分等定级规程》赋值方法见表 2。其中, 城镇、村庄属于点状指标, 用指数衰减法赋值(式(3)), 公路属于线状指标, 用直线衰减法

赋值（式（4）），影响半径用算术平均分割法^[29]计算（式（6））。

$$f_i = M_i^{1-r} \quad (3)$$

$$f_i = M_i(1-r) \quad (4)$$

$$r = d_i / d \quad (5)$$

$$d = S_a / 2L_r \quad (6)$$

式中 f_i 为第 i 个指标作用分值； M_i 为规模指数； r 为相对距离； S_a 为柘城县面积， m^2 ； L_r 为道路长度， m ； d_i 为地块到评价因素的实际距离， m ； d 为评价因素影响半径， m 。

表 2 扩散指标分级赋分标准

指标 Index	级别 Level	规模指数 Scale index	影响半径 Influence radius/m
距城镇距离 Distance to town	省重点城镇	100	45 000
	市重点城镇	80	30 000
	一般城镇	60	15 000
距村庄距离 Distance to village	农村居民点	100	3 500
距公路距离 Distance to road	线状公路	100	1 356.73

3) 景观条件

景观条件不仅有利于耕地产能提升，同时也避免在城市扩张中因耕地破碎引致的生态退化^[30]。本研究采用连片性、规整度、破碎度 3 个指标量化地块景观条件。基本农田需要一定的规模，连片性反映地块连片程度，越大表示地块的连片性越高，面积阈值由地块面积经自然断点法得到（式（7））^[31]；农业机械化要求田块几何形状规则，本研究借用景观生态学中分维数 FRAC（式（8））来表达规整度，越小代表田块越规则，反之，田块形状越复杂^[32]；地块零星度则是根据田块面积距离面积均值的欧式距离计算，指标数值越大表示田块零星度越高。

$$Q = \begin{cases} 20 & a \leq 2.80 \\ 20 + 80 \times \frac{a - 2.80}{80.81 - 2.80} & 2.80 < a \leq 80.81 \\ 100 & a > 80.81 \end{cases} \quad (7)$$

$$\text{FRAC} = \frac{2 \log(p/4)}{\log(a)} \quad (8)$$

式中 Q 为地块连片度； a 为地块面积， hm^2 ； p 为地块周长， km 。

4) 政策条件

基本农田保护区作为一项田间综合工程，具有投入大、周期长的特征，该工程离不开政策支持。“政策接受度”反映的是地块是否与政府农业建设重点项目、原基本农田建设空间重合，据此反映地块的政策条件。一方面位于政府农业建设重点项目区内的地块本底优势较为突出，财政支持力度也较强；另一方面考虑地块政策条件在某种程度上也是对原基本农田空间的优化。在本研究中，位于“农村一二三产融合发展区”“国家级出口食品农产品质量安全示范区”“农业高效节水示范区”“农业特色产业园”等范围内的地块，“政策接受

度”赋值为 100；位于原基本农田建设区内的地块，“政策接受度”赋值为 80；其他地块“政策接受度”赋值为 60。

2.4.2 耕地综合质量分

本文采用加权指数和法建立耕地入选基本农田的评价模型，地块综合质量分值越高，代表地块质量越好。

$$S_j = \sum_{i=1}^n (A_{ij} \cdot W_i) \quad (9)$$

式中 S_j 为评价单元 j 的综合质量分值； A_{ij} 为评价单元 j 的第 i 个评价指标的标准化分值； W_i 为第 j 个评价指标基于组合赋权法确定的权重； n 为评价指标总数。

2.5 基本农田建设规模确定

从粮食安全的角度出发，综合考虑河南省柘城县粮食需求量、粮食作物单产、复种指数以及粮食作物比重等因素，计算历年耕地需求量（式（10））^[33]。本研究参照 2020、2025 年 2 个关键时间节点的耕地需求量作为基本农田建设规模的预期，以期实现保障粮食安全的优化基本农田空间布局。

$$\text{TLD} = \frac{1000\text{TGD}}{U \cdot \alpha \cdot b} \quad (10)$$

式中 TLD 为耕地需求量， hm^2 ； U 为粮食作物单产， kg/hm^2 ； α 为复种指数； b 为粮食作物比例。

3 结果与分析

3.1 粮食安全

3.1.1 人口预测

根据柘城县特征及 1990—2019 年常住人口数据，本研究借助 MATLAB 构建灰色-BP 网络组合模型，预测 2020—2025 年人口数据。由图 2 可知，柘城县人口整体上呈上升趋势，在 2005 年、2010 年两个时间节点波动较大，特别是正在 2011 年之后，人口开始稳定增长。这是由于柘城县 2005—2010 年劳动力大量输出，故人口在这两个时间节点的波动较大。近年来，柘城县致力于消除城乡差距，构建以高质量发展为核心的新发展格局，极大加强城镇集约效应，人口数量稳步增加。预测结果表明：2020、2025 年柘城县人口数量分别为 105.61 万、109.07 万（图 2），模型 R^2 值大于 0.95，通过了显著性检验，结果较为可信。

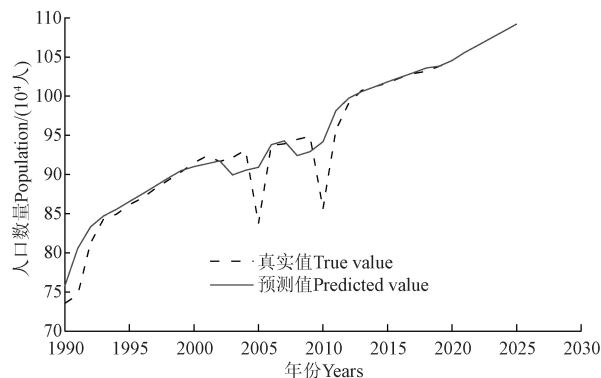
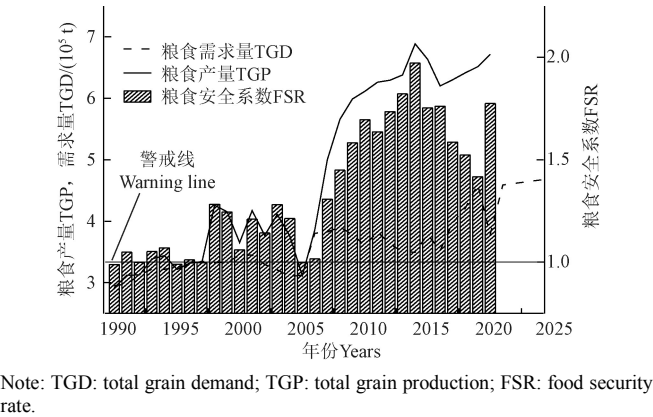


图 2 河南省柘城县人口预测

Fig.2 Population forecast of Zhecheng County, Henan Province

3.1.2 粮食安全分析

本文参考《国家粮食安全中长期规划纲要（2008—2020 年）》以及相关文献^[15,21,23]，采用折算法计算 1990—2025 年粮食需求量。结果表明：2020 年粮食需求量为 37.83 万 t，2025 年粮食需求量为 46.98 万 t。由图 3 可知：1）粮食需求量、粮食产量曲线整体上均呈上升趋势；2）1990—2005 年，粮食安全系数在警戒线上下波动，粮食安全压力较大，属于粮食紧张阶段；3）2005—2019 年，粮食安全系数远高于警戒线，属于粮食盈余阶段；4）2020 年柘城县粮食需求量为 37.83 万 t，粮食产量为 66.96 万 t，粮食安全系数为 1.77，当前粮食安全得以保障；4）从消费结构上看，柘城县主要消耗粮食途径是食物消费，虽整体上实现粮食安全，但粮食消费结构不合理，引发“隐性饥饿”风险较大。



Note: TGD: total grain demand; TGP: total grain production; FSR: food security rate.

图 3 历年粮食供给与需求变化量

Fig.3 Changes in food supply and demand over the years

3.2 耕地综合评价结果

河南省柘城县耕地综合质量分在 29.57~92.87 之间，均值为 59.53，综合质量较优。在评价得分方面，耕地质量分存在两个峰值，劣质耕地与优质耕地的综合质量得分均表现出正态分布（图 4）。其中，劣质耕地正态分布

的均值为 42.5 分，优质耕地正态分布的均值为 62.5 分。在空间分布方面，耕地质量并未表现出明显的南北或东西方向的地理性差异，优质耕地集中于远离城镇中心的周边地区，劣质耕地主要分布在城镇周边、丘陵地带。

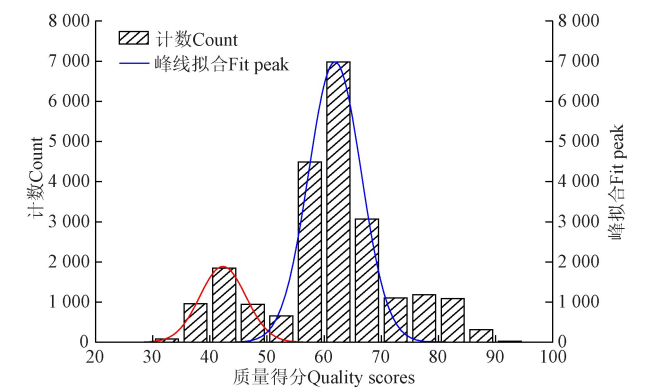


图 4 柘城县耕地综合质量得分频率分布

Fig.4 Frequency distribution of cultivated land comprehensive quality score in Zhecheng County

3.3 基本农田划定结果

在耕地综合质量评价的基础上（表 3），本文以 2020 年的耕地需求量（32 248.50 hm²）及 2025 年的耕地需求量（55 120.00 hm²）为基准，按照综合质量最优的原则划定粮食安全保护区（综合质量分 62.59~92.88）以及粮食安全缓冲区（综合质量分 57.77~62.59），并将其纳入基本农田范畴，旨在实现长效的粮食安全；城镇发展规划区（综合质量分 29.64~32.15）按照区位优势较高、综合质量较差以至不适宜作为耕地的原则，参照《规划》中建设用地的预期（2 670.00 hm²）进行划定，旨在指明城镇发展方向；其余耕地（14 872.88 hm²）由于其综合质量一般（综合质量分 32.15~57.77）作为土地综合整治区，该区域耕地与粮食安全保护区、粮食安全缓冲区的耕地相比表现出明显的障碍，因此，需要通过土地综合整治来实现其综合质量的跃迁，故将其作为基本农田的备选区。

表 3 柘城县耕地质量评价结果及类型划分								
Table 3 Cultivated land quality evaluation results and type classification in Zhecheng County								
耕地类型分区 Cultivated land type division	面积 Area/hm ²	面积比例 Area ratio/%	地块数 Number of plots	地块数占比 Percentage of plots/%	平均地块面积 Average plot area/hm ²	连片性得分 Contiguous score	规整度得分 Regularity score	破碎度得分 Fragmentation score
粮食安全保护区 Food security protection zone	32 248.50	44.38	6 947	30.51	4.33	97.53	99.27	98.70
粮食安全缓冲区 Food security buffer zone	22 871.50	31.48	9 688	42.55	3.09	77.15	71.29	73.46
城镇发展规划区 Town development planning zone	2 670.00	3.67	964	4.23	2.77	33.68	59.13	23.15
土地综合整治区 Comprehensive land improvement zone	14 872.88	20.47	5 168	22.70	2.88	54.69	45.65	59.16
合计 Total	72 662.88	100.00	22 767	100.00	3.19	68.26	71.34	66.12

3.3.1 粮食安全保护区

位于粮食安全保护区的耕地，综合质量最优，无任何限制性障碍因素，是保障粮食安全的核心，应首先纳入基本农田范畴（图 5）。该区域耕地面积为 32 248.5 hm²，地块数为 6 947，平均地块面积为 4.33 hm²（表 3），地块主要分布在柘城县周边乡镇的郊区，以安平镇、起台

镇以及慈圣镇最多（面积比例分别为 7.82%、7.41%、6.40%），梁庄乡、邵园乡以及城关镇最少（面积比例分别为 2.34%、1.33%、0.18%）。从表 3 中可知，位于粮食安全保护区内的地块面积与地块数表现出分异性，平均地块面积最大，这表明该类耕地面积较大，连片性高。从划定结果上看，该区域

耕地凭借肥沃土壤、充沛水源、便利的耕作条件以及完备的灌排基础设施等优越生产功能,依托农产品交换最为频繁的中心城镇,借助发达的交通设施运载能力,并依据其空间形态上规整度高、连片性强的优势,成为基本农田建设最为适宜的对象。不仅是保障基本农田的最佳选择,也是保障粮食安全的重要示范区。

3.3.2 粮食安全缓冲区

位于粮食安全缓冲区的耕地(图5),较粮食安全保护区而言,其本底条件、区位条件、景观条件及政策条件上优势相对减弱,但该类耕地并不存在明显的限制性因素,故也将其纳入基本农田范畴,作为保障粮食安全的缓冲区。该类耕地共有 22 871.5 hm^2 ,地块数为 9 688,平均地块面积为 3.09 hm^2 (表3)。该类耕地与粮食安全保护区一样同样均匀分布在远离乡镇的郊区,以安平镇、起台镇及惠济乡最多(面积比例分别是 7.86%、6.99%、6.95%),梁庄乡、邵园乡以及城关镇分布最少(面积比例分别是 2.95%、1.85%、0.27%)。该区域平均地块面积小于全区水平,表明该类耕地空间分布较为零散、连片性不高(表3)。与粮食安全保护区面积比例大、地块比例小的特性相比,粮食安全缓冲区内的耕地受建设用地楔入切割的影响作用更深,造成景观格局上连片性与规整度下降,但其形成了包裹粮食安全保护区的空间布局,具有缓冲带的性质,因此将其作为粮食安全的缓冲区。综上所述,粮食安全缓冲区在生产条件、区位条件以及政策条件与粮食安全保护区耕地具有较高一致性。但在景观条件上相对不够集中连片,田块形状不够规则,分布也相对零散。虽然一定程度上削弱了规模效应,但鉴于其并没有表现出明显障碍,故也将其纳入基本农田的范畴,作为粮食安全的缓冲区。由于该类耕地限制性因素较少且较为单一,可作为全县农地近期整治区,通过土地平整或权属调整对该类耕地的景观条件加以改造,逐步实现农业生产的规模效应。

3.3.3 城镇发展规划区

位于城镇发展规划区的耕地(图5),在生产条件、景观条件、政策条件上存在显著障碍,生产条件劣质性较强,故不纳入基本农田范畴。但该类耕地区位条件表现出很强的优越性,鉴于此,参照《规划》对柘城县城镇建设规模的预期将其划定为城镇发展规划区。该类耕地面积为 2 670.00 hm^2 ,地块数为 964,平均地块面积为 2.77 hm^2 。在空间上,该类耕地形成了紧邻城镇中心的环形布局,以申桥乡、陈青集镇及梁庄乡分布最多(面积比例分别是 16.32%、12.21%、10.08%),惠济乡、皇集乡以及老王集乡分布最少(面积比例均为 0%)。在生产条件上,该类耕地土壤肥力较低、灌溉条件较差、不利于农业生产经营。此外,该类耕地景观条件上的破碎化、条带状、零星态的特征致使土地整治改造难度较大,不利于农田机械运作和规模经营,不足以满足基本农田的内涵要求。但该类耕地形成了在城镇周围的环状布局,区位优势较好,能够充分发挥城镇集聚规模的优势,为城镇未来发展指明了方向。综上所述,位于城镇发展规

划区内的耕地,一方面由于其生产条件、景观条件较差,导致其生产性能不高,农户通过增大化肥、农药、农膜等生产要素投入,实现产能提升难度较大,并且对于大型机械生产、土地综合整治改造具有较高的技术与资金的要求,属于基本农田划定不适宜的对象;另一方面,为充分发挥其区位优势,有选择进行农转用,实现经济效益最大化,发挥城镇的集聚效应;部分耕地可以通过退耕还林、还草建设,与柘城县基本农田共同作为城镇发展“绿眼”,防止城镇空间“摊大饼式”盲目扩张。

3.3.4 土地综合整治区

位于土地综合整治区的耕地(图5),在生产条件、景观条件、政策条件表现出一定程度的障碍性,并且区位优势条件优势也不够突出,建议采取土地综合整治与农田经营调控等手段实现其耕地质量的提升。该类耕地面积为 14 872.88 hm^2 ,地块数为 5 168、平均地块面积为 2.88 hm^2 ,以安平镇、惠济乡及李原乡分布最多(面积比例分别是 12.58%、6.31%、5.92%),梁庄乡、邵园乡及城关镇(面积比例分别是 2.95%、1.85%、0.11%)。该区域耕地面积较大,但规整度与连片性不高,与城镇、村庄及公路存在空间转移特征,这导致其区位优势削弱,耕地生产条件的适用性下降。由此可见,土地综合整治区内的耕地限制因素组合最为复杂。该类耕地能否实现向粮食安全保护区的跃迁需要判明不同限制因素的作用机理,并且根据限制因素的多少、改造难度等多项因素决定土地综合整治的次序。针对耕地的生产条件较差的耕地,应当采取移土培肥、设施完善、土壤改良等措施;对于耕地区位优势条件较差的耕地,采取耕地流转实现空间置换等措施;对于景观条件较差的耕地,采取平整工程优化耕地景观特征。此外,在通过多样式、多元化手段调整耕地地力水平、优化空间布局的基础上,还需核算整治成本、难易度确定耕地中、远期整治区,有计划的落实耕地的综合整治,推动此类耕地向良性发展,提高其生产功能,实现粮食安全长期稳定。

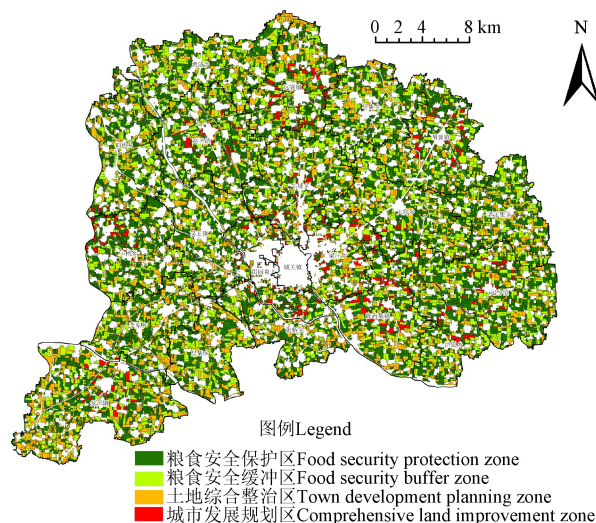


图5 基于粮食安全的基本农田分布

Fig.5 Distribution of basic farmland based on food security

4 结论与讨论

本文将粮食安全与基本农田划定相结合并以此为逻辑主线, 基于粮食安全对耕地“量”与“质”的需求探究划定基本农田的新思路, 主要结论如下:

1) 柘城县在 1990—2005 年属于粮食紧张阶段, 2005—2020 年属于粮食盈余阶段, 2020 年粮食安全系数为 1.77, 虽然整体上实现了粮食安全, 但从粮食消费结构上看依然存在“隐性饥饿”的风险。

2) 河南省柘城县耕地综合质量分在 29.57~92.87 之间, 均值为 59.53, 综合质量较优。在分析粮食安全对耕地需求的基础上, 将河南省柘城县耕地划分为粮食安全保护区、粮食安全缓冲区、城镇发展规划区和土地综合整治区 4 种类型。

3) 柘城县耕地质量、类型变化与基本农田空间紧密相关, 基于粮食安全的基本农田划定不仅有助于实现基本农田空间布局优化, 而且有助于充分发挥基本农田生产功能。粮食安全保护区耕地质量最高, 空间分布较为集中连片, 是保障粮食安全的核心, 因此纳入基本农田范畴; 粮食安全缓冲区虽耕地质量优势相对减弱, 但限制因素较为单一, 并且形成了包裹粮食安全保护区缓冲区布局, 也纳入基本农田范畴, 以提升优质基本农田的集约程度, 但同时应通过农地近期整治工程实现该类耕地质量提升; 城镇发展规划区耕地质量较低, 但形成了紧邻城镇中心的环状布局, 建议农转用为城镇发展指明方向, 有选择的退耕还林, 防止城镇“摊大饼”式无序扩张; 土地综合整治区耕地较为破碎、集聚程度不高, 不适宜作为基本农田, 作为基本农田的备选, 可通过土地整治提高集中连片度、改善土壤理化性质、加大田间水利设施建设等手段实现其综合质量的提升。

本文在探究河南省柘城县粮食安全时序演化的基础上, 进行耕地质量综合评价, 结合粮食安全对耕地数量与质量的要求, 将耕地划分为粮食安全保护区、粮食安全缓冲区、城镇发展规划区和土地综合整治区。研究结果实现了粮食安全与基本农田划定的结合, 以及基本农田划定的动态演变, 对于提高农业质量效益和竞争力, 保障粮食安全, 深化农村改革以及解决“三农”问题具有重要的意义。值得说明的是, 本文主要探讨粮食安全对基本农田建设空间布局以及时序的影响, 至于如何根据历年人口逐步扩大粮食安全缓冲区, 如何与当地土地综合整治衔接确定整治次序, 实现该划定思路在更大研究尺度的推广, 在耕地质量评价的基础上综合考虑资源环境生态进行局部调整, 是今后重点的研究方向。政府在确定基本农田保护区范围时, 不能“一刀切”式的自上而下确定, 而应实现耕地质量评价与粮食安全统一, 同时应当逐步完善基本农田保护区的调入调出机制; 通过轮作休耕实现耕地的用养结合, 避免单一“掠夺式”的耕地利用模式; 根据整治难度确定基本农田整治时序; 加大各级政府资金投入力度; 完善基本农田保护机制, 提升粮食安全应对突发事件的能力。

【参 考 文 献】

- [1] 吕晓, 牛善栋, 李振波, 等. 中国耕地集约利用研究现状及趋势分析[J]. 农业工程学报, 2015, 31(18): 212-224.
Lü Xiao, Niu Shandong, Li Zhenbo, et al. Present situation and trends in research on cultivated land intensive use in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(18): 212-224. (in Chinese with English abstract)
- [2] 钱凤魁. 基于耕地质量及其立地条件评价体系的基本农田划定研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2011.
Qian Fengkui. Study on the Planning of Basic Farmland Based on the Evaluation System of Farmland Quality and Site Conditions: A Case Study of Lingyuan City in Liaoning Province[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2011. (in Chinese with English abstract)
- [3] FAO. Guidelines: Land Evaluation for Rainfed Agriculture[M]. Rome: FAO Soil Bulletin 52, 1983.
- [4] 任艳敏, 唐秀美, 刘玉, 等. 考虑耕地生态质量的基本农田划定方法[J]. 农业工程学报, 2014, 30(24): 298-307.
Ren Yanmin, Tang Xiumei, Liu Yu, et al. Demarcating method of prime farmland considering ecological quality of cultivated land[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2014, 30(24): 298-307. (in Chinese with English abstract)
- [5] 钱凤魁, 王秋兵, 李娜. 基于耕地质量与立地条件综合评价的高标准基本农田划定[J]. 农业工程学报, 2015, 31(18): 225-232.
Qian Fengkui, Wang Qiubing, Li Na. High-standard prime farmland planning based on evaluation of farmland quality and site conditions[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(18): 225-232. (in Chinese with English abstract)
- [6] 闫志明, 蒲春玲, 孟梅, 等. 基于城市总规的基本农田空间优化调整研究: 以乌鲁木齐市高新区(新市区)为例[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(6): 155-159.
Yan Zhiming, Pu Chunling, Meng Mei, et al. Study on adjustment and optimization of spatial distribution of capital farmland in suburb based on urban master plan: A case study of urumqi high-tech industrial development zone[J]. China Population, Resources and Environment, 2016, 26(6): 155-159. (in Chinese with English abstract)
- [7] 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, 23(1): 66-71.
Zheng Xinqi, Yang Shujia, Xiang Weining, et al. Spatial planning method for the basic farmland protection based on the farmland classification[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2007, 23(1): 66-71. (in Chinese with English abstract)
- [8] 唐宽金, 郑新奇, 姚金明, 等. 基于粮食生产能力的基本农田保护区规划方法研究[J]. 地域研究与开发, 2008, 27(6): 105-109.
Tang Kuanjin, Zheng Xinqi, Yao Jinming, et al. Planning method for the basic farmland protection based on the potential grain productivity[J]. Areal Research and Development, 2008, 27(6): 105-109. (in Chinese with English abstract)
- [9] 石英, 朱德举, 程锋, 等. 属性层次模型在乡级基本农田保护区布局优化中的应用[J]. 农业工程学报, 2006, 22(3): 27-31.
Shi Ying, Zhu Deju, Cheng Feng, et al. Attribute hierarchical

- model and its application to the optimal allocation of prime farmland protection areas at local level[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2006, 22(3): 27-31. (in Chinese with English abstract)
- [10] 蔡银莺, 余元. 基本农田规划管制下农民的土地发展权受限分析: 以江夏区五里界镇为实证[J]. 中国人口·资源与环境, 2012, 22(9): 76-82.
- Cai Yinying, Yu Yuan. The restriction of farmers' land development rights under prime farmland planning control: A case study of Wulijie town in Wuhan city[J]. China Population, Resources and Environment, 2012, 22(9): 76-82. (in Chinese with English abstract)
- [11] 汤峰, 徐磊, 张蓬涛, 等. 县域高标准基本农田建设适宜性评价与优先区划定[J]. 农业工程学报, 2019, 35(21): 242-251.
- Tang Feng, Xu Lei, Zhang Pengtao, et al. Suitability evaluation and priority area delineation of high standard basic farmland construction at county level[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2019, 35(21): 242-251. (in Chinese with English abstract)
- [12] 刘慧芳, 毕如田. 基于物-场模型的基本农田划定合理性评价[J]. 中国农业资源与区划, 2017, 38(3): 107-114.
- Liu Huifang, Bi Rutian. Evaluation of the planning rationality of basic farmland conservation area based on substance-field model[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2017, 38(3): 107-114. (in Chinese with English abstract)
- [13] 姜广辉, 张瑞娟, 张翠玉, 等. 基于空间集聚格局和边界修正的基本农田保护区划定方法[J]. 农业工程学报, 2015, 31(23): 222-229.
- Jiang Guanghui, Zhang Ruijuan, Zhang Cuiyu, et al. Approach of land use zone for capital farmland protection based on spatial agglomeration pattern and boundaries modification[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(23): 222-229. (in Chinese with English abstract)
- [14] 杨绪红, 金晓斌, 贾培宏, 等. 多规合一视角下县域永久基本农田划定方法与实证研究[J]. 农业工程学报, 2019, 35(2): 250-259.
- Yang Xuhong, Jin Xiaobin, Jia Peihong, et al. Designation method and demonstration of permanent basic farmland in county level on view of multi-planning integration[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2019, 35(2): 250-259. (in Chinese with English abstract)
- [15] 胡业翠, 吕小龙, 赵国梁. 四川省达县高标准基本农田建设规模与建设区域划定[J]. 中国土地科学, 2014, 28(11): 30-38.
- Hu Yecui, Lv Xiaolong, Zhao Guoliang. Construction scale and spatial distribution of well-facilitated primary farmland of Daxian County in Sichuan Province[J]. China Land Science, 2014, 28(11): 30-38. (in Chinese with English abstract)
- [16] 何灵聪. 城市总体规划中的人口规模预测方法和结果检讨: 武汉市的实证分析[J]. 规划师, 2015, 31(10): 28-33.
- He Lingcong. Population prediction in urban master plan: A positive study of Wuhan[J]. Planners, 2015, 31(10): 28-33. (in Chinese with English abstract)
- [17] 孟令国, 李超令, 胡广. 基于 PDE 模型的中国人口结构预测研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(2): 132-141.
- Meng Lingguo, Li Chaoling, Hu Guang. Predictions of China's population structure based on the PDF model[J]. China Population, Resources and Environment, 2014, 24(2): 132-141. (in Chinese with English abstract)
- [18] 赖红松, 祝国瑞, 董品杰. 基于灰色预测和神经网络的人口预测[J]. 经济地理, 2004, 24(2): 197-201.
- Lai Hongsong, Zhu Guorui, Dong Pinjie. Population forecast based on combination of gray forecast and artificial neural networks[J]. Economic Geography, 2004, 24(2): 197-201. (in Chinese with English abstract)
- [19] 吕捷, 余中华, 赵阳. 中国粮食需求总量与需求结构演变[J]. 农业经济问题, 2013, 34(5): 15-19.
- [20] 胡小平, 郭晓慧. 2020 年中国粮食需求结构分析及预测: 基于营养标准的视角[J]. 中国农村经济, 2010(6): 4-15.
- [21] 肖国安. 未来十年中国粮食供求预测[J]. 中国农村经济, 2002(7): 9-14.
- [22] 韩昕儒, 陈永福, 钱小平. 中国目前饲料粮需求量究竟有多少[J]. 农业技术经济, 2014(8): 60-68.
- [23] 隆国强. 大国开放中的粮食流通[M]. 北京: 中国发展出版社, 1999.
- [24] 姚成胜, 黄琳, 吕晞. 河南省粮食消费结构变化及其对我国粮食安全的贡献率分析[J]. 农业现代化研究, 2014, 35(2): 163-167.
- Yao Chengsheng, Huang Lin, Lv Xi. Grain demand structure change in Henan and its contribution rate to China's food security[J]. Research of Agricultural Modernization, 2014, 35(2): 163-167. (in Chinese with English abstract)
- [25] 高中贵, 彭补拙, 濮励杰. 长江三角洲地区粮食安全性度量研究[J]. 人文地理, 2006, 21(1): 80-84.
- Gao Zhonggui, Peng Buzhuo, Pu Lijie. Study on measurement of food security in Yangtze river delta[J]. Human Geography, 2006, 21(1): 80-84. (in Chinese with English abstract)
- [26] 熊正德, 姚柱, 张艳艳. 基于组合赋权和 SEM 的农田抛荒影响因素研究: 以农民个人资本为视角[J]. 经济地理, 2017, 37(1): 155-161.
- Xiong Zhengde, Yao Zhu, Zhang Yanyan. Influential factors of farmland abandonment using combination weight and SEM: from the perspective of farmer's individual capital[J]. Economic Geography, 2017, 37(1): 155-161. (in Chinese with English abstract)
- [27] 付国珍, 摆万奇. 耕地质量评价研究进展及发展趋势[J]. 资源科学, 2015, 37(2): 226-236.
- Fu Guozhen, Bai Wanqi. Advances and prospects of evaluating cultivated land quality[J]. Resources Science, 2015, 37(2): 226-236. (in Chinese with English abstract)
- [28] 孔祥斌, 靳京, 刘怡, 等. 基于农用地利用等别的基本农田保护区划定[J]. 农业工程学报, 2008, 24(10): 46-51.
- Kong Xiangbin, Jin Jing, Liu Yi, et al. Planning method of the prime farmland protection zone based on farmland utilization grade[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2008, 24(10): 46-51. (in Chinese with English abstract)
- [29] 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 (Transactions of the CSAE), 2014, 30(1): 200-210. (in Chinese with English abstract)

- [30] 李晓亮, 吴克宁, 褚献献, 等. 耕地产能评价研究进展与展望[J]. 中国土地科学, 2019, 33(7): 91-100.
Li Xiaoliang, Wu Kening, Chu Xianxian, et al. Research progress and prospects for cultivated land productivity evaluation[J]. China Land Science, 2019, 33(7): 91-100. (in Chinese with English abstract)
- [31] 董光龙, 赵轩, 刘金花, 等. 基于耕地质量评价与空间集聚特征的基本农田划定研究[J]. 农业机械学报, 2020, 51(2): 133-142.
Dong Guanglong, Zhao Xuan, Liu Jinhua, et al. Prime Cropland assignment based on cultivated land quality evaluation and spatial cluster pattern[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(2): 133-142. (in Chinese with English abstract)
- [32] 张正峰, 陈百明, 郭战胜. 耕地整理潜力评价指标体系研究[J]. 中国土地科学, 2004(5): 37-43.
Zhang Zhengfeng, Chen Baiming, Guo Zhansheng. Indicator system for evaluating arable land consolidation potential[J]. China Land Science, 2004(5): 37-43. (in Chinese with English abstract)
- [33] 甘永萍, 周兴, 郑晓平. 耕地供需预测方法研究: 以博白县为例[J]. 地域研究与开发, 2002(4): 60-64.
Gan Yongping, Zhou Xing, Zheng Xiaoping. Study on the method of predicting supply and demand of farmland: A case study of Bobai county[J]. Areal Research and Development, 2002(4): 60-64. (in Chinese with English abstract)

Spatial layout optimization of basic farmland considering food security and cultivated land quality at county scale

Guo Guancheng, Han Xiao'er

(School of Public Administration, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: An optimal delimitation of basic farmland needs to consider the food security and cultivated land quality in modern agriculture. Taking Zhecheng County, Henan Province of China as an example, this study aims to determine an optimal construction space of basic farmland from bottom to top, considering national food security and population development. The specific procedure was: 1) A combined gray-BP network model was adopted to predict the population and cultivated land demand in the study area from 1999 to 2025; 2) The population from 1999 to 2025 was used to calculate the food demand and security rate via a specific conversion. Six major ways of food consumption were selected to analyze the capacity for food security of the County; 3) An evaluation system of farmland quality was established to select the indicators from production conditions, location, landscape, and policy conditions. A quantitative analysis was performed on the indicators with geographic information technology and weighted index summation model for comprehensive quality scores of cultivated land; 4) A specific planning of construction land was proposed to fully integrate the quality evaluation of cultivated land into the current food security expectations and cultivated land demand. Consequently, the cultivated land was divided into the Food Security Protection Zone, Food Security Buffer Zone, Town Development Planning Zone, and Comprehensive Land Improvement Zone. The results indicated: 1) The County was in food-shortage from 1990 to 2005, but in food surplus from 2005 to 2019. Although food security was generally achieved, the risk of "hidden hunger" still existed from the perspective of food consumption structure; 2) The comprehensive quality score of cultivated land ranged from 29.57 to 92.87, with an average value of 59.53, indicating relatively good comprehensive quality. 3) The cultivated land quality in the food security protection zone was relatively high, where it was recommended to be included into the basic farmland. Meanwhile, the cultivated land quality in the Food Security Buffer Zone was relatively weak but with single limited factors, where it was advised to be also included into the basic farmland that required short-term land consolidation for the better quality of cultivated land. Given that the Town Development Planning Zone surrounded the town center in a ring layout and quality of cultivated land, it was suggested to be used for urban construction land. The direction of urban development was addressed to prevent the destruction of high-quality cultivated land. The comprehensive land improvement zone was taken as an alternative area for basic farmland, due to the scattered spatial distribution and weak land quality. It also needs to identify the obstacle factors for better land productivity using long-term comprehensive land remediation. These recommendations can make a great contribution to the protection of cultivated land, urban development, and comprehensive land consolidation. The integrated delimitation of basic farmland with food security can avoid the drawbacks of simplex delimitation in the dynamic evolution of basic farmland delimitation. The finding can provide a sound technical reference to the long-term stability of national food security and revitalization of cultivated land resources.

Keywords: farms; zoning; food security; basic farmland; Grey-BP network combination model; evaluation and prediction